

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

GENEROVÁNÍ POZIČNÍCH DAT PRO RENTGEN DPS

GENERATING COORDINATE DATA FOR PCB X-RAY MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Popela

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Hanák, Ph.D.

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**
Ústav telekomunikací

Student: Vojtěch Popela

ID: 143946

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Generování pozičních dat pro rentgen DPS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Vytvořte aplikaci pro PC, která dokáže převést Gerber formát na data pro rentgen plošných spojů Phoenix X-ray Micromex 180 DXR-HD. Aplikace musí umět zdrojová Gerber zobrazit uživateli a pokud možno by měla umožnit některé plošky sloučit do pojmenovaných skupin. Též by měla mít nastavitelné některé parametry převodu, podobně jako ULP, které jste vytvořil v rámci SP. Není přitom nutné aplikaci vytvářet od nuly; můžete ji realizovat i jako plugin či exportní knihovnu pro některý ze stávajících programů pro prohlížení obrázků a Gerber dat. Funkci aplikace ověřte nejméně na 3 deskách různé složitosti. Řádně komentujte zdrojové kódy, protože se předpokládá jejich uvolnění jako open-source.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Popis jazyka Cadsoft Eagle User Language v7.2.0 [online]. [cit. 2015-10-19]. Dostupné z: <http://www.cadsoftusa.com/downloads/documentation/>
- [2] MATOUŠEK, D. Programování v jazyce C v příkladech. BEN, Praha, 2012. ISBN 978-80-7300-438-5

Termín zadání: 1.2.2016

Termín odevzdání: 1.6.2016

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hanák, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo seznámit se s formátem pozičních dat pájecích plošek pro rentgen plošných spojů Phoenix X-ray Micromex 180 a následně vytvořit programy pro export dat vstupních pro toto zařízení. Teoretická část se věnuje popisu rentgenového zařízení a popisuje problematiku přepočtu a generování pozičních dat, dále pak popisuje různé formáty pro výrobu DPS. V první části řešení byl vytvořen User Language Program (ULP) pro návrhový software Cadsoft Eagle, v druhé části program pro export dat z formátu ODB++.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rentgen DPS, Rentgen desek plošných spojů, Micromex, Cadsoft Eagle, Exportování dat pro rentgen, User Language Program, ULP, Gerber, ODB++, OrCAD, Altium.

ABSTRACT

The aim of this thesis was to pick up with the structure of soldering pads positional data of PCB Phoenix X-ray Micromex 180 and then to create programs for export of input data for this device. Theoretical part of this thesis is dedicated to the description of X-ray equipment and also, to the issues of conversion of positional data, followed by PCB manufacturing formats description. The first part of the thesis deals with the process of creating the User Language Program (ULP) for PCB design software Cadsoft Eagle, in second part a program was made program for exporting data from ODB++ format.

KEYWORDS

X-ray PCB, Micromex, Cadsoft Eagle, Exporting data for x-ray, User Language Program, ULP, ULP, Gerber, ODB++, OrCAD, Altium.

POPELA, Vojtěch. *Generování pozičních dat pro rentgen DPS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2016. 80 s., 2 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Pavel Hanák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Generování pozičních dat pro rentgen DPS jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavel Hanák, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Výzkum popsáný v této bakalářské práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Seznam obrázků	x
Seznam tabulek	xii
Úvod	1
1 Teoretický rozbor	2
1.1 Rentgeny DPS.....	2
1.1.1 Micromex DXR-HD	2
1.1.2 Software Micromex Xact.....	3
1.1.3 Ukázka rentgenového snímku.....	4
1.2 Cadsoft Eagle	4
1.3 ULP	6
1.4 Java a JavaFX	7
1.5 Vstupní soubory pro rentgen.....	8
1.5.1 Struktura souborů součástek	8
1.5.2 Struktura souboru se ploškami.....	10
1.6 Přepočty souřadnic.....	11
1.6.1 Přepočet souřadnic součástek	11
1.6.2 Přepočet souřadnic plošek	11
1.7 Principy rotace	11
1.7.1 Princip rotace software Xact.....	11
1.7.2 Princip rotace Eagle	12
1.7.3 Rotace plošek dané součástky.....	13
1.7.4 Transformace plošek.....	14
1.7.5 Transformace čtvercových plošek na kulaté.....	15
1.8 Gerber formát.....	16
1.8.1 Princip původního fotoplotru.....	16
1.8.2 Zápis Gerber dat.....	17
1.8.3 Definice maker.....	19
1.8.4 Programy pro zobrazení Gerber formátu	23
1.9 ODB++ formát.....	27

1.9.1	Jednotky v ODB++	28
1.9.2	Popis adresářové struktury	28
1.9.3	Tvary plošek	31
1.9.4	Definice maker	31
1.9.5	Středky součástek	32
2	Řešení	34
2.1	ULP	34
2.1.1	Obecný popis řešení	34
2.1.2	Parametry ovlivňující ULP	35
2.1.3	Zpracování součástek	37
2.1.4	Zpracování plošek	38
2.1.5	Oprava rotace plošek	41
2.2	Převodník ODB++ na CAD data rentgenu	43
2.2.1	Grafická část	43
2.2.2	Stručný princip programu	45
2.2.3	Stisk tlačítka Browse	46
2.2.4	Stisk tlačítka Generate and save	46
2.2.5	Princip čtení souboru s ploškami	48
2.2.6	Princip čtení souboru se součástkami	49
2.2.7	Princip porovnávání informací v polích	51
2.2.8	Princip přepočtu souřadnic	52
2.2.9	Princip výpočtu velikosti desky	54
2.2.10	Výsledek zpracování a zobrazení v software rentgenu	57
3	Závěr	63
	Literatura	64
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	65
	Seznam příloh	66

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Rentgenové zařízení Microtex DXR-HD.....	2
Obr. 1.2:	Software Xact se zobrazenými daty z ULP.	3
Obr. 1.3:	Rentgenový snímek nesprávně zapájeného CMOS CCD integrovaného obvodu.....	4
Obr. 1.4:	Cadsoft Eagle režim Schematic.	5
Obr. 1.5:	Cadsoft Eagle režim Board.	5
Obr. 1.6:	Spuštění ULP programu v Cadsoft Eagle.	6
Obr. 1.7:	Textový editor Notepad++ se zvýrazněním syntaxe ULP.	7
Obr. 1.8:	Princip rotace součástky a plošek – rentgen.	12
Obr. 1.9:	Princip přepočtu souřadnic do nulové rotace.....	13
Obr. 1.10:	Princip přepočtu součástky a plošek.	13
Obr. 1.11:	Možnosti zadání rozměrů a rotace plošek v knihovně Eagle.....	14
Obr. 1.12:	Plošky rozeznávané programem Eagle.	15
Obr. 1.13:	Princip funkce fotoplotru.	16
Obr. 1.14:	Ukázka vykreslení čtvercové plošky.	18
Obr. 1.15:	Ukázka vykreslení kulaté plošky.	18
Obr. 1.16:	Ukázka zapnuté expozice v makru.	19
Obr. 1.17:	Příklad makra kruh.....	20
Obr. 1.18:	Příklad makra čáry.	21
Obr. 1.19:	Příklad makra obdélníku.	21
Obr. 1.20:	Příklad makra mnohoúhelník.....	22
Obr. 1.21:	Příklad makra teplotní plošky.	23
Obr. 1.22:	Zobrazovací program gerbv.	24
Obr. 1.23:	Zobrazovací program The LayoutEditor.	26
Obr. 1.24:	Zobrazovací program GC-Prevue.	27
Obr. 1.25:	Základní adresářová struktura ODB++.....	28
Obr. 1.26:	Graf popisující makro nestandardní plošky.	32
Obr. 1.27:	Ukázková deska Developer tool DT01.	33
Obr. 2.1:	Základní princip fungování ULP.	34
Obr. 2.2:	Ukázka plošek DPS z Eagle.....	35
Obr. 2.3:	Ukázka převodu plošek Oblong na Rectangle.	36

Obr. 2.4:	Ukázka převodu plošek Oblong na Round.	36
Obr. 2.5:	Zpracování součástek do pole.	37
Obr. 2.6:	Zobrazení a export součástek do souboru.	38
Obr. 2.7:	Obecný diagram popisující zpracování plošek.	39
Obr. 2.8:	Rozpoznávání plošek Round, Octagon a OffsetOblong.	40
Obr. 2.9:	Rozpoznávání plošek typu Oblong.	40
Obr. 2.10:	Rozpoznání plošek typu SMD.	41
Obr. 2.11:	Oprava rotace SMD plošek.	42
Obr. 2.12:	Grafická podoba aplikace.	43
Obr. 2.13:	Grafická nastavba načtené vrstvy.	44
Obr. 2.14:	Po spuštění programu.	45
Obr. 2.15:	Tlačítko Browse.	46
Obr. 2.16:	Tlačítko Generate and save.	47
Obr. 2.17:	Princip čtení tvarů ze souboru features.	48
Obr. 2.18:	Princip čtení souřadnic ze souboru features.	49
Obr. 2.19:	Princip čtení informací o součástkách souboru components.	50
Obr. 2.20:	Princip čtení informací o ploškách souboru components.	50
Obr. 2.21:	Porovnávání informací a export.	51
Obr. 2.22:	Přepočítání souřadnice neopraveno.	52
Obr. 2.23:	Princip nalezení nového počátku.	53
Obr. 2.24:	Přepočítání souřadnice opraveno.	54
Obr. 2.25:	Princip výpočtu rozměrů desky.	55
Obr. 2.26:	Výpočet rozměrů desky.	56
Obr. 2.27:	Ukázková DPS Developer tool DT01 v Altium Designer.	57
Obr. 2.28:	Ukázková DPS Developer tool DT01 zobrazení v software rentgenu.	58
Obr. 2.29:	Ukázková DPS DB31 Altera Cyclone II F672 v Altium Designer.	59
Obr. 2.30:	Ukázková DPS DB31 Altera Cyclone II F672 v software rentgenu.	60
Obr. 2.31:	Ukázková deska z DPS editoru OrCAD PCB Designer s natočenými objekty.	61
Obr. 2.32:	Ukázková deska z DPS editoru OrCAD PCB Designer importovaná v SW rentgenu.	62

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1:	Struktura souboru součástí.	8
Tab. 1.2:	Struktura souboru plošek.	10
Tab. 1.3:	Zjednodušený zápis Gerber.	17
Tab. 1.4:	Definice makra kruhu.	20
Tab. 1.5:	Definice makra čáry.	20
Tab. 1.6:	Definice makra obdélníku.	21
Tab. 1.7:	Definice makra mnohoúhelníku.	22
Tab. 1.8:	Definice makra teplotní plošky.	23
Tab. 1.9:	Tabulka objektů gerbv.	25
Tab. 1.10:	Struktura souboru components.	30
Tab. 1.11:	Struktura souboru features.	30
Tab. 1.12:	Ukázka nestandardní plošky.	31
Tab. 2.1:	Příklad pro čtení souboru features.	48
Tab. 2.2:	Příklad pro čtení souboru components.	49

ÚVOD

Rentgenová zařízení jsou v dnešní době hojně používané přístroje v elektrotechnice. Je možné je používat jak v prototypové malosériové výrobě, tak i v masové výrobě s použitím software pro automatickou inspekci. Pro automatické navádění rentgenu je nutné mít CAD data součástí a jejich plošek ve formátu, s kterým umí daný software rentgenového zařízení pracovat. Tato bakalářská práce popisuje problematiku automatického získávání těchto dat z návrhového software Eagle, druhá část se zabývá získávání těchto pozičních dat z formátu ODB++.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

1.1 Rentgeny DPS

Rentgeny jsou dnes hojně používaná zařízení v elektronice. Je možné garantovat složení jednotlivých vrstev na již hotových deskách a předejít tak možným potížím při pájení součástek. Základem všeho je, aby povrchová úprava desek byla provedena kvalitně, což se na již hotové desce těžko prokazuje. K tomuto účelu se používají rentgenová zařízení.

1.1.1 Micromex DXR-HD

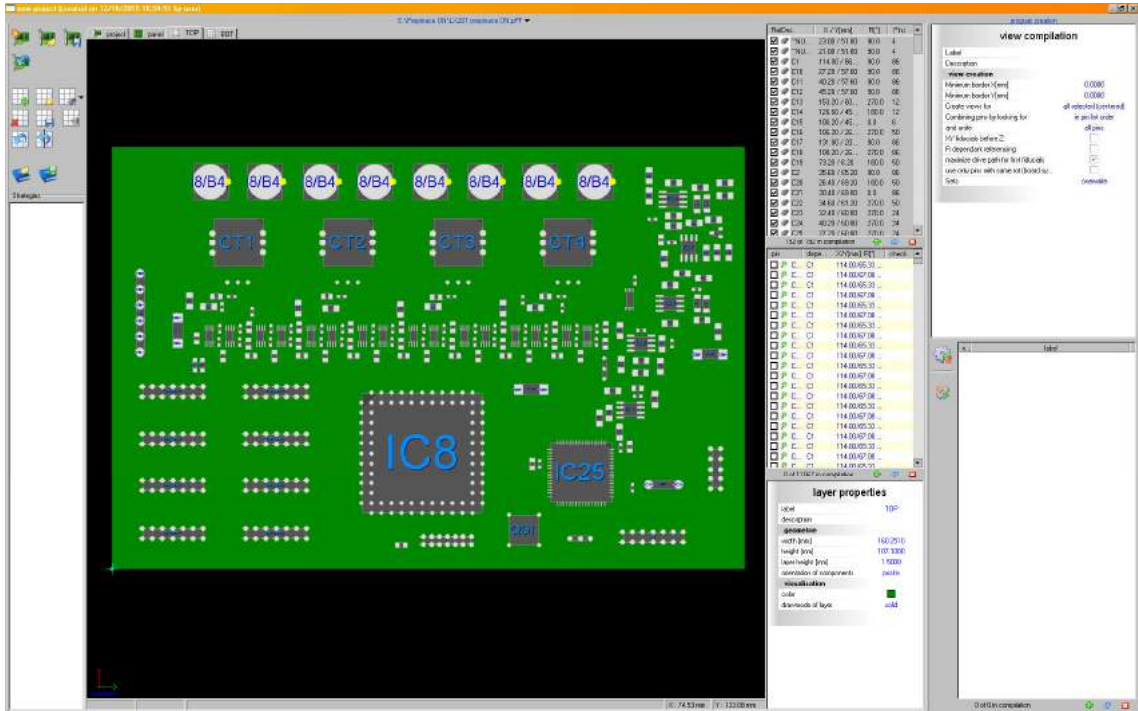
Předmětem této bakalářské práce je vytvořit program pro generování pozičních dat pro rentgen Micromex DXR-HD, který patří mezi velmi dobře vybavené rentgenové přístroje určené pro inspekci velmi složitých SMT sestav. Díky vysokému výkonu trubice není problém kontrolovat i velmi náročné DPS osazené pouzdry s chladiči. Rentgen je schopen přiblížit až na rozlišení $< 1\mu\text{m}$. Je možné jej používat jak v malosériové prototypové výrobě, tak i v masové výrobě s použitím režimu automatické inspekce.



Obr. 1.1: Rentgenové zařízení Micromex DXR-HD.

1.1.2 Software Micromex Xact

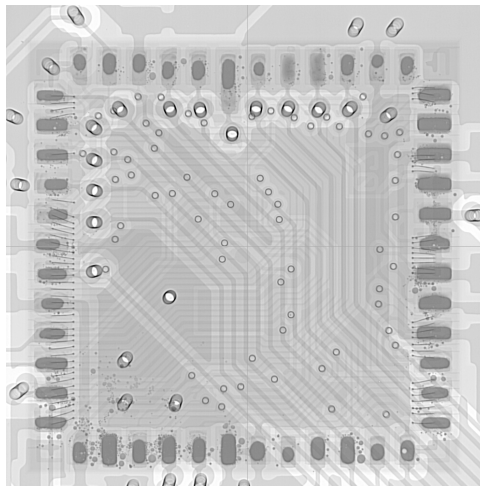
Pro ovládání rentgenu se používá software nazvaný Xact. Slouží k automatickému navádění rentgenu nad DPS. Je možné nastavit různé profily pro zpracování různých plošek. K automatickému navádění rentgenu je nutné znát souřadnice jednotlivých součástek. Pro import souřadnic je k dispozici modul CAD editor, viz obr. 1.2.



Obr. 1.2: Software Xact se zobrazenými daty z ULP.

1.1.3 Ukázka rentgenového snímku

Na obrázku 1.3 se nachází ilustrační snímek nesprávně zapájeného integrovaného obvodu CMOS CCD v pouzdru QFN pořízeného pomocí rentgenového zařízení Microtex DXR-HD.



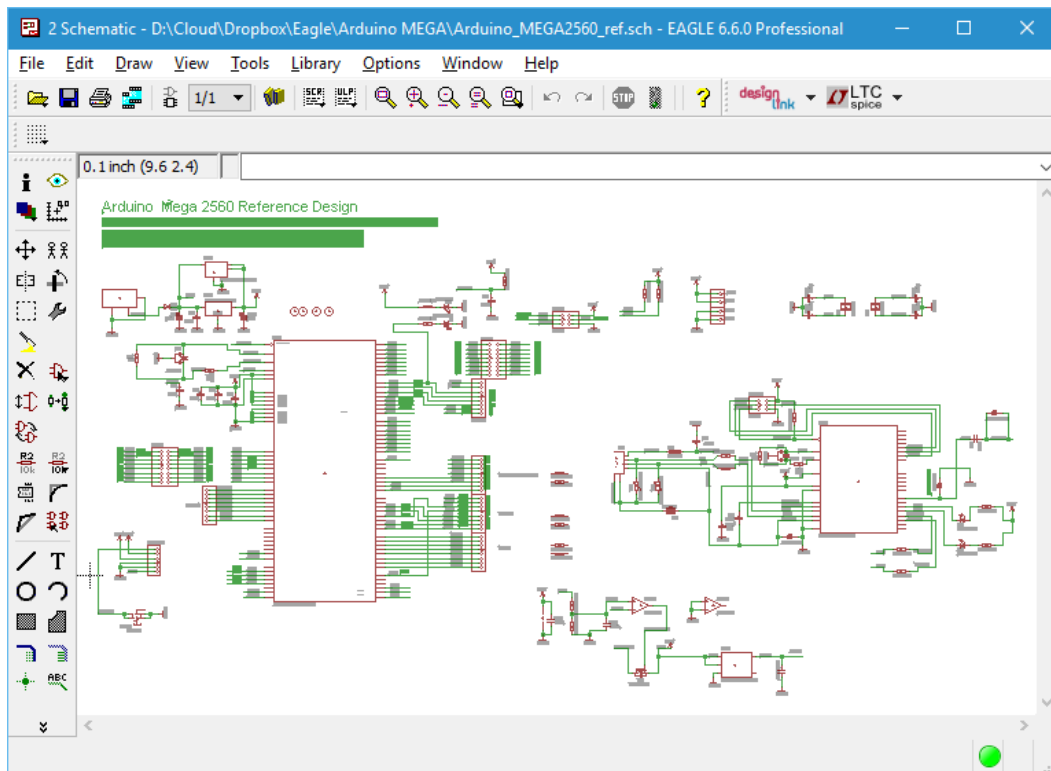
Obr. 1.3: Rentgenový snímek nesprávně zapájeného CMOS CCD integrovaného obvodu.

1.2 Cadsoft Eagle

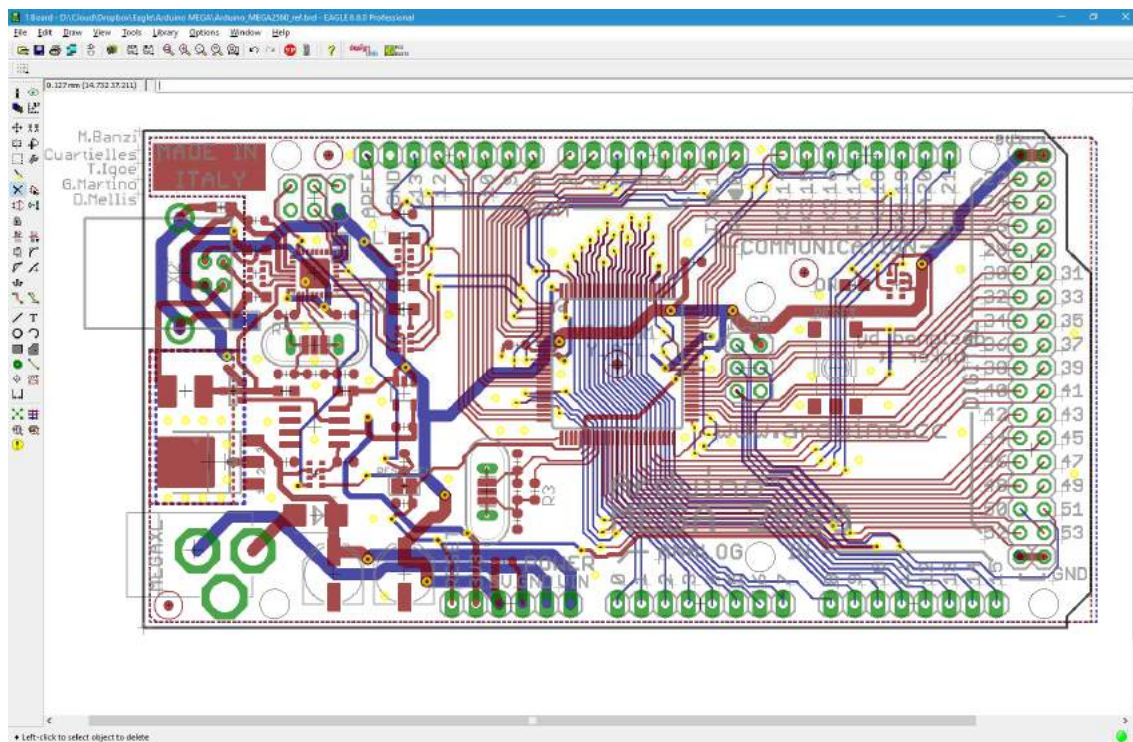
Cadsoft Eagle je komplexní návrhový software k realizaci desek plošných spojů (DPS) [3]. Program má 2 hlavní režimy:

- Schematic – Editor pro vytvoření schématu daného obvodu, viz obr. 1.4.
- Board – Editor pro vytvoření DPS, viz obr. 1.5.

Po návrhu schématu v režimu Schematic je možné DPS navrhovat v režimu Board. Program si sám hlídá, které plošky mají být s kterými propojeny pomocí „vzdušných čar“. Program v režimu Board nedovolí propojení jiných součástek, než které byly v režimu Schematic pospojovány.



Obr. 1.4: Cadsoft Eagle režim Schematic.



Obr. 1.5: Cadsoft Eagle režim Board.

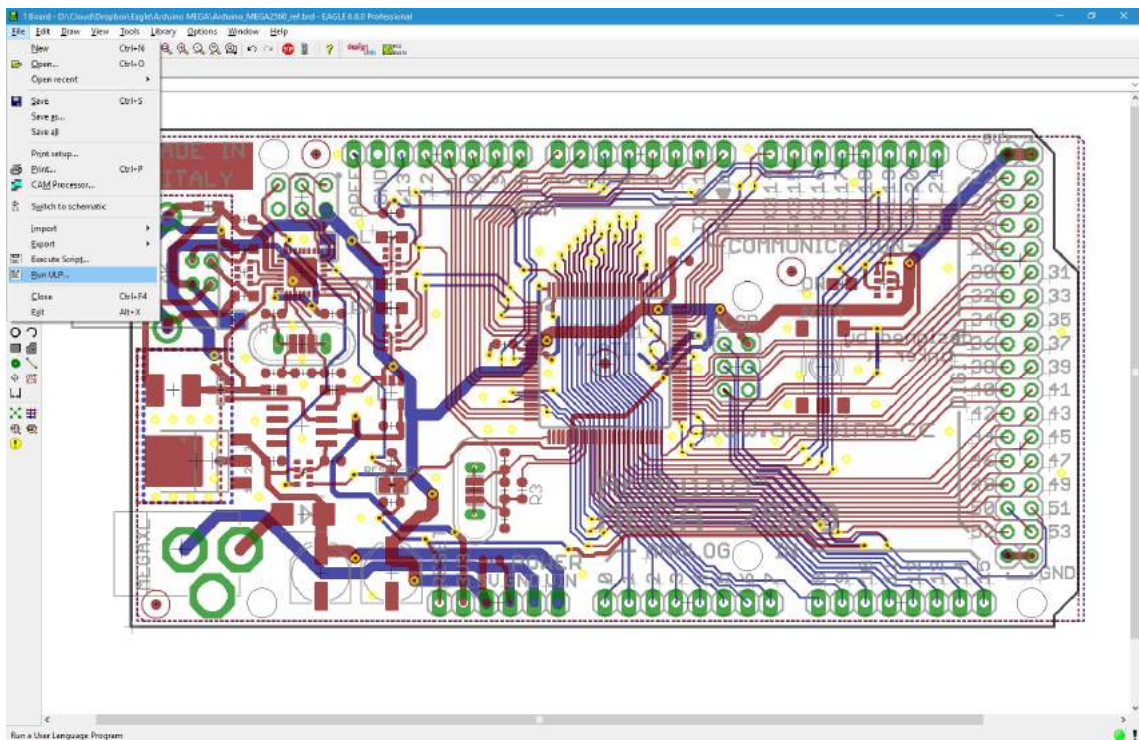
Mezi další užitečné funkce programu patří:

- DRC – Design Rule Check. Modul, který kontroluje rozměry a vzdálenosti vodivých cest, vzdálenosti pájecích plošek a další různé parametry ovlivňující kvalitu navrhovaného obvodu. Je možné importovat předpřipravené soubory firem, které se zabývají výrobou DPS.
- CAM Processor – Modul pro snadný export standardizovaných dat potřebných pro výrobu DPS.

Dále je možné spustit různé skripty měnící rozhraní programu a spuštění ULP, kterým se zabývá tato bakalářská práce.

1.3 ULP

User Language Program (ULP) [1] je programovací jazyk pro návrhový software Cadsoft Eagle. Používá se pro přístup k datovým strukturám Eagle a k vytváření různých výstupních souborů. Nejčastěji se používá k exportu materiálové rozpisky součástek do různých formátů, exportu obrázků DPS nebo k umístění všech součástek do stejného rastru při navrhování. Existují různé ULP, několik se jich nainstaluje společně s Eagle. ULP není samostatně fungující program, je nutné jej spustit přes kontextovou nabídku v Eagle: File – Run ULP, viz obr. 1.6.



Obr. 1.6: Spuštění ULP programu v Cadsoft Eagle.

ULP kód je možné psát přímo v Eagle nebo je možné použít libovolný textový editor. Při

vytváření programu, který je předmětem této bakalářské práce, byl použit volně dostupný program Notepad++ se zvýrazňováním syntaxe ULP, viz obr. 1.7.

```

1  if (!board) {
2      dlgMessageBox( "\n  Start this ULP in a Board  \n" );
3      exit ( 0 );
4  }
5  int packageidswitch = 0;      // 0 - packageid =E.name/E.Package.name ; 1 - packageid = E.package.name
6  int OblongToRound = 0;      // 0 - oblong/offsetoblong = rectangle; 1 - oblong/offsetoblong = round
7  int RoudnessTreshold = 70;  //
8  // real xdim = 0;          // X dimension
9  // real ydim = 0;          // Y dimensions
10 real layerh = 1.5;          // Layer height
11
12 int top = 0;
13 int bot = 0;
14 string Cname[]; string Cpackage[]; string Cpackageid[]; real Cxshift[]; real Cyshift[]; string Cside[]; str:
15 string Ppackageid[]; string Plabel[]; real Fxshift[]; real Fyshift[]; real Prot[]; real Pwidth[]; real Phe:
16 //string Status = "";
17 board( B ) {
18
19     // PACKAGES
20     B.elements( E ) {
21         string BoardPackSide;
22         if ( E.mirror == 0 ) {BoardPackSide = "TOP"; top = 1; }
23         else { BoardPackSide = "BOT"; bot = 1; }
24
25         int pincount = 0;
26         int smd = 0;
27         E.package.contacts( C ){
28             if (C.pad) {pincount = pincount + 1;
29                 smd = 0;
30             }
31         }
32         E.package.contacts( C ){
33             if (C.smd) {pincount = pincount + 1;

```

Obr. 1.7: Textový editor Notepad++ se zvýrazněním syntaxe ULP.

1.4 Java a JavaFX

Java je programovací jazyk vyvíjený firmou Sun Microsystems a založený na principech C a C++. Nejvíce oceňovaná vlastnost tohoto programovacího jazyku je jeho přenositelnost na různé verze operačních systémů. Nezávislost na operačním systému a hardwaru počítače zajišťuje způsob kompilace. Zdrojové kódy programu jsou nejprve předzpracovány do tzv. byte kódu (uložen v .class souborech), který je pro člověka nečitelný a není závislý na konkrétním procesoru. Poté je při spuštění programu tento byte kód rychle převeden na strojový kód daného procesoru. Tuto vlastnost provádí tzv. Java Virtual Machine (dále jen JVM). JVM je virtuální stroj skládající se z části zajišťující vazbu na hardware a z části interpretující byte kód [12].

Grafickou nástavbu Javy zajišťuje softwarová platforma JavaFX, taktéž z dílny Sun Microsystems. Tato softwarová platforma obsahuje mnoho grafických a multimediálních komponent, které umožňují vytvořit výslednou podobu grafické aplikace.[13]

Následuje stručný výpis grafických komponentů JavaFX, které jsou použity v druhé části bakalářské práce:

- Button - tlačítko,
- Label - textový popis,

- RadioButton group - skupina přepínačů,
- TextField - pole pro textový vstup,
- ListView - seznam pro výběr položek,
- CheckBox - zaškrkávací políčko.

1.5 Vstupní soubory pro rentgen

Software rentgenu DPS funguje pouze se specifickými textovými soubory s potřebnými daty. Pro správnou funkci jsou potřeba 2, resp. 3 soubory:

- *ComponentsTop.txt – informace o součástkách na straně TOP.
- *ComponentsBot.txt – informace o součástkách na straně BOT.
- *Pads.txt – informace o ploškách.

1.5.1 Struktura souborů součástek

Pokud je daná DPS oboustranná, jsou vygenerovány 2 soubory. Jeden s informacemi o součástkách na straně TOP, druhý s informacemi o součástkách na straně BOT. Pokud je deska jednostranná, je vygenerován pouze jeden soubor. Ukázka struktury souboru strany BOT je v tab. 1.1.

Tab. 1.1: Struktura souboru součástek.

```
.BOARD_ID: TOP
.UNIT:
# Board dimensions: X size Y size, layer height
.DIMENSIONS: 121.979 56.433 1.500
#RefDes  packageid          X-shift  Y-shift  ROT  PinCount  Side  MountType
ADCH     ADCH/1X08          82.55    2.54     0    8         TOP  THROUGH
ADCL     ADCL/1X08          59.69    2.54     0    8         TOP  THROUGH
C1       C1/C0603-ROUND    27.94    13.335   180   2         TOP  SMD
C2       C2/C0603-ROUND    15.24    17.78    0     2         TOP  SMD
C3       C3/C0603-ROUND    27.94    44.45    0     2         TOP  SMD
C4       C4/C0603-ROUND    38.608   7.112    0     2         TOP  SMD
C5       C5/C0603-ROUND    58.928   39.37    0     2         TOP  SMD
C6       C6/C0603-ROUND    40.045   30.419   180   2         TOP  SMD
C7       C7/C0603-ROUND    27.94    17.78    90    2         TOP  SMD
C8       C8/C0603           15.24    25.4     0     2         TOP  SMD
C9       C9/C0603-ROUND    21.59    33.655   0     2         TOP  SMD
```

Následuje popis jednotlivých vlastností v ukázce struktury:

- .BOARD_ID – Informace o straně, na které se nacházejí součástky v souboru.
- .DIMENSIONS – Rozměry X a Y strany desky v mm, výška vrstvy mědi v mm.

- RefDes – Název dané součástky ve schématu.
- Packageid – Unikátní název nebo název pouzdra (záleží na zvoleném přepínači v ULP), přes které je daná součástka svázána se svými ploškami v souboru *Pads.txt.
- X-shift – Pozice dané součástky na ose X vzhledem k počátku [0, 0].
- Y-shift – Pozice dané součástky na ose Y vzhledem k počátku [0, 0].
- ROT – Rotace dané součástky i s ploškami kolem svého středu proti směru hodinových ručiček. Jednotka rotace jsou stupně [°].
- PinCount – Počet plošek (pájecích bodů) dané součástky.
- Side – Strana, na které se daná součástka nachází (BOT, TOP).
- MountType – Typ dané součástky – SMD nebo THROUGH (drátová).

1.5.2 Struktura souboru se ploškami

V souboru *Pads.txt se nachází informace o ploškách na obou stranách desky.

Tab. 1.2: Struktura souboru plošek.

PackageID	label	X-shift	Y-shift	Rotation	Width	Height	Shape
C1/C0603-ROUND	C1/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C1/C0603-ROUND	C1/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C2/C0603-ROUND	C2/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C2/C0603-ROUND	C2/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C3/C0603-ROUND	C3/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C3/C0603-ROUND	C3/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C4/C0603-ROUND	C4/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C4/C0603-ROUND	C4/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C5/C0603-ROUND	C5/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C5/C0603-ROUND	C5/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C6/C0603-ROUND	C6/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C6/C0603-ROUND	C6/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C7/C0603-ROUND	C7/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C7/C0603-ROUND	C7/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C8/C0603	C8/1	-0.850	0.000	0.0000	1.100	1.000	RECTANGLE
C8/C0603	C8/2	0.850	0.000	0.0000	1.100	1.000	RECTANGLE
C9/C0603-ROUND	C9/1	-0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE
C9/C0603-ROUND	C9/2	0.889	0.000	0.0000	1.100	0.000	RECTANGLE

Následuje popis jednotlivých vlastností v ukázce struktury:

- PackageID – Unikátní název nebo název pouzdra (záleží na zvoleném prepínači v ULP), přes které je daná ploška svázána se svou součástí v souboru *Components*.txt.
- label – Název součástky/číslo dané plošky.
- X-shift – Posunutí po ose X vzhledem ke středu dané součástky. Pokud je číslo záporné, je daná ploška posunutá od středu součástky doleva.
- Y-shift – Posunutí po ose Y vzhledem ke středu dané součástky. Pokud je číslo záporné, je daná ploška posunutá od středu součástky nahoru.
- Rotation – Rotace dané plošky vzhledem k jejímu středu proti směru hodinových ručiček. U všech plošek je rotace 0°, protože rotace plošky je řešena pomocí prohazování výšky a šířky dané plošky. U kulatých plošek nehraje rotace žádnou roli.
- Width – Šířka dané plošky.
- Height – Výška dané plošky. Pokud je ploška kulatá, je výška rovno nule.

- Shape – Tvar dané plošky. RECTANGLE – obdélník/čtverec (záleží na rozměrech), ROUND - kulatá, OBLONG – oválná, OffsetOblong – oblong s posunutým středem, Octagon – lichoběžník.

1.6 Přepočty souřadnic

Software rentgenu potřebuje pro svou správnou funkci souřadnice středu dané součástky od počátku desky a vzdálenost (souřadnice) plošek součástky od jejího středu. Této problematice je věnována tato kapitola.

1.6.1 Přepočet souřadnic součástek

Přímo z Eagle je možné dostat souřadnice součástek ve formátu, s kterým pracuje rentgen. Potřebný je převod na milimetry.

1.6.2 Přepočet souřadnic plošek

Všechny souřadnice plošek v Eagle se vztahují k počátku DPS. S těmito souřadnicemi bohužel neumí pracovat rentgen. Je potřeba přepočítat souřadnice, aby se vztahovaly ke středu dané součástky. Nutný je převod na milimetry. Toto je vyřešeno pomocí následujících vzorců.

$$X' = X_p - X_s \quad (1.1)$$

$$Y' = Y_p - Y_s \quad (1.2)$$

X', Y' ... souřadnice plošky vztažené ke středu dané součástky.

X_p, Y_p ... souřadnice plošky vztažené k počátku DPS.

X_s, Y_s ... souřadnice středu dané součástky.

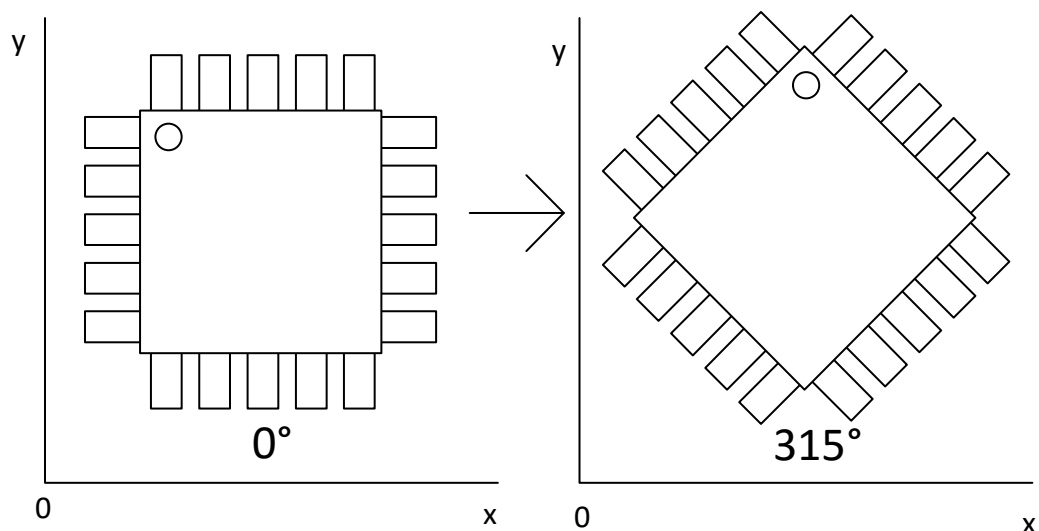
1.7 Principy rotace

V následující části dokumentace je popsána problematika přepočítávání souřadnic a natočení součástek a plošek.

1.7.1 Princip rotace software Xact

Software rentgenu a Eagle chápe rotaci odlišně. Rentgen chápe rotaci následovně:

- X-shift a Y-shift souřadnice plošek v souboru *Pads.txt jsou k nulové rotaci součástky (0°),
- podle údaje „ROT“ (viz tab.1.1) v souboru *Components*.txt následuje rotace součástky i s ploškami kolem svého středu proti směru hodinových ručiček,
- následuje rotace jednotlivých plošek podle údaje „Rotation“ (viz tab. 1.2) v souboru *Pads.txt kolem středu plošky proti směru hodinových ručiček.



Obr. 1.8: Princip rotace součástky a plošek – rentgen.

1.7.2 Princip rotace Eagle

V návrhovém software Eagle je možné zjistit následující parametry:

- souřadnice plošek X a Y již natočené součástky,
- rotace, o kolik je daná součástka s ploškami otočená oproti své nulové pozici (0°) proti směru hodinových ručiček,
- rotace, o kolik je daná ploška otočená vůči středu součástky.

Jelikož z Eagle nelze přímo dostat souřadnice a informace důležité pro funkci rentgenu, je nutné dané souřadnice a rotaci přepočítat. Pro přepočet souřadnic plošek do nulové pozice jsou použity následující vzorce [2]:

$$X' = \cos(\Phi) * X + \sin(\Phi) * Y \quad (1.3)$$

$$Y' = -\sin(\Phi) * X + \cos(\Phi) * Y \quad (1.4)$$

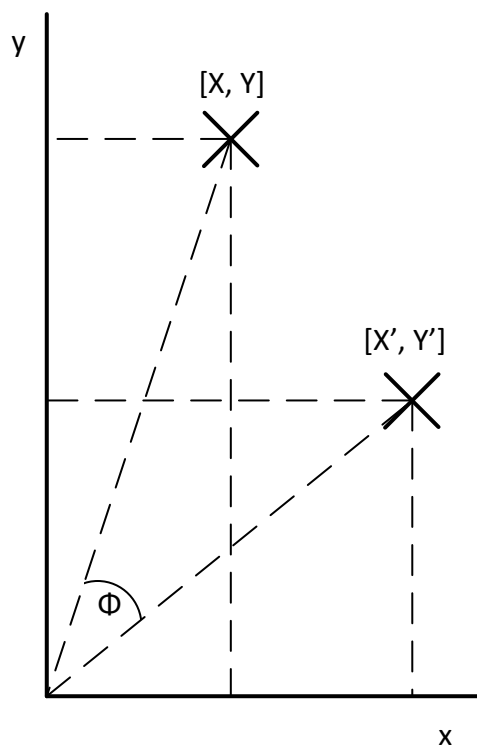
X' ... souřadnice X s rotací 0°.

Y' ... souřadnice Y s rotací 0°.

X ... souřadnice X s rotací Φ .

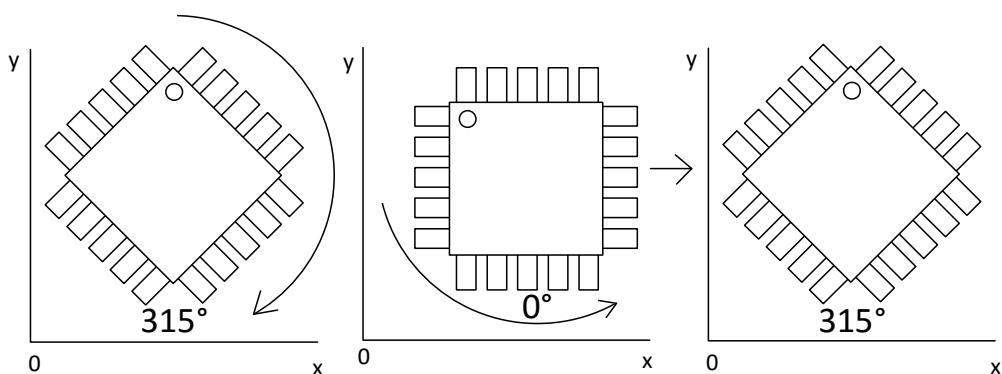
Y ... souřadnice Y s rotací Φ .

Φ ... úhel natočení mezi bodem $[X, Y]$ a bodem $[X', Y']$.



Obr. 1.9: Princip přepočtu souřadnic do nulové rotace.

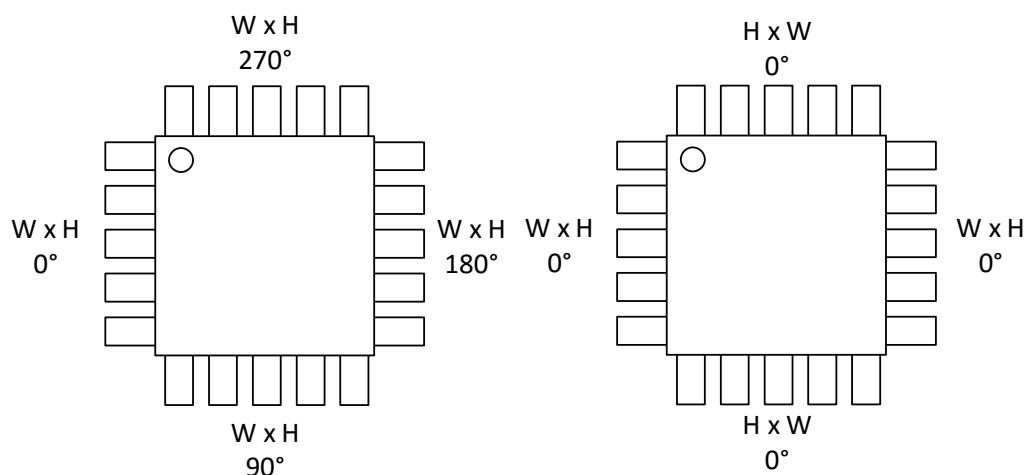
Souřadnice dané plošky součástky je přepočítána do nulové pozice a poté otočena proti směru hodinových ručiček pomocí informace ROT v souboru *Components*.txt. Princip rotace je znázorněn na obr. 1.10.



Obr. 1.10: Princip přepočtu součástky a plošek.

1.7.3 Rotace plošek dané součástky

V návrhovém software Eagle se můžou vyskytnout 2 možnosti rotace plošky – záleží, jak byla daná ploška nakreslena.



Obr. 1.11: Možnosti zadání rozměrů a rotace plošek v knihovně Eagle.

W... šířka plošky.

H ... výška plošky.

V knihovně Eagle se můžou vyskytnout součástky s ploškami, kde jsou zadány rozměry $W \times H$ a jsou rotovány podle polohy vůči středu, viz obr. 1.11. vlevo. Druhá možnost je, že všechny plošky mají úhel rotace vůči středu roven nule a podle polohy vůči středu jsou prohozeny rozměry $W \times H$ za $H \times W$, viz obr. 1.11. vpravo.

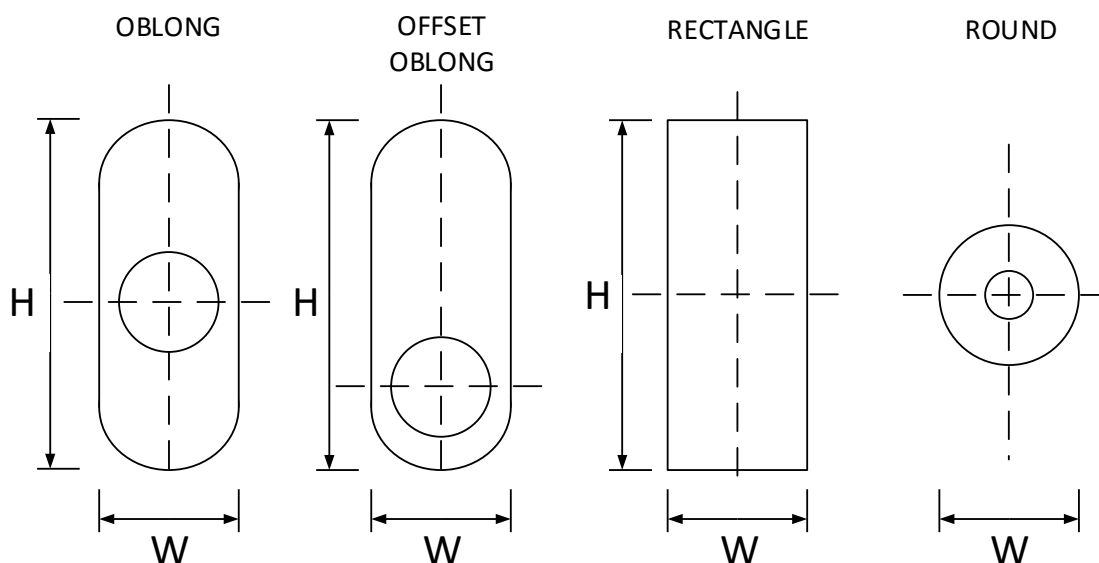
V ULP je vždy rozpoznána varianta rozměrů plošek a poté předělána do formy $W \times H$ nebo $H \times W$, záleží podle pozice vůči středu.

1.7.4 Transformace plošek

ULP zpracovává různé typy plošek součástek. Rentgen umí pracovat pouze s obdélníkovými nebo kulatými ploškami, které rozeznává následovně:

- Obdélník/čtverec – v souboru *Pads.txt zadány rozměry „Width“ (šířka) a „Height“ (výška).
- Kulaté – v souboru *Pads.txt zadána pouze šířky, výška je tedy 0.

Eagle rozeznává různé druhy plošek, jak je vidět na obrázku 1.12.



Obr. 1.12: Plošky rozeznávané programem Eagle.

Tvary plošek je tedy nutno transformovat. Na začátku ULP je možno zvolit, zda se mají plošky typu Oblong transformovat na Rectangle (obdélník/čtverec) nebo Round (kulaté). K tomuto slouží přepínač OblongToRound. Více v kapitole řešení.

1.7.5 Transformace čtvercových plošek na kulaté

Některé plošky jsou v Eagle zakulacené. Hodnotu zakulacení určuje parametr Roudness u každé plošky. Hodnota 100 znamená úplně kulatá ploška, naopak 0 znamená ostré hrany. ULP umožňuje tyto plošky transformovat od určité hodnoty na kulaté. K tomuto slouží proměnná RoudnessTreshold na začátku ULP. Více v kapitole řešení.

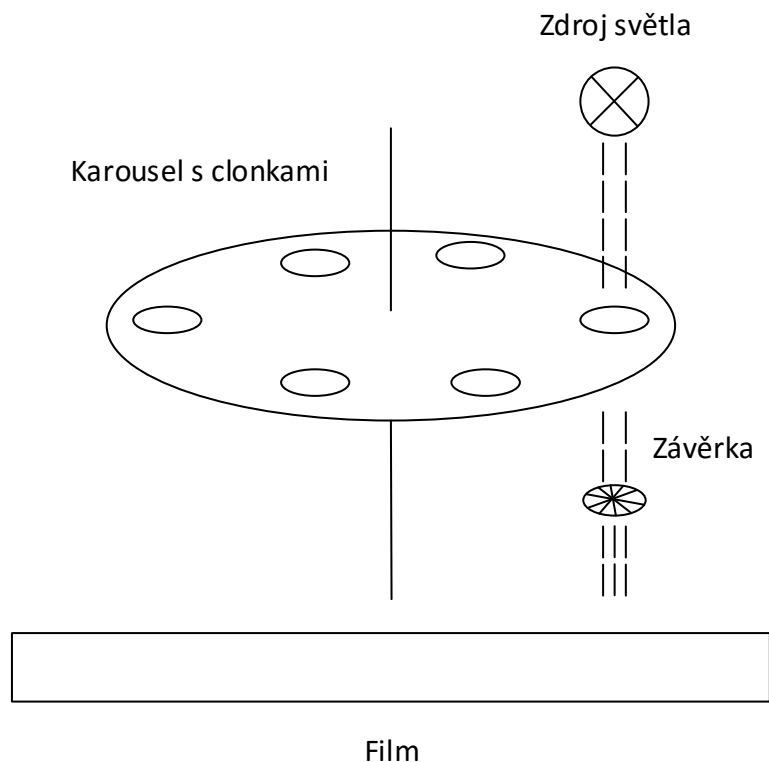
1.8 Gerber formát

Gerber formát je nejstarší a dodnes nejrozšířenější formát pro přenos návrhu plošných spojů do výroby. Původní formát RS-274-D nebyl určen pro automatickou výrobu, protože ke svému použití potřeboval celou řadu pomocných informací, které byly dodávány odděleně. Také měl limitovaný počet použitých clonek (24). Ačkoliv měl mnoho omezení, ve své době plně dostačoval, protože byly tehdejší desky v porovnání s dnešními velmi jednoduché (několik tvarů pájecích plošek a plošných spojů).

Dnes se nejčastěji používá formát RS-274-X, který je modifikací původního formátu. Formát obsahuje v jednom souboru všechna data potřebná pro automatickou výrobu. Správce Gerber formátu je belgická firma UCAMCO [5].

1.8.1 Princip původního fotoplotru

K lepšímu porozumění Gerber formátu je nutné vysvětlit princip původní výroby DPS pomocí fotoplotrů. Zařízení se skládalo z otočného karouselu (kotouč s vyraženými clonkami – tvary objektů), zdroje světla, závěrky a světlo citlivého filmu, viz obr. 1.13 [6].



Obr. 1.13: Princip funkce fotoplotru.

Na karouselu se vybrala clonka s tvarem požadovaného objektu. Clonka se prosvítala zdrojem světla a podle typu objektu se otevřela závěrka. Pokud byl objekt ploška, došlo

pouze ke krátkému osvětlení filmu. Pokud byl objekt cesta, závěrka se otevřela na delší dobu a s filmem se pohybovalo podle tvaru požadované cesty.

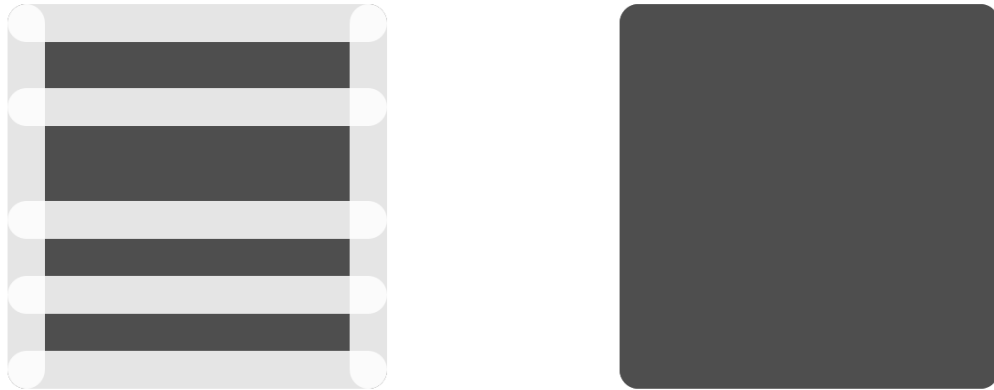
1.8.2 Zápis Gerber dat

V následující tabulce 1.3. je zobrazena zjednodušená struktura Gerber souboru formátu RS-274-X DPS Arduino MEGA [15].

Tab. 1.3: Zjednodušený zápis Gerber.

	Vysvětlení daného řádku	
%MOIN*%	definice jednotek	jednotka inch (palce)
%OFA0B0*%		
%FSLAX24Y24*%	definice des. čísel	2 čísla před a 4 za desetinnou čárkou
%AMOC8*	definice makra	
5,1,8,0,0,1.08239X\$1,22.5*	definice makra	5 – polygon, 1 – expozice on,
%		8 – vrcholy, 0,0 – střed, 1,08 - poloměr
%ADD10C,0.1300*%	definice objektu 10	kruh poloměr 0.13
%ADD11C,0.0640*%	definice objektu 11	kruh poloměr 0.064
%ADD12R,0.0060X0.0720*%	definice objektu 12	obdélník 0.006 x 0.0720
...		
D10*	vykreslení objektu 10	
X010538Y001150D03*	kód D03	bliknutí na daných souřadnicích
X031038Y003150D03*	kód D03	bliknutí na daných souřadnicích
D11*	vykreslení objektu 11	
X011238Y018850D03*	kód D03	bliknutí na daných souřadnicích
X012238Y018850D03*	kód D03	bliknutí na daných souřadnicích
D12*	vykreslení objektu 12	
X041038Y001450D02*	kód D02	přechod na souřadnice s otevřenou uzávěrkou
X041038Y000850D01*	kód D01	přechod na souřadnice se zavřenou uzávěrkou
X040038Y000850D02*	kód D02	přechod na souřadnice s otevřenou uzávěrkou
X040038Y000850D01*	kód D01	přechod na souřadnice se zavřenou uzávěrkou

Z tabulky 1.3. je patrné, že jednoduché tvary, jako je kruh, jsou vytvářeny pomocí krátkého otevření uzávěrky (bliknutí) na požadovaných souřadnicích. Tvary, jako jsou obdélníky nebo čtverce, jsou vykreslovány pomocí čar. Složitější tvary jsou pak složeny z jednotlivých tvarů pomocí maker. Pro lepší pochopení následují 2 ilustrace.



Obr. 1.14: Ukázka vykreslení čtvercové plošky.

Jak vykresluje Gerber formát pravoúhlé objekty po čarách lze vidět na obr. 1.14. vlevo. Toto ale není pravidlem, někdy se stane, že je v datech přímo definován obdélník/čtverec bez vykreslení po čarách. Díky tomuto nelze jednoduše v datech jednoznačně identifikovat takto vykreslené. Taktéž některé kulaté plošky jsou navrhnuty tak, aby byl vytvořen překrytím jednotlivých objektů požadovaný kruh, viz obr. 1.15. Výsledný kruh se skládá z několika menších kruhů.



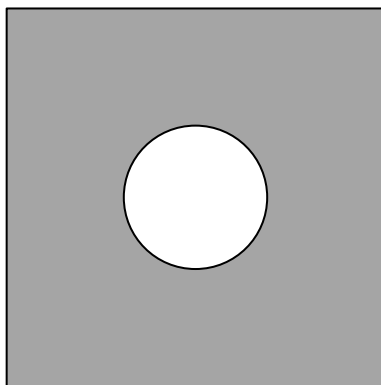
Obr. 1.15: Ukázka vykreslení kulaté plošky.

Na těchto příkladech jde vidět o jak starý formát se jedná. Z Gerber dat se nedá jednoznačně poznat, o jaký objekt se jedná. Gerber data mohou obsahovat až 989 různých clonek (D10 – D999 kódů, tvarů) [5]. Pokud by se daný tvar nevyskytoval mezi předem definovanými clonkami, je daný tvar definován pomocí makra. O tomto v následující kapitole.

1.8.3 Definice makra

Makra v Gerber formátu umožňují definovat jakoukoliv nestandardní tvar, který se nenachází mezi clonkami. Definice makra se nachází mezi prvními řádky souboru a začíná písmeny AM, viz tab. 1.3 5. řádek. Makrem se dá definovat jakýkoliv tvar. Následuje popis nejčastěji používaných definic [15]. Makra mohou být pojmenovaná jakkoliv, důležité je vždy první číslo označující tvar objektu.

Je nutné definovat, co znamená expozice v následujících tabulkách. Pokud je expozice zapnutá, dojde k vytvoření pájecí plošky. Pokud je expozice vypnutá, dojde k vymazání plošky, která byla dříve vytvořena. Objekt s vypnutou expozicí vytvoří díru v dříve vytvořeném objektu. Na obrázku 1.16 se nachází příklad, kdy byla vytvořena ploška čtvercového tvaru se zapnutou expozicí a následně na stejném místě byl vytvořen kruh s vypnutou expozicí.



Obr. 1.16: Ukázka zapnuté expozice v makru.

Také všechny makra obsahují parametr rotace. Rotace se zadává ve stupních a probíhá vždy kolem středového bodu.

Jednotlivé parametry jsou odděleny čárkami. Pokud je nutné použít desetinné číslo, použije se tečka.

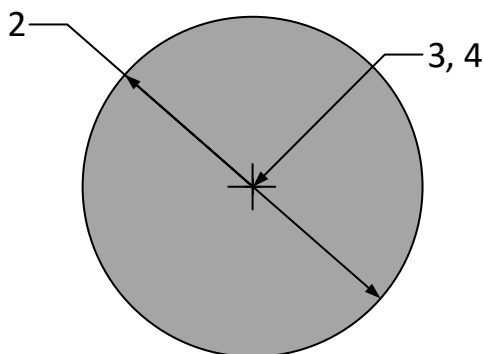
Kruh

Pokud je v projektu použit rozměr kruhu, který se nenachází mezi clonkami, je definován jako makro. Kruh je definován středovým bodem a průměrem. Jednička na prvním místě znamená, že se jedná o kruh.

Zápis: %AMCIRCLE*
 1,1,1.5,0,0,0*%

Tab. 1.4: Definice makra kruhu.

Pořadí čísla v zápisu	Definice čísla
1	definice kruhu
2	expozice, 1=on, 0=off
3	průměr
4	X souřadnice středu
5	Y souřadnice středu
6	Úhel rotace



Obr. 1.17: Příklad makra kruh.

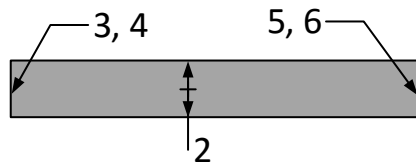
Jednoduchá čára

Pokud je v projektu použita čára, který má rozměr jiný než clonka, je taktéž použito makro. Jednoduchá čára je vlastně obdélník definovaný šířkou, začátečními a koncovými souřadnicemi. Konce čáry nejsou nijak zaoblené. Číslo 20 na prvním místě identifikuje čáru.

Zápis: %AMLIN*
 20,1,0.9,0,0.45,12,0.45,0*%

Tab. 1.5: Definice makra čáry.

Pořadí čísla v zápisu	Definice čísla
1	definice čáry
2	expozice, 1=on, 0=off
3	šířka čáry
4	X souřadnice začátečního bodu
5	Y souřadnice začátečního bodu
6	X souřadnice koncového bodu
7	Y souřadnice koncového bodu
8	úhel rotace čáry



Obr. 1.18: Příklad makra čáry.

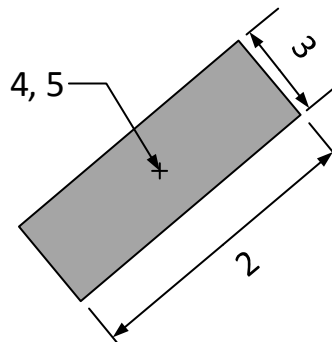
Obdélník

Obdélník je čára definovaná šířkou, výškou a středovým bodem. Číslo 21 na prvním místě zápisu identifikuje, že se jedná o makro ve tvaru obdélníku.

Zápis: %AMRECTANGLE*
 21,1,6.8,1.2,3.4,0.6,30*%

Tab. 1.6: Definice makra obdélníku.

Pořadí čísla v zápisu	Definice čísla
1	definice obdélníku
2	expozice, 1=on, 0=off
3	šířka obdélníku
4	výška obdélníku
5	X souřadnice středu
6	Y souřadnice středu
7	úhel rotace čáry



Obr. 1.19: Příklad makra obdélníku.

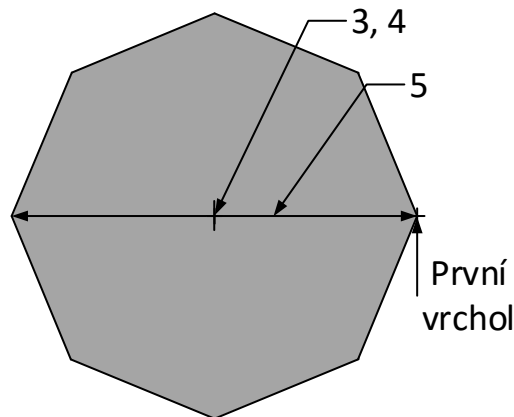
Mnohoúhelník

Mnohoúhelník je objekt definovaný počtem vrcholů, středovým bodem a průměrem vnějšího rohu ke středu. Číslo 5 na prvním místě zápisu identifikuje, že se jedná o makro ve tvaru mnohoúhelníku.

Zápis: %AMPOLYGON*
 5,1,8,0,0,8,0*%

Tab. 1.7: Definice makra mnohoúhelníku.

Pořadí čísla v zápisu	Definice čísla
1	definice mnohoúhelníku
2	expozice, 1=on, 0=off
3	počet vrcholů
4	X souřadnice středu
5	Y souřadnice středu
6	průměr vnějšího rohu ke středu
7	úhel rotace mnohoúhelníku



Obr. 1.20: Příklad makra mnohoúhelníku.

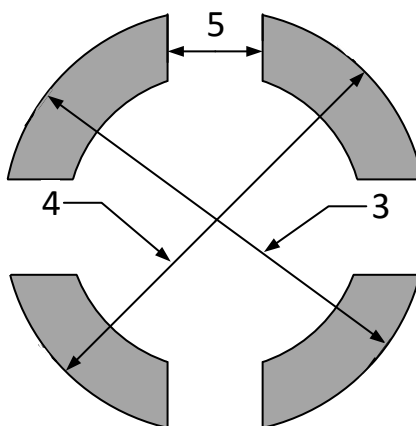
Teplotní ploška

Číslo 7 na prvním místě zápisu identifikuje, že se jedná o makro ve tvaru mnohoúhelníku. Objekt je tvaru prstenu, který je přerušen čtyřmi mezerami. Tato ploška se používá většinou pro lepší rozvedení teploty po DPS.

Zápis: %AMTHERMAL*
 7,0,0,5,3,6,0*%

Tab. 1.8: Definice makra teplotní plošky.

Pořadí čísla v zápisu	Definice čísla
1	definice termální plošky
2	X souřadnice středu
3	Y souřadnice středu
4	venkovní průměr
5	vnitřní průměr
6	šířka mezery, musí být menší než 4.č *√2
7	úhel rotace mnohoúhelníku



Obr. 1.21: Příklad makra teplotní plošky.

Takto definované objekty nelze v zápisu Gerber souboru jednoznačně identifikovat. Musela být proto zvolena alternativa v podobě ODB++ formátu.

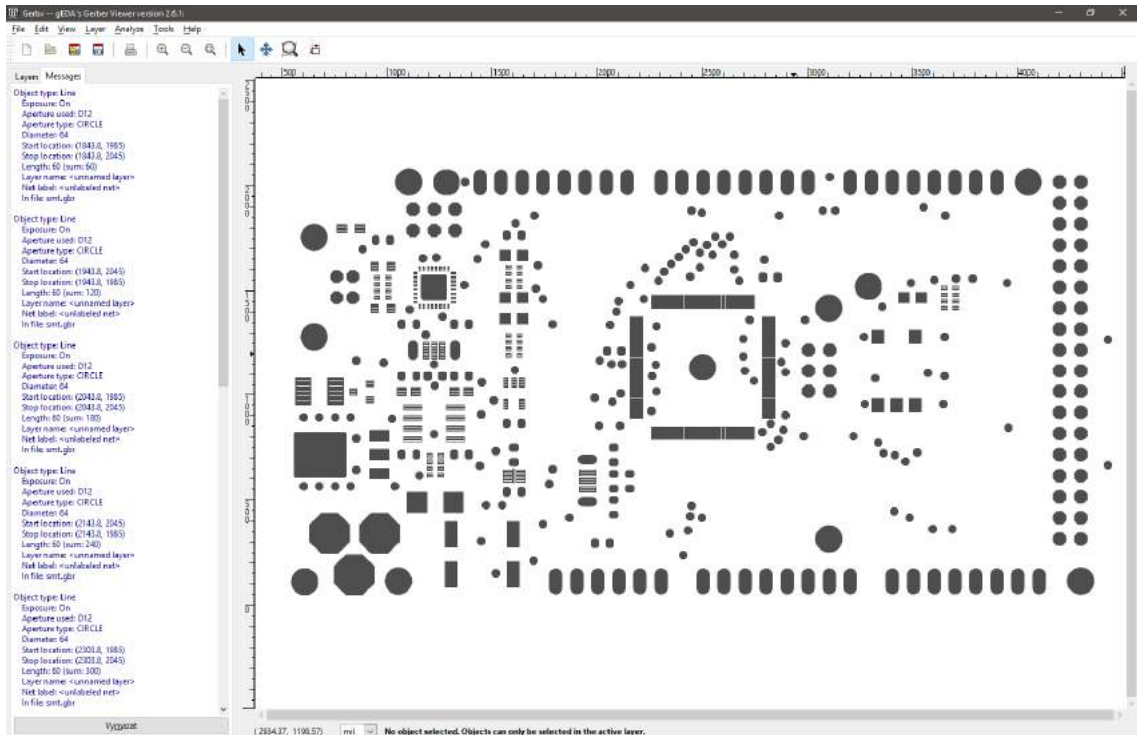
1.8.4 Programy pro zobrazení Gerber formátu

V zadání bakalářské práce bylo předpokládání s využitím nějakého zobrazovacího programu pro Gerber formát a jeho následné upravení pro potřeby rentgenového zařízení. Naprogramovat vlastní prohlížeč program by bylo příliš složité a dalece by přesahovalo zadání bakalářské práce.

Existuje celá řada programů pro zobrazení Gerber formátu, žádná ale neobsahuje požadované funkce v podobě možnosti jednoznačně určit, o jaký tvar pájecí plošky se jedná. Ve výběru se nachází Opensource nebo Freeware programy, které mohli posloužit pro export Gerber dat do formátu, potřebného pro rentgen. Ostatní programy jsou komerční nebo se jedná pouze o obyčejnou prohlížečku bez zveřejněných zdrojových kódů.

gerbv - A Free/Open Source Gerber Viewer

Jedná se o volně šiřitelný multiplatformní zobrazovací program se zveřejněnými zdrojovými kódy. Na webových stránkách programu se nachází popis knihoven použitých v programu [7].



Obr. 1.22: Zobrazovací program gerbv.

V tomto programu je možné zobrazit informace o požadovaných ploškách (sloupec vlevo). Pokud je ploška natočená, informaci nezobrazí žádnou. Pokud je ploška makro, zobrazí pouze střed, viz tab. 1.10.

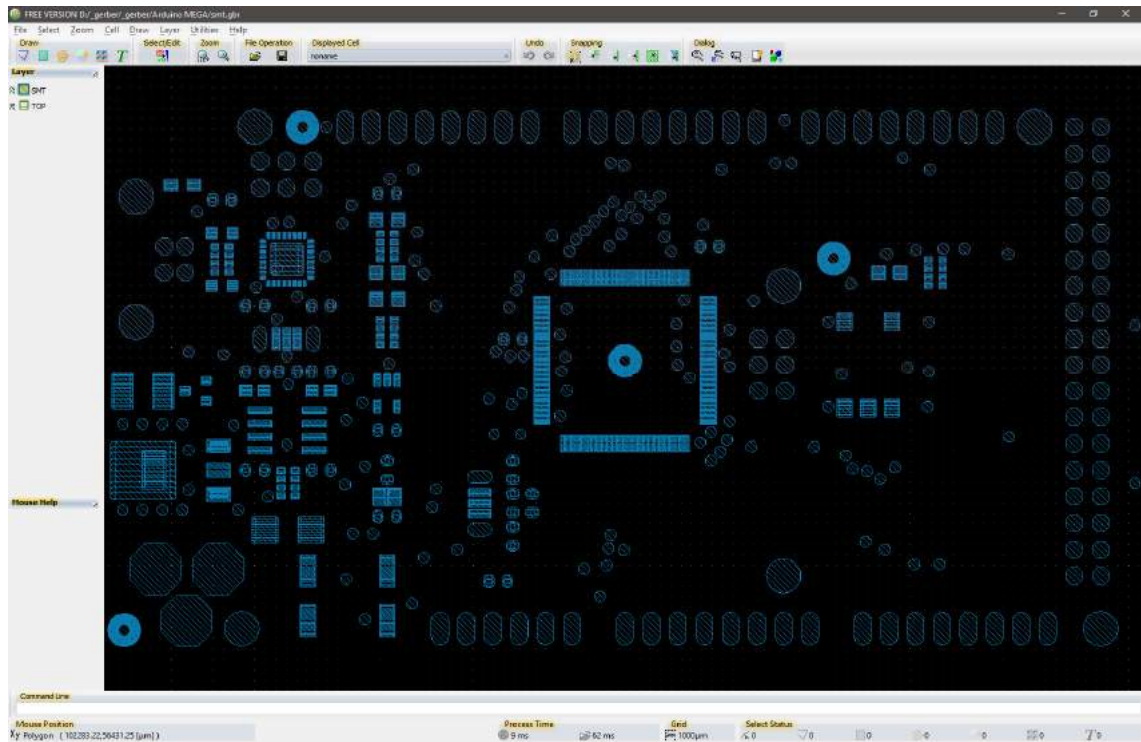
Tab. 1.9: Tabulka objektů gerbv.

<p>Object type: Flashed aperture Aperture used: D13 Aperture type: MACRO Location: (2715.9, 2991.8) Layer name: <unnamed layer> Net label: <unlabeled net> In file: smt.gbr</p>	Makro
<p>Object type: Polygon</p>	Natočený obdélník
<p>Object type: Flashed aperture Aperture used: D10 Aperture type: RECTANGLE Dimensions: 34x88 Location: (553.7, 2175.4) Layer name: <unnamed layer> Net label: <unlabeled net> In file: smt.gbr</p>	Obdélník
<p>Object type: Line Exposure: On Aperture used: D24 Aperture type: CIRCLE Diameter: 5.2 Start location: (2529.8, 1417.1) Stop location: (2517.2, 1417.1) Length: 12.6 (sum: 12.6) Layer name: <unnamed layer> Net label: <unlabeled net> In file: smt.gbr</p> <p>Object type: Line Exposure: On Aperture used: D24 Aperture type: CIRCLE Diameter: 5.2 Start location: (2517.2, 1417.1) Stop location: (2517.2, 1474.9) Length: 57.8 (sum: 70.4) Layer name: <unnamed layer> Net label: <unlabeled net> In file: smt.gbr</p> <p>...</p> <p>...</p> <p>...</p>	Obdélník vykreslený po čarách

Gerbv by se nejspíše dal opravit pro export dat pro rentgen díky zveřejněným zdrojovým kódům. Vývojář bohužel nekomunikoval a vzhledem ke složitosti zdrojových kódů jsem musel tuto možnost vynechat.

The LayoutEditor

Program, který se distribuuje i jako freeware verze Jeho freeware verze funguje pouze s menšími projekty, tj. do 500 objektů (plošek) [8].

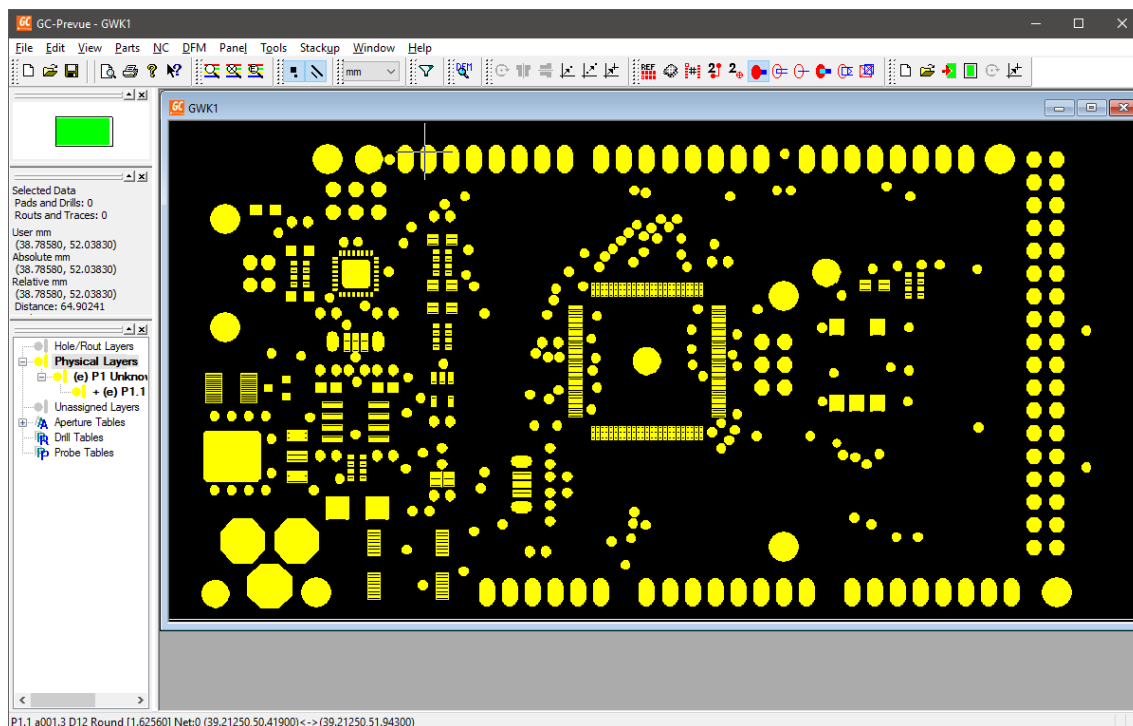


Obr. 1.23: Zobrazovací program The LayoutEditor.

LayoutEditor podporuje tvorbu maker v programovacím jazyku C++ nebo Python. Přes makra je možno přistupovat k jednotlivým objektům (ploškám), které se jeví jako pole bodů okolo obrysu objektu. Tato skutečnost ubírá na přesnosti, která je pro rentgen vyžadována.

GraphiCode-Prevue

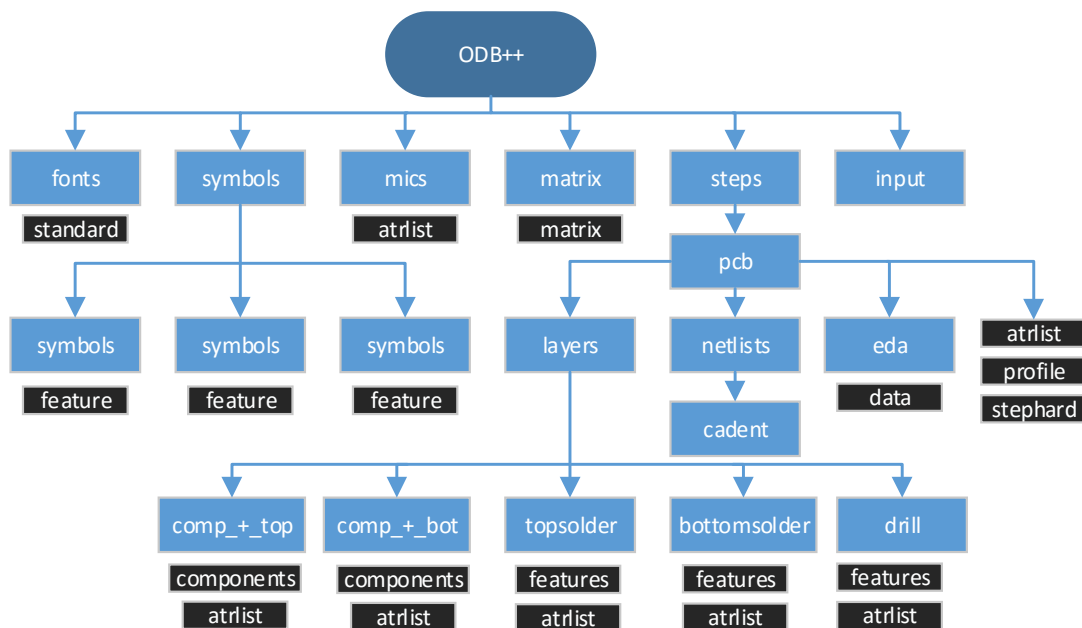
Jedná se o rozšířený program, který ve své základní verzi funguje pouze jako prohlížeč. Vyšší verze podporují spouštění uživatelských skriptů. Obsáhlejší verze se jmenuje PowerStation a její cena začíná na 600\$. Výrobce nedistribuuje vyšší verzi jako demo, proto nebyla možnost skriptování vyzkoušet v praxi a tento program nebyl pro práci použit [14].



Obr. 1.24: Zobrazovací program GC-Prevue.

1.9 ODB++ formát

Z důvodu složitosti a nesourodosti Gerber formátu byl se souhlasem vedoucího zvolen ODB++ formát. ODB++ je moderní alternativa ke Gerber formátu. ODB++ spravuje firma Mentor Graphics. Tento formát podporuje většina používaných programů pro návrh dps, jako je OrCAD PCB Solutions nebo Altium Designer. Ve své adresářové struktuře obsahuje všechny informace potřebné pro výrobu a osazování DPS. Všechna data jsou v ASCII čitelné podobě [10]. Adresářová struktura formátu je znázorněna na obr. 1.25. Modré obdélníky jsou adresáře, tmavší jsou soubory.



Obr. 1.25: Základní adresářová struktura ODB++.

V této práci jsou použité informace ze souboru matrix (složka \matrix) a jednotlivé vrstvy (složka steps\pcb\layers) pro zpracování informací o součástkách a pájecích ploškách.

1.9.1 Jednotky v ODB++

Jednotky souřadnic a rozměrů jsou uvedené v záhlaví daného souboru. Pokud uvedené nejsou, výchozí jednotky jsou inch (palce), pro rozměry plošek platí jednotka mil (milli-inch – mili palce). Pokud jsou jako jednotky uvedené mm, platí pouze pro souřadnice, pro rozměry plošek jsou použity μm (mikrometry) [11].

1.9.2 Popis adresářové struktury

Následuje popis použitých vrstev při realizaci převodníku ODB++ na CAD data [11]. Níže popsané soubory nesou informace o součástkách a všech pájecích ploškách.

Soubor matrix

Všechny důležité informace o adresářích a použitelných vrstvách se nachází v souboru \matrix\matrix, viz tab 1.5.

Tab. 1.5: Struktura souboru matrix.

```

STEP {
  COL=1
  NAME=PCB           jméno adresáře v adresáři steps
}

LAYER {
  ROW=1
  CONTEXT=BOARD
  TYPE=COMPONENT   typ vrstvy component
  NAME=COMP+_TOP   název vrstvy
  POLARITY=POSITIVE
  START_NAME=
  END_NAME=
  OLD_NAME=
}
...
LAYER {
  ROW=4
  CONTEXT=BOARD
  TYPE=SOLDER_MASK   typ vrstvy solder_mask
  NAME=TOPSOLDER   název vrstvy
  POLARITY=POSITIVE
  START_NAME=
  END_NAME=
  OLD_NAME=
}
...

```

Soubor nese informace o všech dostupných vrstvách, potřebných pro výrobu DPS a automatické osazování součástek. Pro tuto práci je důležité vrstvy **COMP+_***, které obsahují informace o součástkách a vrstvy ***SOLDER** obsahující informace o ploškách. Všechny informace jsou v ASCII čitelné formě.

Soubor components

Soubor se nachází ve složce \steps\pcb\layers\comp+_* (top nebo bot). Obsahuje informace o všech součástkách na dané straně DPS. Zjednodušená struktura souboru je znázorněna v tab. 1.12.

Tab. 1.10: Struktura souboru components.

# CMP 0	součástka index 0
CMP 5 3.118104 1.795272 90 N C131 10uF_10V ;0=1,1=0.0000	informace o součástce
TOP 0 3.118104 1.8346421 90 N 4 45 C131-1	informace o plošce
TOP 1 3.118104 1.755902 90 N 291 310 C131-2	informace o plošce
#	další součástka
# CMP 1	součástka index 1
CMP 18 2.875707 3.138667 0 N TP1 GND ;0=2,1=0.3543	informace o součástce
TOP 0 2.8757073 3.1386674 0 N 291 125 TP1-1	informace o plošce
...	

Všechny důležité informace jsou tučně:

- **3.118104 1.795272** - souřadnice X a Y součástky,
- **C131, TP1** - název součástky,
- **3.118104 1.8346421** - souřadnice 1. plošky součástky,
- **3.118104 1.755902** - souřadnice 2. plošky součástky.

Soubor features ve složce *solder

Soubor se nachází ve složce \steps\pcb\layers*solder (top nebo bot). Obsahuje informace o všech ploškách na dané straně DPS. Zjednodušená struktura se nachází v tab. 1.13.

Tab. 1.11: Struktura souboru features.

#Layer_Color=8388736	
#	
#Feature symbol names	
#	
\$0 rect251.9686x251.9686	typ plošky 0 - obdélník 251.. x 251..
\$1 r22.685	typ plošky 1 - kruh průměr 22.685
\$2 rect22.685x58.1181	typ plošky 2 – obdélník 22... x 58...
...	
P 0.1299211 4.3267717 0 P 0 0	souřadnice a typ plošky
P 1.0314958 1.0236219 3 P 0 0 ;0=2,1=0	souřadnice a typ plošky
P 1.0314958 1.062992 3 P 0 0 ;0=2,1=0	souřadnice a typ plošky
P 1.0314958 1.1023621 4 P 0 0 ;0=2,1=0	souřadnice a typ plošky
P 1.110236 1.6535435 3 P 0 0 ;0=2,1=0	souřadnice a typ plošky
...	

Na začátku souboru jsou za symbolem \$ definovány indexy, typ plošky (definice jednotlivých tvarů se nachází v kapitole 1.9.2) a šířka a výška plošky (v případě kruhu pouze poloměr). Na řádcích začínající písmenem P (Pad – ploška) se nachází umístění plošky a typ (index výše) dané plošky. Může se vyskytnout i řádek začínající písmenem L, který obsahuje souřadnice cest na desce. Tento řádek není pro tento projekt podstatný.

1.9.3 Tvary plošek

V souborech plošek se mohou objevit následující typy objektů:

- Kruh r <poloměr>,
- Čtverec s <délka strany>,
- Obdélník rect <šířka> x <výška>,
- Zaoblený obdélník rect <šířka> x <výška> xt <zaoblení> x <rohy>,
- Ovál oval <šířka> x <výška>.

1.9.4 Definice maker

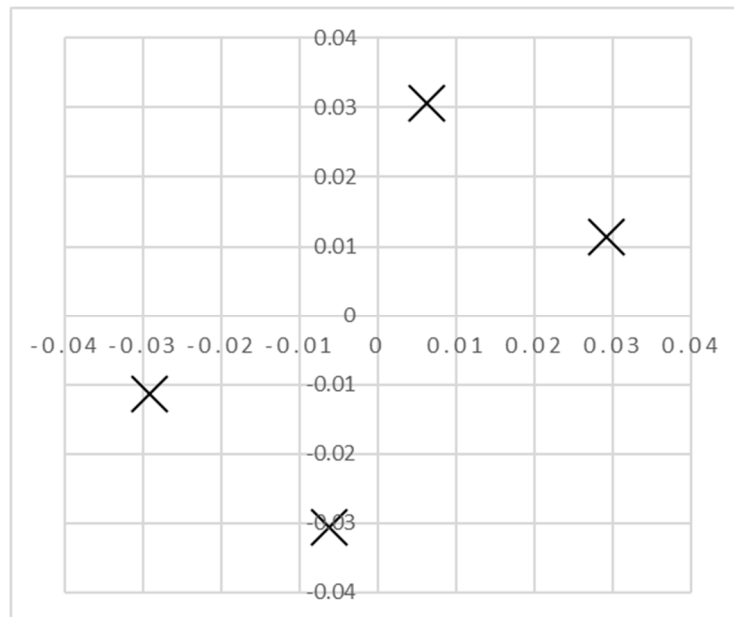
Pokud se je potřeba použít nestandardní plošku, je použito makro. Specifikace se nachází v souboru \symbols\nazev_plosky\features. Její název je specifikovaný mezi ostatními typy plošek v souboru \steps\layers*solder\features, jako ostatní standardizované plošky, viz tab 1.14.

Tab. 1.12: Ukázka nestandardní plošky.

UNITS=INCH	definice jednotek
ID=1532	
#	
#Num Features	
#	
F 1	
#	
#Layer features	
#	
S P 0;;ID=1534	
OB -0.029169980315 -0.011419980315	
OS 0.006190059055 0.03071003937	1. roh obdélníku vzhledem k [0,0]
OS 0.02917007874 0.011419980315	2. roh obdélníku vzhledem k [0,0]
OS -0.00618996063 -0.030709940945	3. roh obdélníku vzhledem k [0,0]
OS -0.029169980315 -0.011419980315	4. roh obdélníku vzhledem k [0,0]
OE	
SE	

Tučně zvýrazněné informace jsou souřadnice rohů vzhledem k počátku [0, 0]. Následující

graf na obrázku 1.26 zobrazuje vrcholy natočené obdélníkové plošky definované v tab. 1.14. Takto může být vykreslen jakýkoliv objekt.



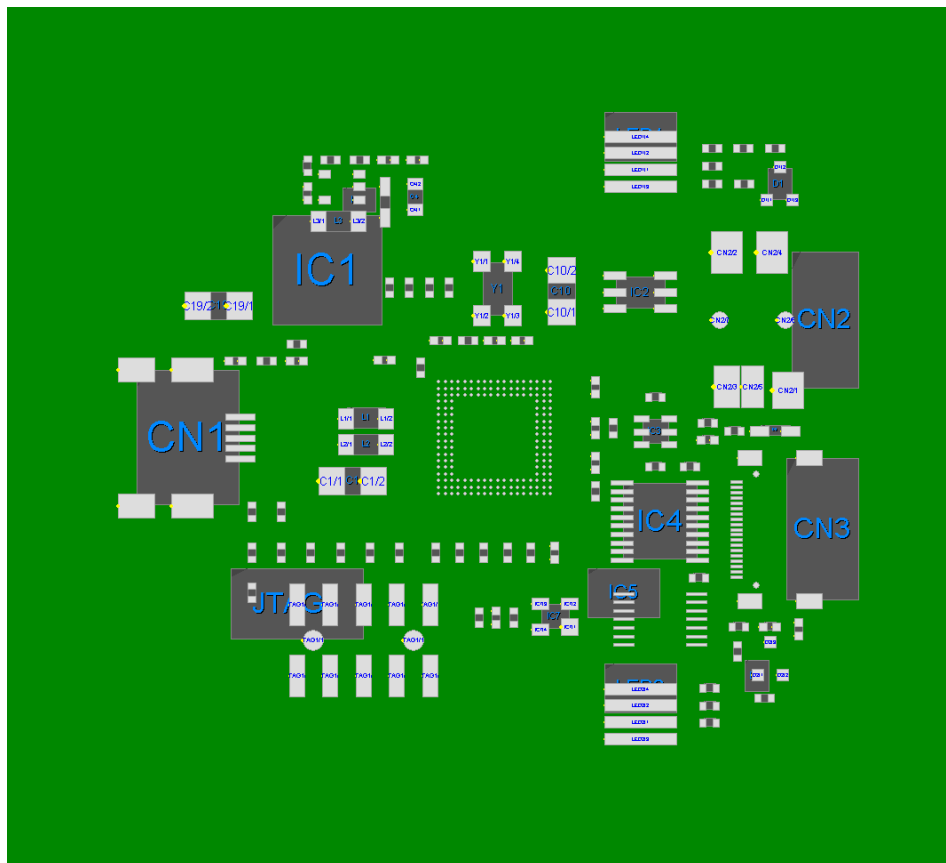
Obr. 1.26: Graf popisující makro nestandardní plošky.

Nestandardní plošky se nejčastěji vyskytují v DPS editoru OrCAD PCB designer. Někdy nemusí jít ani o natočené plošky.

Tento typ plošek se nejčastěji pojmenován například `smd70_35`. Díky tomu se dá přímo z názvu vyčíst, jaké má ploška rozměry. Kvůli komplikovanosti takto vykreslených plošek se nedá jednoznačně poznat, jak je daná ploška natočena.

1.9.5 Střední součástek

Ve většině návrhových programů pro tvorbu DPS mají součástky svůj vlastní střed, který také slouží jako souřadnice při automatickém osazování součástek. Tyto středy leží vždy někde uvnitř pouzdra součástky, nejčastěji v jejím středu. Nicméně některé DPS editory (nebo špatně navržené součástky v knihovnách) nedodržují toto pravidlo a středy jsou mimo součástku. Tato vlastnost se často vyskytuje v programu Altium Designer. Na obrázku 1.27 se nachází součástky DPS Developer Tool DT01, ukázkové desky po importu CAD dat do software rentgenu Phoenix Xact. Některé pouzdra součástek se nachází mimo své plošky, především IC1, IC5 a většina konektorů. Tato chyba je ale čistě vizuální záležitost, souřadnice pájecích plošek jsou na správném místě.



Obr. 1.27: Ukázková deska Developer tool DT01.

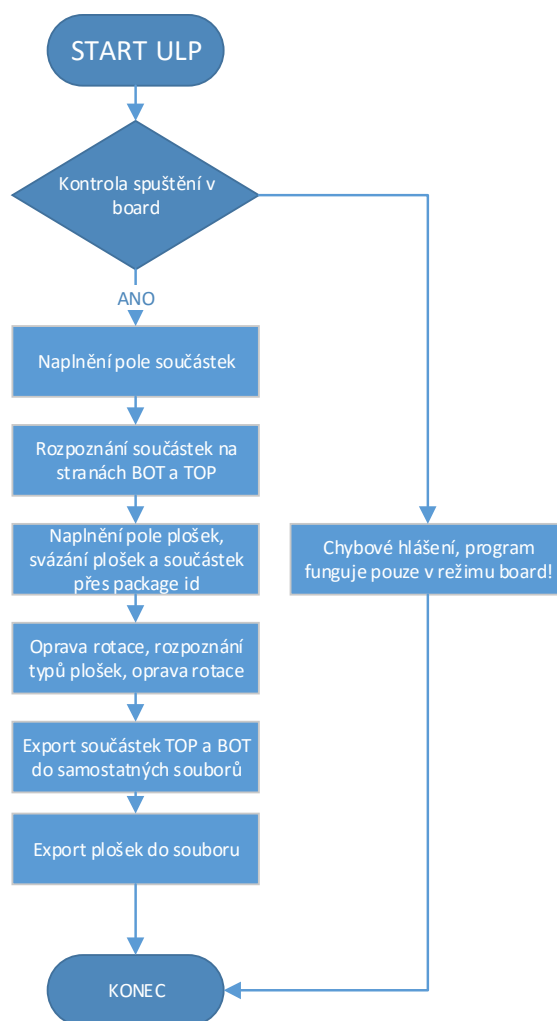
2 ŘEŠENÍ

V první kapitole je popsána realizace programu v programovacím jazyce ULP pro program Cadsoft Eagle. V druhé kapitole je popsána realizace programu ODB++ Converter, který získá požadovaná CAD data z ODB++ formátu. Pro lepší vysvětlení problematiky byly využity vývojové diagramy. Do samotných zdrojových kódů možno nahlédnout v příloze.

2.1 ULP

2.1.1 Obecný popis řešení

Program zpracovává elementy na DPS pomocí různých podmínek. Pro snadnější pochopení je uvedena základní struktura na vývojovém diagramu.

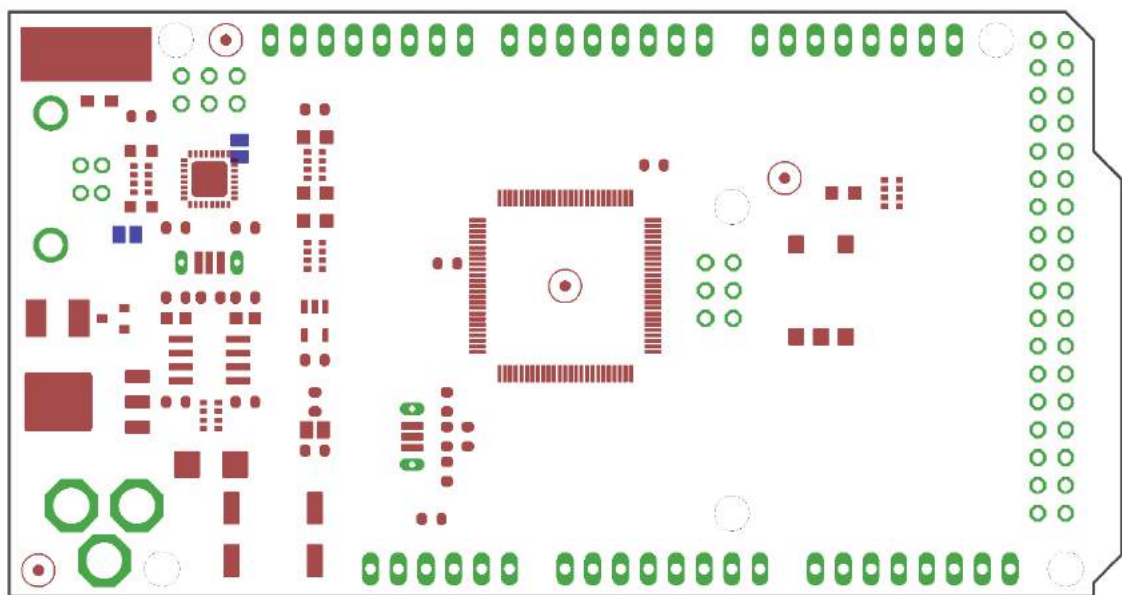


Obr. 2.1: Základní princip fungování ULP.

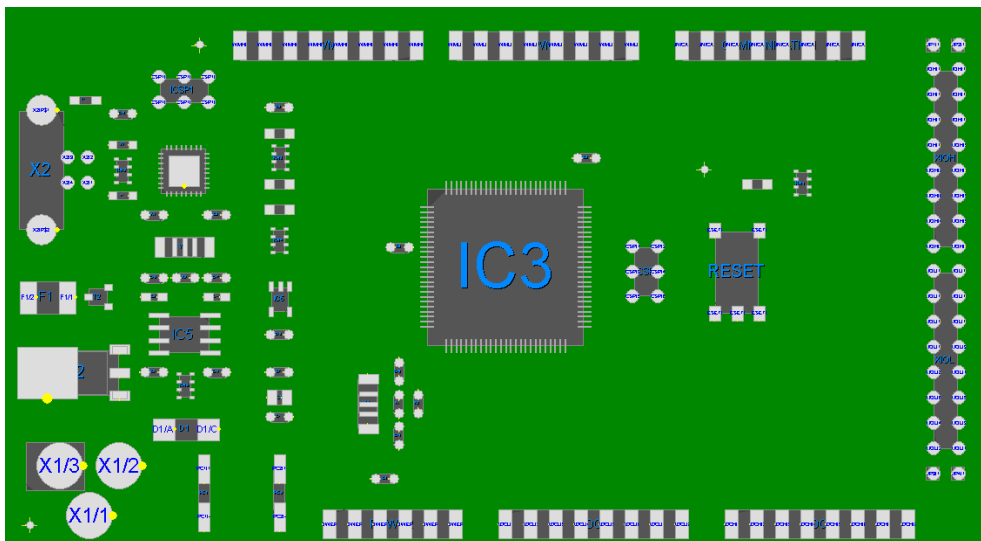
Po spuštění ULP zkontroluje, zda bylo spuštěno v režimu Board, pokud ne, vypíše chybu a ukončí se. V případě spuštění v režimu Board proběhne rozpoznání a naplnění pole součástek, naplnění a rozpoznání pole s ploškami, oprava rotace a export do souborů. O tomto v dalších kapitolách řešení.

2.1.2 Parametry ovlivňující ULP

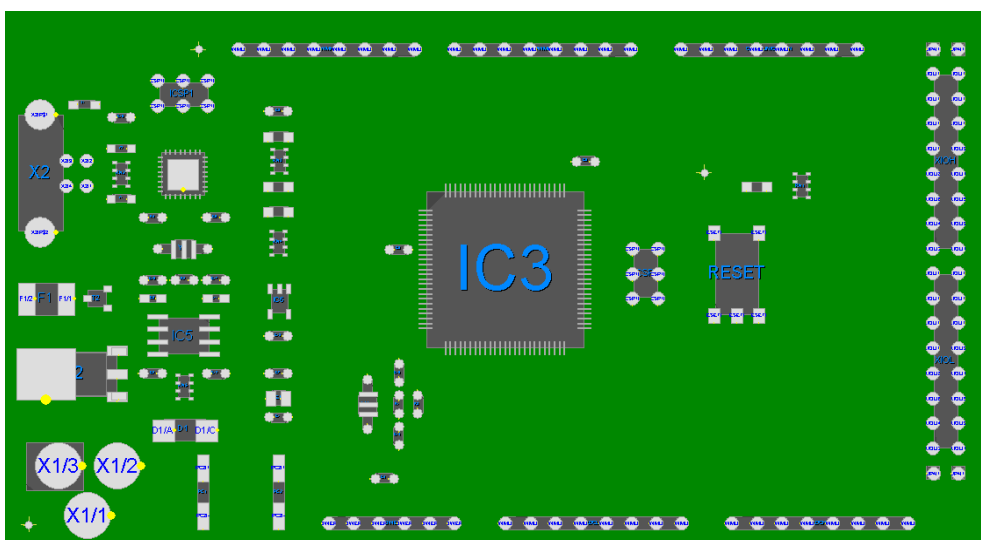
Na začátku ULP je možno zvolit 3 parametry ovlivňující chování programu. Na následujících obrázcích je vidět transformace plošek Oblong na Rectangle (obr. 2.3) a na Round (obr. 2.4). Dále je přiložen obr. 2.1 pro srovnání, jak dané plošky vypadaly v Eagle před transformací.



Obr. 2.2: Ukázka plošek DPS z Eagle.



Obr. 2.3: Ukázka převodu plošek Oblong na Rectangle.



Obr. 2.4: Ukázka převodu plošek Oblong na Round.

PackageIDSwitch

Jedná se o parametr ovlivňující fungování názvu „packageid“, přes který je součástka ze souboru *Components*.txt svázána se svými ploškami v souboru *Pads.txt.

```
int PackageIDSwitch = 0;
```

Pokud se parametr rovná 0, jako „packageid“ je zvolen formát názevSoučástky/pouzdroSoučástky. Naopak pokud se parametr rovná 1, jako „packageid“ je zvoleno pouze pouzdroSoučástky, viz příklad:

PackageIDSwitch = 0: packageid = IC1/SOT223.

PackageIDSwitch = 1: packageid = SOT223.

RoudnessTreshold

Jedná se o parametr určující, od které hodnoty jsou dané SMD plošky považované za kulaté, viz příklad:

```
int RoudnessTreshold = 70;
```

Součástky s parametrem Roudness ≥ 70 jsou transformované na kulaté. Ve sloupci Shape zůstává název tvaru, jaký byl před transformací.

OblongToRound

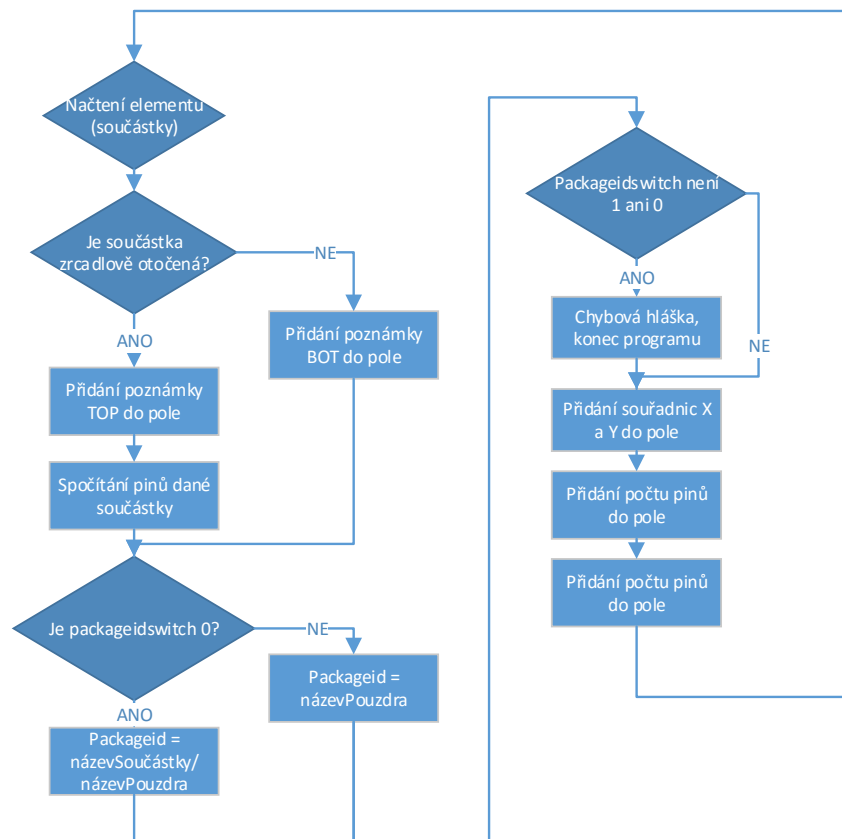
Parametr určující, zda se plošky Oblong (oválné) transformují na obdélníkové, nebo kulaté. Opět zůstává poznámka ve sloupci Shape, jaký měla ploška tvar před transformací.

```
int OblongToRound = 0;
```

Pokud je parametr roven nula, plošky Oblong se transformují na obdélníkové. Pokud je parametr roven 1, plošky Oblong se transformují na kulaté.

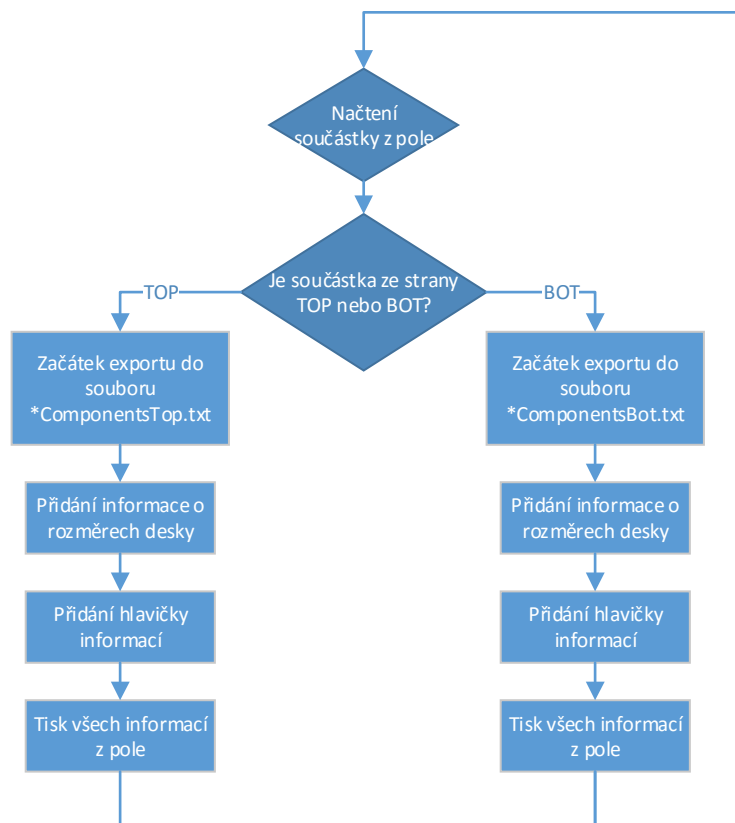
2.1.3 Zpracování součástek

Na následujícím obrázku 2.5 je znázorněno, jak probíhá zpracování součástek.



Obr. 2.5: Zpracování součástek do pole.

Parametry načtené součástky jsou postupně procházeny. Pokud je zrcadlově otočena, nachází se na straně TOP, pokud ne, nachází se na straně BOT. V této části programu se uplatňuje vliv přepínače PackageIDSwitch. Součástky jsou postupně zpracovány a zapsány do pole. Průběh zobrazení a exportu součástek do souboru je znázorněn na obrázku 2.6.



Obr. 2.6: Zobrazení a export součástek do souboru.

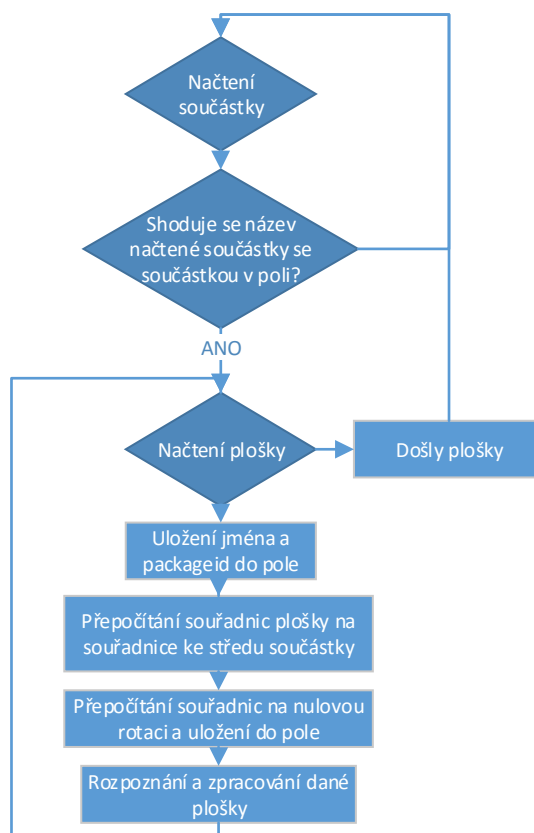
Po naplnění pole součástkami dojde k jeho projití a postupnému exportu všech informací o dané součástce.

2.1.4 Zpracování plošek

Následuje problematika zpracování plošek. Rentgen rozpoznává pouze 2 typy součástek – Round (kulaté) a Rectangle (obdélník/čtverec). ULP je pro toto uzpůsobeno. Ve zpracování plošek se uplatňují parametry OblongToRound a RoudnessTreshold popsané výše. Rozlišování plošek je poměrně komplikované, proto byl celý proces pro větší přehlednost rozdělen do více vývojových diagramů.

V prvním kroku je načtena součástka, která je porovnána pomocí názvu s názvem součástky v poli součástek. Poté je načtena první ploška dané součástky. Ploška je svázána se svou součástkou pomocí packageid. V dalším kroku je přepočítána souřadnice plošky pomocí vzorců 1.1 a 1.2. Dále jsou souřadnice plošky přepočítány ke své nulové rotaci pomocí vzorců 1.3 a 1.4. Je rozpoznán tvar plošky a následuje načtení další plošky.

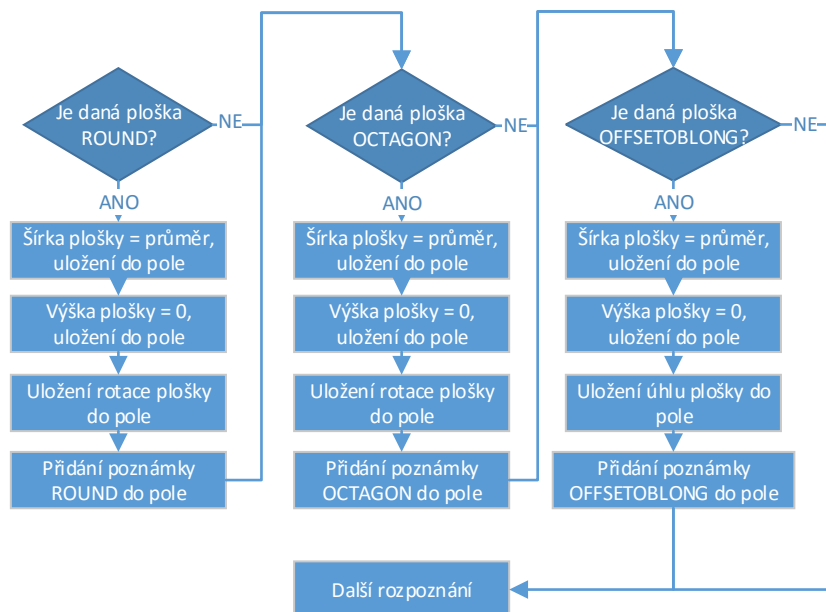
Pokud cyklem projde poslední ploška dané součástky, je načtena další součástka a celý proces se opakuje, viz obr. 2.7.



Obr. 2.7: Obecný diagram popisující zpracování plošek.

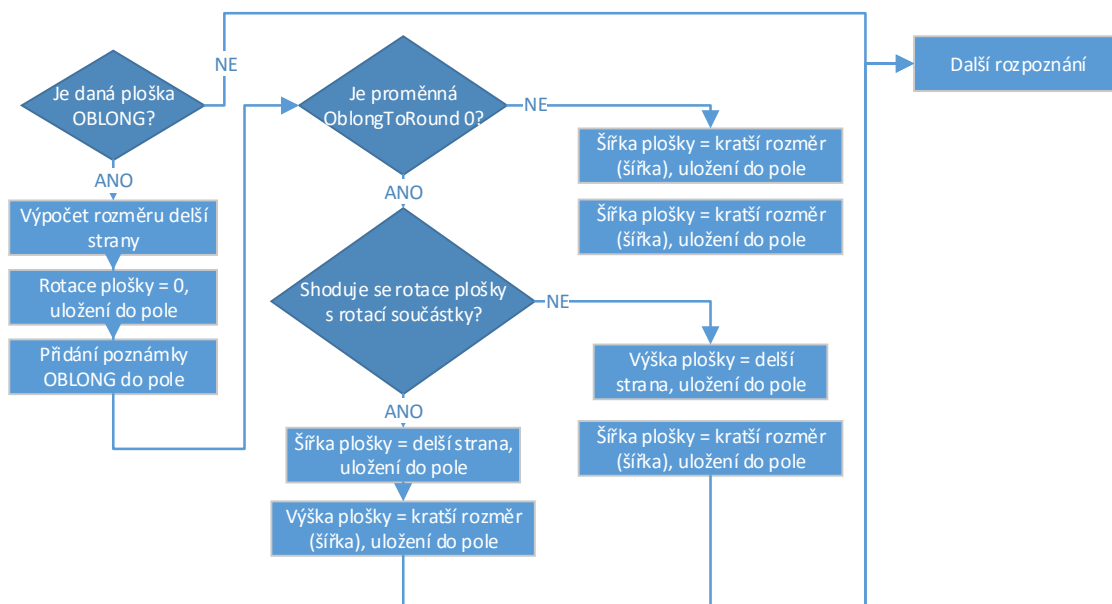
Rozpoznání tvarů plošek

Rozpoznávání plošek typu Round, Octagon a OffsetOblong probíhá stejně. U všech je zjištěna šířka resp. průměr a zapsána do pole do sloupce Width (šířka). Height (Výška) zůstává u všech rovna nula. Takto je zajištěno, že všechny tyto typy plošek jsou rentgenem rozpoznány jako kulaté. Vývojové diagramy jsou pro vyšší přehlednost rozděleny na části. Samotný velký diagram je k nahlédnutí v příloze B.



Obr. 2.8: Rozpoznávání plošek Round, Octagon a OffsetOblong.

Rozpoznávání plošek typu Oblong je závislé na stavu přepínače OblongToRound, viz obr. 2.9.

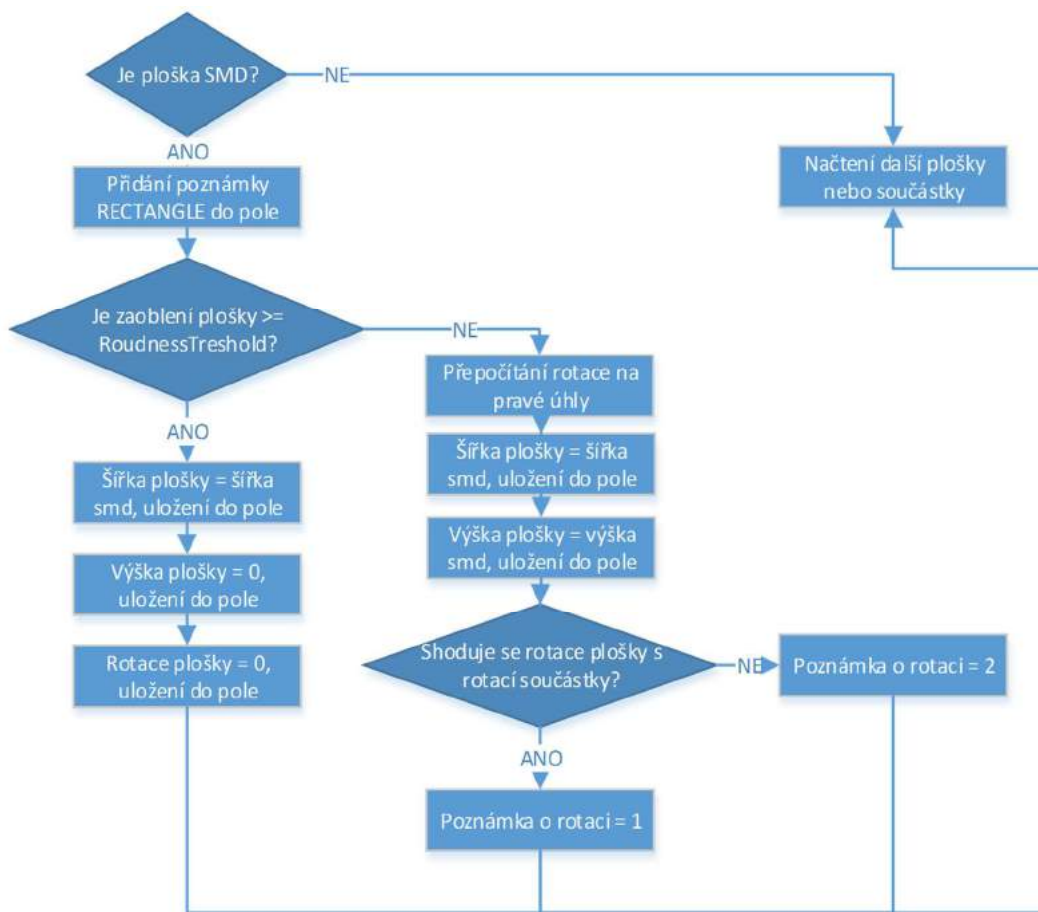


Obr. 2.9: Rozpoznávání plošek typu Oblong.

U plošek typu Oblong je možné z Eagle vyčíst pouze šířku kratší strany (průměr) a o kolik procent (celé číslo, 0 až 100) je delší strana (výška) delší než šířka kratší strany. Proto je potřeba vypočítat délka delší strany pomocí následujícího vzorce:

$$výška = šířka * \frac{prodloužení}{100} * šířka \quad (2.1)$$

Rozpoznání posledního typu plošek je znázorněno na obr. 2.10. V tomto typu plošky se uplatňuje parametr RoudnessTreshold. Plošky, které mají parametr Roudness \geq RoudnessTreshold jsou transformovány na Round. Ostatní plošky jsou zapsány do pole jako obdélník nebo čtverec. V Eagle se vyskytují 2 typy součástek, viz. teorie. Kvůli tomuto problému se porovnává rotace plošky a součástky a podle rotace se zapíše do pole poznámka o rotaci. Tato poznámka je dále využita pro opravu rotace plošek.



Obr. 2.10: Rozpoznání plošek typu SMD.

2.1.5 Oprava rotace plošek

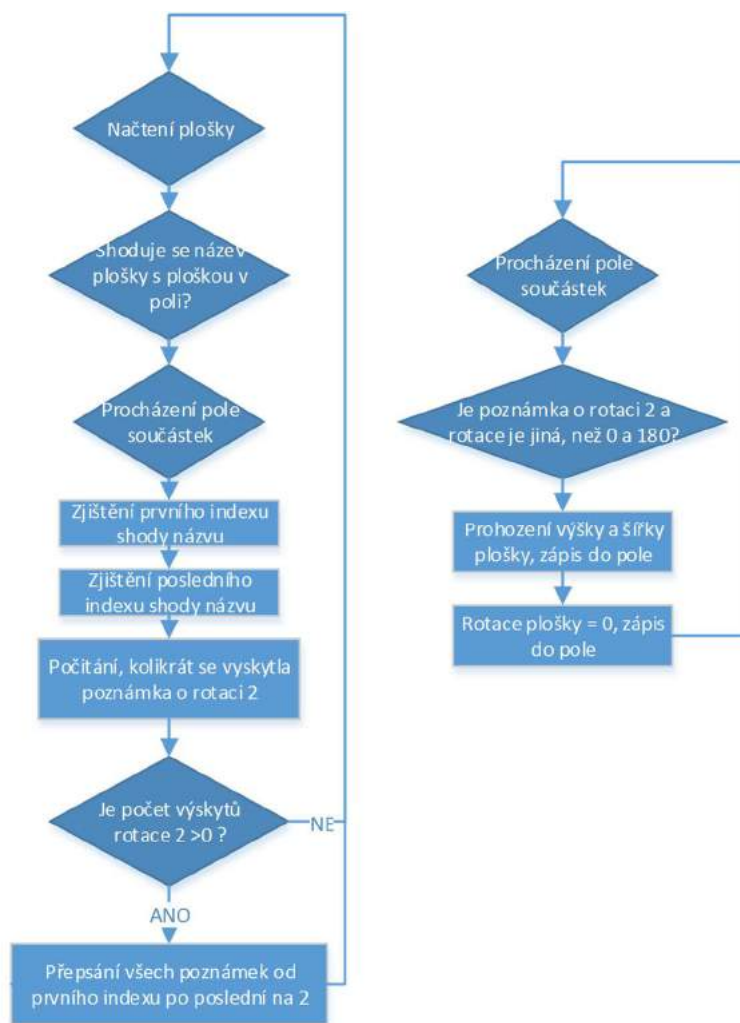
Jelikož se v knihovnách Eagle nachází 2 typy řešení rotace plošek, je nutné provést opravu rotace. U plošek typu SMD je parametr rotace důležitý, ostatní plošky mohou mít rotaci libovolnou. Při rozpoznání SMD plošek je do pole přidána poznámka o rotaci, viz. obr. 2.10.(1 – rotace plošky se shoduje s rotací plošky, 2 – rotace se neshoduje).

Pokud se rotace shoduje, znamená to, že je rotace plošky řešená jako prohazování Výšky

x Šířky. Pokud se rotace neshoduje, rotace je řešena pomocí úhlu natočení vzhledem středu součástky. Tyto 2 typy řešení rotace je nutné sjednotit, viz obr. 2.11.

Proběhne načtení plošky a porovnání plošky s názvem poli. Proběhne nalezení prvního a posledního indexu pole, na kterém se plošky jedné součástky nachází a spočte se, kolikrát se vyskytuje poznámka o rotaci 2. Pokud je mezi indexy první a poslední plošky výskyt poznámky 2, všechny poznámky jsou přepsány na 2. Pokud není nalezena poznámka 2 ani jedna, přejde se k dalším ploškám.

Po projití celého pole se projde ještě jednou. Pokud se na daném indexu pole nachází poznámka o rotaci 2 a samotná rotace je jiná než 0° a 180° , prohodí se výška plošky za šířku a rotace plošky se přepíše na 0° . Takto se projde celé pole a dojde ke korekci rotace všech SMD plošek na formát, se kterým si software rentgenu rozumí.



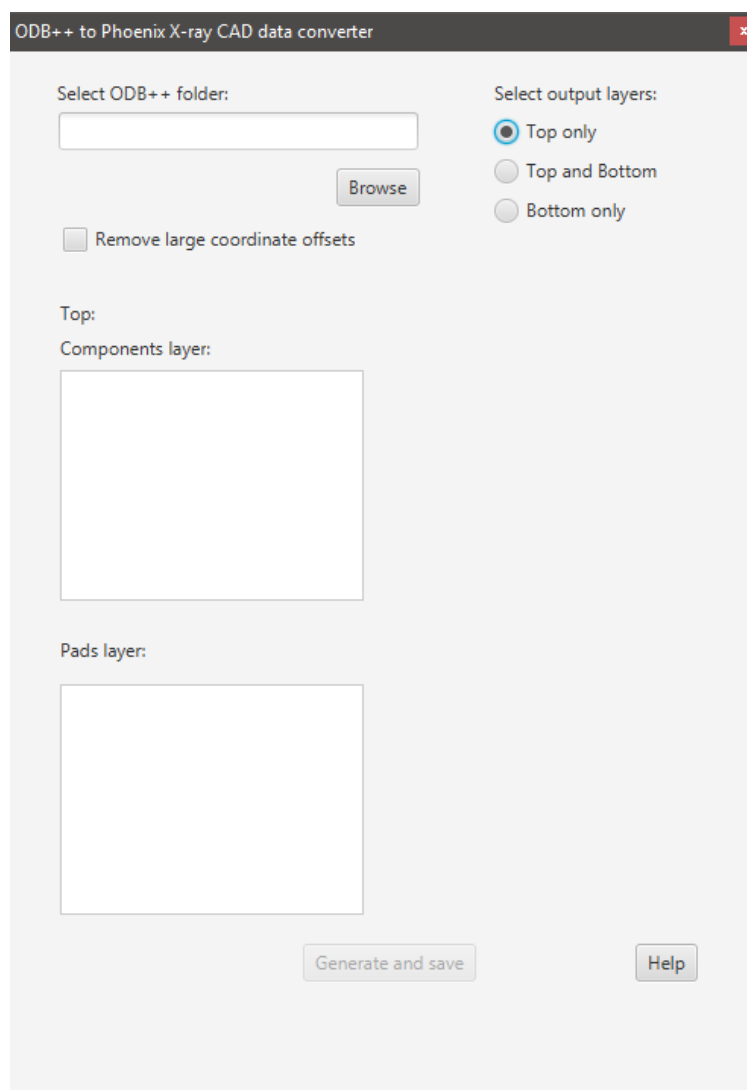
Obr. 2.11: Oprava rotace SMD plošek.

2.2 Převodník ODB++ na CAD data rentgenu

Z důvodu nesourodosti Gerber formátu, popsaných v teoretické části práce, byl se souhlasem vedoucího bakalářské práce zvolen moderní formát pro výrobu DPS ODB++. Převodník je napsán v programovacím jazyce Java s grafickou nástavbou JavaFX. Pro snazší pochopení popisují funkci programu vývojové diagramy.

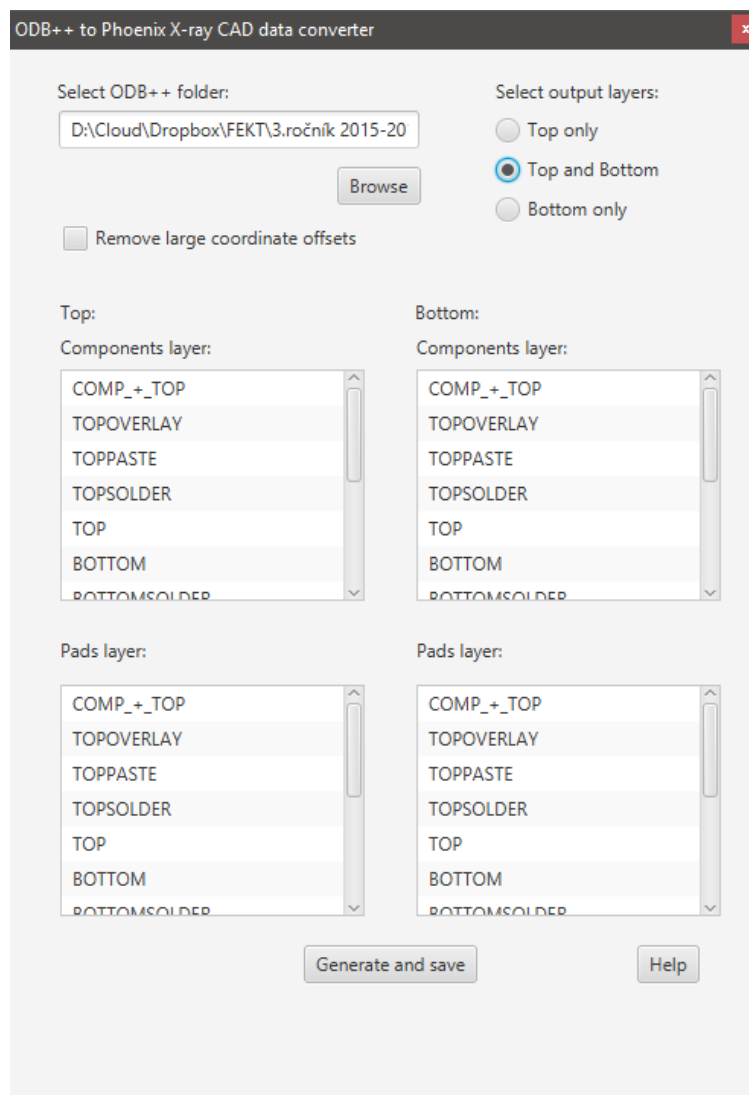
2.2.1 Grafická část

Na obr. 2.12. se nachází grafická podoba programu.



Obr. 2.12: Grafická podoba aplikace.

Po stisknutí tlačítka Browse je potřeba program navést do adresářové struktury ODB++ (viz. obr. 1.25). Po potvrzení cesty k adresářové struktuře se provede zpracování souboru matrix (viz tab. 1.5) obsahující všechny názvy dostupných vrstev DPS. Dále se komponenty ListView naplní těmito názvy a program čeká na výběr požadovaných vrstev a stisknutí tlačítka Generate and save pro vygenerování a uložení CAD dat, viz obr. 2.13.

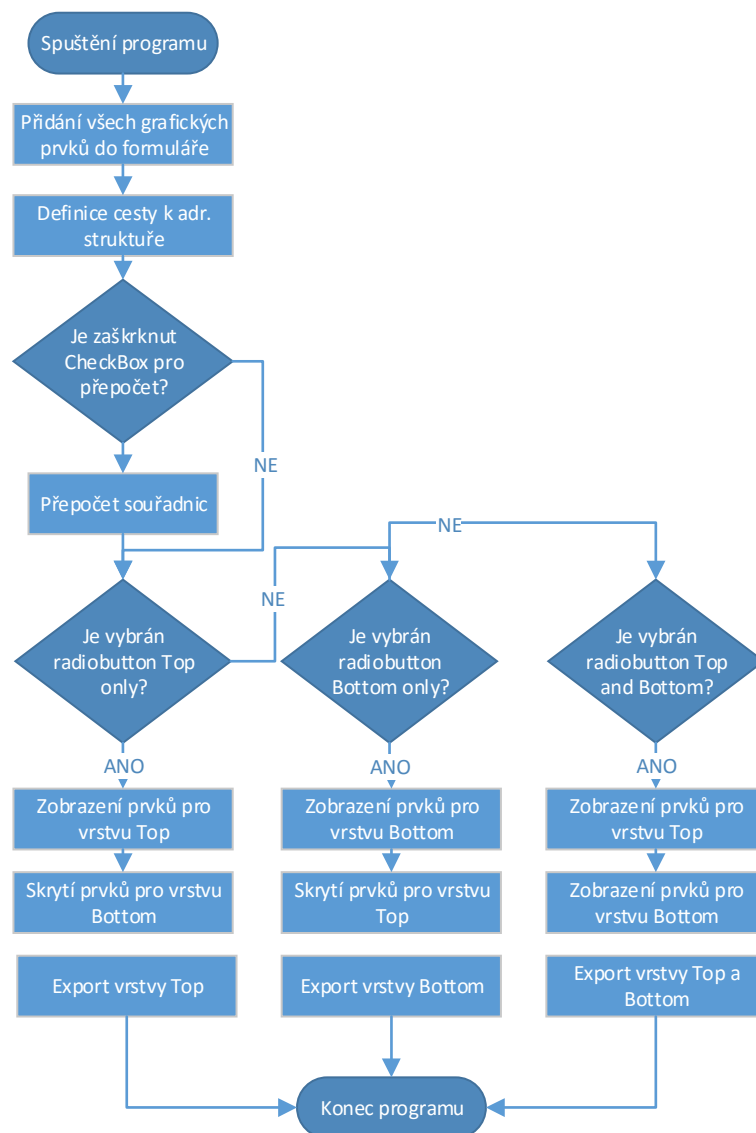


Obr. 2.13: Grafická nastavba načtené vrstvy.

Pro výběr dvou nebo jedno-vrstvé desky slouží přepínač vpravo nahoře. Funkce Remove large coordinate offsets přepočítá souřadnice na menší vzdálenosti (o této funkci děle). Po stisknutí tlačítka Help dojde k přesměrování na webovou stránku obsahující obsáhlou nápovědu (<http://odbconverter.xf.cz/>). Tlačítko Generate a save slouží k exportování CAD dat z vybraných vrstev.

2.2.2 Stručný princip programu

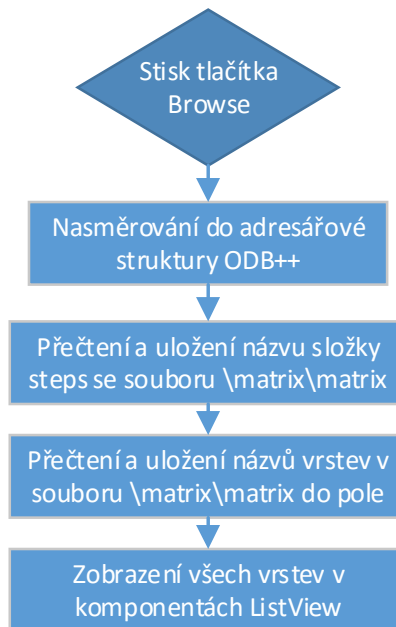
Po spuštění programu dojde k přidání všech grafických prvků do formuláře. Dále je nutno specifikovat cestu k ODB++ adresářové struktuře. Dojde k načtení názvů vrstev DPS ze souboru matrix (tab. 1.6) a naplnění komponent ListView. Následuje kontrola, jestli je zaškrtnut CheckBox pro přepočet souřadnic. Dále proběhne rozpoznání zaškrtnutého RadioButtonu. Po výběru požadovaných vrstev dojde k nasměrování programu k souborům s informacemi o součástkách (soubor components, tab. 1.10) a k souborům s informacemi o ploškách (soubor features, tab 1.11). Následuje přečtení těchto souborů po řádcích a uložení požadovaných informací do polí. Nakonec proběhne porovnání polí, převod jednotek do milimetrů a export CAD dat do textových souborů.



Obr. 2.14: Po spuštění programu.

2.2.3 Stisk tlačítka Browse

Po spuštění programu je nutné specifikovat cestu k ODB++ adresářové struktuře. K tomuto účelu slouží tlačítko Browse. Princip otevření je znázorněn na obr. 2.15.

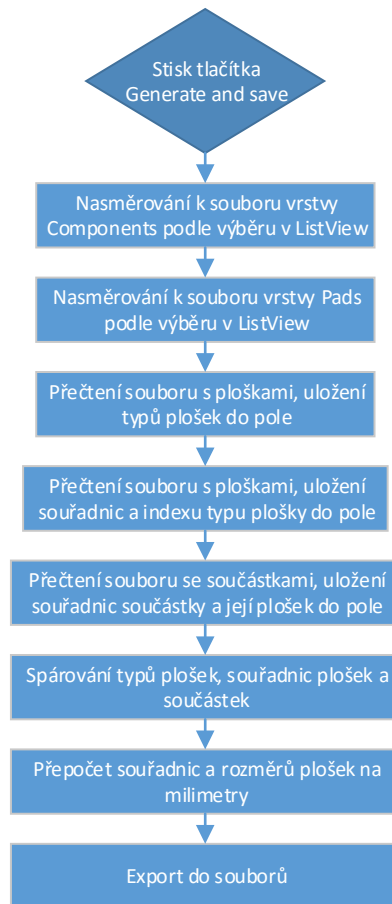


Obr. 2.15: Tlačítko Browse.

Po nasměrování k ODB++ adresářové struktuře dojde k přečtení všech potřebných informací ze souboru `\matrix\matrix`. V tomto souboru se nachází název složky `steps` a názvy všech vrstev. Poté jsou všechny dostupné vrstvy zobrazeny ve grafických komponentách `ListView`. Dále následuje zpracování dat do podoby pro rentgen.

2.2.4 Stisk tlačítka Generate and save

Po výběru požadovaných vrstev z komponent `ListView` následuje stisknutí tlačítka pro zpracování a vygenerování CAD dat, viz obr. 2.16.



Obr. 2.16: Tlačítko Generate and save.

Proběhne zpracování souborů s typy plošek a součástek a uložení jejich informací do polí (viz dále kapitola 2.2.5). Poté proběhne přiřazení jednotlivých plošek typů plošek k jejich souřadnicím, dále pak souřadnice plošek ke svým součástkám. Následuje přepočítání souřadnic a rozměrů plošek do milimetrů a export do souborů.

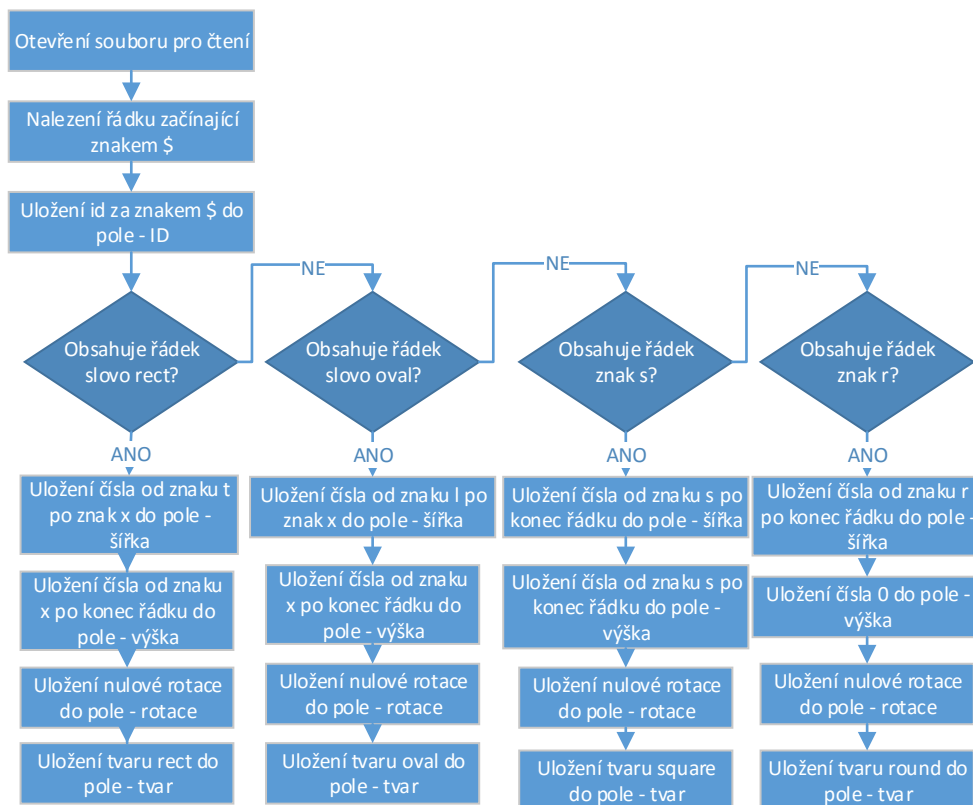
2.2.5 Princip čtení souboru s ploškami

Soubor features se nachází v adresářové struktuře ve složce layers. V následující tabulce 2.1 se nachází příklad obsahu souboru, na kterém bude vysvětleno přečtení a uložení informací do pole.

Tab. 2.1: Příklad pro čtení souboru features.

\$0 rect251.9686x251.9686	typ plošky 0 - obdélník 251.9686 x 251.9686
...	
P 0.1299211 4.3267717 0 P 0 0	souřadnice a typ plošky

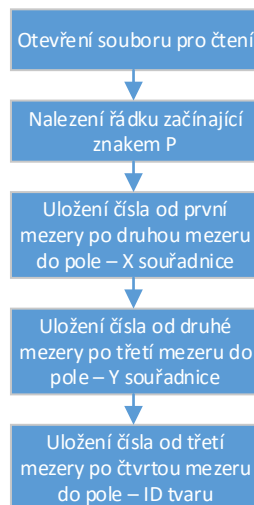
V první řadě je nutné přečíst informaci o tvaru plošky. Tato informace se nachází na prvním řádku za znakem \$. Poté dojde k rozpoznání, o jakou plošku se jedná a nalezení šířky a výšky plošky (odděluje vždy znak x). Na následujícím vývojovém diagramu 2.17 je postup získání tvarů znázorněn.



Obr. 2.17: Princip čtení tvarů ze souboru features.

Další krok je získání souřadnic pájecích plošek. Dojde k nalezení řádku začínající znakem P. Za tímto znakem se nachází X souřadnice, Y souřadnice a ID tvaru. Všechny informace

jsou odděleny mezerami. Na následujícím vývojovém diagramu je tento postup znázorněn.



Obr. 2.18: Princip čtení souřadnic ze souboru features.

Tímto je přečten všechen důležitý obsah souboru features.

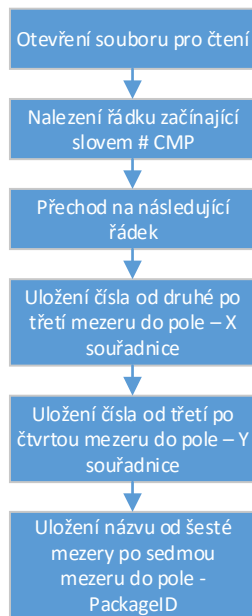
2.2.6 Princip čtení souboru se součástkami

Dalším krokem je přečtení souboru components, který se nachází ve složce s názvem složky, ve složce layers. V následující tabulce 2.2 se nachází příklad obsahu souboru, na kterém je vysvětlen princip čtení.

Tab. 2.2: Příklad pro čtení souboru components.

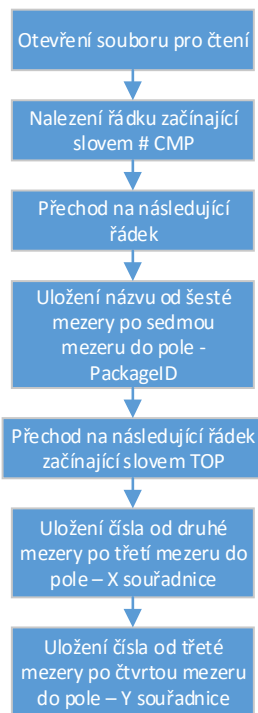
# CMP 0	součástka index 0
CMP 5 3.118104 1.795272 90 N C131 10uF_10V ;0=1,1=0.0000	informace o součástce
TOP 0 3.118104 1.8346421 90 N 4 45 C131-1	informace o plošce
TOP 1 3.118104 1.755902 90 N 291 310 C131-2	informace o plošce

Dojde k nalezení řádku, který začíná slovem # CMP a proběhne přechod na následující řádek. Na tomto řádku se nachází informace o pozici součástky a název součástky, který je použit jako PackageID. Na následujícím vývojovém diagramu 2.19 je tento postup vysvětlen podrobněji.



Obr. 2.19: Princip čtení informací o součástkách souboru components.

Následuje přečtení informací o ploškách, které se nachází na následujících řádcích po řádku začínající CMP. Řádky souřadnice plošek dané součástky začínají vždy slovem TOP. Vývojový diagram 2.20 obsahuje princip postupu čtení plošek.



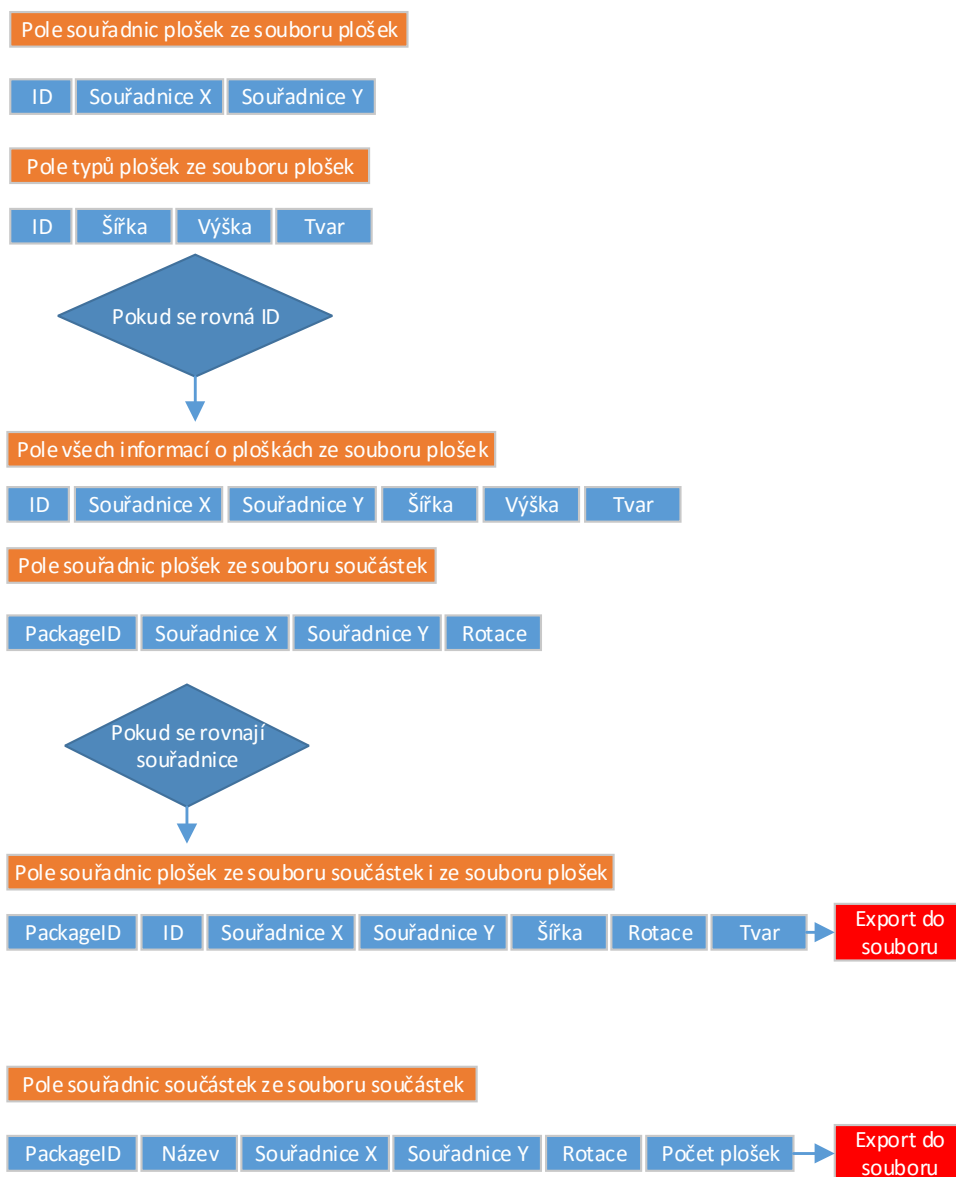
Obr. 2.20: Princip čtení informací o ploškách souboru components.

Jako v případě čtení informací o součástkách dojde k nalezení řádku začínající slovem # CMP a přechod na následující řádek. Zde dojde přečtení názvu součástky – PackageID a dojde k přechodu na následující řádek, který začíná znakem TOP. Na tomto řádku se nachází souřadnice plošek dané součástky a může dojít k jejich uložení do pole.

2.2.7 Princip porovnávání informací v polích

Po postupném přečtení informací ze souborů popsanych v kapitolách 2.2.5 a 2.2.6 jsou uložena v polích všechna důležitá data a může dojít k jejich porovnání a exportu.

Jednotlivé vybrané vrstvy z komponent ListView se zpracovávají po řádcích a všechna data jsou uložena do polí, pro snazší přístup a porovnávání. Na následujícím obr. 2.17. se nachází náhled jednotlivých polí informací.



Obr. 2.21: Porovnávání informací a export.

Po stisku tlačítka Generate and save se zpracují po řádcích informace v souborech o součástkách (tab. 1.7) a o ploškách (tab. 1.8) a následně se uloží všechna důležitá data do polí.

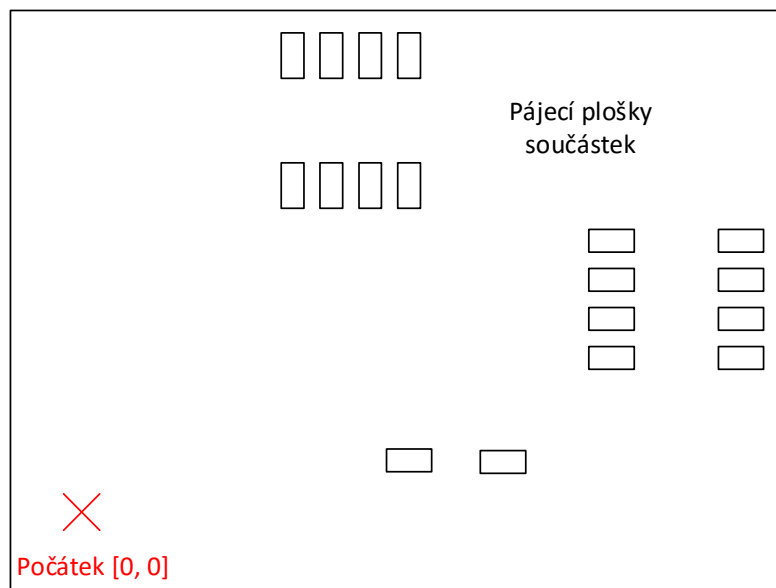
V 1. poli se nachází ID a souřadnice plošky (soubor features dané vrstvy). Pomocí ID je ploška svázaná s 2. polem (soubor features dané vrstvy) - se svým typem, tj. šířka, výška a tvar objektu. Následuje porovnání ID a vytvoření 3. pole, které obsahuje kombinace informací v 1. a 2. poli.

Ve 4. poli se nachází informace o ploškách ze souboru součástek (soubor components dané vrstvy). Dojde k porovnání 3. a 4. pole podle souřadnic a následném vytvoření 5. pole, které nyní obsahuje všechny potřebné informace o dané plošce pro export. V dalším kroku následuje export.

V 6. poli se nachází všechny potřebné informace o součástce, které není potřeba již dále upravovat a může tak dojít rovnou k exportu.

2.2.8 Princip přepočtu souřadnic

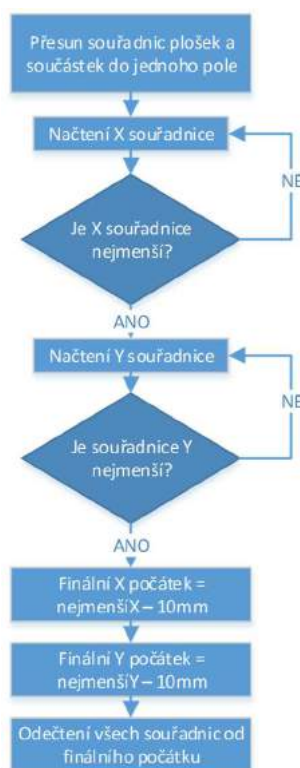
Zatímco v Cadsoft Eagle je pravidlem levý dolní roh desky umísťovat do počátku souřadnic plochy editoru, u pokročilejších programů je to spíše výjimkou. Souřadnice všech plošek a komponent v ODB++ datech tak mohou mít velké odsazení (ofset) od počátku. Při importu CAD dat do rentgenu je však vhodnější, pokud jsou taková velká odsazení odstraněna. Proto program obsahuje přepínač Remove large coordinate offsets, kterým je možno tuto skutečnost napravit. Ilustrace velkého odsazení se nachází na obr. 2.22.



Obr. 2.22: Přepočet souřadnice neopraveno.

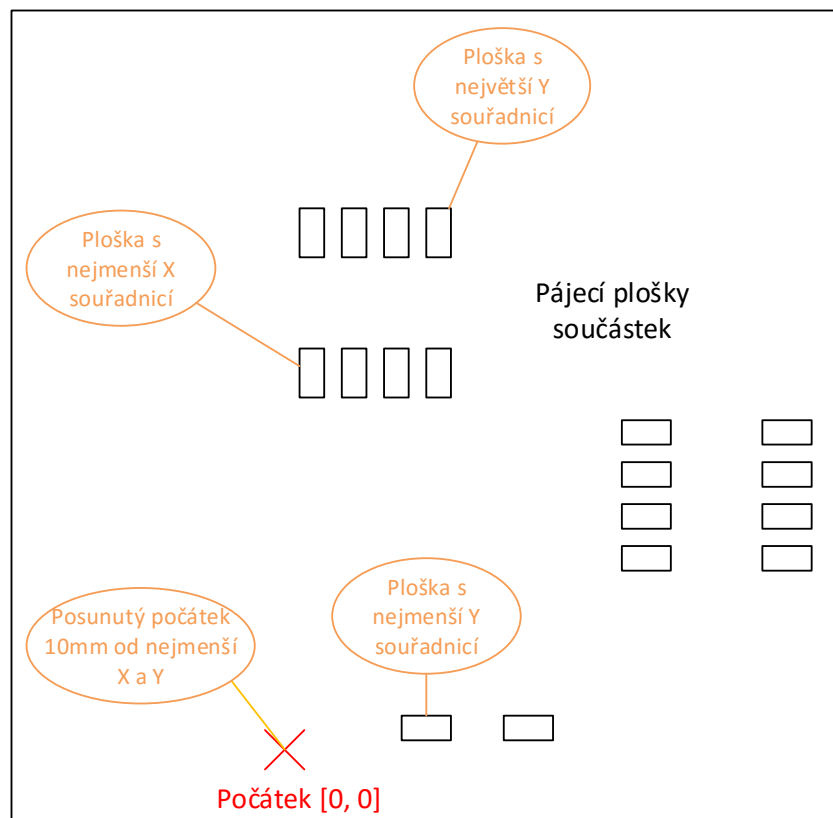
Pro opravu je potřeba zjistit nejmenší X a Y souřadnice a od těchto souřadnic odečíst 10mm. Následovně od těchto souřadnic všechny souřadnice plošek a součástek odečíst.

Tímto se posune počátek co nejlíže k ploškám. Celý tento postup je znázorněn ve vývojovém diagramu na obr. 2.23.



Obr. 2.23: Princip nalezení nového počátku.

Pro zjištění nejmenších možných souřadnice je nutné přesunout všechny souřadnice plošek i součástek do jednoho pole. Následuje nalezení nejmenší X a Y souřadnice, od kterých se odečte 10 mm. Tímto se provede posunutí počátku nejlíže k ploškám a součástkám, jak je možno. Odsazení 10 mm umožňuje, aby nově získaný počátek neprocházel žádnou ploškou nebo součástkou. Výsledek tohoto procesu se nachází na obr. 2.24.



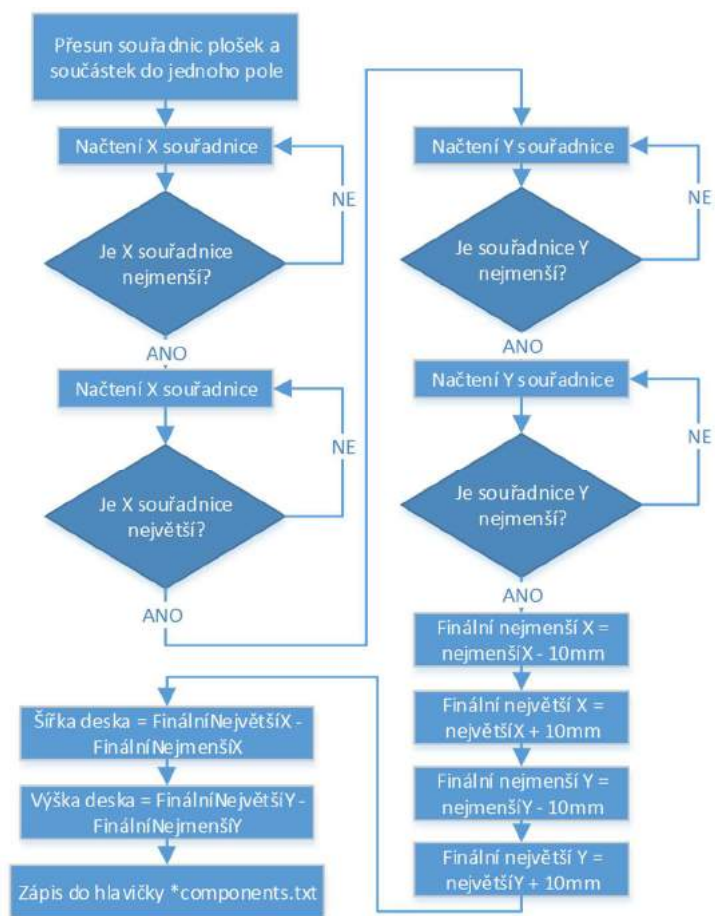
Obr. 2.24: Přepočítání souřadnice opraveno.

2.2.9 Princip výpočtu velikosti desky

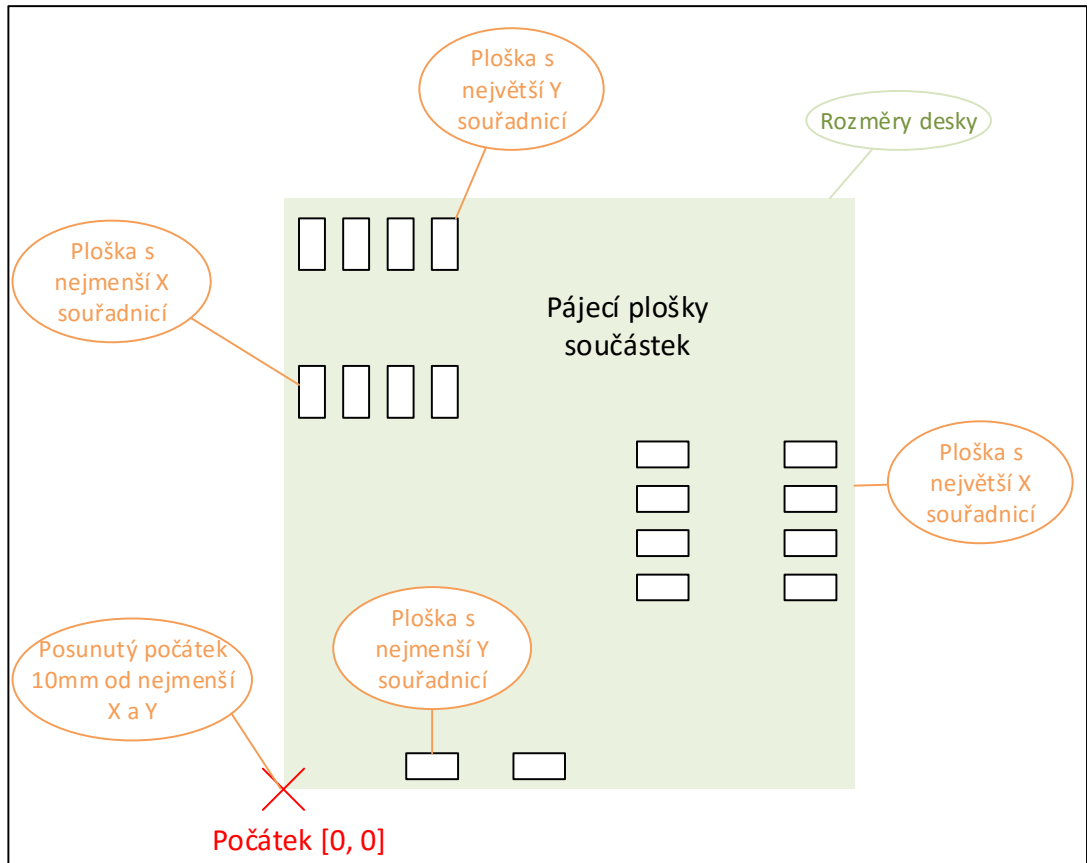
V adresářové struktuře se nikde nenachází rozměr DPS, který je ve výsledných CAD datech vyžadován. Výpočet rozměru desky je v programu realizován následovně (viz obr.2.21.):

- nalezení nejmenší X a Y souřadnice a od nich odečtení 10 mm,
- nalezení největší X a Y souřadnice a k nim přičtení 10 mm.

Následné odečtení největší X a nejmenší X souřadnice dává šířku desky, odečtení největší Y a nejmenší Y souřadnice dává výšku desky. Tento postup je znázorněn na vývojovém diagramu obr. 2.25. Na obr. 2.26 reprezentuje rozměr desky zelená plocha.



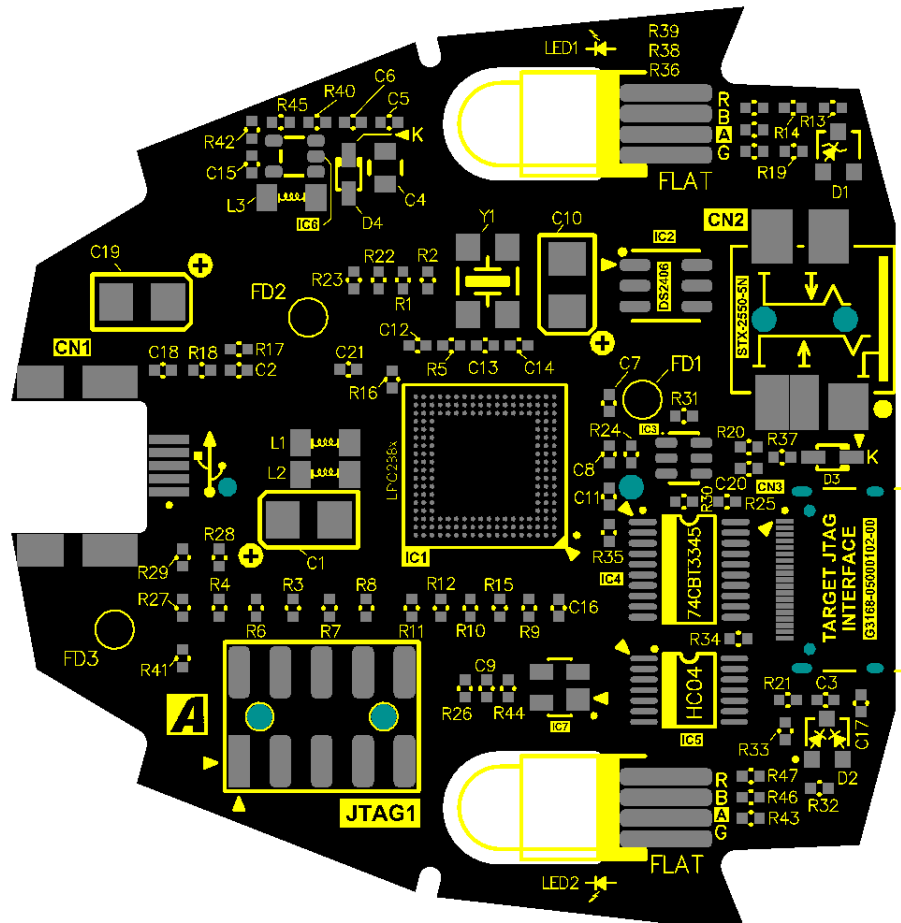
Obr. 2.25: Princip výpočtu rozměrů desky.



Obr. 2.26: Výpočet rozměrů desky.

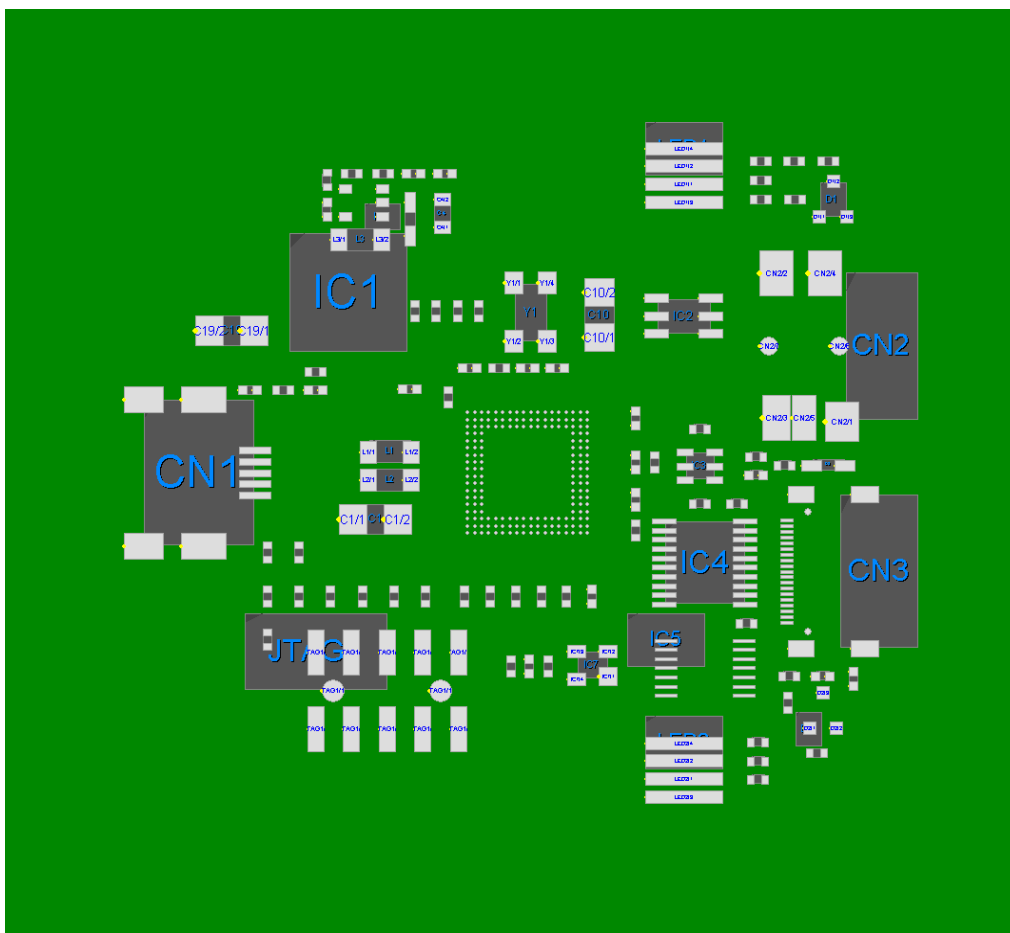
2.2.10 Výsledek zpracování a zobrazení v software rentgenu

Na následujících obrázcích se nachází screenshots z návrhových programů a screenshots zpracovaných dat přímo z rentgenu.



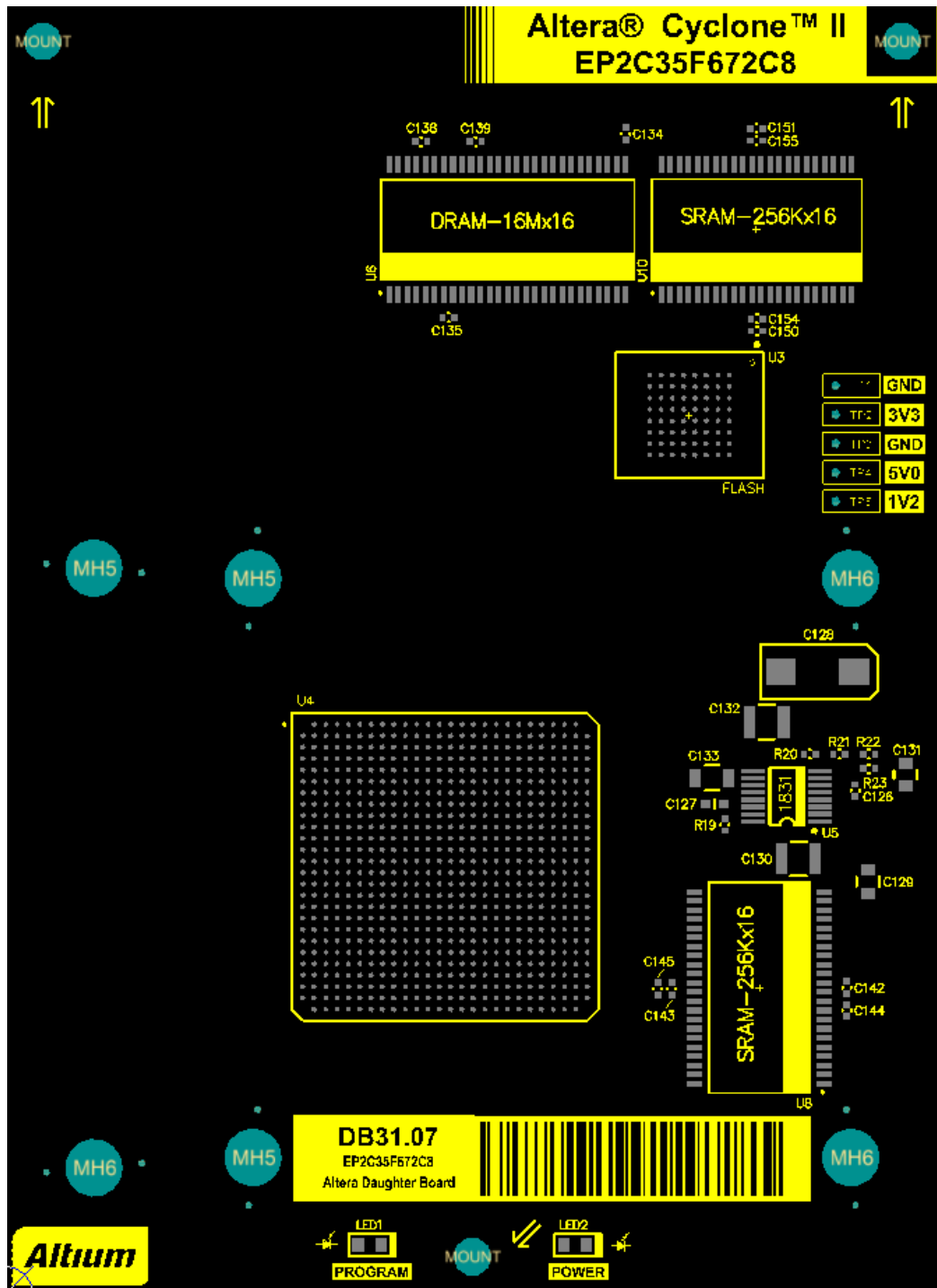
Obr. 2.27: Ukázková DPS Developer tool DT01 v Altium Designer.

Na obrázcích 2.27 a 2.2.8 se nachází ukázková DPS Developer tool DT01. Na obrázku z rentgenu jde vidět, že obrys neodpovídá realitě. Pomocí přepínače Remove large coordinate offsets byl zvolen takový, aby obsahoval uvnitř plochy všechny pájecí plošky i součástky. Na obrázku 2.28 z rentgenu software jde také vidět, že některé obrysy součástek nejsou na svých místech ve středu plošek (IC1, JTAG, IC5). Toto je způsobeno tím, že středy součástek někdy nejsou uvnitř plošek, což ale nevadí. Pro software rentgenu jsou nejdůležitější pozice plošek, které jsou na svých místech.

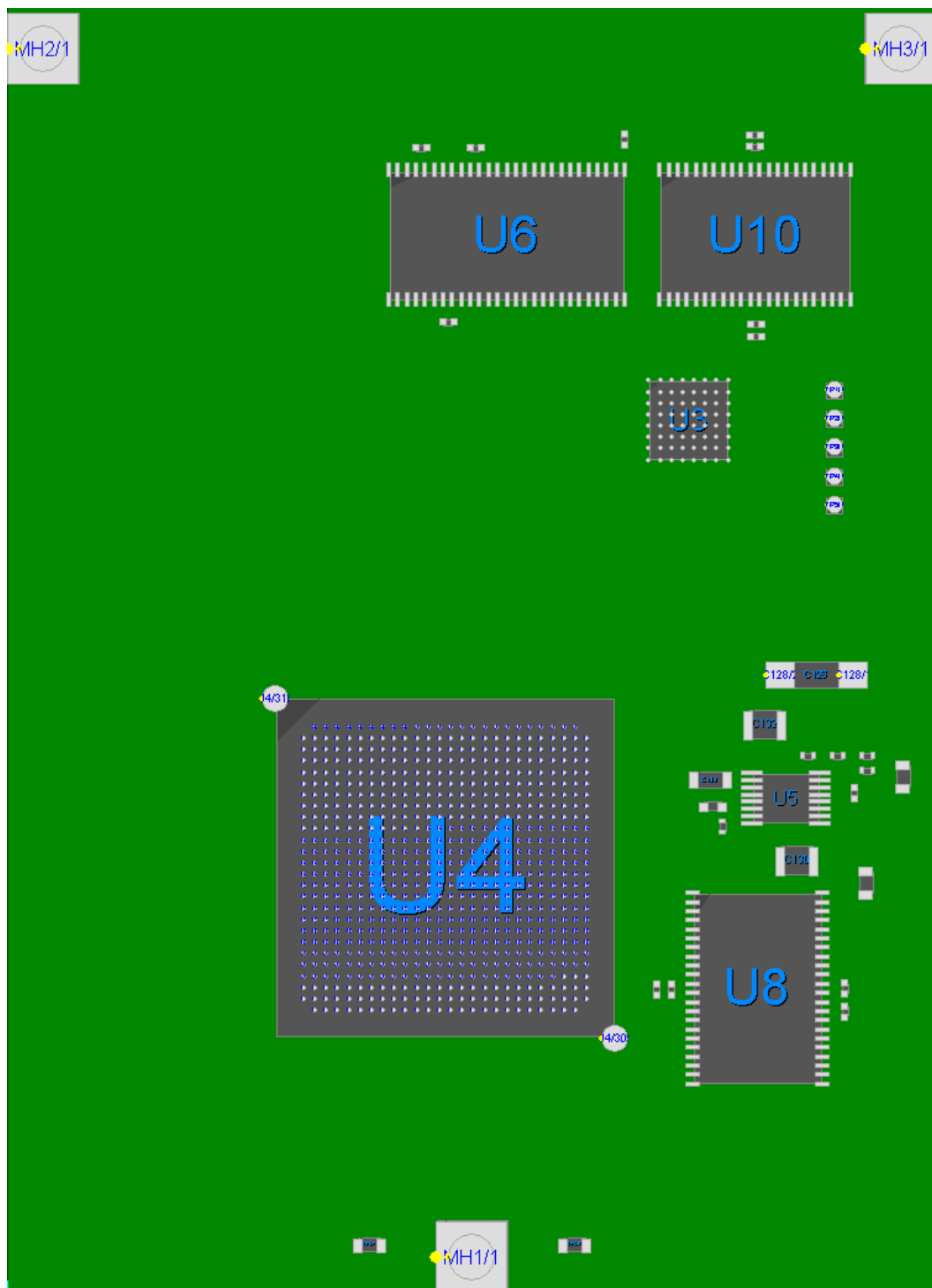


Obr. 2.28: Ukázková DPS Developer tool DT01 zobrazení v software rentgenu.

Na následujících obrázcích 2.29 a 2.30 se nachází ilustrace před a po zpracování ukázkové DPS DB31 Altera Cyclone II F672 z návrhového programu Altium Designer. Na této DPS jde vidět, že všechny středy součástek leží přesně tam, kde mají být.



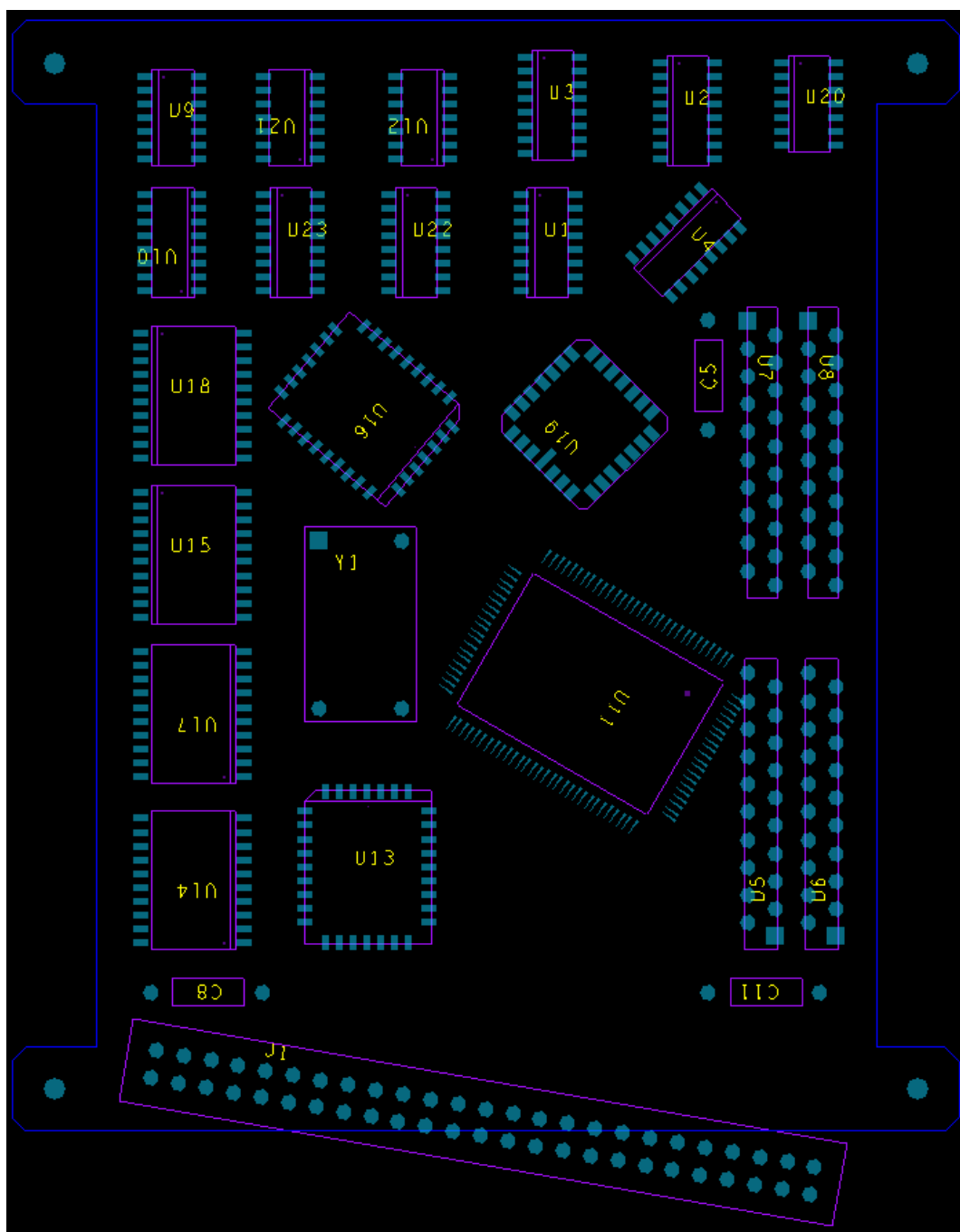
Obr. 2.29: Ukázková DPS DB31 Altera Cyclone II F672 v Altium Designer.



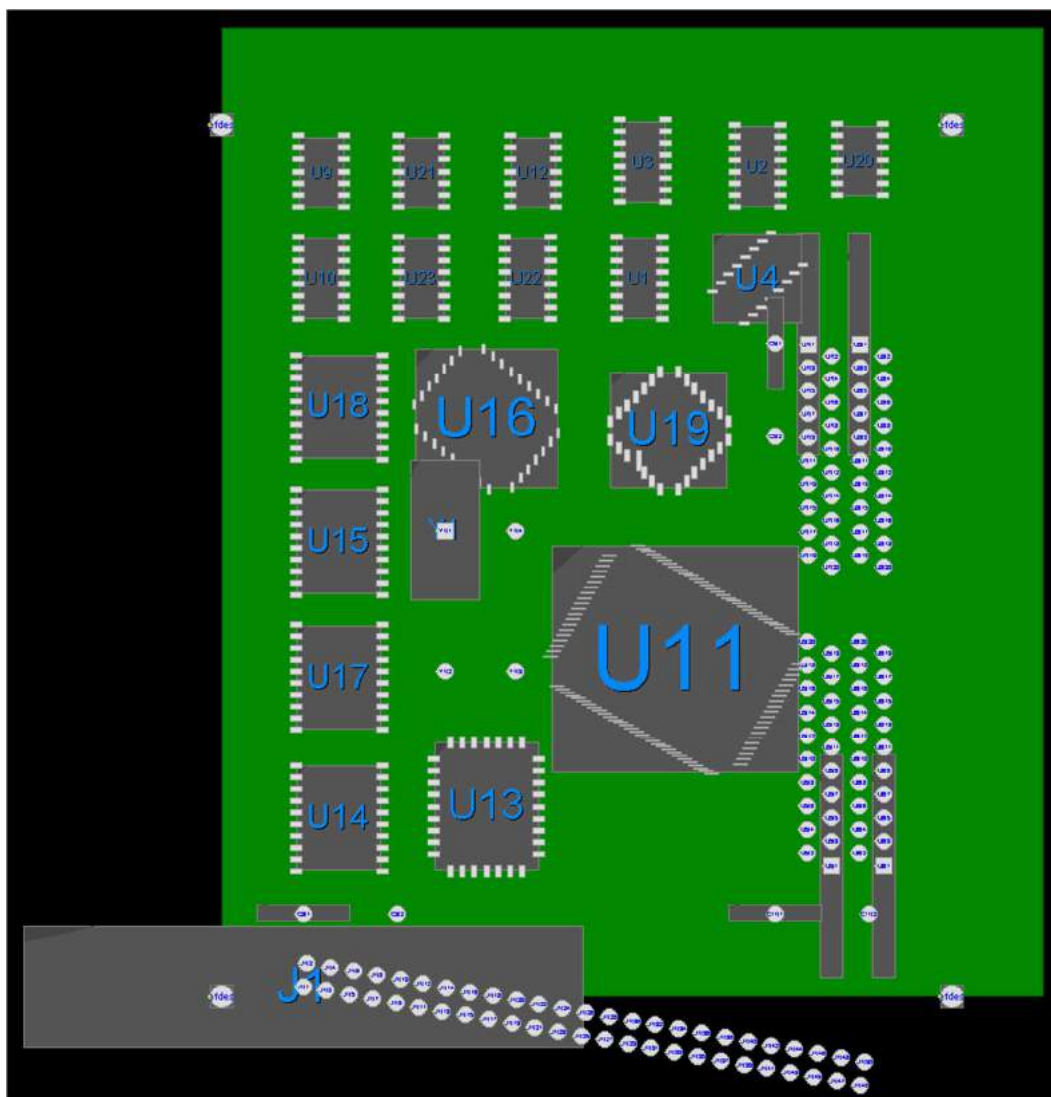
Obr. 2.30: Ukázková DPS DB31 Altera Cyclone II F672 v software rentgenu.

Na obrázku 2.31 se nachází ukázková deska z DPS editoru OrCAD PCB Designer s natočenými součástkami. Na následujícím obrázku 2.32 ze softwaru rentgenu jde vidět, že také některé pouzdra součástek jsou mimo své plošky. Taktéž některé plošky nejsou správně natočené. To je způsobeno skutečností, že nejde jednoznačně určit natočení dané plošky vůči středu své součástky. Více o tomto problému se nachází v kapitole 1.9.5.

Špatně natočené pájecí plošky je možno ručně opravit v software rentgenu po importu CAD dat.



Obr. 2.31: Ukázková deska z DPS editoru OrCAD PCB Designer s natočenými objekty.



Obr. 2.32: Ukázková deska z DPS editoru OrCAD PCB Designer importovaná v SW rentgenu.

3 ZÁVĚR

V první části práce byl navrhnout, zprovozněn a otestován program v programovacím jazyce ULP pro generování pozičních dat z návrhového software Eagle. Pro zajištění bezproblémové funkčnosti byl program otestován na třech DPS různé složitosti. ULP bylo nahráno na oficiální stránky Cadsoft USA (<http://www.cadsoftusa.com/downloads/ulps>) a vystaveno tak pro použití široké veřejnosti. V době psaní bakalářské práce má ULP 400 stažení. V budoucnu je možné ULP rozšířit o uživatelské rozhraní, což ale nebylo součástí této práce.

V druhé části měl být navrhnout program pro export CAD dat z formátu Gerber. Tento formát není pro tuto práci vhodný, a proto byl z důvodů popsanych v teoretické části vybrán formát ODB++. Byl tedy navrhnout, naprogramován a otestován program v programovacím jazyce Java pro generování pozičních dat z ODB++ formátu. Program byl otestován na třech DPS různé složitosti. Program je nahrán v databázi Opensource projektů Github (<https://github.com/popelavojtech/ODBtoRTG>). Také bylo otestováno, zda program funguje na různých platformách, což Java umožňuje. Je možné jej spustit ve Windows, nebo na systémech založených na linuxu nebo unixu.

LITERATURA

- [1] Popis jazyka Cadsoft Eagle User Language v7.2.0 [online]. [cit. 2015-10-19]. Dostupné z: <http://www.cadsoftusa.com/downloads/documentation/>
- [2] VÁVRA, Václav a Zdeněk LOSOS. Odvození transformačních matic pro různé typy rotace. Multimediální studijní texty z mineralogie pro bakalářské studium [online]. 2006, (814) [cit.2015-12-09]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_1_3_symetrie/rotace_priklad.htm
- [3] Základy práce s programem Eagle [online]. [cit.2015-12-12]. Dostupné z: https://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/predmety/bnez/PC_CV4.pdf
- [4] ŠEBESTA, Jan. Rentgenové měření konečné úpravy desek plošných spojů [online]. 2010 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/vyroba/id:5898/rentgenove-mereni-konecne-upravy-desek-plosnych-spojů>
- [5] KLAUZ, Milan. Gerber data bez tajemství. In: DPS Elektronika od A do Z [online]. Praha: CADware, 2013 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.dps-az.cz/cad-cam-cae/id:3068/gerber-data-bez-tajemstvi>
- [6] KÓŇA, Michal. Předzpracování dat pro polohací zařízení. Brno, 2013. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Petr Petyovský.
- [7] Gerbv - A Free/Open Source Gerber Viewer. Gerbv - A Free/Open Source Gerber Viewer [online]. geda-project: gerbv, 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://gerbv.geda-project.org/>
- [8] The LayoutEditor. The LayoutEditor [online]. Germany: juspertor GmbH, 2016 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.layouteditor.net/>
- [9] DXF. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/DXF>
- [10] Translators and Processors for ODB++[online]. Santa Cruz: artwork.com, 2010 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.artwork.com/odb++/odb++_overview.htm
- [11] ODB++ Format Specification [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: http://www.odb-sa.com/wp-content/uploads/resources/odb_spec_user_8.1.pdf
- [12] HEROUT, Pavel. Učebnice jazyka Java. 5., rozš. vyd. České Budějovice: Kopp, 2010. ISBN 978-80-7232-398-2.
- [13] DOUG, Lowe. *JavaFX For Dummies*. 1. United Kingdom: Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-38534-0.
- [14] GraphiCode-Prevue [online]. Washington, USA: Seattle, 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.graphicode.com/GC-PowerStation>
- [15] The Gerber File Format Specification [online]. [cit 2016-5-24]. Dostupné z https://www.ucamco.com/files/downloads/file/81/the_gerber_file_format_specification.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

DPS	Deska plošných spojů.
SMD	Typ pájecích plošek určených pro povrchovou montáž.
ULP	User Language Program – programovací jazyk Eagle.
DRC	Design Rule Check – soubor pravidel, kterých se Eagle drží při návrhu DPS.
TOP	Vrchní strana desky plošných spojů.
BOT	BOTTOM – Spodní strana desky plošných spojů.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange, kódová tabulka obsahující znaky americké abecedy.

SEZNAM PŘÍLOH

A	Program pro generování pozičních dat z Cadsoft Eagle	67
B	Program pro generování pozičních dat z formátu ODB++	68

A PROGRAM PRO GENEROVÁNÍ POZIČNÍCH DAT Z CADSOFT EAGLE

V příloženém archivu (elektronická verze) popřípadě na příloženém CD (tištěná verze) se nachází adresář EagleULP obsahující soubor potřebný pro generování pozičních dat z Eagle. Program lze spustit v návrhovém software Eagle nebo lze zobrazit jeho zdrojový kód v libovolném textovém editoru. Program byl napsán v textovém editoru Notepad++ se zvýrazněním syntaxe ULP.

B PROGRAM PRO GENEROVÁNÍ POZIČNÍCH DAT Z FORMÁTU ODB++

V příloženém archivu (elektronická verze) popřípadě na příloženém CD (tištěná verze) se nachází v adresáři ODB++ Converter zkompilovaný program a také zip archiv obsahující zdrojové kódy vytvořené v programátorském prostředí Eclipse. Dále se v adresáři nachází podrobná nápověda v angličtině.