

---

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2646 – Informační technologie

Studijní obor: 1802R007 – Informační technologie

## **3D Vizualizace desek plošných spojů v HTML 5**

### **3D Visualization of PCB in HTML 5**

#### **Bakalářská práce**

Autor: **Jaroslav Řehák**

Vedoucí práce: Ing. Jiří Jeníček, Ph. D.

Konzultant: Ing. Jiří Jeníček, Ph. D.

V Liberci 9. 1. 2012

Zadání

## **Prohlášení**

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Jeníčkovi, Ph. D. za odbornou pomoc a podporu při vypracovávání bakalářské práce a za poskytnutí materiálů souvisejících s touto prací.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá vyobrazením 3D modelu desek plošných spojů na internetu pomocí nového standardu HTML5 s využitím knihoven WebGL. Práce je rozdělena na dvě části. V první, teoretické, je seznámení se standardy a použitými programy. V druhé, praktické části, je rozbor a popis postupu tvorby mé práce, jejímž cílem bylo výše zmíněné vyobrazení 3D modelu.

## **Klíčová slova**

Standard HTML5, 3D model, knihovny WebGL, desky plošných spojů

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the visualization of 3D model of PCB on the internet by means of HTML5 using WebGL libraries. This work is divided into two parts. The first one, theoretical, deals with introduction to standards and software which were used. The second part, which is practical, is devoted to the analysis and description of the workflow, whose main aim, the visualization of 3D model of PCB, was already mentioned.

## **Key words**

HTML5 standard, 3D model, WebGL libraries, PCB

## **Obsah**

<b>Prohlášení.....</b>	<b>3</b>
<b>Poděkování.....</b>	<b>4</b>
<b>Abstrakt.....</b>	<b>5</b>
<b>Seznam ilustrací.....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Rozbor použitých technologií.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Eagle 3D zobrazovače .....</b>	<b>11</b>
1.1.1. Pov – Ray.....	11
1.1.2. EagleUp .....	11
<b>1.2. HTML 5 .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3. Postup RFC .....</b>	<b>12</b>
<b>1.4. CSS .....</b>	<b>12</b>
<b>1.5. Javascript.....</b>	<b>13</b>
<b>1.6. WebGL.....</b>	<b>13</b>
<b>1.7. Internetové prohlížeče .....</b>	<b>14</b>
<b>1.8. Možnosti prohlížečů bez WebGL .....</b>	<b>15</b>
<b>1.9. Webový prostor.....</b>	<b>16</b>

<b>2. Návrh a řešení.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Vybrané programy a jejich využití .....</b>	<b>16</b>
2.1.1. Eagle .....	16
2.1.2. Pspad.....	17
2.1.3. Blender.....	17
<b>2.2. Zobrazení 3D modelů .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3. Soubory s příponou obj .....</b>	<b>18</b>
2.3.1. Formát souboru s příponou obj .....	18
<b>2.4. Specifikace souborů 3de .....</b>	<b>19</b>
2.4.1. Soubor deska.3de .....	20
2.4.2. Soubor package.3de .....	20
2.4.3. Soubor pad.3de .....	20
2.4.4. Soubory soucastkytop.3de a soucastkybott.3de .....	21
2.4.5. Soubor text.3de .....	21
2.4.6. Soubor via.3de .....	21
2.4.7. Soubory vodictop.3de a vodicbot.3de .....	22
<b>2.5. Datové struktury .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6. Postup a schéma vizualizace .....</b>	<b>23</b>
<b>2.7. Parsování souborů 3de .....</b>	<b>24</b>
2.7.1. Funkce parsování součástí.....	24
2.7.2. Funkce parsování vodičů .....	24
2.7.3. Funkce parsování děr pájecích plošek .....	25
2.7.4. Funkce parsování pájecích plošek .....	25
2.7.5. Funkce parsování textů na desce plošných spojů.....	25
2.7.6. Funkce parsování pouzder na desce plošných spojů.....	25
<b>2.8. Tvorba webových stránek .....</b>	<b>26</b>
<b>2.9. Interaktivní ovládání .....</b>	<b>27</b>
<b>3. Závěr.....</b>	<b>29</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>2D</b>	Two dimensional space = dvourozměrný prostor, souřadnice x, y
<b>3D</b>	Three dimensional space = trojrozměrný prostor, souřadnice x, y, z
<b>4D</b>	Four dimensional space = čtyřrozměrný prostor, jako čtvrtý je čas
<b>ANSI</b>	American national standard institute = americká standardizační organizace
<b>CSS</b>	Cascading style sheets = kaskádové styly
<b>DOM</b>	Document object model = objektový model dokumentu
<b>ECMA</b>	European computer manufacturers association = standardizační organizace
<b>GNU GPL</b>	General public license = všeobecná veřejná licence
<b>HTML 5</b>	HyperText Markup Language = hypertextový značkovací jazyk
<b>ISO</b>	International organization for standardization = Mezinárodní organizace pro normalizaci
<b>MB</b>	Megabyte = počítačová jednotka množství dat, milion bytů
<b>OBJ</b>	Wavefront Object = textový soubor pro uložení 3D modelů
<b>OPENGL ES</b>	Grafické aplikační rozhraní pro vestavné systémy
<b>RAM</b>	Random access memory = paměť s náhodným přístupem
<b>RFC</b>	Request for comments = žádost o komentáře
<b>ULP</b>	User language program = skript v jazyce Eagle user language
<b>WEBGL</b>	Web-based Graphic Library = webová grafická knihovna
<b>VRML</b>	Virtual Reality Modeling Language = modelovací jazyk pro virtuální realitu



## Seznam ilustrací

Obr. 1.1: Ukázka kaskádového stylu	12
Obr. 1.2: Statistika nejpoužívanějších prohlížečů ve světě	14
Obr. 1.3: Statistika nejpoužívanějších prohlížečů v ČR	15
Obr. 2.1: Exportovaný soubor obj	19
Obr. 2.2: Část souboru deska.3de	20
Obr. 2.3: Část souboru package.3de	20
Obr. 2.4: Část souboru pad.3de	20
Obr. 2.5: Část souboru soucastkytop.3de	21
Obr. 2.6: Část souboru text.3de	21
Obr. 2.7: Část souboru via.3de	21
Obr. 2.8: Část souboru vodictop.3de	22
Obr. 2.9: Ukázka chybové hlášky	26
Obr. 2.10: Postranní ovládací tlačítka	26
Obr. 2.11: Ovládací tlačítka pod canvasem	26
Obr. 2.12: Ukázka zaškrťovacích políček s popisky	27
Obr. 3.1: Náhled schématu vytvořeného v programu Eagle	31
Obr. 3.2: Náhled 3D modelu vykresleného pomocí WebGL	31
Obr. 3.3: Celkový vzhled webových stránek	32
Obr. 3.4: Ukázka vrstvy součástek	33
Obr. 3.5: Ukázka vrstvy vodičů	33
Obr. 3.6: Ukázka vrstvy pájecích plošek	33
Obr. 3.7: Ukázka vrstvy pouzder	33

## Seznam tabulek

Tab. 1: Ukázka datových struktur získaných z 3de souborů .....	22
--	----

## Úvod

Jako téma bakalářské práce jsem si vybral vizualizaci desek plošných spojů a jejich publikování na webové stránky pomocí standardu HTML 5, který využívá knihoven WebGL. Vybral jsem si jej, protože se zajímám o 3D grafiku a též o vytváření webových stránek. Tato práce částečně čerpá z odborných prací mých kolegů, a to konkrétně z výsledků, kterých dosáhli. Tyto výsledky jsem využil s jejich souhlasem.

Desky s plošnými spoji jsou navrhovány v dvourozměrném prostoru v programu Eagle. Pro lepší pochopení rozmístění součástek a získání představy o výsledném výrobku, jsem se tedy rozhodl o převedení návrhu do trojrozměrného prostoru.

Existuje již několik možností trojrozměrného zobrazování. Jedním z nich je vizualizace pomocí programu Pov – Ray, který slouží k tvorbě trojrozměrných scén. Další možností je vizualizace pomocí sady nástrojů nazvané EagleUp. Tato sada umožňuje importovat navrhnuté desky PCB do programu Google SketchUp, kde s nimi lze dále pracovat.

Tyto možnosti zobrazení však vyžadují instalaci programů nebo alespoň pluginů. Z toho důvodu jsem pro svou práci vybral internetovou formu zobrazení, která pro svůj chod nepotřebuje dodatečnou instalaci žádných doplňků. Vybral jsem ji rovněž proto, aby se dal výsledek snadno prezentovat i na dálku a nemuselo se řešit fyzické přenášení, například na flashdisku. Přestože je více možností ve výběru HTML, byl jsem nucen zvolit nejnovější, protože to jediné podporuje vykreslování 3D grafiky.

Vstupem do mé práce jsou modely jednotlivých součástek a navržená deska s plošnými spoji. Tyto vstupy zpracuji a výsledkem by měla být webová stránka zobrazující kompletní 3D vizualizaci s interaktivitou, jako je například ovládání scény pomocí tlačítek.

# 1. Rozbor použitých technologií

## 1.1. Eagle 3D zobrazovače

### 1.1.1. Pov – Ray

The Persistence of Vision Raytracer [8] je kvalitní nástroj pro tvorbu 3D grafiky, který je zdarma. Využívá se pro vytváření fotorealistických obrázků pomocí vykreslovací techniky zvané ray-tracing, jež vytváří vysoce kvalitní stíny, osvětlení, realistické odrazy a perspektivu. Ray-tracing vypočítává obraz simulováním cesty světelných paprsků jako v reálném světě. Výstupem jsou obrázky vysoké kvality s bitovou hloubkou až 48 bitů. Dále umožňuje využití textur, či jejich vlastní vytvoření. Tento způsob jsem zavrhl, protože výstupem je obrázek a ne 3D model.

### 1.1.2. EagleUp

Je to sada nástrojů [13], kterými lze do Google SketchUp importovat navržené desky s plošnými spoji. Dále umožňuje exportování realistického obrázku, úpravy vzhladu, rotování kamery a přibližování. Pro tuto možnost jsem se však nerozhodl z důvodu potřeby instalace různých pluginů a doplňků či sad nástrojů.

## 1.2. HTML 5

Html 5 [1] je nový standard pro tvorbu a používání webových stránek. Sice ještě není kompletně schválen, ale je již v oběhu a používá se, aby bylo možné ho pomocí RFC schválit. HTML 5 má za úkol zjednodušit práci s videem, zvuky, 3D grafikou a například i s formuláři. Já se ovšem budu zabývat pouze výše zmiňovanou grafikou. K tomu, abych mohl vykreslovat modely na webu, slouží element standardu Html 5, tzv. canvas. Je to v podstatě virtuální plátno, které má svoji definovanou výšku a šířku. Tento canvas může být 2D a nebo 3D, podle toho, jakou grafiku do něho budeme vykreslovat. 2D canvas dokáží zpracovat všechny dnes dostupné nejpoužívanější internetové prohlížeče jako je například Mozilla Firefox [2], Google Chrome, Opera či Microsoft Internet Explorer. Oproti tomu je jen hrstka prohlížečů, jež dovedou zpracovávat 3D canvas. Pro mé účely jsou dostupné Mozilla Firefox 11, Apple Safari 5, Google Chrome 11 a Opera Next 12.

### 1.3. Postup RFC

Request for comments [12], v překladu žádost o komentáře, je jakýsi druh nebo řada standardů či dokumentů, která popisuje různé systémové, internetové a další protokoly. Jsou to sice spíše pouhá doporučení, přesto se ale podle nich začal poměrně rychlým tempem rozvíjet internet. Mohli bychom předpokládat, že bude takováto doporučení vydávat jakákoliv instituce zabývající se normami, jako například ISO nebo ANSI. Opak je však pravdou. Tato doporučení začínají u expertů v daném odvětví, kteří dle svých praktických zkušeností, většinou v menších skupinkách, vytvoří nějakou specifikaci. Tu poté vypustí do oběhu, kde se začne postupně rozšiřovat a používat ve velké míře. Po několika letech používání je teprve schválena jako platný standard. Během těch několika let se zachycují a opravují různé chyby, které vznikly při psaní daného standardu.

### 1.4. CSS

Cascading style sheets [9], česky kaskádové styly, se používají k úpravám vzhledu internetových stránek. Je to v podstatě programovací jazyk, kterým se zapisují příkazy do zvláštního souboru, jenž má příponu `css`. Pro CSS existuje několik specifikací. První byla CSS1, později CSS2. 7. června 2011 byla dokončena CSS2.1 a nyní se pracuje na specifikaci CSS3. Já však ve své práci využívám platnou specifikaci CSS2.1, která dle mých požadavků plně vyhovuje. Abych zjistil, jaké revizi vyhovují mé internetové stránky a jestli vůbec vyhovují, navštívil jsem webovou adresu <http://validator.w3.org> [9].

```
1 /* CSS Document */
2
3 body{
4   background-color: #427939;
5 }
6
7 header{
8   width: 1000px;
9   margin-left: auto;
10  margin-right: auto;
11 }
12
13 #content{
14   position: relative;
15   background: url(img/web_bg.png) no-repeat;
16   width: 1000px;
17   height: 1000px;
18   margin-left: auto;
19   margin-right: auto;
20 }
21
22 #items{
23   position: absolute;
24   left: 694px; top: 20px;
25   width: 300px;
26 }
27
28
29 canvas{
30   position: absolute;
31   margin: 20px 20px 20px 20px;
32   border-style: solid;
33   border-width: 1px;
34 }
```

Obr. 1.1: Ukázka kaskádového stylu

Na těchto stránkách je možnost kontroly vložení internetové adresy, dále vepsáním napsaného CSS kódu nebo vybráním souboru přímo z pevného disku. Na třetím řádku (viz Obr. 1.1) je červeným písmem identifikátor prvku, pro který platí úpravy ve složených závorkách. Text s křížkem na třináctém řádku označuje prvek, který je v HTML kódu označen stejným id. Textový obsah složených závorek psaný černým písmem je druh úpravy HTML stránek a modrým nebo růžovým písmem jsou již psány jednotlivé hodnoty. Jsou to například rozměry nebo pozice různých prvků na stránce, velikosti písma, vzdálenosti okrajů a podobně.

## 1.5. Javascript

Javascript [11] je skriptovací objektově orientovaný jazyk, jenž se používá pro tvorbu interaktivity webových stránek. Byl standardizován v roce 1997 asociací ECMA a v roce 1998 ISO. Využívá se pro programování funkcí. Deklarace proměnných je pomocí slova var a funkce pomocí slova function. Aby se napsaný skript dal použít, musí se importovat v hlavičce html stránky. Skript lze rovněž psát přímo v html, ale tento postup je mnohdy nepřehledný.

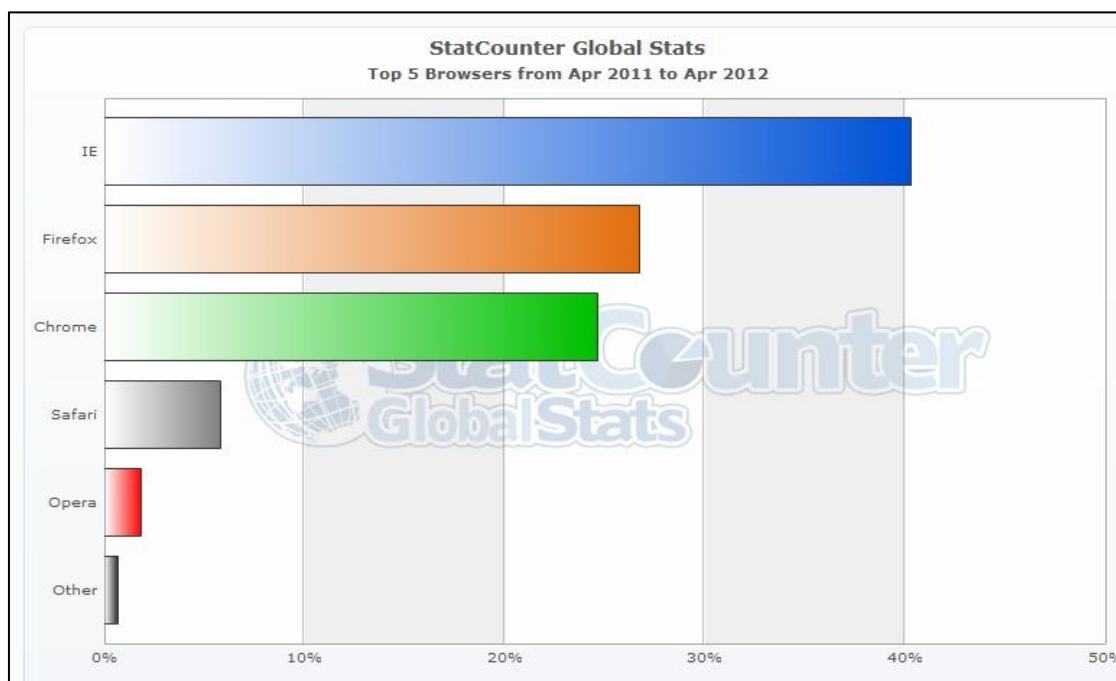
## 1.6. WebGL

WebGL [5] je zkratka Web Graphics Library, jež v překladu znamená internetová grafická knihovna. Ta rozšiřuje možnosti programovacího jazyka javascript o vytvoření interaktivní 3D grafiky v jakémkoliv kompatibilním prohlížeči bez použití pluginů. WebGL je založeno na OpenGL ES 2.0, které využívá element canvas a přistupuje k němu přes DOM. Je podporováno jako HTML 5 a rovněž také prohlížeči Chrome, Firefox, Safari a Opera. Internet Explorer zatím WebGL nepodporuje a do budoucna to Microsoft neplánuje. Pro vykreslování 3D modelů v prohlížečích je potřeba využívat knihovny webgl-utils a glMatrix. Tyto knihovny se starají o maticové operace, vykreslování do canvasu a podobně.

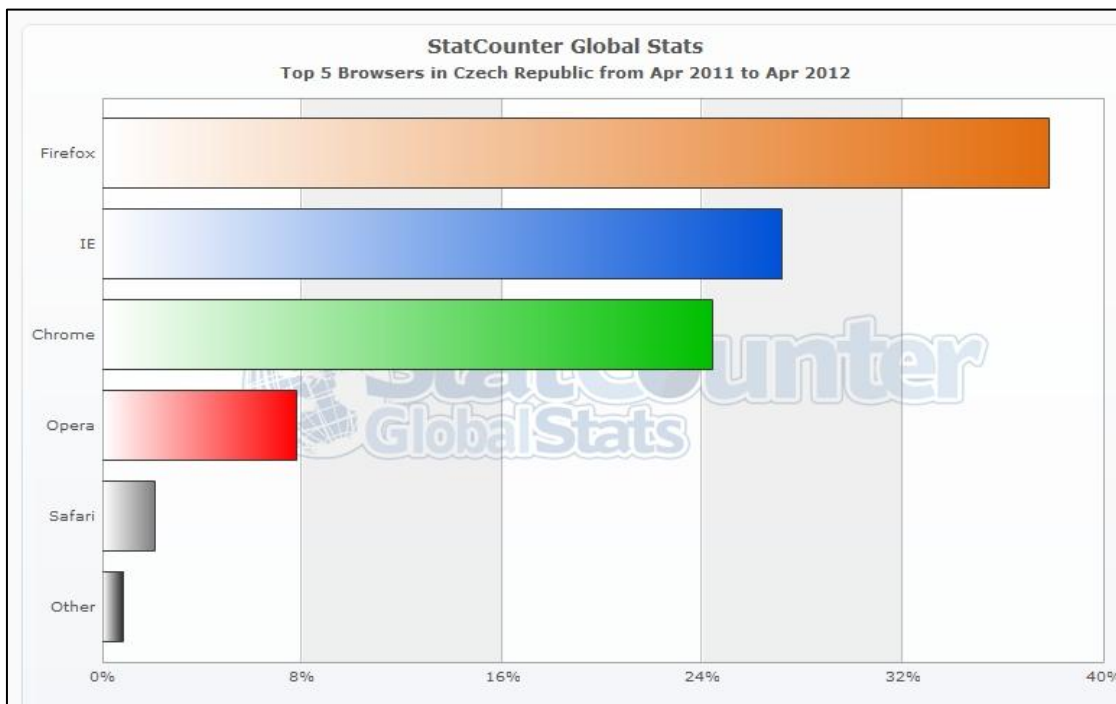
## 1.7. Internetové prohlížeče

Ze serveru StatCounter [6] jsem sestavil data, jež shrnují, jak je to s nejvíce používanými prohlížeči. I když Internet Explorer nepodporuje WebGL, stále se dle světových statistik drží za poslední rok na prvním místě (viz Obr. 1.2). Následuje ho Mozilla Firefox na místě druhém a Google Chrome na místě třetím. Když bychom spojili prohlížeče podporující WebGL, dostaneme se na necelých 60 procent, což je více než 40 procent, které má samotný Internet Explorer.

Když se však podíváme na statistiku (viz Obr. 1.3) nejvíce používaných prohlížečů v našem státě, zjistíme, že u nás vítězí Mozilla Firefox. Internet Explorer je na druhém místě těsně před Google Chrome. Můžeme rovněž zaznamenat, že u nás je více používaný prohlížeč Opera než prohlížeč Safari, což je z větší míry dáno tím, že je ve světě více rozšířena produkce firmy Apple. Ta totiž dodává prohlížeč Safari předinstalovaný na produktech iPad, iPhone a Mac počítačích. Dle grafu u nás používá přes 70 procent uživatelů prohlížeče, které podporují WebGL, zatímco uživatelů s nepodporovanými prohlížeči je necelých 30 procent. Z toho vyplývá, že je tato technologie celkem perspektivní jak u nás, tak i ve světě, a proto je pro nás použitelná.



Obr. 1.2: Statistika nepoužívanějších prohlížečů ve světě



Obr. 1.3: Statistika nepoužívanějších prohlížečů v ČR

## 1.8. Možnosti prohlížečů bez WebGL

K zobrazení 3D modelů na internetu nám slouží hned několik možností. Zatím nejrozšířenější je použití externích programů, zvaných pluginy. Jako příklad bych uvedl Adobe Flash Player, Java applet nebo Microsoft Silverlight. Tyto programy se musí doinstalovat, což každému nemusí vyhovovat. Proto vzniká standard HTML5, který v kombinaci s knihovny WebGL dokáže vykreslovat 3D grafiku v prohlížečích, aniž by se muselo cokoli dalšího instalovat.

Je zde také možnost vytvořit knihovnu, jež daný 3D model převede na 2D souřadnice, aby bylo možné vykreslení i v aktuálních verzích prohlížečů. To však není mým cílem, neboť by byl tento proces při složitějších modelech znatelně pomalejší a navíc ne 3D. Mým cílem je využití 3D canvasu a pomocí příkazů knihoven WebGL vykreslovat opravdu plné 3D modely. Výhoda těchto knihoven spočívá v tom, že jsou profesionálně optimalizované a zvládají i složité vykreslování rozsáhlých 3D modelů, a to bez použití jakýchkoli pluginů nebo přehrávačů. Vše je zobrazováno přímo v internetovém prohlížeči. Pro vykreslování je použit jazyk javascript.

## **1.9. Webový prostor**

Pro účely projektu jsem si na serveru <http://www.webzdarma.cz> vytvořil účet, který obsahuje úložný prostor na webu. Tento prostor je zdarma pod podmínkou, že na hlavní stránku musí být vložen reklamní proužek. Tento proužek lze vybrat v několika barevných variantách. Na své stránky jsem použil proužek černé barvy. Je umístěn na adrese <http://webgl.wz.cz>. Na toto místo jsem průběžně ukládal svou práci a zároveň ji také aktualizoval. Konkrétně jsou tím myšleny zdrojové kódy webových stránek, jež jsem psal pomocí freewarové aplikace Pspad.

## **2. Návrh a řešení**

### **2.1. Vybrané programy a jejich využití**

#### **2.1.1. Eagle**

Program Eagle [10] je nástroj pro navrhování 2D plošných spojů. Existuje ve verzích light, standard a professional, z nichž mým účelům vyhovuje verze light. Tato verze má omezení v podobě velikosti desky, která může být maximálně 100 mm x 80 mm. Je možné pracovat pouze se dvěma signálovými vrstvami s horní a dolní. Editor schémat umožňuje otevření pouze jednoho listu. Podpora je pouze emailem nebo na fóru.

Dále je nedílnou součástí programu Eagle používání ULP skriptů. ULP je programovací jazyk podobný jazyku C. Skripty napsané v tomto jazyce jsou mocné nástroje, které se využívají na exportování a importování všemožných dat. Já jsem ve své práci využil již naprogramovaný skript, který z navrženého schématu desky s plošnými spoji vygeneroval několik souborů ve formátu 3de, o kterých se zmíním později.



### **2.1.2. Pspad**

Pspad je volně šiřitelný textový editor. Je v českém jazyce a díky své rozšiřitelnosti o další doplňky je to univerzální nástroj pro psaní webových stránek, skriptů a mnoho dalšího. Pro editaci webových stránek a skriptů obsahuje našeptávání základních funkcí a metod. Já ho používal ke své práci při psaní skriptů v jazyce javascript, při programování internetových stránek a při jejich stylování.

### **2.1.3. Blender**

Blender je 3D modelovací a animační software, který je rovněž zdarma a podléhá licenci GNU GPL. Je multiplatformní, což znamená, že se dá nainstalovat na všechny operační systémy. V mé práci jsem tento program použil pro konverzi 3D modelů ze souborového formátu vrml do souboru obj.

## **2.2. Zobrazení 3D modelů**

Nejprve je potřeba mít modely součástek. Ty se dají získat vymodelováním v některém z 3D programů jako je 3D studio Max, Cinema 4D nebo Blender. Dále se modely z těchto programů vyexportují do zvoleného souboru, který se bude dále zpracovávat. Možností exportu je mnoho. Pro nás byl nejlepší volbou soubor ve formátu obj, jak jsem již popsal dříve.

Další nutností je mít zpracovaný převod těchto modelů tak, aby bylo možné je zobrazit na webu. Z tohoto důvodu využívám softwarovou knihovnu, jež obsahuje metody pro tento převod. K tomu je potřeba knihovna WebGL, která obsahuje již naprogramované části pracující s vektory a souřadnicemi a vykresluje dané modely v canvasu.

Nakonec jsem dohromady sloučil softwarovou knihovnu, WebGL knihovnu, soubory s modely, mnou naparsované souřadnice a rozměry součástek, potřebné skripty. Tím jsem zprovoznil funkční webovou aplikaci, která zobrazuje 3D model desky s plošnými spoji. Pokud při načítání modelů nějaký chybí, objeví se výstražná hláška.

Pro vykreslování prvků jako jsou vodiče, texty nebo pouzdra jsem z použité knihovny použil skript s funkcemi pro tvorbu primitiv. Tyto prvky jsou v podstatě

tvořeny úsečkami, které jsme kvůli optimalizaci museli převést na jeden objekt složený z úseček. Bez tohoto převodu se všechny výpočty transformací prováděli pro každou úsečku zvlášť, což bylo velmi náročné na procesor a grafickou kartu. Pro zajímavost mohu zmínit, že si internetový prohlížeč Mozilla Firefox žádal okolo 1500MB paměti RAM, kdežto po převodu na jeden objekt se nárok na paměť snížil zhruba na 350MB.

## **2.3. Soubory s příponou obj**

Výběr souborů byl důležitý hned z několika důvodů. Tím hlavním byl ten, že jsme se s kolegou museli [4] dohodnout, jaký použijeme typ souboru pro zpracování 3D modelů. Kolega totiž musí načíst informace o modelu právě z nějakého souboru, a poté tyto informace zpracovat tak, že bude schopen model vykreslit do 3D canvasu. Existuje ovšem mnoho druhů výstupních souborů, které obsahují informace o 3D modelech. Jako optimální řešení jsme vybrali soubor s příponou obj, jenž obsahuje přehledně zapsané informace o modelu a navíc i o použitých texturách a materiálech, které použijí na obarvení standardně šedých 3D modelů.

### **2.3.1. Formát souboru s příponou obj**

V souboru obj [7] je na začátku prvního řádku znak nebo slovo, které určuje, o který prvek modelu se jedná (viz Obr. 2.1). Symbol # určuje poznámku, která pro vykreslení modelu není důležitá. Vrcholy jsou značeny písmenem V, po kterém následují souřadnice x, y a z daného vrcholu. Souřadnice textur jsou značeny písmeny VT, které jsou následovány souřadnicemi textur UV, což vyjadřuje souřadnice na textuře, kde se textura přichytí k vrcholu. Při určení třech bodů na textuře k vrcholům polygonu můžeme určit, jak bude textura nanесena na polygon. Normálový vektor je značen písmeny VN, za kterými následují x, y a z souřadnice. Normálový vektor určuje, kde je přední část stěny a kde je zadní část stěny. Této informace využíváme při osvětlení. Polygon je potom značen písmenem F, za kterým následují informace o tom, ze kterých vrcholů je sestaven polygon. Dále zde může být přitažení UV informací k jednotlivým vrcholům polygonu a normálovým vektorům polygonu.

Polygony jsou zapisovány čtyřmi způsoby:

1. f v1 v2 v3 v4 ... – jsou určeny jenom vrcholy, ze kterých se polygon skládá
2. f v1/vt1 v2/vt2 v3/vt3 ... – jsou určeny vrcholy a souř. textury, přiřazené k vrcholům
3. f v1/vt1/vn1 v2/vt2/vn3 v3/vt3/vn3 ... – jsou určeny vrcholy, souřadnice textury a normála
4. f v1//vn1 v2//vn3 v3//vn3 ... – jsou určeny vrcholy a normála

Číslo „v“ určuje pořadí vrcholu jak je zapsán v souboru, číslo „vt“ určuje pořadí souřadnice textury jak je zapsána v souboru a číslo „vn“ určuje pořadí normály jak je zapsána v souboru.

```
v -1.644053 -1.000000 2.371743
v -1.644053 1.000000 -2.358417
v -1.644055 1.000000 2.371743
v -1.644055 2.000000 2.371743
v -1.644053 2.000000 -2.358417
v -1.644053 -1.000000 0.006663
vn -0.000000 -0.000001 1.000000
vn 0.000000 0.000001 -1.000000
vn -0.000000 0.000000 1.000000
vn 0.000000 -0.000000 -1.000000
vn 1.000000 -0.000000 0.000001
vn 1.000000 0.000001 0.000001
vn -1.000000 -0.000000 -0.000000
vn -1.000000 -0.000000 -0.000001
vn -0.000000 -1.000000 0.000000
vn -0.000000 0.980485 0.196592
vn 0.280498 0.959855 0.000000
vn -0.280498 0.959854 -0.000000
vn 0.000000 0.980485 -0.196592
vn 0.000000 1.000000 -0.000000
usemtl Material
s off
f 6//1 26//1 24//1 2//1
f 26//1 16//1 14//1 24//1
f 1//2 23//2 25//2 5//2
f 23//2 13//2 15//2 25//2
f 16//3 26//3 27//3 17//3
f 26//3 6//3 11//3 27//3
f 5//4 25//4 28//4 12//4
```

Obr. 2.1: Exportovaný soubor obj

## 2.4. Specifikace souborů 3de

Zde jsem nebyl nucen vybírat typ souboru, který mám dále zpracovat, jelikož využívám již naprogramovaný skript, jenž má jako výstup soubory s touto příponou. Strukturou je to jednoduchý textový soubor obsahující různě zformátované údaje. Souborů mám vygenerováno deset, z toho některé mohou být nevyužity. To záleží na návrhu celého schématu. Tyto soubory obsahují informace o umístění veškerých prvků z návrhu desky plošných spojů. Mým úkolem bylo tyto soubory rozparsovat a získat z nich jednotlivé údaje, jako jsou souřadnice součástek, úhly natočení nebo poloměry válců. Je ošetřeno, že pokud nějaký ze souborů je prázdný nebo neexistuje, webová aplikace zobrazí varovnou hlášku.

Všechny soubory jsou uloženy ve stejné složce. Jelikož je možné zobrazit i jakoukoliv jinou desku s plošnými spoji, stačí přidat novou složku obsahující stejné typy souborů. Tyto soubory musí být přesně definovány. Jestliže tomu tak nebude, výsledná deska se nezobrazí. Záleží tedy na tom, aby byl pro zobrazení dalších desek použit stejný ulp skript. Cesta k těmto složkám je předávána jako parametr.

### 2.4.1. Soubor deska.3de

Tento soubor obsahuje souřadnice čtyř bodů obdélníku, jenž představuje desku plošných spojů. Na každém řádku je souřadnice x a souřadnice y každého bodu (viz Obr. 2.2). Rovněž na něm musí být dvě desetinná čísla oddělena bílým znakem. Pokud bude více bílých znaků, nebude soubor správně zpracován.

```
1 0.000000 0.000000
2 0.000000 80.000000
3 100.000000 80.000000
4 100.000000 0.000000
```

Obr. 2.2: Část souboru deska.3de

### 2.4.2. Soubor package.3de

V tomto souboru jsou údaje o pouzdrech nalézajících se na desce. Na každém lichém řádku musí

```
1 packagetop
2 0.127000 58.166000 70.739000 92.837000 70.739000
3 packagetop
4 0.127000 98.171000 70.739000 98.171000 77.851000
5 packagetop
6 0.127000 58.166000 77.851000 92.837000 77.851000
```

Obr. 2.3: Část souboru package.3de

být zapsán údaj o umístění daného pouzdra a také, zda je v horní nebo v dolní signálové vrstvě a jaký je to druh. Na každém sudém řádku jsou poté v pořadí za sebou tyto údaje: šířka čáry, dvě souřadnice prvního bodu, dvě souřadnice druhého bodu. Liché řádky mohou obsahovat libovolné znaky, sudé řádky však mohou obsahovat pouze desetinná čísla. Oddělovačem je bílý znak. Mezi třetí a čtvrtou hodnotou jsou dva bílé znaky, bez nichž by zpracování selhalo (viz Obr. 2.3).

### 2.4.3. Soubor pad.3de

Soubor pad obsahuje údaje o pájecích ploškách. První řádek je složen ze znaků udávajících typ součástky. Na druhém a třetím řádku (viz Obr 2.4) jsou souřadnice x, y a poloměry. Každý tento řádek vždy musí obsahovat tři desetinná čísla oddělena bílým znakem. Pokud jich bude více, parsování skončí na poslední správné hodnotě. Hodnoty udávají rozměry a umístění dvou válců.

```
1 Pad
2 64.135000 74.295000 1.574800
3 64.135000 74.295000 0.660400
4 Pad
5 89.128600 74.295000 1.574800
6 89.128600 74.295000 0.660400
```

Obr. 2.4: Část souboru pad.3de

#### 2.4.4. Soubory soucastkytop.3de a soucastkybott.3de

V těchto dvou souborech jsou stejně naformátována data s údaji o součástkách. Tato data se liší pouze tím, ve které vrstvě součástky leží. Každá součástka je popsána na třech řádcích (viz Obr. 2.5). První řádek musí obsahovat název pouzdra, který je oddělen dvojtečkou. Na druhém řádku je hodnota součástky rovněž oddělena dvojtečkou a na třetím řádku je úhel otočení a souřadnice x a y. Tyto hodnoty jsou vyjádřeny desetinnými čísly a oddělovačem je zde bílý znak.

```
1 jmeno package:FB100
2 hodnota soucastky:FB100
3 0.000000 64.135000 74.295000
4 jmeno package:2X25
5 hodnota soucastky:PINHD-2X25
6 180.000000 50.165000 9.525000
```

Obr. 2.5: Část souboru soucastkytop.3de

#### 2.4.5. Soubor text.3de

V souboru text jsou souřadnice bodů, ze kterých je na desce

```
1 top
2 0.177800 14.058900 76.288900 14.058900 77.890400
3 top
4 0.177800 14.058900 77.089600 15.126600 77.089600
5 top
6 0.177800 15.126600 77.890400 15.126600 76.288900
```

složen text. Jsou to postupně šířka čáry,

Obr. 2.6: Část souboru text.3de

složka  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $x_2$ ,  $y_2$  (viz Obr. 2.6). Liché řádky jsou složeny ze znaků, sudé řádky z pěti desetinných čísel, oddělených bílými znaky. Mezi třetím a čtvrtým číslem jsou opět dva bílé znaky. V případě více bílých znaků se zpracování zastaví.

#### 2.4.6. Soubor via.3de

Tento soubor obsahuje, podobně jako soubor pad, údaje o válcích se souřadnicemi x, y a poloměry (viz Obr. 2.7). Zde však tyto válce představují vyvrtané díry pájecích plošek. První řádek obsahuje jakékoliv znaky. Druhý a třetí řádek obsahují tři desetinná čísla. Oddělovačem je bílý znak.

```
1 round
2 26.035000 62.865000 0.600000
3 26.035000 62.865000 0.250000
4 round
5 66.040000 17.145000 0.600000
6 66.040000 17.145000 0.250000
```

Obr. 2.7: Část souboru via.3de

### 2.4.7. Soubory vodictop.3de a vodibot.3de

Tyto dva soubory obsahují stejně formátované informace

1	0.406400	4.445000	6.985000	5.715000	8.255000
2	0.406400	4.445000	14.605000	5.715000	15.875000
3	0.406400	5.715000	15.875000	8.890000	15.875000
4	0.406400	6.985000	14.605000	9.525000	14.605000

Obr. 2.8: Část souboru vodictop.3de

o cestách vodičů, reprezentovaných tloušťkou čáry a souřadnicemi  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $x_2$ ,  $y_2$  (viz Obr. 2.8). Jeden soubor je pro vodiče horní signální vrstvy a druhý soubor pro vodiče dolní signální vrstvy. Na každém řádku je pětice desetinných čísel oddělených od sebe jedním bílým znakem, mimo třetí a čtvrté hodnoty, kde jsou bílé znaky dva.

Nevýhodou parsování v jazyce javascript je, že když nastane nějaká chyba, tak není ignorována a zpracování selže. To je důvodem, proč musí být všechny soubory správně formátovány dle výše uvedených specifikací.

## 2.5. Datové struktury

V následující tabulce (viz Tab. 1) platí, že každý sloupec je část jedné datové struktury, jež obsahuje hodnoty získané parsováním vygenerovaných 3de souborů. Tyto hodnoty dále předávám funkcím pro vykreslení 3D modelů.

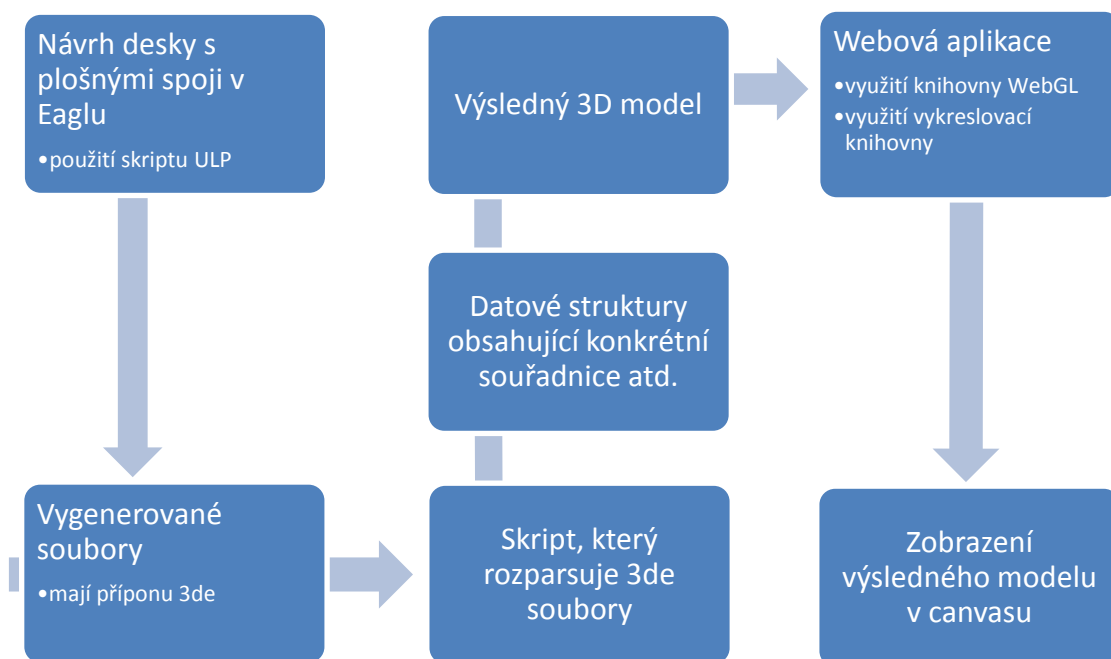
Tab. 1: Ukázka datových struktur získaných z 3de souborů

Šířka čáry	Souřadnice X1	Souřadnice Y1	Souřadnice X2	Souřadnice Y2
0.406400	4.445000	6.985000	5.715000	8.255000
0.406400	4.445000	14.605000	5.715000	15.875000
0.406400	5.715000	15.875000	8.890000	15.875000
0.406400	6.985000	14.605000	9.525000	14.605000
0.406400	8.890000	15.875000	9.525000	16.510000
0.406400	9.525000	16.510000	9.525000	64.770000
0.406400	5.715000	8.255000	10.160000	8.255000
0.406400	9.525000	14.605000	10.160000	15.240000
0.406400	10.160000	15.240000	10.160000	62.865000
0.406400	9.525000	64.770000	10.160000	65.405000

0.406400	6.985000	6.985000	10.795000	6.985000
0.406400	10.160000	8.255000	10.795000	8.890000
0.406400	10.795000	8.890000	10.795000	21.590000
0.406400	10.795000	41.91000	0 10.795000	57.785000
0.406400	10.160000	62.86500	0 10.795000	63.500000
0.406400	10.795000	6.985000	11.430000	7.620000
0.406400	11.430000	7.620000	11.430000	19.685000
0.406400	10.795000	21.59000	0 11.430000	22.225000
0.406400	10.795000	41.91000	0 11.430000	41.275000

## 2.6. Postup a schéma vizualizace

Nejprve se v programu Eagle navrhne deska s plošnými spoji. Poté se pomocí ulp skriptu vygeneruje deset 3de souborů obsahujících souřadnice a potřebné rozměry všech použitých prvků. Dále se jednotlivé soubory pomocí skriptu rozparsují a hodnoty se uloží do potřebného množství datových struktur. Tyto struktury jsou dále předány jednotlivým funkcím, které využijí hodnoty a vykreslí výsledek ve webové aplikaci. Webová aplikace obsahuje tlačítka, jež dovolují přepínání mezi jednotlivými deskami s plošnými spoji.



## 2.7. Parsování souborů 3de

Všechny výše zmíněné soubory jsem postupně musel zpracovat takzvaným parsováním, což je anglický výraz pro postupné dělení textových souborů. Toho lze docílit mnoha programovacími jazyky. Ve své práci jsem využil jazyka javascript. Využívá se metody split, která jako první parametr přebírá obsah souboru pro zpracování a druhým parametrem je znak, kterým daný text chci dělit. Nejdříve jsem celý text rozdělil řádkováním. Poté jsem jednotlivé řádky rozdělil mezerami na jednotlivé hodnoty, jež jsem poté uložil do pole objektů.

Abych s těmito údaji mohl dále pracovat, musel jsem si je převést z datového typu řetězec na číselný typ float. Je to číslo s plovoucí desetinnou čárkou. Tento převod byl důležitý, protože funkce knihovny, které využívám, přebírají číselný parametr a ne řetězcový.

Jelikož má ale každý 3de soubor jinou strukturu, musel jsem řešit jejich parsování zvlášť. Abych mohl pro všechny soubory použít jedinou funkci, řešil jsem to pomocí rozhodovací podmínky. Ta podle názvu souboru spustila požadovanou funkci.

### 2.7.1. Funkce parsování součástek

Tato funkce prochází načtený soubor s údaji o součástkách. Do proměnné `souc_obsah` je uložen rozdělený po řádcích. Tuto proměnnou dále procházím po jednom řádku a dále dělím podle toho, jaká data daný řádek obsahuje. Když je to název pouzdra, vkládám ho do pole `packName`, pokud je to hodnota, vkládám ji do pole „hodnota.“ Čísla vkládám do příslušných polí a to `soucAngle`, `soucX`, `soucY`.

### 2.7.2. Funkce parsování vodičů

Funkce pro parsování vodičů opět dělí načtený soubor po řádcích. Řádky prochází po jednom a ukládá mezerou dělená data do polí `vodWidth`, `vodX1`, `vodX2`, `vodY1`, `vodY2`.



### **2.7.3. Funkce parsování děr pájecích plošek**

Tato funkce dělí načtený soubor po řádcích. Ty poté prochází po jednom, dokud neprojde všechny. První řádek uloží do proměnné `via_shape`, druhý řádek rozdělí pomocí mezery do proměnných `viaX`, `viaY`, `viaD`. Třetí řádek vloží po dělení mezerou do proměnných `viaXh`, `viaYh` a `viaDh`.

### **2.7.4. Funkce parsování pájecích plošek**

Touto funkcí dělím načtený soubor dle řádků. Tyto řádky dále procházím a první řádek ukládám do proměnné `pad_shape`, kde je tvar pájecí plošky. Druhý řádek dělím mezerami na souřadnice `x`, `y` a poloměr vnitřní pájecí plošky. Třetí řádek dělím stejně, zde jsou to souřadnice a poloměr vnější pájecí plošky.

### **2.7.5. Funkce parsování textů na desce plošných spojů**

Funkce parsování textů načte obsah s daty, který opět dělí na řádky a ty postupně prochází. Na prvním řádku uloží do proměnné `text_position`, do které signálové vrstvy se má text zobrazit. Druhý řádek se pomocí mezery rozdělí na tloušťku čáry a souřadnice krajních bodů. Tyto údaje ukládám do proměnných `textWidth`, `textX1`, `textY1`, `textX2`, `textY2`.

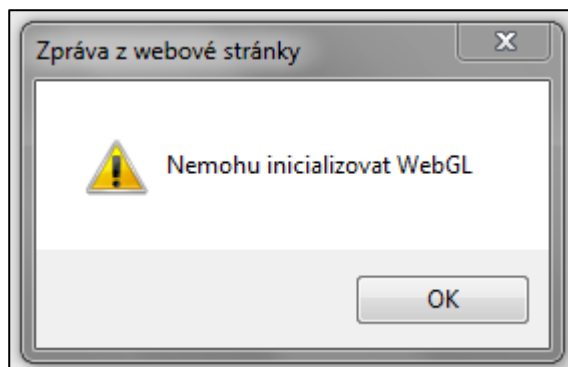
### **2.7.6. Funkce parsování pouzder na desce plošných spojů**

Tato funkce, stejně jako předchozí, dělí načtená data na řádky. Ty pak po jednom prochází. První řádek obsahuje typ pouzdra, který ukládám do proměnné `pack_type`. Data z druhého řádku rovněž dělím mezerou na 5 hodnot. Tyto poté ukládám do proměnných.

## 2.8. Tvorba webových stránek

Dalším krokem mé práce bylo vytvořit webové stránky. Pro jejich napsání jsem používal již výše zmiňovaný program Pspad. Díky zvýraznění syntaxe je kód přehledný a lépe se pracuje. Vzhled stránek jsem navrhl do příjemné zelené barvy, v kombinaci s bílými a černými ovládacími prvky. Hlavní prvek, který na stránce musí být, je 3D canvas. U něho jsem navrhl velikost 650 na 400 pixelů, protože zobrazovaná deska s plošnými spoji je ve tvaru kvádrů.

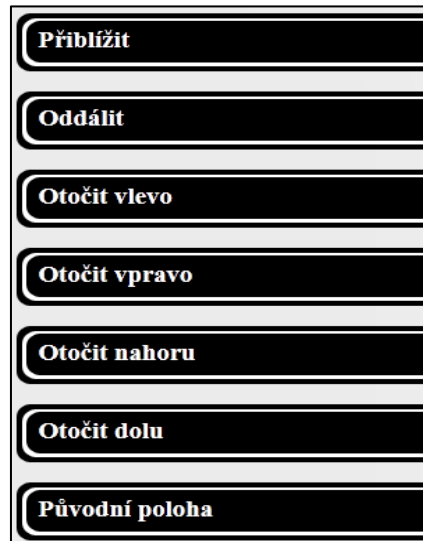
Výplň canvasu je černé barvy. Canvas a všechny ostatní prvky pak leží na bílém pozadí, jež má zaoblené rohy a je vloženo jako obrázek. Když se stránky spustí v nepodporovaném prohlížeči, zobrazí se hláška o tom, že prohlížeč prvek canvas nepodporuje. Hláška „nelze inicializovat WebGL“ vznikne, když není podpora



Obr. 2.9: Ukázka chybové hlášky

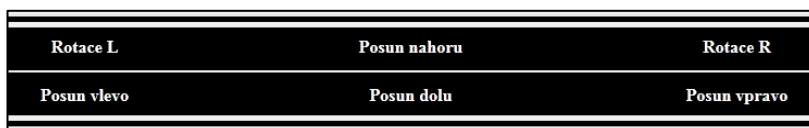
ze strany grafické karty nebo když není WebGL implementováno v prohlížeči (viz Obr. 2.9).

Dále jsem vytvořil dvě sady ovládacích tlačítek. Nejpoužívanější a nejužitečnější tlačítka (viz Obr. 2.10) jsem umístil vpravo od canvasu. Jsou to tlačítka přiblížit, oddálit, otočit vlevo, otočit vpravo, otočit nahoru, otočit dolů a původní poloha.



Obr. 2.10: Postranní ovládací tlačítka

Tato tlačítka jsou tvořena textem typu h3, který se používá pro nadpisy. Tento text je upraven na střední velikost a má bílou barvu. Pozadí těchto tlačítek je obrázek zaobleného černobílého obdélníku vloženého kaskádovým stylem.



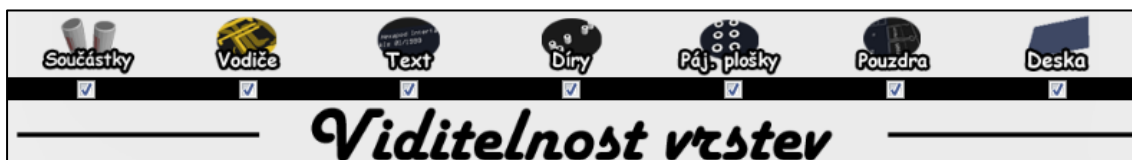
Méně používaná tlačítka (viz Obr. 2.11)

Obr. 2.11: Ovládací tlačítka pod canvasem

leží pod canvasem.

Jsou to rotace vlevo, posun nahoru, rotace vpravo, posun vlevo, posun dolů a posun vpravo. Tlačítka jsou opět text typu h3 bílé barvy, zde ovšem pouze normální velikosti. Všechna leží v černobílém obdélníku vloženém jako obrázek pomocí kaskádového stylu.

Dalšími prvky jsou takzvané checkboxy, což jsou zaškrťovací okénka (viz Obr. 2.12). Nad každým okénkem je obrázek, který znázorňuje, s jakým prvkem v modelu je



Obr. 2.12: Ukázka zaškrťovacích políček s popisky

zaškrťovací políčko spjaté (viz kapitola 2.7). Pod těmito zaškrťovacími políčky je obrázek, jenž popisuje jejich funkci.

Webové stránky jsem zkontroloval pomocí validátoru na internetové adrese <http://validator.w3.org>. Tato webová aplikace kontroluje správnou syntaxi kódu. Protože je však ještě HTML5 ve vývoji, je tato kontrola prozatím experimentální. Jelikož jsem používal kaskádový styl, navštívil internetovou adresu <http://jigsaw.w3.org/css-validator>, kde jsem zkontroloval správnou syntaxi kaskádového stylu. Pro stylování jsem použil CSS revizi 2.1. Když stránky projdou kontrolou, tak je možné na ně dodatečně vložit logo CSS jako důkaz, že jsou v pořádku.

## 2.9. Interaktivní ovládání

Nyní bych popsal funkce prvků webové aplikace. Začal bych jednotlivými tlačítky. Ta přebírají javascriptové funkce z importované softwarové knihovny, kde jich je většina definována. Funkce, které v knihovně nejsou, jsem si naprogramoval sám.

Tlačítko přiblížit využívá funkci zvětšení. Ta jako parametr přebírá číslo, které má 100% rovno jedné, tudíž pro samotné zvětšení se po stisknutí tlačítka přidá 10% zvětšení. To odpovídá číslu 1.1. Opačně funguje tlačítko oddálit, které využívá stejnou funkci, avšak s tou změnou, že ubírá 10% a to odpovídá číslu 0.9.

Tlačítka otočit vlevo, otočit vpravo, otočit nahoru a otočit dolů využívají funkci relativního otáčení. První dvě možnosti mění hodnotu otočení podle svislé osy y a druhé

dvě možnosti podle vodorovné osy  $x$ . Tuto funkci též užívají méně používaná tlačítka rotace vlevo a rotace vpravo, ty mění hodnotu otočení podle osy  $z$ .

Tlačítko pro původní polohu využívá vlastní funkci používající metody absolutního otočení a absolutního posunu. Absolutní otočení natočí model do požadovaného úhlu a absolutní posun ho posune na vhodnou pozici. Touto funkcí zajistím, že když uživatel otočí nebo posune model a bude se chtít vrátit do původní polohy, stiskne toto tlačítko a nemusí kvůli tomu znovu vše načítat pomocí aktualizace stránky. Méně používaná tlačítka pro posun nahoru, dolů, vlevo a vpravo mají funkci relativního posunutí, kde se mění hodnota posunutí svislé a vodorovné osy.

Posledním funkčním prvkem jsou zaškrťovací políčka, která mají funkci skrývání a zobrazování jednotlivých vrstev. Je jich sedm, neboť právě sedm viditelných vrstev model obsahuje. Políčka mají nastaveno, že při načtení stránky jsou zaškrtnutá a model je plně zobrazený. Když se políčko odškrtně, tak se daná vrstva přestane vykreslovat, čímž se sníží náročnost scény na vykreslení. Všechna políčka jsou obsloužena funkcí viditelnost, která kontroluje zaškrtnutí políčka a nastavuje parametr viditelnosti jednotlivých modelů, kterých se to týká dle vrstvy (viz Obr. 3.4, Obr. 3.5, Obr. 3.6, Obr. 3.7).

Scénu lze také ovládat pomocí myši. Držením pravého tlačítka myši lze s modelem posouvat ve směru os  $x$  a  $y$ . Při stisknutí a držení levého tlačítka můžeme s modelem otáčet okolo těžiště modelu desky. Skrolováním pomocí kolečka myši je zase možné model přibližovat a oddalovat.

### 3. Závěr

Tato bakalářská práce měla za cíl vytvoření 3D vizualizace desky plošných spojů a též implementaci interaktivní HTML aplikace pro její vykreslení. V průběhu práce jsem se seznámil s programováním v jazyce javascript, pomocí kterého jsem napsal skripty pro umístění všech prvků scény. Dále skripty pro skrývání jednotlivých vrstev modelu a pro rozřazení, do které vrstvy jednotlivé prvky patří.

Poté jsem si zopakoval tvorbu webových stránek s použitím kaskádových stylů. Tyto stránky jsem úspěšně zkontroloval a implementoval do nich vykreslovací knihovnu. Tato knihovna spolu s mými skripty zobrazuje pomocí WebGL 3D model desky s plošnými spoji, jež obsahuje těchto sedm vrstev: součástky, vodiče, pájecí plošky, díry pro pájecí plošky, textové popisky a pouzdra. Všechny tyto vrstvy lze pomocí zaškrtávacích políček vypínat nebo zapínat.

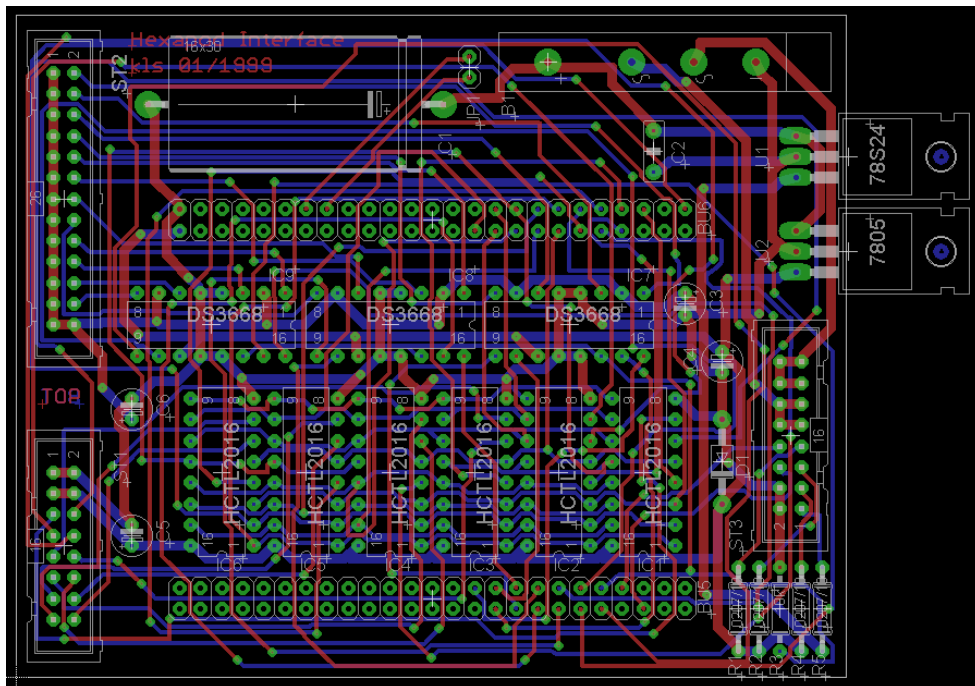
Během práce došlo pouze k jednomu menšímu problému, a tím byla náročnost vykreslování. Použitá knihovna načítala vodiče jako cca tisíc modelů, přičemž s každým z nich se prováděly různé operace. To se projevilo na spotřebě paměti počítače a na zhoršených možnostech manipulace. Vykreslování bylo náročné a ovládání modelů bylo trhanými pohyby. Po úpravě knihovny autorem se tyto vodiče nenačítaly již jako tisíc modelů, ale jako jeden, se kterým se již každá operace provedla pouze jednou. Toto vylepšení uvolnilo velké množství paměti počítače a rázem se manipulace s modelem stala plynulou.

Při použití stejného ULP skriptu, který jsem použil pro export údajů o součástkách, je možné zobrazovat různé desky s plošnými spoji vytvořené pomocí programu Eagle. Toto jsem otestoval na třech různých deskách, přičemž se všechny vykreslily správně.

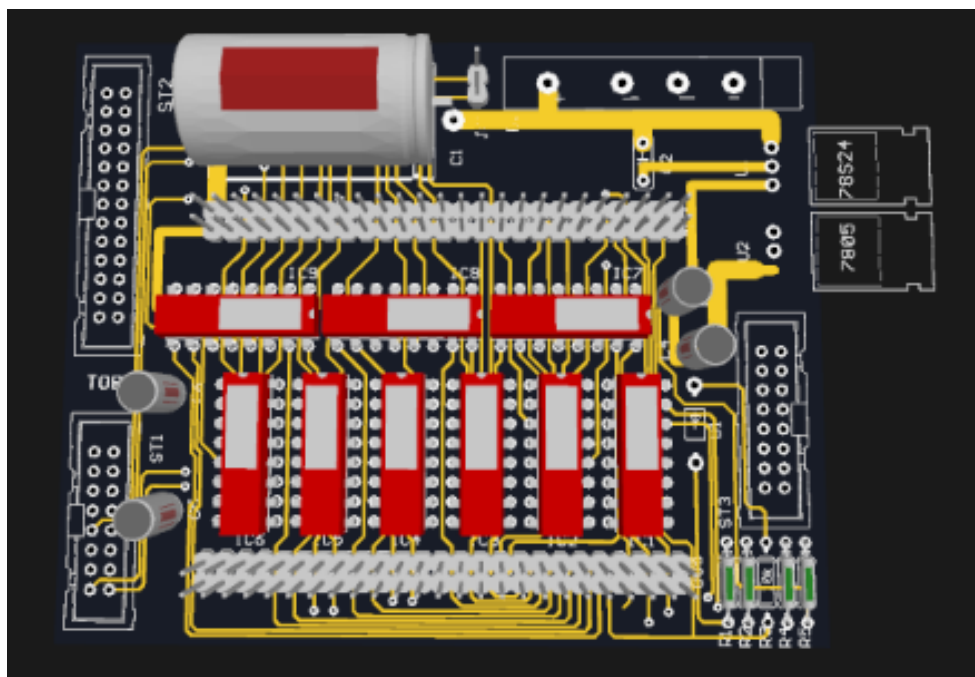
## Seznam použitých zdrojů

- [1] W3schools [online]. c1999-2011 [cit. 2012-04-20]. HTML5 Tag Reference. Dostupné z WWW: <[http://www.w3schools.com/html5/html5\\_reference.asp](http://www.w3schools.com/html5/html5_reference.asp)>.
- [2] Mozilla [online]. c2009-2011 [cit. 2012-04-20]. Firefox. Dostupné z WWW: <<http://www.mozilla.cz>>.
- [3] STRACHOŇ, David. *3D vizualizace návrhu DPS z Eagle*. Liberec, 2005, 51 s.
- [4] FRANC, Stanislav. *Softwarová knihovna pro vykreslování 3D modelů pomocí HTML5*. Liberec, 2012.
- [5] Learning WebGL: The Lessons. In: *Learning WebGL* [online]. October 6th, 2009 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://learningwebgl.com/blog/>.
- [6] Top 5 Browsers. STATCOUNTER. *StatCounter: GlobalStats* [online]. © 1999-2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://gs.statcounter.com>.
- [7] Wavefront OBJ File Format Summary. *Fileformat.info* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.fileformat.info/format/wavefrontobj/egff.htm>.
- [8] PERSISTENCE OF VISION RAYTRACER PTY. LTD. *Povray* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.povray.org/>.
- [9] W3schools [online]. c1999-2011 [cit. 2012-04-20]. CSS Reference. Dostupné z WWW: <[http://www.w3schools.com/css/css\\_reference.asp](http://www.w3schools.com/css/css_reference.asp)>.
- [10] CADSOFT COMPUTER. *Cadsoftusa* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.cadsoftusa.com/>.
- [11] JANOVSKEÝ, Dušan. *Jak psát web* [online]. 2012, 8. 4. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.jakpsatweb.cz/>.
- [12] Request for Comments (RFC). ASSOCIATION MANAGEMENT SOLUTIONS, LLC (AMS). *The Internet Engineering Task Force* [online]. 2011 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc.html>.
- [13] JEROME. *Eagle meets SketchUp* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://eagleup.wordpress.com/>.

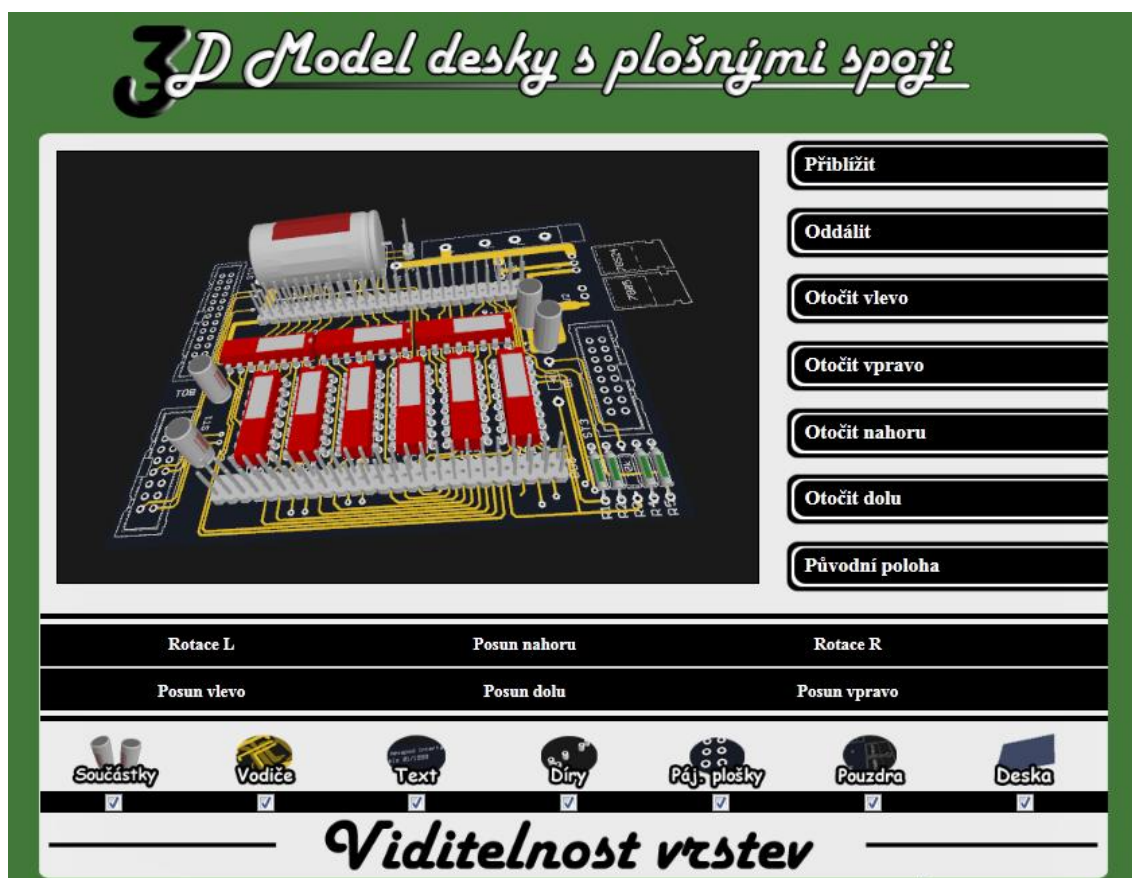
# Příloha



Obr. 0.1: Náhled schématu vytvořeného v programu Eagle

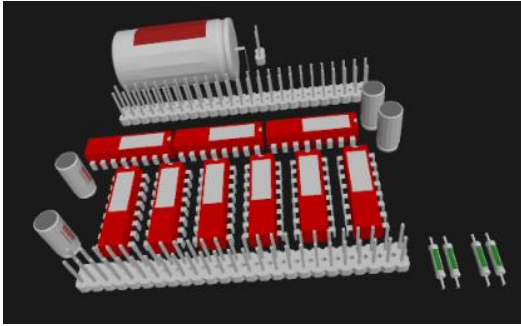


Obr. 0.2: Náhled 3D modelu vykresleného pomocí WebGL

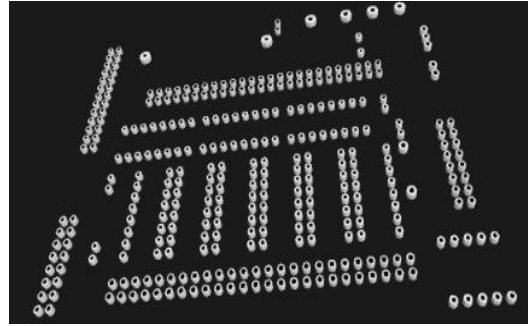


Obr. 0.3: Celkový vzhled webových stránek

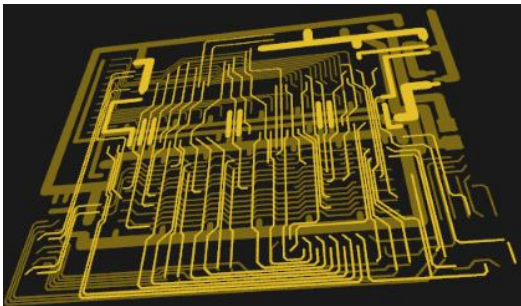




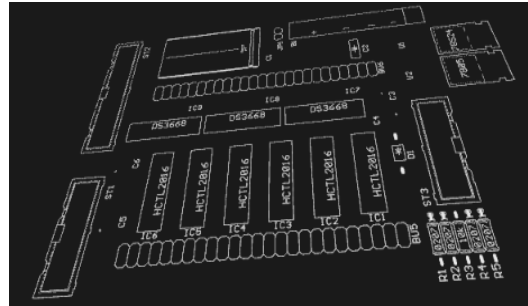
Obr. 0.4: Ukázka vrstvy součástek



Obr. 0.6: Ukázka vrstvy pájecích plošek



Obr. 0.5: Ukázka vrstvy vodičů



Obr. 0.7: Ukázka vrstvy pouzder