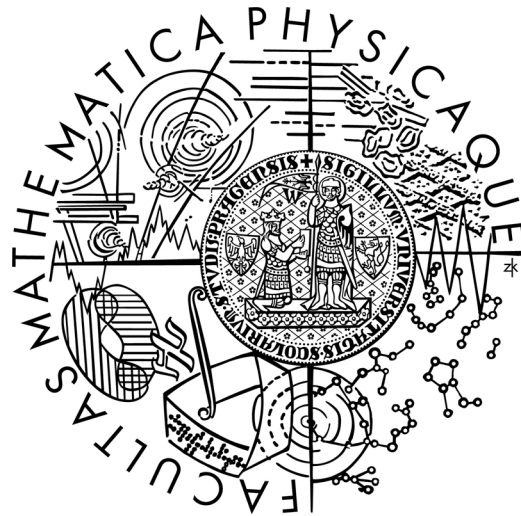


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Jan Jílek

Simulace povlakování nástrojů

Název katedry: Katedra aplikované matematiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Kára, Ph.D.

Studijní program: Informatika

Poděkování:

Chci poděkovat především Mojžíru Jílkovi za pomoc při řešení fyzikálních problémů a Ing. Ondřeji Zindulkovi za poskytnutí dat získaných při analýze nanosených vrstev. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Rostislavu Vodákovi, Ph.D. za konzultace v průběhu vývoje softwaru a v neposlední řadě RNDr. Janu Károvi, Ph.D. za konzultace a vedení bakalářské práce. A nakonec Haně Součkové za podporu.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsal samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčením práce a jejím zveřejněním.

V Praze dne

Jan Jílek

Obsah:

1. Úvod	5
2. Požadavky	5
3. Proces povlakování	6
3.1. Úvod do procesu povlakování	6
3.2. Soustava válců	7
3.3. Formát vstupu soustavy válců	9
3.4. Soustava elektrod	10
3.5. Formát vstupu soustavy elektrod	12
3.6. Další vstupní parametry	13
3.7. Výstup procesu povlakování	14
4. Proces vyhodnocování	16
4.1. Úvod do procesu vyhodnocování	16
4.2. Řez válcem	17
4.3. Barevná paleta	18
4.4. Formát vstupu barevné palety	21
4.5. Úvod do zpracování částic	22
4.6. Velikost a tvar kuželoidu	23
4.7. Zpracování částic	24
4.8. Kaskádová metoda zarovnávání částic do mřížky	27
4.9. Výstup	31
5. Uživatelská příručka	32
5.1. Popis menu	32
5.2. Zařízení	37
5.2.1. Popis zařízení	37
5.2.2. Formát vstupu zařízení	38
5.2.3. Kalibrace zařízení	40
5.3. Karusel	41
5.3.1. Popis karuselu	41
5.3.2. Formát vstupu karuselu	42
5.4. Planetka	43

5.4.1. Popis planetkového držáku	43
5.4.2. Formát vstupu planetkového držáku	44
5.5. Nastavení inicializačního souboru	46
5.6. Výstup	48
6. Testování	49
6.1. Úvod	49
6.2. Velikost částice	53
6.3. Tvar částice	56
6.4. Zarovnávání částic do mřížky	60
6.5. Převodové poměry	63
6.6. Porovnávání výsledků	66
7. Další metody simulace povlakování	68
8. Závěr	69
9. Použitá literatura a zdroje	70

Název práce: Simulace povlakování nástrojů

Autor: Jan Jílek

Katedra: Katedra aplikované matematiky

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Kára, Ph.D.

e-mail vedoucího: Jan.Kara@mff.cuni.cz

Abstrakt: Je dána povlakovací komora, ve které je rotující systém rotujících držáků, které drží rotující nástroje. Dále jsou v komoře umístěny elektrody (z různých materiálů), ze kterých se odpařuje materiál a nanáší se na nástroje. Cílem práce je simulovat proces nanášení a co nejvěrohodněji graficky zobrazit nanesenou vrstvu na daných místech povlakovaných nástrojů v závislosti na jejich umístění, umístění a počtu elektrod, rychlosti otáčení soustavy a umístění různých stínidel.

Title: Simulation of tools coating

Author: Jan Jílek

Department: Department of Applied Mathematics

Supervisor: RNDr. Jan Kára, Ph.D.

Supervisor's e-mail address: Jan.Kara@mff.cuni.cz

Abstract: In the given coating chamber is a system of rotating holders, which hold rotating tools. The chamber also contains electrode (of various materials), from which the material evaporates and is coating the tools. The goal of the thesis is to simulate the process of coating and visualize the resulting layer in given places of coated tools depending on their placement, number of electrodes, speed of rotation and placement of various shades.

1. Úvod

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit program, který dokáže věrohodně simulovat nanášení různých druhů částic na soustavu válců a potom podrobněji zkoumat nanášenou vrstvu na vybraném válci. Jedná se konkrétně o simulaci nanášení vrstev na nástroje. Složení soustavy válců a definice elektrod obsažených v procesu zásadním způsobem ovlivňují výslednou vrstvu. Tento program je tedy určen pro vývoj nových povlakovacích zařízení, díky němuž si konstruktér může nasimulovat, jak by fungovalo zařízení, pokud by se například zvětšila povlakovací komora, přidala další elektroda či změnila převodové poměry (viz níže).

Tento program se skládá ze dvou hlavních částí. První část se věnuje nanášení částic z elektrod na soustavu válců (viz kapitola 3. Proces povlakování). Druhá část se věnuje vyhodnocování nanášených částic a vytvoření výsledného obrázku struktury vrstvy (viz kapitola 4. Proces vyhodnocování).

2. Požadavky

Operační systém Microsoft Windows

Microsoft .NET Framework 2.0

Procesor s taktovací frekvencí alespoň 1.5 GHz pro optimální chod programu

Alespoň 5GB volného místa na disku během práce s programem

3. Proces povlakování

3.1. Úvod do procesu povlakování

Proces povlakování se zabývá tím, jak mají elektrody vystřelovat jednotlivé částice (kolik částic se má vystřelovat a jakým směrem) a kam tyto částice dopadnou. Částice, které dopadnou na **aktivní válec** (viz 3.2. Soustava válců), se zaznamenají a uloží pro další zpracování programu (použije se pro vstup pro 4. Proces vyhodnocování). Do procesu se vloží **soustava válců** (viz 3.2. Soustava válců), **soustava elektrod** (viz 3.4. Soustava elektrod), určí se rychlost otáčení soustavy válců, doba procesu a proces se spustí. Po spuštění procesu se začnou střídat 2 fáze, fáze otáčení a fáze střílení. Z hodnot rychlost otáčení a doba procesu se spočítá, kolikrát se má fáze otáčení a střílení vystřídat, než proces skončí. Ve fázi otáčení se pootočí soustavou válců o **elementární úhel** (viz 3.2. Soustava válců). Ve fázi střílení se z každé z elektrod vystřelí odpovídající počet částic. Úhel, pod jakým částice vyletí z elektrody, není zcela náhodný, ale je ovlivněn typem elektrody, ze které tato částice pochází (viz 3.4. Soustava elektrod). Částice vystřelená z elektrody se pohybuje přímočaře, tj. zanedbávají se náhodné srážky s jinými částicemi a zanedbávají se magnetická pole. Po skončení procesu se pro každý **aktivní válec** (viz 3.2. Soustava válců) vytvoří textový soubor (viz 3.7. Výstup procesu povlakování), do kterého se uloží informace o tom, v jakém pořadí, z které elektrody a kam zasáhly daný válec částice vystřelené během procesu povlakování. Tyto výstupní soubory se vytvářejí průběžně v průběhu procesu. Pokud program skončí předčasně, data získaná v průběhu programu jsou již uložena v daných textových souborech. Textové soubory se používají v 2. části programu (4. Proces vyhodnocování) jako vstupní data pro vyhodnocování jednotlivých řezů.

3.2. Soustava válců

Podložky, držáky, stínítka, vzorky, všechny tyto objekty obsažené uvnitř povlakovací komory jsou reprezentovány válci různých výšek a poloměrů. Z této skupiny válců je složena struktura **soustavy válců**, která je jedním z hlavních vstupních parametrů procesu povlakování. Obecně se dá schéma této struktury popsat následovně. Nejdřív musí být určen **prvotní válec**. Tento válec si představme jako podložku, na které je soustava válců umístěna a sama je její součástí. Na tento prvotní válec se umísťují další válce (To, že je válec A umístěn na válci B chápeme jako **relaci $A \models B$** . Pokud platí $A \models B$, nemusí to znamenat, že se válec A dotýká válce B. Pokud se válec A dotýká spodní podstavou válce B, nemusí to nutně znamenat, že $A \models B$. Relace \models není tranzitivní, reflexivní ani symetrická.). Válec A nazveme **předkem** všech válců B_i , pro které platí $B_i \models A$. Zároveň všechny válce B_i nazveme **potomky** válce A. Teď je tedy vytvořen prvotní válec a na něm je umístěno několik potomků. Nyní se může vybrat libovolný potomek prvotního válce a na něj se mohou vložit další válce, stejně jako se vkládaly válce na prvotní válec. Tedy **potomek** válce může být zároveň **předkem** dalších několika válců. Struktura vytvořená tímto způsobem se nazývá **soustava válců**. Celá tato definice se dá shrnout do 3 bodů.

- 1) Válec na nejnižší úrovni (**prvotní válec**) je právě jeden (v soustavě válců existuje právě jeden válec A takový, že neexistuje válec B tak, aby $A \models B$).
- 2) Každý válec může mít neomezený počet **potomků** (pokud válec A nenáleží soustavě válců S_1 , potom pokud vezmeme libovolný válec B náležící soustavě válců S_1 , můžeme vytvořit novou soustavu válců S_2 přidáním válce A do soustavy S_1 tak, aby $A \models B$).
- 3) Každou soustavu válců lze vytvořit ze soustavy válců obsahující pouze prvotní válec (**elementární soustava válců**) a konečným užitím bodu 2.

Se soustavou válců budeme provádět operaci „otočení o úhel“. Otočení válce o úhel α budeme chápat jako rotaci válce o úhel α podle osy procházející kolmo středem jeho podstavou. Otočení soustavy válců o úhel α se skládá ze 3 operací.

- 1) Prvotní válec se otočí o úhel α .

- 2) Všichni potomci prvotního válce se otočí o úhel α podle osy kolmo procházející prvotním válcem a zároveň se otočí o úhel $-\alpha$.
- 3) Vezmou se všichni potomci prvotního válce (necht' jich je n) a dají se do fronty. Soustava válců se rozloží na n menších soustav válců. U každého potomka prvotního válce je určena konstanta p , která určuje **převodový poměr** mezi prvotním válcem a daným potomkem. Nyní se začnou brát menší soustavy válců z fronty a každá z těchto soustav se otočí o úhel $\alpha * p$ (zopakují se body 1,2,3).

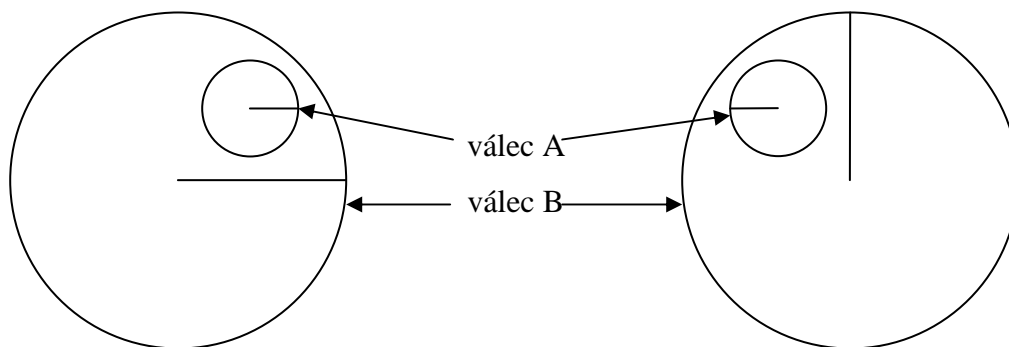
Otočení soustavy válců o 1° budeme nazývat **elementární rotací** soustavy.

Každý válec obsažený v soustavě může být aktivní nebo neaktivní. Pokud se jedná o **aktivní válec**, potom nás u tohoto válce budou zajímat částice, které dopadly na tento válec v průběhu procesu povlakování. Obvykle válce reprezentující povlakované nástroje jsou aktivní. U **neaktivního válce** nás nebudou zajímat částice, které na tento válec dopadly v průběhu procesu povlakování. Obvykle válce reprezentující držáky a stínítka jsou neaktivní.

3.3. Formát vstupu soustavy válců

Soustava válců se skládá z množiny válců a množiny relací mezi těmito válci. Pokud chceme popsat formát vstupu soustavy válců, musíme popsat formát vstupu válce a formát vstupu relace $|=$ (viz 3.2. Soustava válců) mezi dvěma válci.

Všechny válce jsou v základní poloze, tj. jejich podstavy jsou rovnoběžné s rovinou x,y . U každého válce tedy musíme popsat umístění **středu spodní podstavy**, **výšku** a **poloměr** tohoto válce. Dále u každého válce musíme nastavit, zdali má být tento válec **aktivní** či **neaktivní** (viz 3.2. Soustava válců). Nakonec musíme nastavit **převodový poměr** mezi tímto válcem a jeho předkem. Pokud je právě zadávaný válec prvotním válcem, potom se převodový poměr musí nastavit na 1. Nechť jsou v soustavě válců obsaženy válce A,B a nechť $A |= B$ a převodový poměr válce A je p . Potom pokud se otočí válcem B o úhel α , válec A se otočí o úhel $\alpha * p$. Na Obr. 1 jsou válce A,B před rotací a na Obr. 2 jsou válce A,B po rotaci o 90° . Převodový poměr u válce A je 2. Úsečky vycházející se středů horní podstav válců naznačují aktuální natočení válců.



Obr. 1

Obr. 2

Formát vstupu relace $|=$ je ukryt ve formátu vstupu válce. Každý válec obsahuje seznam jeho potomků, takže pokud chceme přidat relaci $A |= B$, stačí přidat válec A do seznamu potomků válce B.

3.4. Soustava elektrod

Soustava elektrod je chápána jako množina elektrod, tedy elektrody se navzájem nijak neovlivňují a fungují na sobě naprosto nezávisle. Elektroda je v tomto programu reprezentována úsečkou, která je kolmá na rovinu x,y , tj. kolmá na podstavy válců. Tento úsečkový zdroj generuje částice, které vytvářejí povlak na soustavě válců. Aby se vystřelila částice z elektrody, musí se vygenerovat 3 hodnoty h, α_1, α_2 .

h označuje výšku, z jaké byla částice z elektrody vystřelena. Hodnota h se generuje náhodně rovnoměrně po celé výšce elektrody.

α_1 označuje úhel v rovině x,y , pod jakým byla částice z elektrody vystřelena. Hodnota α_1 se generuje v závislosti na **intenzitní funkci** (viz níže) elektrody.

α_2 označuje úhel v rovině kolmé na rovinu x,y , pod jakým byla částice z elektrody vystřelena. Hodnota α_2 se generuje rovnoměrně v rozmezí (α,β) (viz 5.5. Nastavení inicializačního souboru).

U každé elektrody se definuje **intenzitní funkce**, která určuje, s jakou pravděpodobností vystřelí elektroda částici pod úhlem α (tento úhel je měřený v rovině x,y). Pokud je intenzitní funkce konstantní, potom elektroda generuje úhel α rovnoměrně v rozsahu -90° až 270° .

U každé elektrody se definuje **funkce proudu do cívky**, která určuje, jak ovlivní celkovou **intenzitu elektrody** (viz níže) proud, který se pustí do cívky elektrody.

Kalibrační konstanta elektrody je hodnota, která rovnoměrně ovlivňuje **intenzitu elektrody** (viz níže), tj. pokud je K_1 kalibrační konstanta elektrody E_1 a K_2 kalibrační konstanta elektrody E_2 a platí $K_1 = 2 * K_2$, potom intenzita elektrody E_1 je dvakrát větší než intenzita elektrody E_2 .

Intenzita elektrody odpovídá počtu částic, které elektroda vystřelí během jedné **elementární rotace** (viz 3.2. Soustava válců) soustavy. Intenzita I_E elektrody E se spočítá dle vztahu $I_E = K_E * PDC_E(p) * P_E$.

K_E je kalibrační konstanta elektrody E , PDC_E je funkce proudu do cívky elektrody E , p je proud, který se pustil do cívky elektrody E a P_E je proud (viz níže), který se pustil do elektrody E .

Aby intenzita elektrody nebyla nulová, musí se do ní pustit proud. Proud puštěný do elektrody funguje stejně, jako kalibrační konstanta elektrody. Pustíme-li do elektrody 2x větší proud, intenzita elektrody se zdvojnásobí. Rozdíl mezi kalibrační konstantou a proudem v elektrodě je v místě vstupu. Kalibrační konstanta je určena ke zkalibrování intenzity elektrody a nastavuje se v externím souboru. Proud v elektrodě si nastavuje uživatel přímo v programu.

3.5. Formát vstupu soustavy elektrod

Nejdříve definuji **pseudo-polárně relativní** souřadnice. Nechť je bod B zadán pomocí pseudo-polárně relativní souřadnice vůči bodu A . Bod B je tedy zadán 3 hodnotami, vzdáleností X , úhlem α a výškou H . X je vzdálenost kolmých průmětů A', B' bodů A, B do roviny x, y . Nechť má polopřímka U počátek v bodě A' a pokračuje v kladném směru rovnoběžném s osou x . Nechť má polopřímka V počátek v bodě A' a prochází bodem B' . Potom α je úhel sevřený mezi polopřímkami U a V . H je rozdíl z -ových složek bodů B a A .

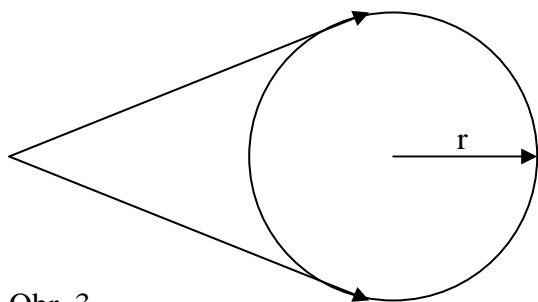
Soustava elektrod je množina na sobě nezávislých elektrod. Pokud tedy chceme popsat formát vstupu soustavy elektrod, stačí popsat formát vstupu jedné elektrody. Elektroda je reprezentovaná úsečkou kolmou na rovinu x, y . Musíme tedy popsat umístění **spodního bodu** (tento bod je umístěn pseudo-polárně relativně vzhledem k počátku) elektrody a **výšku** elektrody. Tím jsme fyzicky umístili elektrodu do procesu, zbývá ještě popsat její vlastnosti, tj. **kalibrační konstantu**, **intenzitní funkci**, **funkci proudu do cívky** (viz 3.4. Soustava elektrod) a **materiál** elektrody. Materiál elektrody je řetězec znaků, který slouží k popsání částice vystřelené elektrodou, aby se dal zpětně určit původ této částice. Kalibrační konstanta je celé desetinné číslo, zajímavější je formát vstupu intenzitní funkce a funkce proudu do cívky. Obě tyto funkce se zadávají stejně pomocí posloupnosti dvojic $[x, f(x)]$ (zadává se hodnota x a funkční hodnota v bodě x). Tato posloupnost je seříděná podle hodnoty x od nejmenší po největší. Nechť je posloupnost X_1, X_2, \dots, X_n (X_i odpovídá dvojici $[x_i, f(x_i)]$) seříděnou posloupností dvojic. Potom z posloupnosti X_1, X_2, \dots, X_n přímým spojením vždy dvou sousedních bodů (X_{i-1}, X_i) dostaneme výslednou funkci. Tato funkce je tedy definovaná na intervalu $\langle x_1, x_n \rangle$. Intenzitní funkce musí být definovaná na intervalu 0° až 360° a funkce proudu do cívky je dodefinovaná mimo interval $\langle x_1, x_n \rangle$ hodnotou 1.

3.6. Další vstupní parametry

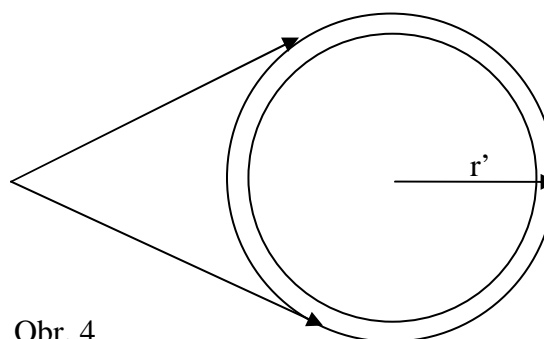
Do procesu povlakování vstupují kromě **soustavy válců** a **soustavy elektrod** ještě **anténová funkce**, **doba procesu** a **rychlost otáčení** soustavy.

Doba procesu určuje, kolik minut se má soustava válců točit a **rychlost otáčení** soustavy určuje, o kolik stupňů se má soustava válců otočit za jednu minutu. Vynásobením doby procesu a rychlosti otáčení dostaneme počet **elementárních otočení** (viz 3.2. Soustava válců) soustavy válců.

Nechť V je válec o poloměru r . Zatím válec V stíní jako válec o poloměru r (viz Obr 3.). Ve skutečnosti ale válec V na sebe nalepí i částice, které tento válec těsně mívá (viz Obr. 4). Tomuto efektu se říká **anténový efekt**, a právě **anténová funkce** má za úkol tento efekt simulovat. **Anténová funkce** tedy každému poloměru r válce V přiřadí nový poloměr r' . Potom válec V stíní částice ne jako válec o poloměru r , ale jako válec o poloměru r' .



Obr. 3



Obr. 4

Formát vstupu **anténové funkce** je stejný, jako formát vstupu intenzitní funkce (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod) až na jeden detail. Intenzitní funkce se zadává jako seznam dvojic $[x, f(x)]$, které jsou obsaženy na jednom řádku. U **anténové funkce** je každá dvojice $[x, f(x)]$ obsažena na jiném řádku. V bodech, ve kterých **anténová funkce** není definovaná se dodefinuje funkcí $f(x) = x$.

3.7. Výstup procesu povlakování

V průběhu procesu povlakování se pro každý **aktivní válec** (viz 3.2. Soustava válců) obsažený v soustavě válců vytvoří textový soubor. Ten obsahuje základní informace o daném aktivním válci a seznam částic, které daný válec zasáhly v průběhu procesu povlakování. **Formát výstupního textového souboru** je následující.

- 1) Na **prvním řádku** je uveden poloměr válce.
- 2) Na **druhém řádku** je uvedena výška válce.
- 3) Na **třetím řádku** jsou postupně vypsány názvy materiálů elektrod obsažených v soustavě elektrod. Tento řádek je zde, aby každá nanesená částice nemusela obsahovat celý (mnohdy dlouhý) název elektrody, ze které byla tato částice vystřelena. Stačí si poznačit číslo (index) elektrody. Potom se pomocí 3. řádku rychle zjistí název hledané elektrody.
- 4) Na **dalších řádcích** se již nacházejí informace o jednotlivých nanesených částicích. Na jednom řádku je informace právě o jedné částici. Částice je uložena v pseudo-polárně relativních souřadnicích (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod) vzhledem ke středu spodní podstavky válce. Tedy popořadě **vzdálenost, úhel** a **výška**. Čtvrtá hodnota je **index elektrody**, ze které byla částice vystřelena.

Název výstupního souboru válce je odvozen od jeho umístění v soustavě. Necht' je **Název_válce** (viz 5.5. Nastavení inicializačního souboru) nastaven, jako valec1. Název výstupního souboru prvotního válce je potom valec1.txt. Předpokládejme, že tento prvotní válec má 5 potomků. Potom názvy výstupních souborů těchto potomků jsou popořadě valec1_1.txt, valec1_2.txt, valec1_3.txt, valec1_4.txt, valec1_5.txt. Pořadí těchto válců je dáno pořadím, v jakém byly zadány při vstupu.

Uvedu ještě jeden příklad. Dejme tomu, že máme dānu následující strukturu soustavy vālců:

- 1 (valec1.txt)
 - 1.1 (valec1_1.txt)
 - 1.2 (valec1_2.txt)
 - 1.2.1 (valec1_2_1.txt)
 - 1.2.2 (valec1_2_2.txt)
 - 1.3 (valec1_3.txt)
 - 1.3.1 (valec1_3_1.txt)
 - 1.3.1.1 (valec1_3_1_1.txt)
 - 1.4 (valec1_4.txt)

Nāzev vřstupnřho souboru prvotnřho vālce je tedy vřdys valec1.txt. Nāzev vřstupnřho souboru vālce se sklādā z nāzvu vřstupnřho souboru jeho předka + „_“ + řslo urřujřcř pořadř vālce na jeho předkovi.

4. Proces vyhodnocování

4.1. Úvod do procesu povlakování

Proces vyhodnocování se zabývá tím, jak se mají zpracovat částice nanesené na válec v průběhu procesu povlakování a jak se z těchto částic má vytvořit povlak na válci. Abychom mohli tento povlak zkoumat, provádíme kolmé řezy tímto povlakem. Tím vznikne 2D obrázek (tento obrázek budeme nazývat **výsledný řez**) složení vrstvy v místě řezu, z kterého můžeme studovat nanostrukturu nanesené vrstvy.

Do procesu vyhodnocování vstupuje výstupní **textový soubor** z procesu povlakování, definice **řezu** (viz 4.2. Řez válcem) a **barevná paleta** (viz 4.3. Barevná paleta). Výstupní **textový soubor** z procesu povlakování slouží k vytvoření povlaku (viz 4.4. Úvod do zpracování částic) na válci. Definice **řezu** určí, jak povede řez naneseným povlakem. **Barevná paleta** slouží pro barevnou vizualizaci výsledného obrázku řezu.

4.2. Řez válcem

Vyhodnocení vrstvy se provádí pomocí jednotlivých řezů. Výsledkem vyhodnocení nanesené vrstvy tedy není 3D pohled na nanesenou vrstvu, ale 2D řez vrstvou. Tento řez může být dvojího typu. Buď to může být řez některou z podstav nebo řez pláštěm daného válce. Řez podstavou je určen 2 body, mezi kterými (přímo, tj. nejkratší cestou) tento řez vede. Řez pláštěm je rovněž zadán 2 body. Zde je důležité pořadí těchto bodů. Řez vede od prvního zadaného bodu po obvodu válce v kladném směru (tj. proti směru otáčení hodinových ručiček) nejkratší cestou k druhému bodu. Takto získaná křivka se narovná na úsečku. Definice řezu je částečně omezená, nelze například provést řez rovinou nakloněnou od roviny rovnoběžné s podstavou válce (řez by měl tvar elipsy). Lze ale vytvořit řez odpovídající polovině takového řezu zadáním vhodných vstupních bodů. Dále například není možné, aby jeden řez protínal jak plášť válce, tak i některou z podstav. Tohoto lze ale docílit složením dvou řezů. Aby byl řez definován korektně, musí být oba body definující řez umístěny buď na plášti válce nebo na jedné z podstav válce.

4.3. Barevná paleta

Každá elektroda má jako jeden ze vstupních parametrů název materiálu (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod). Každá vystřelená částice obsahuje hodnotu **index materiálu**, která vznikne zakódováním názvu materiálu elektrody. Při vyhodnocování **index materiálu** uloží do **mřížkové struktury** (viz 4.7. Zpracování částic), která bude později vykreslena. Při vykreslování mřížkové struktury dojde k dekodování **indexu materiálu** a pomocí barevné palety se určí, jakou barvou se má daná část mřížky vykreslit. Například necht' je vystřelena částice z elektrody s názvem materiálu „Ti“. Necht' se řetězec „Ti“ zakóduje na hodnotu 2 (index materiálu je tedy 2). Při zpracování této částice se index materiálu opět dekoduje na řetězec „Ti“ a v barevné paletě se najde, která barva se má přiřadit řetězci „Ti“. Danou barvou se částice vykreslí. Pokud by se stalo, že by řetězec „Ti“ nebyl obsažen v barevné paletě, potom by se tato částice vykreslila defaultní bílou barvou. Proto je vhodné ujistit se ještě před spuštěním programu, že pro každou elektrodu, která je v procesu povlakování použita, existuje v barevné dvojici přiřazující názvu materiálu elektrody nějakou barvu.

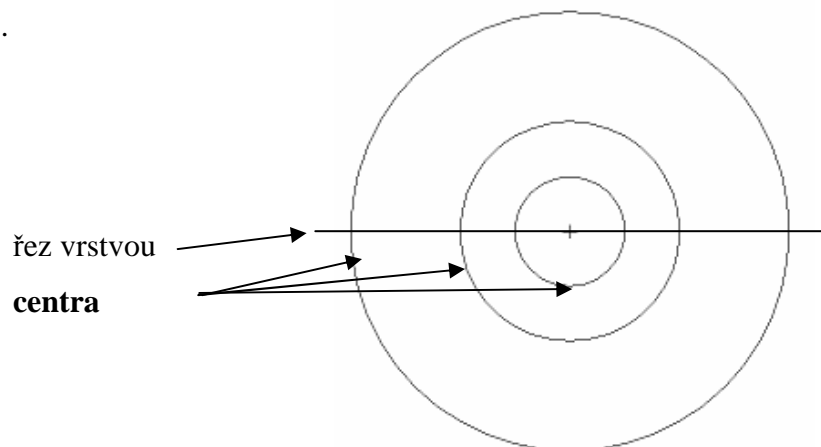
4.4. Formát vstupu barevné palety

Barevná paleta je definovaná jako seznam dvojic – [řetězec,barva]. Pokud se tedy zadá název materiálu N , jak se najde barva B odpovídající tomuto materiálu? Najde se dvojice, která je tvaru $[N,B]$. Pokud taková dvojice neexistuje, potom řetězec N není obsažen v dané barevné paletě. Barevná paleta je definována v textovém souboru. Na každém řádku je definovaná jedna dvojice [řetězec,barva]. Vstupní formát takové dvojice je $St R G B$. St je řetězec identifikující název materiálu, kterému se má přiřadit barva. R, G, B jsou hodnoty v rozsahu 0-255 určující zastoupení jednotlivých barevných složek ve výsledné barvě. R zastupuje červenou složku výsledné barvy, G zastupuje zelenou složku výsledné barvy a B zastupuje modrou složku výsledné barvy. Je důležité, aby každý řetězec identifikující určitou barvu v barevné paletě byl obsazen maximálně jednou! Pokud by byly v barevné paletě 2 dvojice X,Y a obě dvojice by přiřazovaly stejnému řetězci St dvě různé barvy, potom by se nedalo jednoznačně rozhodnout, jaká barva se má přiřadit řetězci St .

4.5. Úvod do zpracování částic

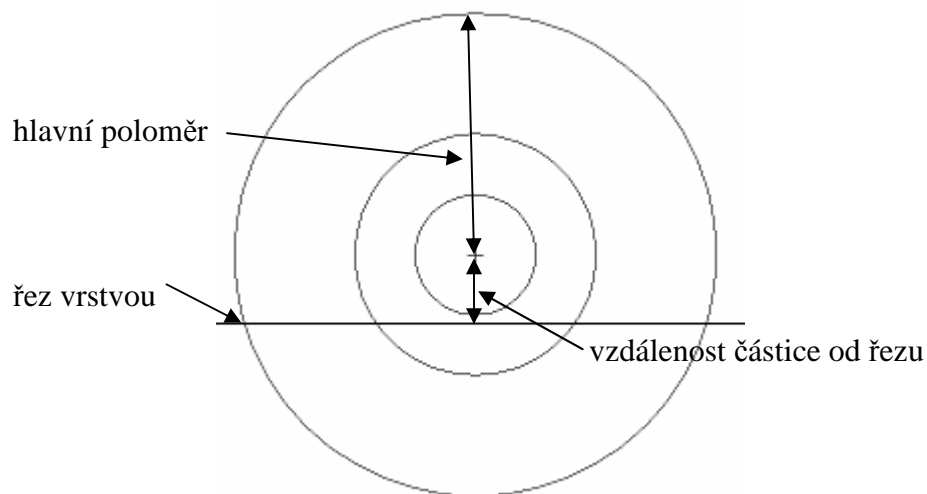
Jedna z nejdůležitějších částí procesu vyhodnocování je vyřešit problém, jak má částice nanesená na válec ovlivnit daný řez vrstvou. Tato úloha se dělí na 2 části. Na **zpracování částice na podstavě** válce a **zpracování částice na plášti** válce. Částice umístěná na hraně válce se počítá do obou těchto skupin.

Částice na podstavě válce se zpracovávají, pokud je řez nanesenou vrstvou veden skrz danou podstavou. V tom případě částice nanesené na druhé podstavě a na plášti válce nijak nemohou ovlivnit **výsledný řez** (viz 4.1. Úvod do procesu povlakování), a proto je budeme ignorovat. Jak tedy částice nanesená na patřičné podstavě válce ovlivní řez vrstvou? V místě, kde je nanesená částice, se vytvoří několik soustředných kružnic (tyto soustředné kružnice budeme nazývat **centra**) se středem právě v této částici. Poloměr největšího **centra** nazveme **hlavní poloměr**. Necht' je právě zpracovávaná částice umístěna přesně v místě řezu. Potom Obr. 5 zachycuje tuto situaci.



Obr. 5

Pokud bude hlavní poloměr větší, než vzdálenost částice od řezu, potom řez zasáhne některé z **center** viz Obr. 6.



Obr. 6

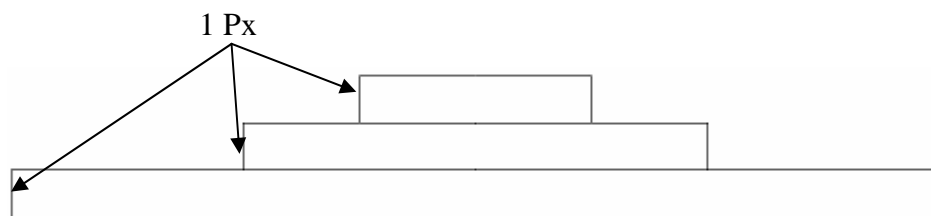
Nechť tedy řez zasáhne nějaké centrum v bodech A, B . Potom toto centrum ovlivní daný řez a to od pozice A do pozice B . To si lze představit tak, že se natáhne na řez pás tlustý $1 \mathbf{P}_x$ (viz níže) od pozice A po pozici B . Pokud tedy spočítáme průsečíky všech center dané částice s řezem, získáme množinu pozic A_i, B_i . Tím získáme množinu pásů ovlivňujících řez pro danou částici. Pokud tuto množinu pásů uspořádáme od nejdelšího po nejkratší a poskládáme je na sebe, získáme strukturu, kterou nazvu **pyramoid**. Nyní již tedy víme, jakým způsobem vznikne při vyhodnocování řezu z částice její **pyramoid**. **Pyramoid** je struktura složená z obdélníků a platí pro něj tato pravidla.

- 1) Pyramid se skládá z obdélníků o společné výšce $1 \mathbf{P}_x$ (viz níže).
- 2) Tyto obdélníky jsou poskládány na sobě od největšího (naspod) po nejmenší (navrchu).
- 3) Těžiště všech obdélníků leží přímo nad sebou.

U **pyramoidu** se ještě definují 2 hodnoty.

- 1) **Začátek** pyramidu je hodnota, která určuje místo v mřížkové struktuře, od které se začne zarovnávat pyramid do mřížkové struktury (viz 4.7. Zpracování částic).
- 2) **Konec** pyramidu je hodnota, která určuje místo v mřížkové struktuře, do které se bude zarovnávat pyramid do mřížkové struktury (viz 4.7. Zpracování částic).

Na Obr. 7 je uveden příklad pyramidu.



Obr. 7

1 **Px** je základní jednotka (dále již nedělitelná) velikosti prvku obsaženém v **mřížkové struktuře** (viz 4.7. Zpracování částic).

4.6. Velikost a tvar kuželoidu

Kuželoid je struktura složená z válců a platí pro něj tato pravidla.

- 1) Válce obsažené v kuželoidu mají společnou výšku 1 Px .
- 2) Válce obsažené v kuželoidu jsou na sobě naskládány od největšího (naspod) po nejmenší (navrchu).
- 3) Těžiště všech válců obsažených v kuželoidu leží přímo nad sebou.

U **kuželoidu** se definují 3 hodnoty.

- 1) **Poloměr** kuželoidu určuje poloměr největšího z válců obsaženého v kuželoidu.
- 2) **Počet vrstev** kuželoidu určuje počet válců, které kuželoid obsahuje.
- 3) **Poměr** kuželoidu je hodnota (z intervalu $(0,1>)$), která určuje poloměry dalších válců obsažených v kuželoidu. Poloměr následujícího válce se spočítá jako poloměr předchozího válce * poměr kuželoidu.

Budeme používat následující označení. **Kuželoid** (A,B,C) představuje kuželoid, jehož poloměr je A , počet vrstev B a poměr C .

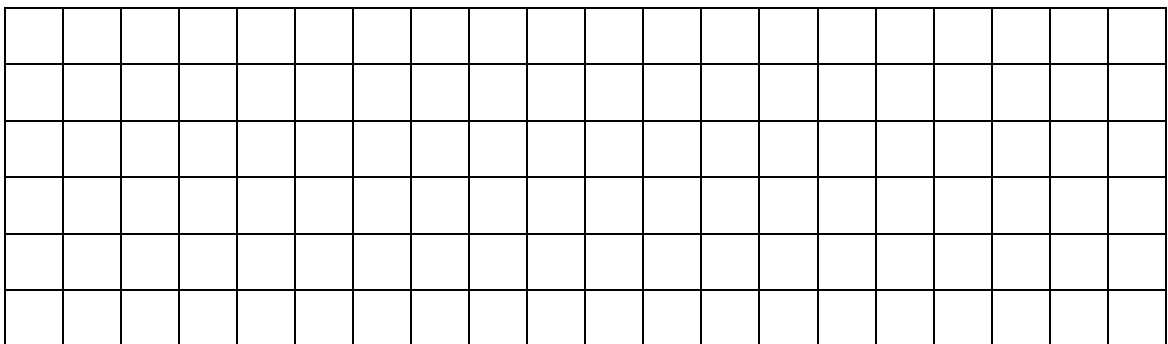
Kuželoid (A,B,C) budeme používat jako 3D reprezentaci částice po dopadu na válec. Pokud dopadne částice na válec, vytvoří se příslušný kuželoid se středem nejspodnější podstavy v místě dopadu částice. Dále se provede kolmý řez tímto kuželoidem. Řezná rovina obsahuje **řez** a je kolmá na povrch válce. Výsledkem tohoto řezu je pyramid, který se zarovná do mřížkové struktury řezu (viz 4.7. Zpracování částic).

4.7. Zpracování částic

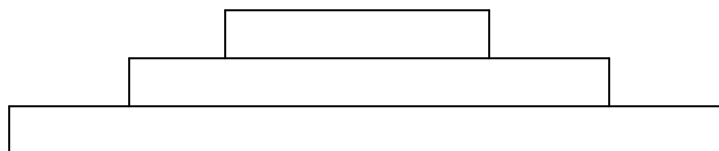
Mřížková struktura je pole $n \times m$, kterým budeme reprezentovat řez a z kterého později (v kapitole 4.9.1. Vytvoření obrázku řezu) vytvoříme **výsledný řez** (viz 4.1. Úvod do procesu vyhodnocování). Do tohoto pole se bude vkládat zakódovaný název elektrody, ze které pochází právě zpracovávaná částice. Na začátku programu je mřížková struktura řezu prázdná a v průběhu programu se postupně zaplňuje a na konci programu se vyhodnotí a vznikne **výsledný řez**.

Proces vyhodnocování se skládá z dvou fází. V první fázi se postupně zpracovávají částice nanesené během procesu povlakování. V druhé fázi se potom vytváří **výsledný řez**. V kapitole 4.6. Velikost a tvar kuželoidu je popsáno, jak se z nanesené částice vytvoří odpovídající pyramid. Otázkou zůstává, jak se tento pyramid zarovná do mřížkové struktury.

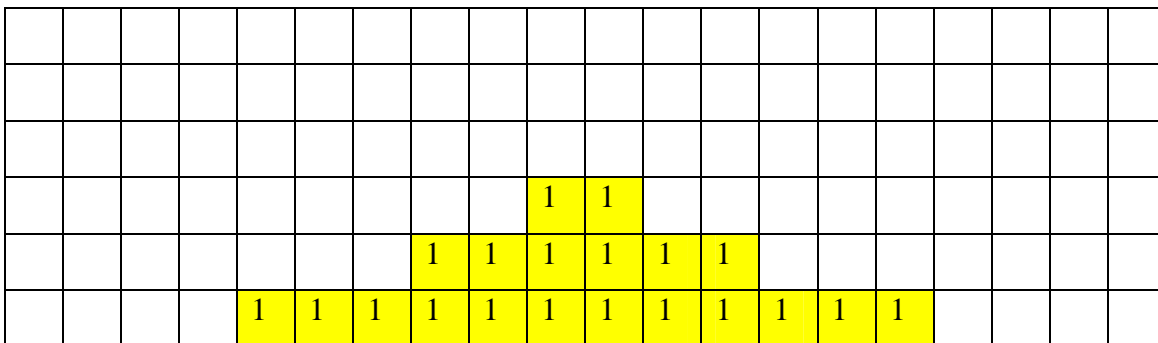
Na Obr. 8 je znázorněna prázdná mřížková struktura. Na Obr. 9 je znázorněn pyramid. Na Obr. 10 je znázorněno, jak může vypadat zarovnání pyramidu z Obr. 9 do mřížkové struktury z Obr. 8.



Obr. 8

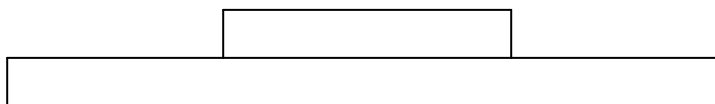


Obr. 9

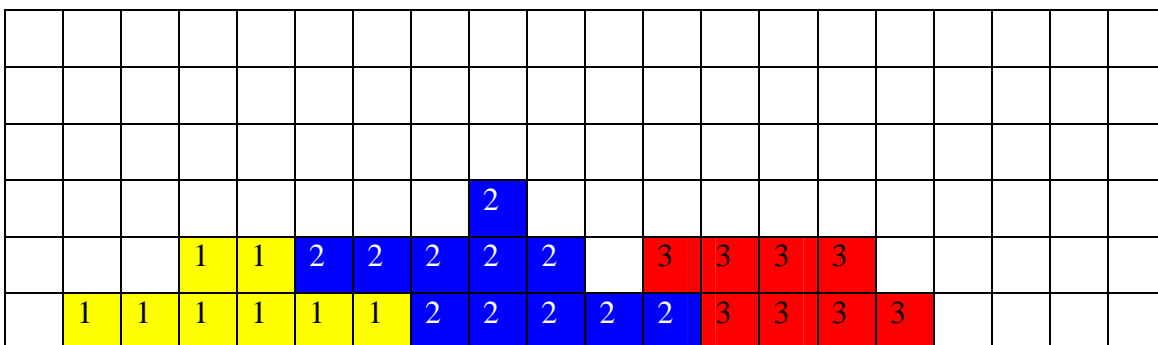


Obr. 10

Jak tedy přesně funguje zarovnávání pyramidu do mřížkové struktury? Začátek a konec pyramidu určí pozici v mřížkové struktuře, kam se má pyramid zarovnat. Zarovnání pyramidu si rozložme na zarovnání jednotlivých vrstev pyramidu. Pyramid se totiž zarovnává postupně po jeho vrstvách. A každá vrstva se zarovnává po jednotlivých prvcích. Jak se tedy zarovnává jeden prvek pyramidu do mřížkové struktury? Najde se odpovídající pozice v mřížkové (sloupec) struktuře, na kterou se má prvek zarovnat. Potom se prvek umístí na nejnižší nezabranou pozici na této pozici (sloupci). Uvedeme si ještě příklad zarovnání nějakého pyramidu do mřížkové struktury. Na Obr. 13 je znázorněno, jak může dopadnout zarovnání pyramidu z Obr. 11 do mřížkové struktury z Obr. 12. Necht' název elektrody, ze které pochází zpracovávaná částice, je zakódován na hodnotu 4.



Obr. 11



Obr. 12

								4	4										
							4	2	4	4	4	4							
			1	1	2	2	2	2	2	4	3	3	3	3	3				
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3				

Obr. 13

4.8. Kaskádová metoda zarovnání částic do mřížky

V kapitole 4.7. Zpracování částic je uveden základní způsob, jakým se zarovnávají částice do mřížkové struktury. Tato metoda zarovnávání částic má velkou nevýhodu. I když se částice nanášejí na válec rovnoměrně, s použitím základní metody na zarovnávání částic vznikají ostré špičky a nerovnoměrnosti. To je způsobeno tím, že jakákoliv nerovnost, místo aby se během zpracování dalších částic zarovnávala, nabaluje se a stále se zvětšuje (viz 6.6. Zarovnávání částic do mřížky). Z tohoto důvodu vznikla **kaskádová metoda zarovnávání částic** (dále budeme používat označení **kaskáda** místo **kaskádová metoda zarovnávání částic**). Kaskáda se liší od standardní metody zarovnávání částic do mřížky pouze ve způsobu zarovnávání prvku do mřížkové struktury.

Používáme-li **kaskádu** a chceme zarovnat prvek na pozici x (x -tý sloupec) do mřížkové struktury, nejdříve zjistíme, zdali výška sloupce v mřížkové struktuře na pozici $x+1$ nebo na pozici $x-1$ není menší, než výška sloupce na pozici x . Pokud je výška sloupce na pozici x větší než některá z výšek sloupců na pozicích $x-1, x+1$, potom se nezarovná prvek na pozici x , ale celý proces zarovnání prvku do mřížkové struktury se zopakuje s tím rozdílem, že se prvek nebude zarovnávat na pozici x , ale na pozici $x-1$ (výška sloupce na pozici $x-1$ je menší, než výška sloupce na pozici $x+1$) nebo na pozici $x+1$ (výška sloupce na pozici $x-1$ není menší, než výška sloupce na pozici $x+1$). Díky této vlastnosti kaskády, v okamžiku, kdy by u standardní metody zarovnávání částic vznikla špička, kaskáda tuto špičku posune do boku a tím ji srovná.

Na Obr. 14 je uveden příklad mřížkové struktury (čísla v nejnižším řádku mřížkové struktury označují čísla sloupců). Na Obr. 15 je uveden příklad, jak se změní mřížková struktura z Obr. 14 po přidání prvku na pozici 10 pomocí kaskády.

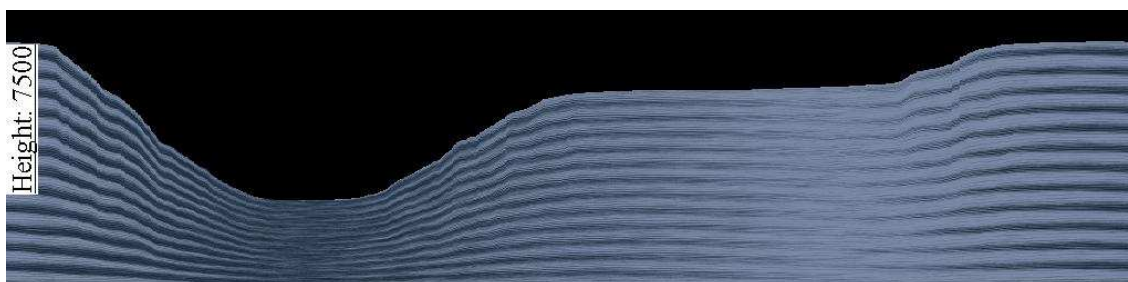
										1									
									1	1	1								
								1	1	1	1	1							
					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Obr. 14

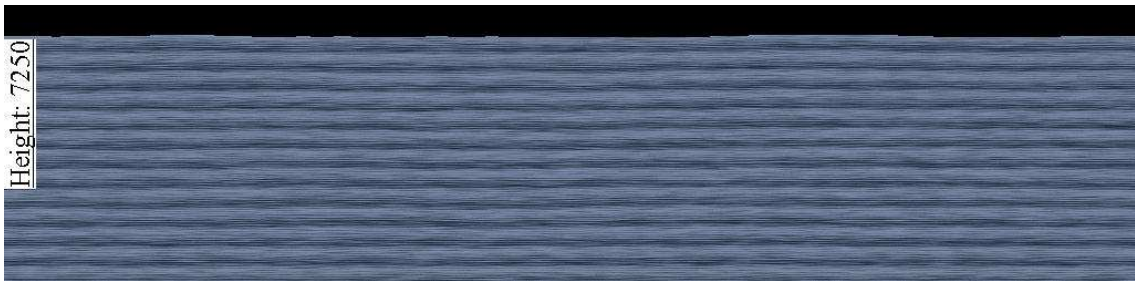
										1									
									1	1	1								
								1	1	1	1	1	2						
					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Obr. 15

Kaskáda má ale jednu špatnou vlastnost, a to že se může částice odplavit i poměrně daleko. Díky tomu všechny mřížkové struktury používající kaskádu mají téměř stejně vysoké všechny sloupce. Takže výsledný řez vytvořený z takové mřížkové struktury vypadá, jako kdyby by byla nanosená vrstva zcela rovnoměrná, i když ve skutečnosti je nanosená vrstva zvlněná. Díky kaskádě tedy dochází ke zkreslení, které může být někdy velice výrazné. Pokud by například výsledný řez bez použití kaskády (s použitím jiných metod, viz níže) odpovídal řezu z Obr. 16, mohl by ten samý výsledný řez s použitím kaskády odpovídat řezu z Obr. 17.



Obr. 16



Obr. 17

Proto se zavedla další metoda, která zamezuje úplnému odplavení částice, ale přesto vyrovnává nerovnoměrnosti v mřížkové struktuře. Jedná se o modifikaci kaskády. Tuto modifikaci budeme značit jako **kaskáda x**. Znak *x* zde zastupuje celé kladné číslo. Toto číslo budeme nazývat **parametrem** kaskády. Kaskáda 5 tedy značí kaskádu s parametrem 5. Tento parametr určuje maximální vzdálenost, do které se pokládána částice může odplavit od původní pozice. Pokud například použijeme kaskádu 3, zarovnááme částici do mřížkové struktury na pozici 10 (částici vkládáme do 10. sloupce), potom s jistotou víme, že tato částice bude položena mezi pozicemi 7 až 13. Na Obr. 18 je uveden příklad mřížkové struktury (čísla v nejnižším řádku označují čísla sloupců). Na Obr. 19 je mřížková struktura z Obr. 18 po zarovnání částice na pozici 10 s použitím zarovnávací metody kaskáda 2.

										1	1								
									1	1	1	1	1						
								1	1	1	1	1	1	1					
							1	1	1	1	1	1	1	1	1				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Obr. 18

										1	1								
								2	1	1	1	1							
								1	1	1	1	1	1	1					
								1	1	1	1	1	1	1	1	1			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Obr. 19

4.9 Výstup

V části 4.7. Zpracování částic je popsáno, co je to mřížková struktura a jak se postupně zaplňuje. Otázkou však stále zůstává, jak se z této mřížkové struktury vytvoří **výsledný řez** (viz 4.1. Úvod do procesu vyhodnocování). Necht' je mřížková struktura reprezentována polem $m \times n$ (m řádků, n sloupců). Potom výsledný řez bude mít rozměry $m \times n'$ pixelů. Tedy jeden sloupec v mřížkové struktuře odpovídá jednomu sloupci šířky 1 pixel ve výsledném řezu. Zbývá vyřešit, jak se sloupec v mřížkové struktuře o výšce v_1 smrskne do sloupce ve výsledném řezu o výšce v_2 . V této fázi se pomocí barevné palety dekódují hodnoty umístěné v daném sloupci mřížkové struktury (viz 4.3. Barevná paleta). Vezme se n po sobě jdoucích hodnot (hodnoty se berou od spodu nahoru) z daného sloupce mřížkové struktury, spočítá se barevný průměr těchto barev a výsledná barva se uloží do odpovídajícího pixelu ve výsledném řezu. Odpovídající pixel znamená, že číslo sloupce tohoto pixelu je stejné, jako číslo sloupce v mřížkové struktuře, ze kterého se bralo n po sobě jdoucích barev, které se průměrovaly. Číslo řádku pokládaného pixelu odpovídá pořadovému číslu zpracovávané n -tice.

Výsledný řez je ve formátu bmp, to znamená, že není nijak zkomprimovaný, ale ani není nijak zdeformovaný. Mřížková struktura se vykresluje na černé pozadí, proto není vhodné volit v barevné paletě moc tmavé odstíny barev. Vlevo uprostřed obrázku je popisek Height: x . Hodnota x je v jednotkách **Px** (viz 4.5. Úvod do zpracování částic). Po kalibraci programu je možné přepočítat jednotky Px na metry.

5. Uživatelská příručka

5.1. Popis menu

Po zpuštění programu se otevře okno programu obsahující hlavní menu se třemi položkami. Tyto položky jsou **Proces**, **Editace**, **Ostatní**.

1. Po zmáčknutí položky **Proces** se rozvine další menu obsahující položky **Start** a **Konec**.

1.1. Po zmáčknutí položky **Konec** se otevře okno, které obsahuje tlačítko na ukončení programu a tlačítko pro návrat zpět do programu.

1.2. Po zmáčknutí tlačítka **Start** se otevře okno, skrz které se nastavují **vstupní parametry** programu, vytváří se **kontrolní data** a ve kterém se program **spouští**. Vlevo nahoře jsou 3 rolovací menu, která slouží pro výběr **zařízení** (viz 5.2. Zařízení), **karuselu** (viz 5.3. Karusel) a **planetkového držáku** (viz 5.4. Planetka). Vpravo se definuje **Rychlost otáčení**, **Doba procesu**, mód **Jediná planetka** a tlačítka **CAD data** a **Spustit proces**.

1.2.1. Po výběru některého ze **zařízení** se objeví několik trojic - **popisek**, **tlačítko** a **textbox** (textbox je objekt na okně, který slouží pro zadávání vstupních hodnot). Každá z této trojice reprezentuje jednu elektrodu obsaženou v zařízení.

1.2.1.1. **Popisek** obsahuje **název elektrody**.

1.2.1.2. **Textbox** slouží pro zadávání **proudu** do elektrody a do **cívky elektrody**. Formát vstupu dat do tohoto textboxu je A/B , povinná část je A , nepovinná část je $/B$. A, B jsou desetinná čísla. Vstup $12/1$ znamená, že se do elektrody pustil proud 12A a do cívky elektrody se pustil proud 1A. Vstup 100.1 znamená, že se do elektrody pustil proud 100.1A a do cívky elektrody se pustil proud 0A.

1.2.1.3. **Tlačítko** slouží pro vykreslení intenzitní funkce (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod) elektrody.

- 1.2.2. Po výběru některého z **karuselu** to vypadá, že se nic nestalo, ale vybraný karusel ovlivní **soustavu válců** (viz 3.2. Soustava válců), která se bude procesu účastnit.
- 1.2.3. Po výběru některého z **planetkových držáků** se objeví několik řádků obsahujících informace o vzorcích uložených s planetkovým držákem. Na každém řádku je informace právě o jednom vzorku uloženém v planetkovém držáku. Každý z těchto řádků se skládá z dvou textboxů s názvy **Průměr** a **Výška**, zaškrtačací tlačítko **Test**, rolovací menu **Typ řezu**, textbox s názvem **Výška řezu** a zaškrtačací tlačítko **Stejně**.
- 1.2.3.1. Textbox **Průměr** slouží pro zadávání průměru vzorku vkládaného do planetkového držáku. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 1.2.3.2. Textbox **Výška** slouží pro zadávání výšky vzorku vkládaného do planetkového držáku. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 1.2.3.3. Zaškrtačací tlačítko **Test** určuje, zdali budeme chtít na vzorku provádět řezy. Pokud tlačítko zaškrtneme, objeví se vedle rolovací menu **Typ řezu**, ve kterém si můžeme vybrat některý z již předdefinovaných typů řezu.
- 1.2.3.4. Rolovací menu **Typ řezu** je počátečně nastavené tak, že nejde vidět a zviditelní se, pokud se zaškrtnou předchozí zaškrtačací tlačítka **Test**. Toto rolovací menu obsahuje základní typy řezů vzorkem. Je zde na výběr **horizontálního** a **vertikálního** řezu.
- 1.2.3.4.1. Při volbě **horizontálního** řezu se zviditelní textbox **Výška řezu**, který je počátečně nastaven na tak, že nejde vidět. Horizontální řez je vodorovný řez po celém obvodu vzorku veden ve výšce, která je definovaná v textboxu **Výška řezu**.
- 1.2.3.4.2. Při volbě **vertikálního** řezu se provede svislý řez po plášti vzorku od spodní podstavky až po horní podstavku.
- 1.2.3.5. Textbox **Výška řezu** se zviditelní, pouze když je vybrán horizontální typ řezu. **Výška řezu** definuje výšku, ve které se provede horizontální řez po obvodu vzorku. Zde se zadává kladné desetinné číslo.

- 1.2.3.6. Zaškrťovací tlačítko **Stejně** slouží pro zkopírování informací z právě vyplňovaného řádku do všech ostatních řádků.
- 1.2.4. Textbox **Rychlost otáčení** definuje, jakou rychlosti se bude soustava válců otáčet. Rychlost se počítá jako počet otáček za minutu. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 1.2.5. Textbox **Doba procesu** definuje, jak dlouho bude proces trvat. Není to reálný čas (ten je ovlivněn výkonem počítače), ale je to fiktivní čas, který program simuluje. Je to tedy čas, po který se bude soustava válců otáčet. Doba procesu se počítá v minutách. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 1.2.6. Mód **Jediná planetka** určuje naložení karuselu. Do karuselu se dá vložit několik planetkových držáků (závisí na typu karuselu). Tento karusel je buď plně obsazen (mód Jediná planetka není zaškrtnut) a nebo je v karuselu umístěna pouze jeden planetkový držák (mód Jediná planetka je zaškrtnut).
- 1.2.7. Tlačítko **CAD data** se používá pro kontrolu vstupu soustavy elektrod (soustava elektrod je definovaná typem zařízení) a soustavy válců (soustava válců je definovaná použitým karuselem, planetkovým držákem a naložením tohoto planetkového držáku). Po zmáčknutí tlačítka CAD data se vytvoří textový soubor obsahující dávku příkazů, které po zkopírování do příkazového řádku AutoCADu (je požadovaná česká verze AutoCADu) vymodeluje soustavu válců a soustavu elektrod.
- 1.2.8. Tlačítko **Spustit proces** spustí program. Nejdříve se spustí proces povlakování a po skončení procesu povlakování se okamžitě spustí proces vyhodnocování. Pokud v průběhu programu nenastal žádný problém, po ukončení procesu vyhodnocování program upozorní uživatele, že program úspěšně skončil. V průběhu procesu povlakování i procesu vyhodnocování se zobrazuje progress bar, který ukazuje, v jaké fázi procesu povlakování či procesu vyhodnocování se program právě nachází. Každé pípnutí programu znamená, že program postoupil o 1 procento (ať už v procesu povlakování nebo v procesu vyhodnocování) dál.

2. Po zmáčknuté položky **Editace** se rozvine další menu obsahující položku **Barevná paleta**.
 - 2.1. Po zmáčknutí tlačítka **Barevná paleta** se otevře okno, skrz které se dají editovat a vytvářet barevné palety (viz 4.3. Barevná paleta). Toto okno obsahuje textboxy **Vstup barevné palety**, **Název nové barvy**, **Červená**, **Zelená** a **Modrá**. Dále obsahuje tlačítka **Procházet...**, **Vlastní barva**, **Zobrazit barvu**, **Editovat barvu v paletě** a **Přidat barvu do palety**.
 - 2.1.1. Textbox **Vstup barevné palety** slouží pro nastavení cesty k již existující barevné paletě, a nebo slouží pro nastavení cesty k barevné paletě, kterou budeme chtít nově vytvořit. Zde se zadává řetězec o maximální délce 512 znaků.
 - 2.1.2. Textbox **Název nové barvy** slouží pro vytvoření názvu barvy. Tomuto názvu barvy bude v barevné paletě přiřazena barva, definovaná Textboxy **Červená**, **Zelená** a **Modrá**. Zde se zadává řetězec o maximální délce 512 znaků.
 - 2.1.3. Textbox **Červená** slouží pro zadávání červené barevné složky do nově přidávané barevné palety či editaci již existující barevné palety. Zde se zadává celé číslo v rozsahu 0 až 255.
 - 2.1.4. Textbox **Zelená** slouží pro zadávání zelené barevné složky do nově přidávané barevné palety či editaci již existující barevné palety. Zde se zadává celé číslo v rozsahu 0 až 255.
 - 2.1.5. Textbox **Modrá** slouží pro zadávání modré barevné složky do nově přidávané barevné palety či editaci již existující barevné palety. Zde se zadává celé číslo v rozsahu 0 až 255.
 - 2.1.6. Tlačítko **Procházet...** slouží pro usnadnění vyplňování textboxu **Vstup barevné palety**.
 - 2.1.7. Tlačítko **Vlastní barva** slouží pro výběr některé z již předdefinovaných barev. Je to alternativní způsob k ručnímu vypsání jednotlivých barevných složek do textboxů **Červená**, **Zelená** a **Modrá**.
 - 2.1.8. Tlačítko **Zobrazit barvu** slouží k vizualizaci barvy zadané pomocí textboxu **Červená**, **Zelená** a **Modrá**.

- 2.1.9. Tlačítko **Editovat barvu** v paletě slouží pro přidání nové barvy do barevné palety (přidat barvu do barevné palety znamená přidat dvojici **název,barva** do barevné palety – viz 4.3. Barevná paleta), pokud již v paletě není obsažena barva se stejným názvem barvy, jako právě přidávaná barva. Nebo toto tlačítko slouží pro editaci barvy již obsažené v barevné paletě (to nastane, pokud je již obsažena barva v barevné paletě se stejným názvem, jako právě zadávaná barva).
- 2.1.10. Tlačítko **Přidat barvu do palety** slouží pro přidání nové barvy do barevné palety. Pokud již v barevné paletě existuje barva, jejíž název je shodný s názvem právě zadávané barevné palety, program upozorní uživatele, že toto tlačítko neslouží pro editaci barevné palety a editace se neprovede.
3. Po zmáčknutí položky **Ostatní** se rozvine další menu obsahující položky **Nápověda** a **O aplikaci**.
- 3.1. Po zmáčknutí tlačítka **Nápověda** se otevře okno, které navede uživatele k nápovědě, ve které by měly být všechny informace potřebné k plnému pochopení práce s programem.
- 3.2. Po zmáčknutí tlačítka **O aplikaci** se otevře okno, které obsahuje základní informace o programu.

V části 3.1. Úvod do procesu povlakování je uvedeno, že do procesu povlakování vstupuje **soustava válců** a **soustava elektrod**. Soustava elektrod je obsažena v definici zařízení a soustava válců se poskládá z karuselu a naloženého planetkového držáku.

5.2. Zařízení

5.2.1. Popis zařízení

Zařízení reprezentuje celou povlakovací komoru kromě soustavy válců. Skládá se tedy z prázdné **povlakovací komory** a **soustavy elektrod**. U povlakovací komory je důležitý pouze její poloměr. Umístění **povlakovací komory** není důležité, protože všechny ostatní objekty jsou umístěny relativně vzhledem k povlakovací komoře. Výška povlakovací komory též není důležitá, přizpůsobí se elektrodám a soustavě válců umístěné v komoře. **Soustava elektrod** je popsána viz 3.4. Soustava elektrod.

Všechna zařízení musí být definovaná v jednom textovém souboru. Formát tohoto textového souboru je popsán viz 5.2.2. Formát vstupu zařízení.

5.2.2. Formát vstupu zařízení

Všechna zařízení, která se mají dát načíst v programu musí být definovaná v jednom textovém souboru. Pokud v tomto textovém souboru budeme definovat více zařízení, stačí mezi jednotlivými definicemi zařízení nechat prázdný řádek. Formát vstupu zařízení je popsán níže. Pokud řádek v tomto textovém souboru začne znakem #, znamená to, že tento řádek slouží pouze jako komentář a při načítání zařízení bude ignorován.

Formát vstupu zařízení je se skládá ze dvou částí. Definice **komory** a množiny **elektrod**. Nejdříve musí být na samostatném řádku definovaná komora a potom na dalších řádcích mohou být definovány elektrody. Každá elektroda musí být definovaná na samostatném řádku.

1. Definice **komory** má formát **\$Název Poloměr**.
 - 1.1. Znak \$ značí, že na tomto řádku začíná definice nového zařízení
 - 1.2. **Název** je řetězec označující název právě zadávaného zařízení. Tento řetězec bude zobrazen v rolovacím menu **zařízení** (viz 5.1. Popis menu). Proto tento řetězec nesmí obsahovat mezery, tabulátory a speciální znaky “,’,\”. Není dobré tento název volit příliš dlouhý, protože se potom nemusí vlézt do rolovacího menu zařízení.
 - 1.3. **Poloměr** určuje poloměr povlakovací komory. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
2. Definice **elektrody** má formát **@Název Vzdálenost Úhel Výška1 Výška2 Materiál Koeficient Intenzivní_funkce / Anténová_funkce**
 - 2.1. Znak @ značí, že na tomto řádku začíná definice nové elektrody
 - 2.2. **Název** je řetězec označující název právě zadávané elektrody. Tento řetězec bude zobrazen nad textboxem, do kterého se bude vyplňovat proud do elektrody a do cívky elektrody (viz 3.4. Soustava elektrod). Tento řetězec nesmí obsahovat mezery, tabulátory a speciální znaky “,’,\”. Není dobré tento název volit příliš dlouhý, protože by potom mohl překrývat jiný text.
 - 2.3. **Vzdálenost, Úhel a Výška1** jsou **pseudo-polárně relativní** souřadnice (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod) spodního bodu elektrody vzhledem

k počátku (souřadnice počátku jsou 0,0,0). Vzdálenost a Výška1 jsou kladná desetinná čísla, Úhel je desetinné číslo v rozsahu -90 až 270.

- 2.4. **Výška2** určuje výšku elektrody. Zde se zadává celé desetinné číslo.
- 2.5. **Materiál** je řetězec identifikující název materiálu, ze kterého je elektroda. Každá částice vystřelená touto elektrodou ponese tento název pro zpětnou identifikaci vystřelené částice. Tento řetězec nesmí obsahovat mezery, tabulátory a speciální znaky “,’,\.
- 2.6. **Koeficient** je kalibrační konstanta elektrody (viz 3.4. Soustava elektrod). Zde se zadává celé desetinné číslo.
- 2.7. **Intenzitní_funkce** odpovídá intenzitní funkci elektrody (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod). Tento parametr je nepovinný, pokud v definici elektrody nebude obsažen, bude intenzitní funkce elektrody konstantní.
- 2.8. **Anténová_funkce** odpovídá anténové funkci elektrody (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod). Tento parametr je nepovinný, pokud v definici elektrody nebude obsažen, bude intenzitní funkce elektrody konstantní (vždy rovna 1).

5.2.3 Kalibrace zařízení

Kalibrace zařízení obnáší správně nastavit **kalibrační konstanty** elektrod (viz 3.4. Soustava elektrod), **intenzitní funkce** elektrod (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod) a **anténové funkce** elektrod (viz 3.5. Formát vstupu soustavy elektrod).

- 1) Pro správné nastavení **kalibračních konstant** se musí nejdříve fyzicky (na reálných zařízeních) provést zkušební proces a musí se fyzicky provést rozbor vrstvy. Zjistí se, kolik procent naneseného povlaku pochází z které elektrody. Potom se spustí program (kalibrační hodnoty všech elektrod se nastaví na stejnou hodnotu, volí se hodnoty okolo 10000) a zjistí se procentuální zastoupení jednotlivých elektrod ve výsledném řezu. Nyní se ručně dohlazují poměry mezi kalibračními konstantami jednotlivých elektrod tak, abychom dosáhli stejného složení (procentuelního zastoupení jednotlivých elektrod) výsledného řezu, jako složení fyzicky napovlakované vrstvy.
- 2) Pro správné nastavení **intenzitní funkce** se musí nejdříve fyzicky provést zkušební proces, kde se do zařízení nenaloží žádné vzorky (prázdné naložení zařízení), pouze se na stěnu komory položí testery (předmět, u kterého se bude zkoumat tloušťka napovlakované vrstvy). Proces se zapne a po skončení procesu se spočítá, která elektroda nanese jak tlustou vrstvu na který tester. Na základě těchto hodnot spočítáme intenzitu jednotlivých elektrod v závislosti na úhlu.
- 3) **Anténová funkce** se nastavuje na základě experimentálních procesů. Fyzicky se provede několik zkušebních procesů a zjistí se, jak se mění tloušťka nanesené vrstvy v závislosti na proudu v cívce. Na základě těchto dat se potom nastaví anténová funkce.

5.3. Karusel

5.3.1. Popis karuselu

Karusel slouží jako držák pro planetkové držáky. V **soustavě válců** (viz 3.2. Soustava válců), která se účastní procesu povlakování, zaujímá roli **prvotního válce**. Kromě **umístění** v povlakovací komoře se u karuselu definuje **počet pozic**, do kterých se dají vložit planetkové držáky (viz 5.4. Planetka). Dále se u karuselu definuje **převodový poměr** mezi karuselem a planetkovými držáky, které jsou v karuselu umístěny. Karusel společně s naloženým planetkovým držákem tvoří soustavu válců.

Všechny karusely musí být definované v jednom textovém souboru. Formát tohoto textového souboru je popsán viz 5.4.2 Formát vstupu karuselu.

5.3.2 Formát vstupu karuselu

Všechny karusely, které se mají dát načíst v programu musí být definované v jednom textovém souboru. Na každém řádku v tomto textovém souboru může být definován maximálně jeden karusel. Pokud řádek v tomto textovém souboru začne znakem #, znamená to, že tento řádek slouží pouze jako komentář a při načítání zařízení bude ignorován.

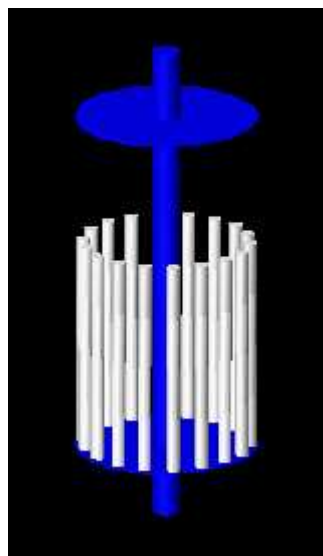
Formát vstupu karuselu je následující. **\$Název Poloměr Umístění Počet Převod.**

- 1) Znak \$ značí, že na tomto řádku začíná definice nového karuselu.
- 2) **Název** je řetězec označující název právě zadávaného karuselu. Tento řetězec bude zobrazen v rolovacím menu **karusel** (viz 5.1 Popis menu). Proto tento řetězec nesmí obsahovat mezery, tabulátory a speciální znaky “,’,\”. Není dobré tento název volit příliš dlouhý, protože se potom nemusí vlézt do rolovacího menu **karusel**.
- 3) **Poloměr** určuje vzdálenost (měřenou v rovině x,y) středu podstavy karuselu od místa, kam se vkládají planetkové držáky (poloměr karuselu je daný poloměrem komory viz 5.2.2 Formát vstupu zařízení). Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 4) **Umístění** určuje výšku umístění planetkových držáků od spodní podstavy karuselu. Pokud tedy planetkové držáky stojí přímo na karuselu, **umístění** představuje výšku karuselu (**prvotního válce**). Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 5) **Počet** určuje počet pozic na karuselu pro planetkové držáky. Tyto pozice jsou na karuselu rozmístěné rovnoměrně. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 6) **Převod** určuje převodový poměr mezi karuselem a planetkovými držáky. **Převod** tedy odpovídá převodovému poměru mezi **prvotním válcem** a všemi jeho předky – **převod 1. stupně**. Zde se zadává desetinné číslo.

5.4. Planetka

5.4.1. Popis planetkového držáku

Planetkový držák slouží jako držák pro nástroj, které se budou povlakovat. V **soustavě válců** (viz 3.2. Soustava válců), která se účastní procesu povlakování, zaujímá pozici potomků **prvotního válce**. Umístění planetkového držáku je dáno karuselem. Není totiž možné planetkový držák umístit jinam, než na pozici na karuselu, která je k tomuto účelu udělána. Planetkový držák se skládá z dvou **stínítek** (do spodního stínítka se uchycují nástroje) a **středové tyče**, na které jsou stínítka navařena viz Obr. 20. Tloušťka stínítek je 1mm.



Obr. 20

Kromě umístění **stínítek a středové tyče** se u planetkového držáku definují **pozice** na spodním stínítku, do kterých se budou vkládat nástroje. Dále se u planetkového držáku definuje **počet pozic** (tyto pozice jsou rovnoměrně rozmístěné) pro nástroje a případný **podstavec**, který se může umísťovat pod válce. Tento podstavec má za úkol nadzvednout vzorek umístěný v planetkovém držáku (podstavec se do soustavy válců nekládá, jeho význam při stínění je totiž zanedbatelný a zbytečně by se zvětšoval počet válců v soustavě válců, to by vedlo ke zpomalení programu). V praxi se na spodní stínítko nepokládají rovnou vzorky, ale pokládají se zde držáky, až do kterých se vloží vzorky.

5.4.2. Formát vstupu planetkového držáku

Všechny planetkové držáky, které se mají dát načíst v programu musí být definované v jednom textovém souboru. Na každém řádku v tomto textovém souboru může být definován maximálně jeden planetkový držák. Pokud řádek v tomto textovém souboru začne znakem #, znamená to, že tento řádek slouží pouze jako komentář a při načítání planetkových držáků bude ignorován.

Formát vstupu planetkového držáku je následující. **\$Název Poloměr1 Výška1 Poloměr2 Výška2 Poloměr3 Výška3 Poloměr Podstavec Počet Převod.**

- 1) Znak \$ značí, že na tomto řádku začíná definice nového planetkového držáku.
- 2) **Název** je řetězec označující název právě zadávaného planetkového držáku. Tento řetězec bude zobrazen v rolovacím menu **planetkový držák** (viz 5.1. Popis menu). Proto tento řetězec nesmí obsahovat mezery, tabulátory a speciální znaky “,’,\.. Není dobré tento název volit příliš dlouhý, protože se potom nemusí vlézt do rolovacího menu **planetkový držák**.
- 3) **Poloměr1** je poloměr **středové tyče**. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 4) **Výška1** je výška **středové tyče**. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 5) **Poloměr2** je poloměr spodního stínítka. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 6) **Výška2** je vzdálenost středu horní podstavky spodního stínítka od středu spodní podstavky **středové tyče**. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 7) **Poloměr3** je poloměr horního stínítka. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 8) **Výška3** je vzdálenost středu spodní podstavky horního stínítka od středu horní podstavky spodního stínítka (tato hodnota označuje mimo jiné maximální výšku povlakovaného nástroje).
- 9) **Poloměr** určuje vzdálenost (měřenou v rovině x,y) středu podstavky spodního stínítka od místa, kam se vkládají nástroje. Zde se zadává kladné desetinné číslo.
- 10) **Podstavec** určuje vzdálenost (rozdíl výšek) mezi nástrojem (spodní podstavou nástroje) a spodním stínítkem (horní podstavou stínítka). Pokud je tato hodnota nulová, potom je nástroj umístěn přímo na spodním stínítku.
- 11) **Počet** určuje počet pozic na spodním stínítku pro nástroje. Tyto pozice jsou na stínítku rozmístěny rovnoměrně. Zde se zadává kladné desetinné číslo.

12) **Převod** určuje převodový poměr mezi planetkovým držákem a nástrojem umístěným v planetkovém držáku. **Převod** tedy odpovídá převodovému poměru mezi potomky **prvotního válce** a potomky potomků **prvotního válce – převod 2. stupně**. Zde se zadává desetinné číslo.

5.5. Nastavení inicializačního souboru

Pro zjednodušení a urychlení zadávání vstupních dat se několik parametrů nenastavuje přímo v programu (menu → start), ale nastavují se v **inicializačním souboru**. Tam jsou obsaženy parametry, které se mění jenom výjimečně. Tento inicializační soubor se musí jmenovat `inicializacni_data.txt` a musí být umístěn v adresáři, ve kterém je umístěn program (`simulace.exe`). V tomto inicializačním souboru je důležité kromě správného formátu dat (viz níže) zachovat i správné pořadí dat.

Na každém řádku může být obsažen maximálně jeden parametr. Tento parametr nesmí obsahovat mezeru ani tabulátor. Všechno napsané na stejném řádku za tímto parametrem se chápe jako komentář. Inicializační soubor musí obsahovat následující parametry. **Funkce_poloměru, Zařízení, Karusel, Planetka, Paleta, Název_válce, Cesta, Poloměr_molekuly, Výška, Šířka, CAD, Úhel1, Úhel2, Pás.**

- 1) **Funkce_poloměru** je cesta k textovému souboru, ve kterém je definovaná anténová funkce (viz 3.6. Další vstupní parametry) použitá v programu.
- 2) **Zařízení** je cesta k textovému souboru, ve kterém jsou definovány všechny **zařízení** (viz 5.2. Zařízení), která se dají použít v programu.
- 3) **Karusel** je cesta k textovému souboru, ve kterém jsou definovány všechny **karusely** (viz 5.3. Karusel), která se dají použít v programu.
- 4) **Planetka** je cesta k textovému souboru, ve kterém jsou definovány všechny **planetky** (viz 5.4. Planetka), která se dají použít v programu.
- 5) **Paleta** je cesta k textovému souboru, ve kterém je definovaná **barevná peleta**, která se používá v programu.
- 6) **Název_válce** je neměnná část názvu výstupního textové souboru z části proces povlakování (viz 3.7. Výstup procesu povlakování) a neměnná část názvu **souhrnného výstupu** (viz 5.6. Výstup).
- 7) **Cesta** je cesta k adresáři na disku (nebo pouze název disku, například D:/), do kterého se budou ukládat výstupní data programu.

- 8) **Poloměr_molekuly** odpovídá **hlavnímu poloměru** (viz 4.5. Úvod do zpracování částic) všech nanesených částic zpracovávaných v průběhu procesu vyhodnocování. Zde se zadává desetinné číslo.
- 9) **Výška** určuje výšku (v pixelech) **výsledného řezu** (viz 4.1. Úvod do procesu povlakování) a **statistického řezu** (viz 5.6. Výstup). Zde zadáváme desetinné číslo.
- 10) **Šířka** určuje šířku (v pixelech) **výsledného řezu** a **statistického řezu**. Zde zadáváme desetinné číslo.
- 11) **CAD** je cesta k textovému souboru, který program vytvoří (viz 5.1. Popis menu) po zmáčknutí tlačítka **CAD data** (menu → start).
- 12) **Úhel1** je minimální velikost úhlu (měřeném v rovině kolmé k rovině x,y), pod kterým může elektroda vystřelit částici (viz 3.4. Soustava elektrod). Zde zadáváme desetinné číslo.
- 13) **Úhel2** je maximální velikost úhlu (měřeném v rovině kolmé k rovině x,y), pod kterým může elektroda vystřelit částici. Zde zadáváme desetinné číslo.
- 14) **Pás** určuje výšku **posuvného pásu**, který se používá pro vytvoření **statistického řezu** (viz 5.6. Výstup). Zde zadáváme kladné desetinné číslo.

5.6. Výstup

Po úspěšném skončení programu se vytvoří **souhrnný výstup**. **Souhrnný výstup** je obrázek ve formátu bmp, který se skládá ze 3 částí.

- 1) V horní části jsou vypsané **vstupní data** programu. Ty tam jsou z toho důvodu, aby se dalo i po delší době zpětně určit, jak tento souhrnný výstup vznikl.
- 2) V prostřední části je **výsledný řez** (viz 4.1. Úvod do procesu vyhodnocování).
- 3) Ve spodní části programu je **statistický řez** (viz níže).

Název **souhrnného výstupu** se skládá ze 4 částí. Jeho tvar vypadá následovně.
Název_Umístění#Datum_Čas.bmp.

- 1) **Název** je neměnná část názvu válce, je definován v inicializačním souboru (viz 5.5. Nastavení inicializačního souboru).
- 2) **Umístění** je část, která je dána umístěním válce v **soustavě válců**, který se právě zpracovává. Tato část se tvoří stejně, jako název výstupního textového souboru v procesu povlakování (viz 3.7. Výstup procesu povlakování).
- 3) **Datum** je aktuální datum. Jeho formát je **rok.měsíc.den**.
- 4) **Čas** je aktuální čas. Jeho formát je **hodiny.minuty**.

Statistický řez znázorňuje složení **posuvného pásu** v závislosti na jeho umístění. Posuvný pás se umístí na spodek prostředního sloupce **mřížkové struktury** (viz 4.7. Zpracování částic). Výška posuvného pásu je dána **inicializačním souborem** (viz 5.5. Nastavení inicializačního souboru) a počítá v jednotkách **Px** (viz 4.5. Úvod do zpracování částic). Pokud je tedy výška posuvného pásu například 50, znamená to, že tento posuvný pás zabírá v prostředním sloupci mřížkové struktury spodních 50 prvků. Zobrazení složení posuvného pásu znamená, že se vykreslí procentuelní zastoupení jednotlivých elektrod (částic vystřelených příslušnou elektrodou) v posuvném pásu.

Posuvný pás se při jeho inicializaci umístí na spodek prostředního sloupce mřížkové struktury. Potom se postupně začne v tomto sloupci posouvat nahoru (jeho šířka se nemění) a po každém posunutí se vykreslí jeho složení. Tím vznikne **statistický řez**.

6. Testování

6.1. Úvod

V této kapitole budeme detailněji zkoumat nanesené vrstvy, sledovat vliv různých vstupních parametrů na výsledný tvar a tloušťku nanesených vrstev. Dále budeme porovnávat tyto vrstvy se skutečnými vrstvami vytvořenými firmou SHM na povlakovacím zařízení ORM. Abychom mohli testovat vliv vstupních parametrů na nanesenou vrstvu, stanovíme výchozí nastavení všech vstupních parametrů. Při testování nějakého vstupního parametru budeme měnit nastavení pouze tohoto (jednoho) parametru. Výchozí nastavení jednotlivých vstupních parametrů je tedy následující.

1) Následující **inicializační soubor** je uložen v souboru inicializacni_data.txt.

funkce_polomeru.txt

zarizeni.txt

karusel.txt

planetka.txt

paleta.txt

valec1

D:/

0.5

400

1024

CAD_data.txt

-20

20

500

2) Následující **anténová funkce** je uložena v souboru funkce_polomeru.txt.

[1,1]

[100,100]

3) Následující **zařízení** je uloženo v souboru zarizeni.txt.

\$Pi300 300

@Mid 0 0 150 440 Al 6000 [0,2.8] [30,2.85] [60,1.12] [90,0.3] [130,0.28]

[167,1.04] [185,1.62] [210,2.62] [305,0.84] [335,2.74] [360,2.8]

@Door1 383.2 65 150 440 Si 15000

@Door2 383.2 115 150 440 Ti 15000

4) Následující **karusel** je uložen v souboru karusel.txt.

\$K9 212.5 50 9 4.125

5) Následující **planetkový držák** je umístěn v souboru planetka.txt.

\$P18 10 650 65 50 65 540 57.75 0 18 2.429

6) Následující **barevná paleta** je uložena v souboru paleta.txt.

Al 255 0 0

Si 0 255 0

Ti 0 0 255

7) **Proudy** v elektrodách jsou následující

Elektroda ve dveřích Door1 30/0 A

Elektroda ve dveřích Door2 30/0 A

Centrální elektroda Mid 30/0 A

8) **Rychlost otáčení a doba procesu**

Rychlost otáčení 2 otáčky/min

Doba procesu 10 min

9) **Volba jediná planetka**

Jediná planetka False

10) **Vzorky** umístěné v planetkovém držáku

Průměr 10

Výška	540
Test	True
Typ řezu	Vertical
Stejně	True

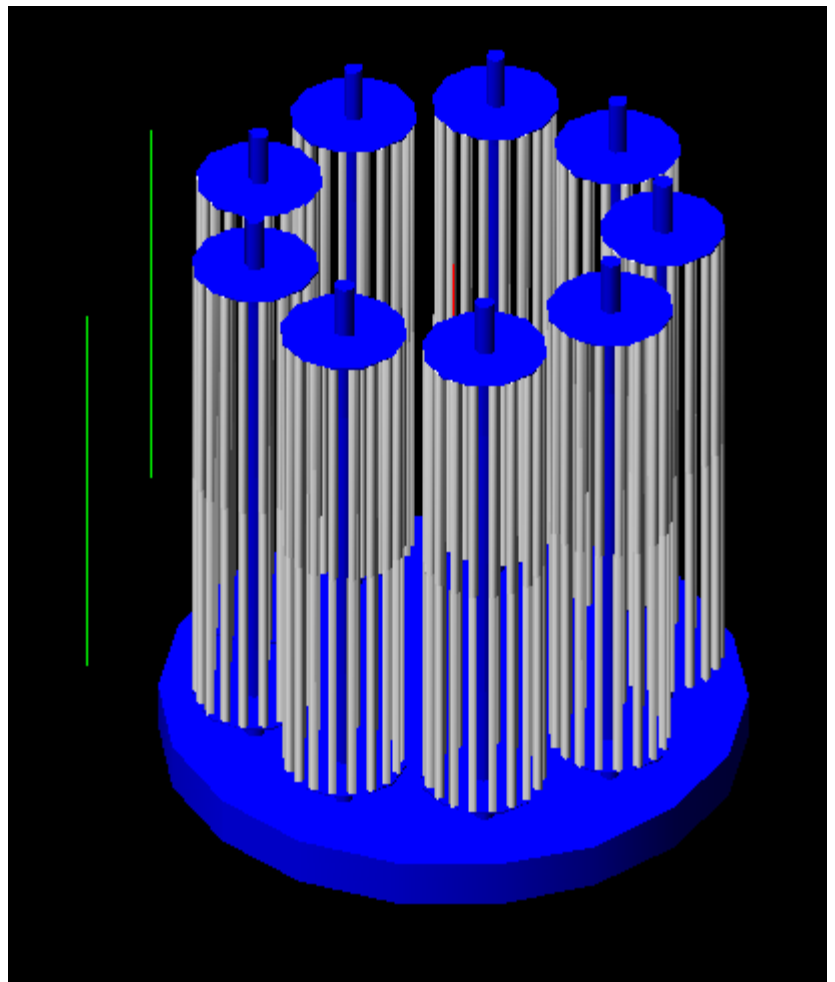
11) Tvar a velikost **kuželoidu** (viz 4.6. Velikost a tvar kuželoidu) použitého v procesu vyhodnocování

Kuželoid (0.5,1,0)

12) Metoda zarovnávání **pyramoidu** (4.5. Úvod do zpracování částic) do **mřížkové struktury** (4.7. Zpracování částic)

Kaskáda 5 (viz 4.8. Kaskádová úprava zarovnání částic do mřížky)

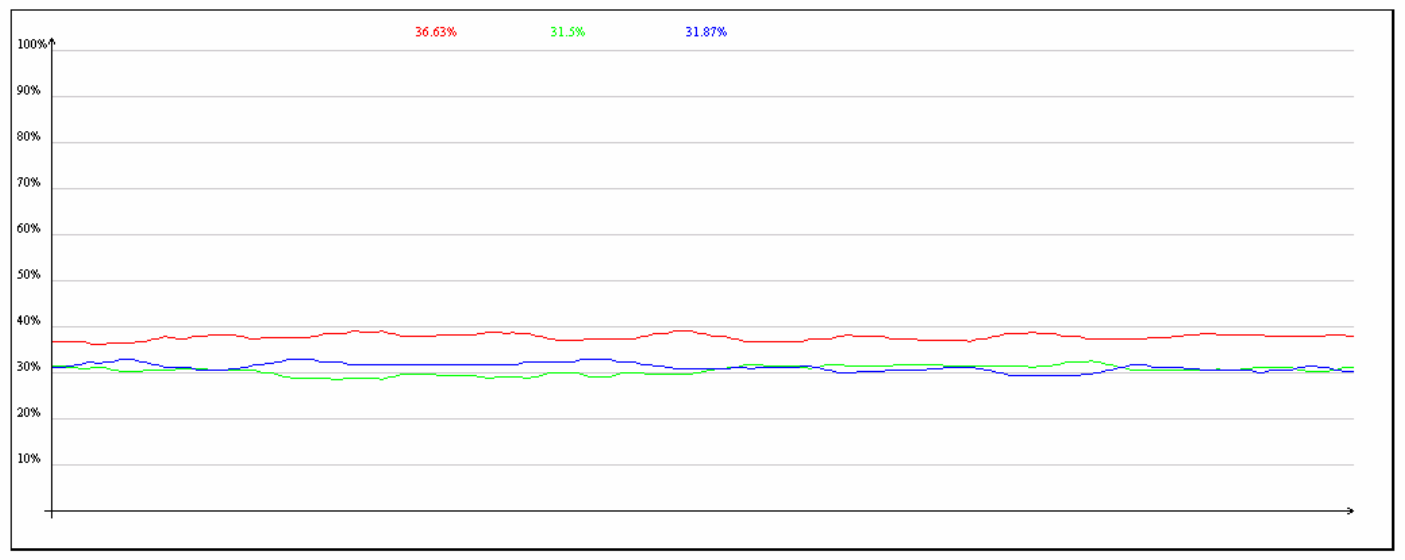
Na Obr. 21 vidíme, jak vypadá výchozí soustava válců a soustava elektrod, na které budeme provádět jednotlivé testy. Zelené úsečky reprezentují elektrody ve dveřích, červená úsečka reprezentuje centrální elektrodu, modré válce reprezentují karusel a planetkové držáky a bílé válce reprezentují vzorky umístěné v planetkových držácích. Na Obr. 22 vidíme, jak vypadá souhrnný výstup pro výchozí nastavení.



Obr. 21

Nazev zarizeni: Pi300
Nazev karusehu: K9
Nazev planetky: P18
Rychlost otaceni: 2 ot/min
Doba procesu: 10 min
Jedna planetka: false

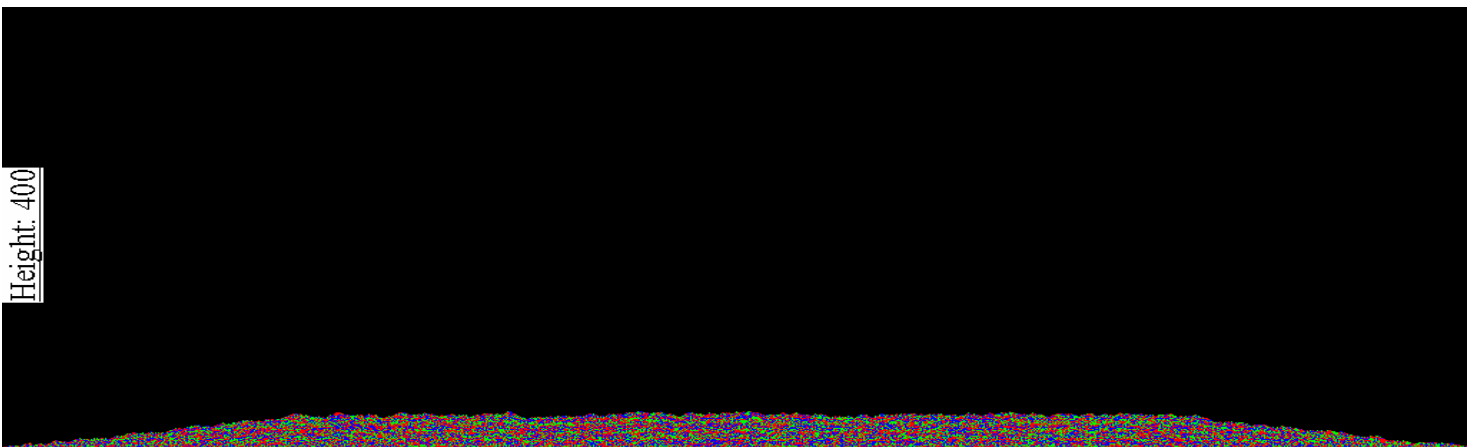
Prumer vzorku: 10
Vyska vzorku: 540
Typ testu vzorku: Vertical
Proud na elektrode Mid: 30 A
Proud na elektrode Door1: 30 A
Proud na elektrode Door2: 30 A



Obr. 22

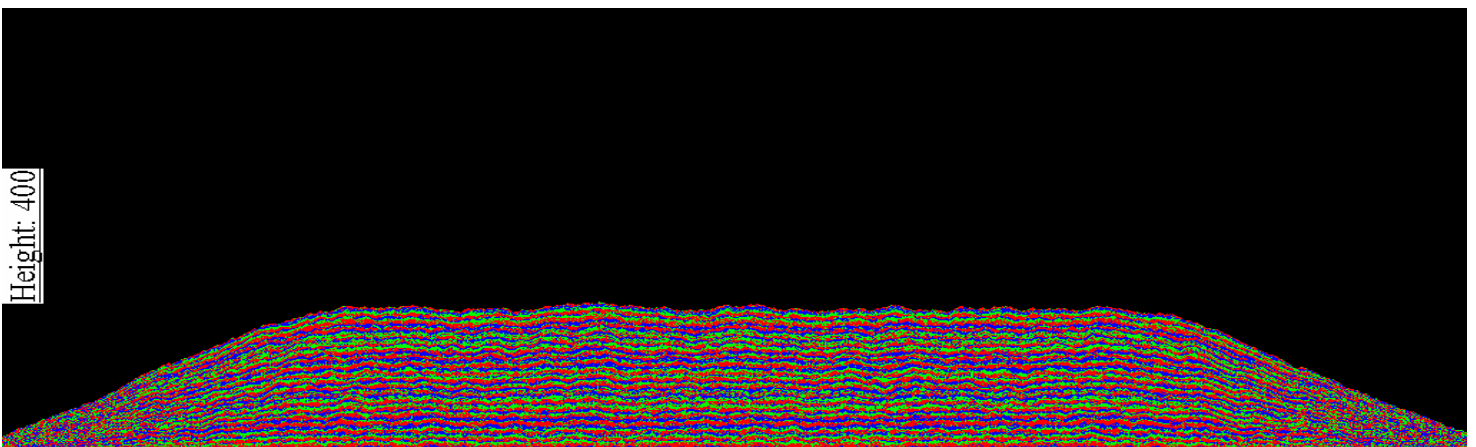
6.2. Velikost částice

Velikost částice odpovídá **hlavnímu poloměru** částice (4.5. Úvod do zpracování částic) a je to jedna z nejvýznamnějších vstupních hodnot procesu vyhodnocování. Velikost částice totiž přímo ovlivní, kolik nanesených částic zasáhne do řezu a jak moc na něj tyto částice budou působit. Pokud bude totiž částice malá, potom do řezu zasáhne jenom málo částic a ty, které do něj zasáhnou, ho ovlivní třeba jenom minimálně. Výsledný řez bude proto nižší a zrnitější, než když se použijí větší částice. Rozdíly jsou patrné hned na první pohled. Test hodnoty 0.1 (velikost částice) ukazuje Obr. 23, test hodnoty 0.2 ukazuje Obr. 24, test hodnoty 0.3 ukazuje Obr. 25, test hodnoty 0.4 ukazuje Obr. 26, test hodnoty 0.5 ukazuje Obr. 27, test hodnoty 0.6 ukazuje Obr. 28, test hodnoty 0.7 ukazuje Obr. 29 a test hodnoty 0.8 ukazuje Obr. 30.



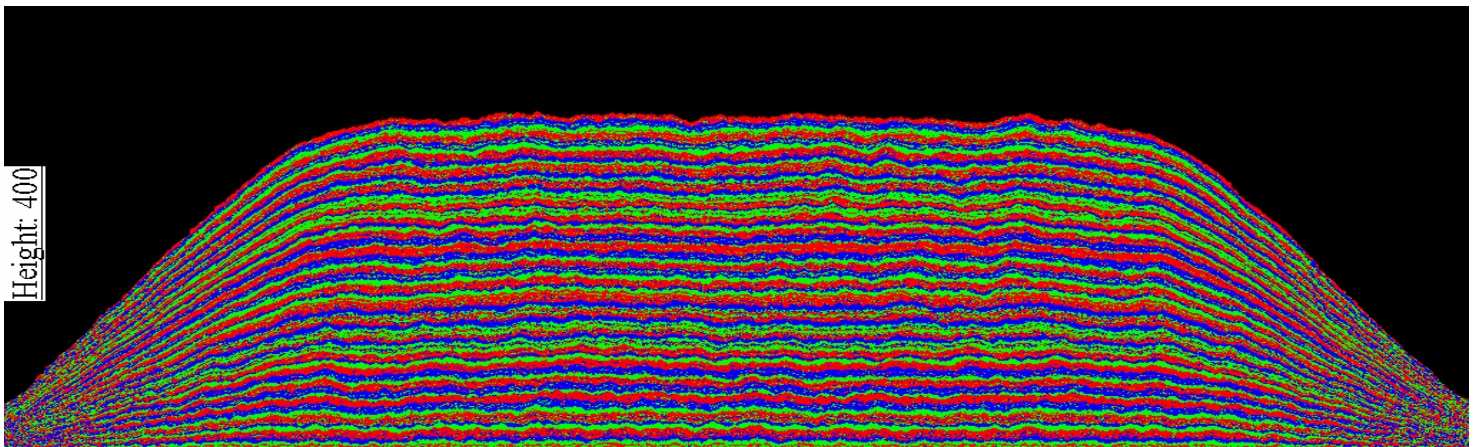
Velikost částice = 0.1

Obr. 23



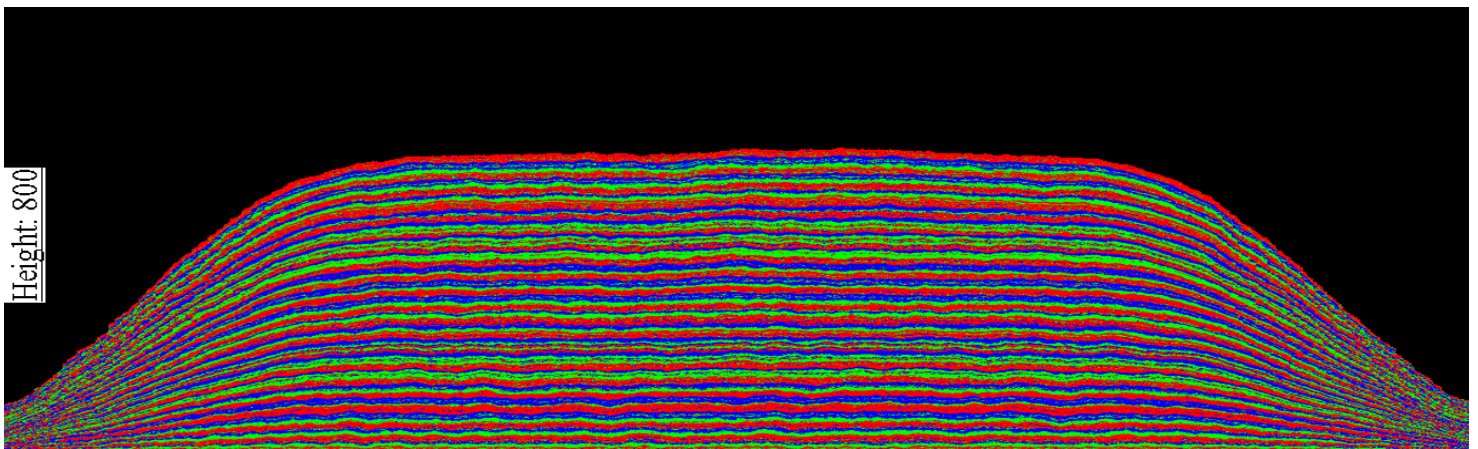
Velikost částice = 0.2

Obr. 24



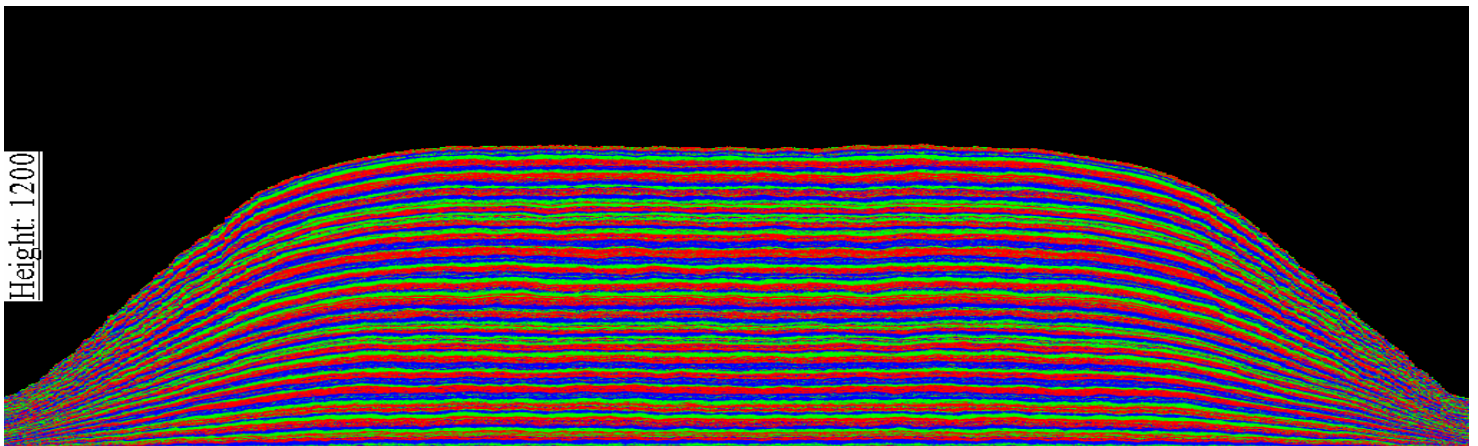
Velikost částice = 0.3

Obr. 25



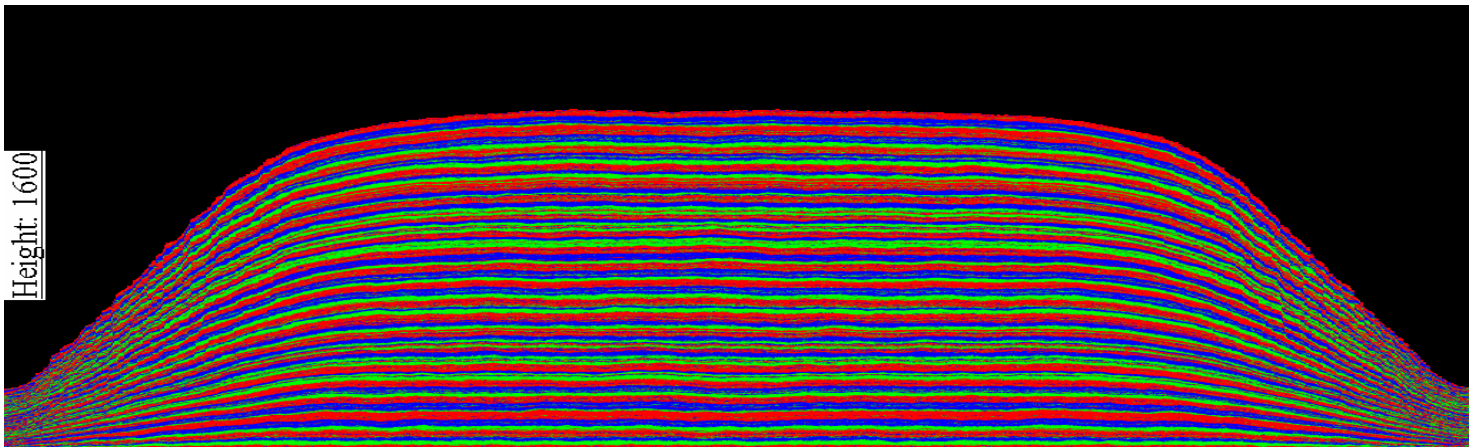
Velikost částice = 0.4

Obr. 26



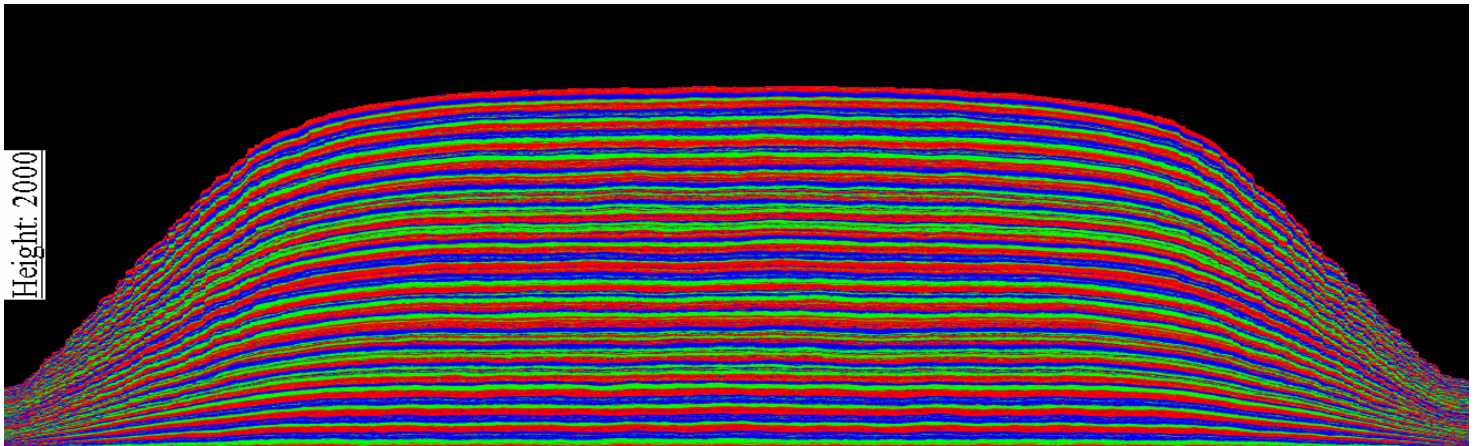
Velikost částice = 0.5

Obr. 27



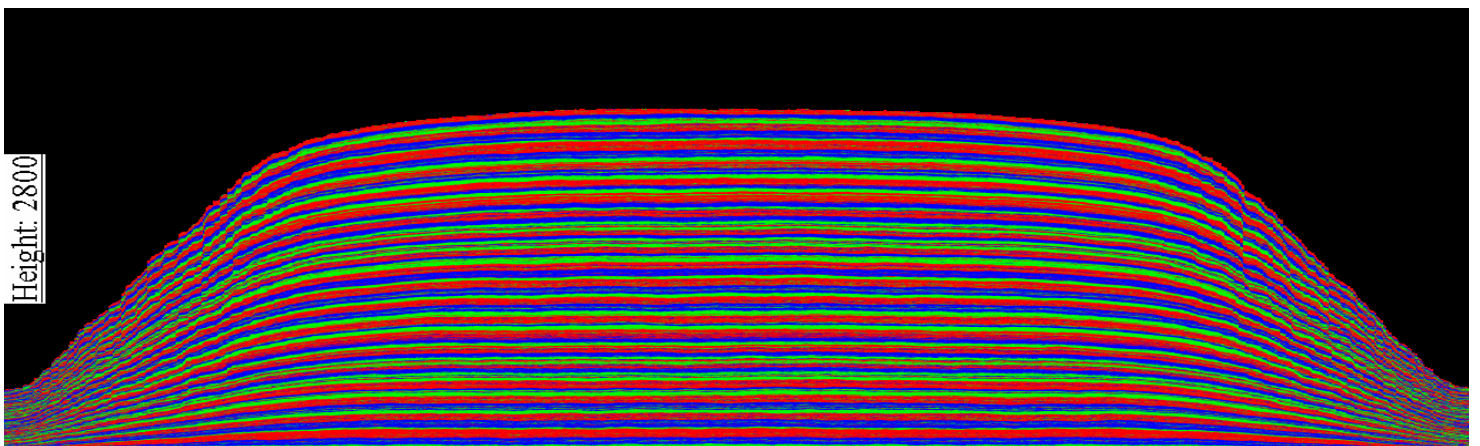
Velikost částice = 0.6

Obr. 28



Velikost částice = 0.7

Obr. 29

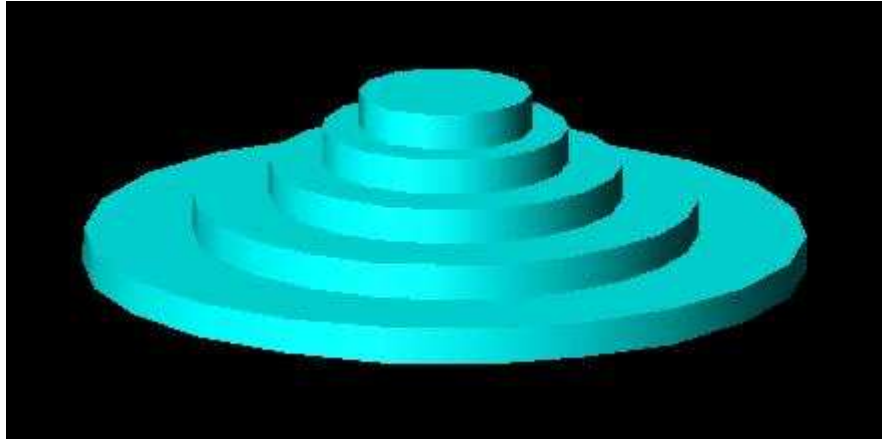


Velikost částice = 0.8

Obr. 30

6.3. Tvar částice

V části 4.6 Velikost a tvar kuželoidu jsme definovali kuželoid a popsali, jakým způsobem se podílí na tvorbě výsledného řezu. Na Obr. 31 je vidíme příklad kuželoidu (0.5,5,0.7).



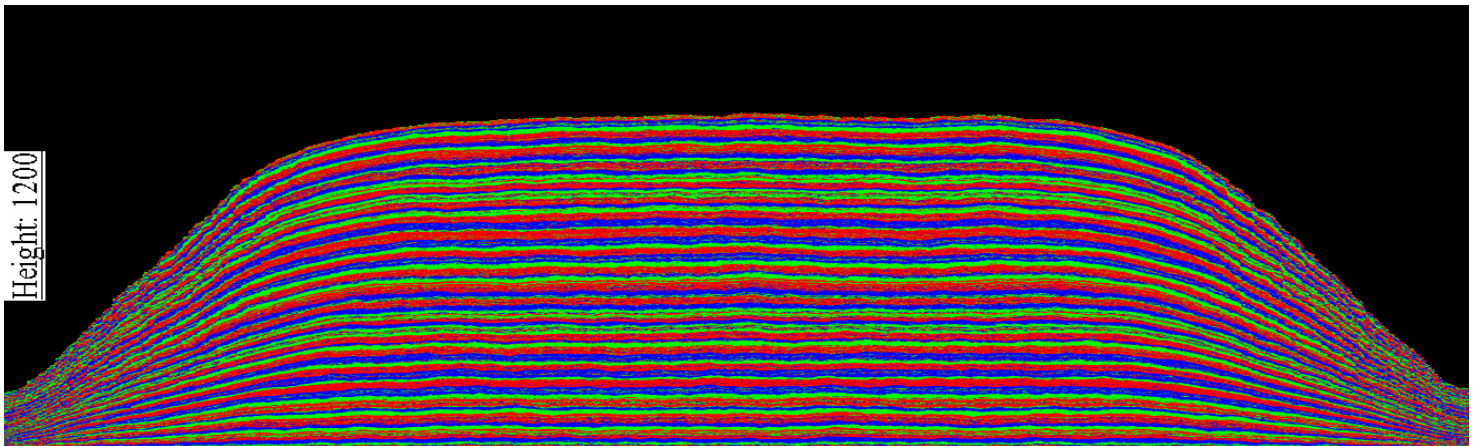
Obr. 31

V této části budeme testovat právě tvar kuželoidu, abychom viděli, jakým způsobem se mění tvar a tloušťka výsledného řezu. Na Obr. 32 až 38 jsou zachyceny výsledné řezy, které se navzájem liší pouze ve tvaru částice použité v procesu vyhodnocování. Na Obr. 32 byl použit kuželoid (0.5,1,0), na Obr. 33 byl použit kuželoid (0.5,3,0.3), na Obr. 34 byl použit kuželoid (0.5,5,0.3), na Obr. 35 byl použit kuželoid (0.5,3,0.5), na Obr. 36 byl použit kuželoid (0.5,5,0.5), na Obr. 37 byl použit kuželoid (0.5,3,0.7) a na Obr. 38 byl použit kuželoid (0.5,5,0.7).



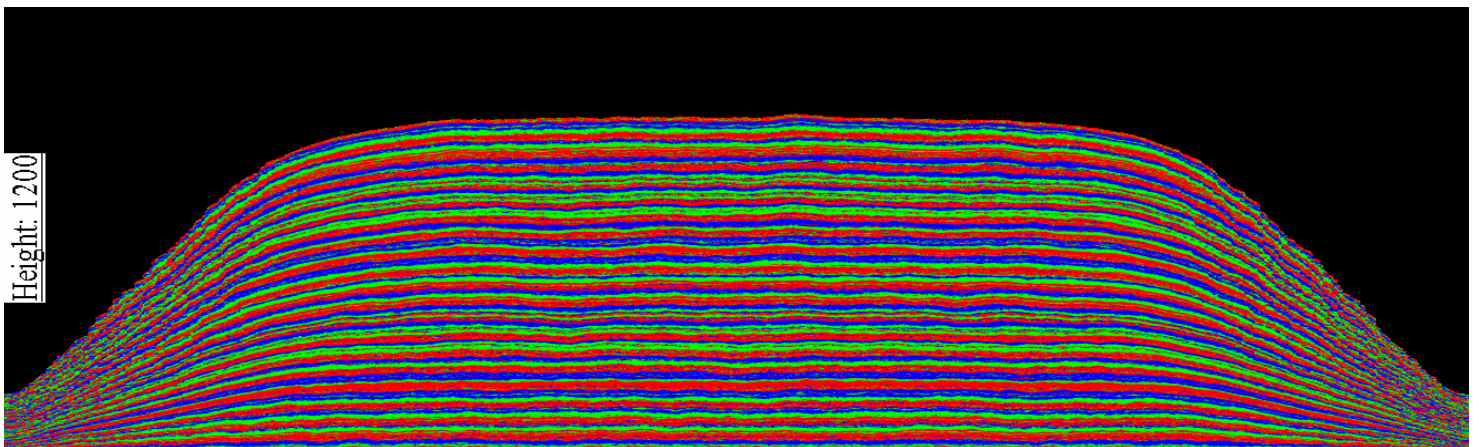
Kuželoid (0.5,1,0)

Obr. 32



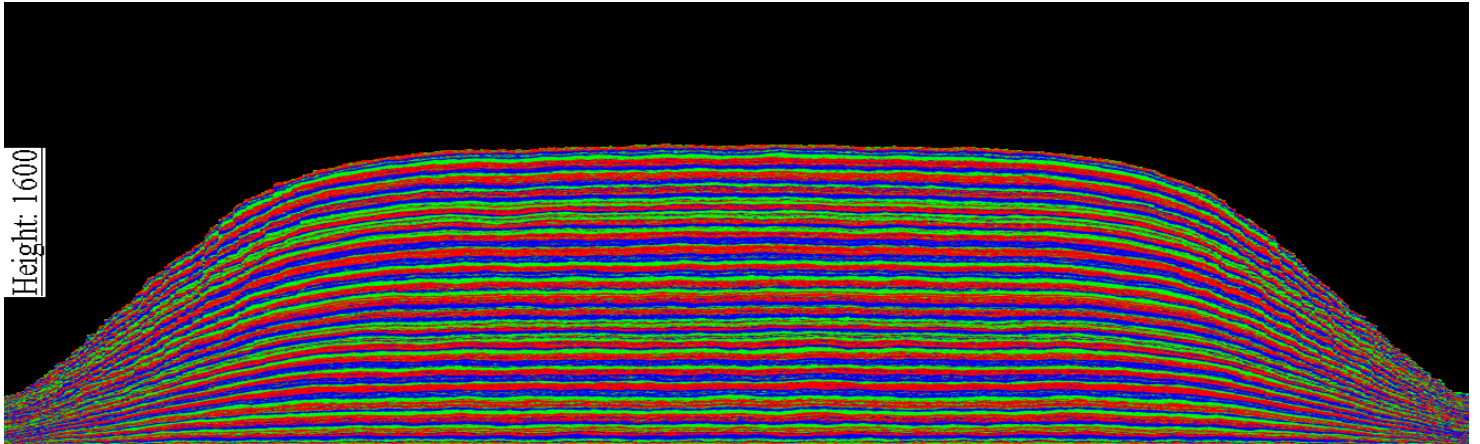
Kuželoid (0.5,3,0.3)

Obr. 33



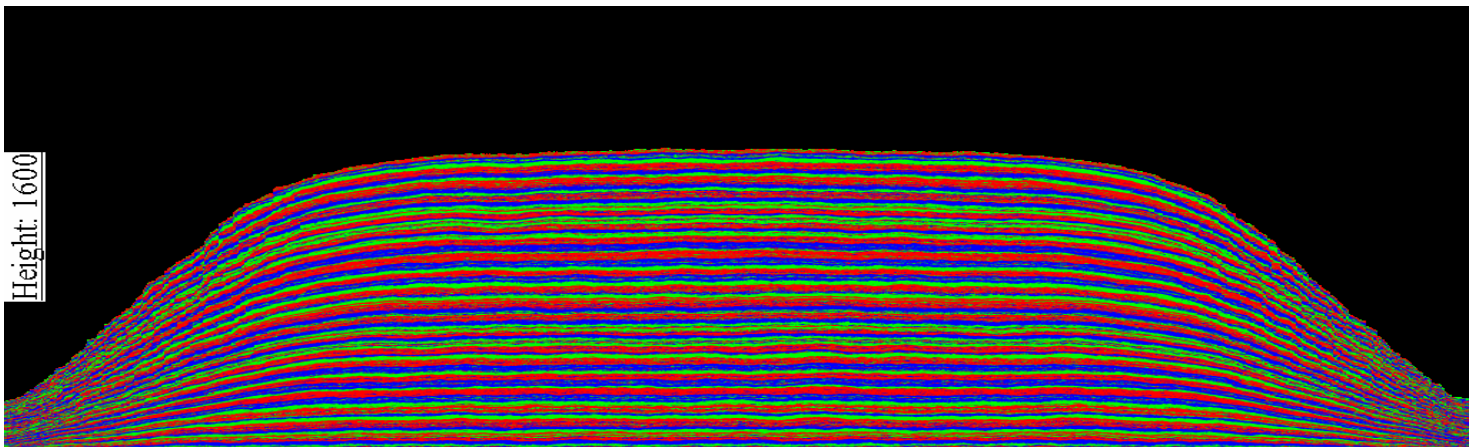
Kuželoid (0.5,5,0.3)

Obr. 34



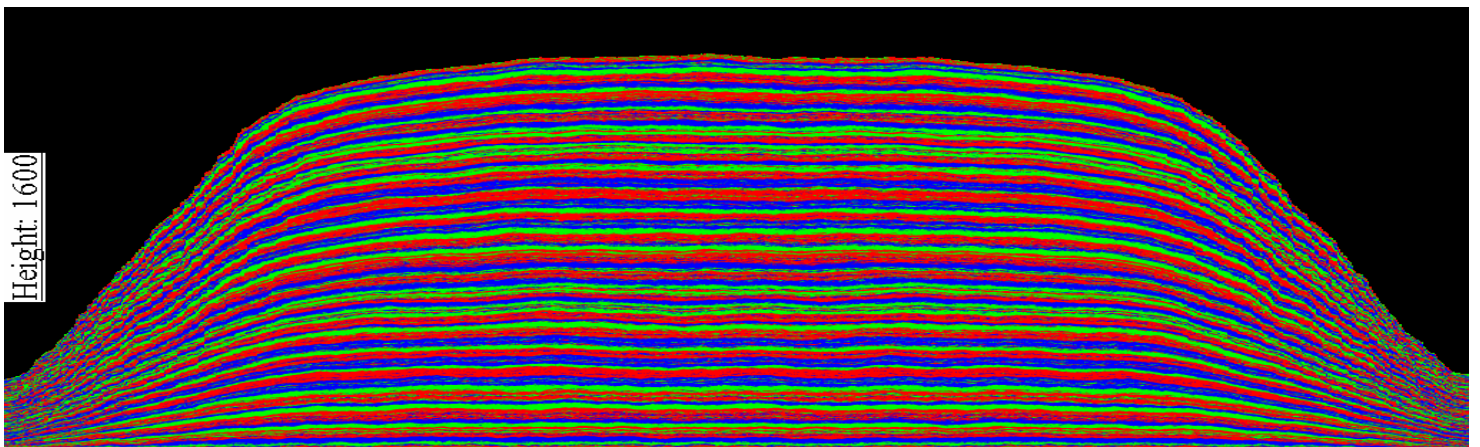
Kuželoid (0.5,3,0.5)

Obr. 35



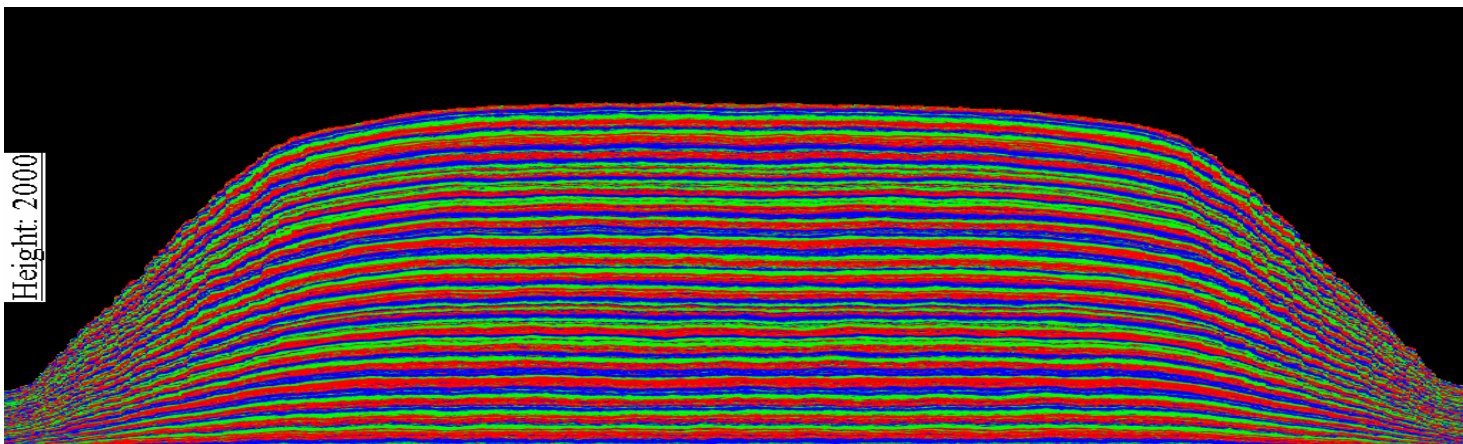
Kuželoid (0.5,5,0.5)

Obr. 36



Kuželoid (0.5,3,0.7)

Obr. 37



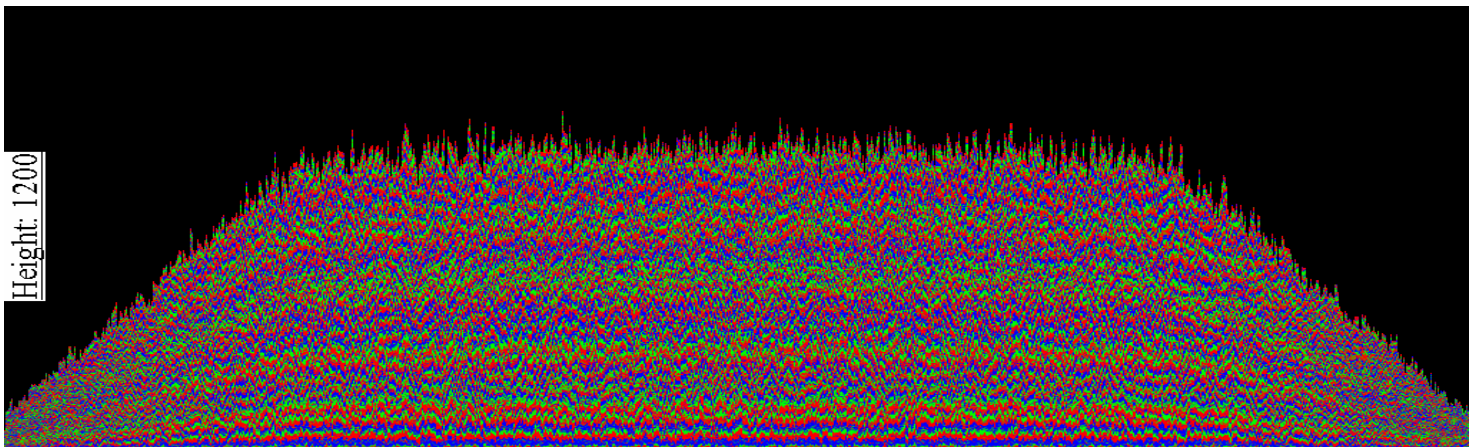
Kuželoid (0.5,5,0.7)

Obr. 38

Je vidět, že tvar částice nijak neovlivní tvar vrstvy (její nanostrukturu), pouze ovlivní tloušťku nanosené vrstvy. Dále je patrné, že na tloušťku vrstvy má větší vliv **poměr** (viz 4.6. Velikost a tvar kuželoidu) kuželoidu než počet vrstev kuželoidu.

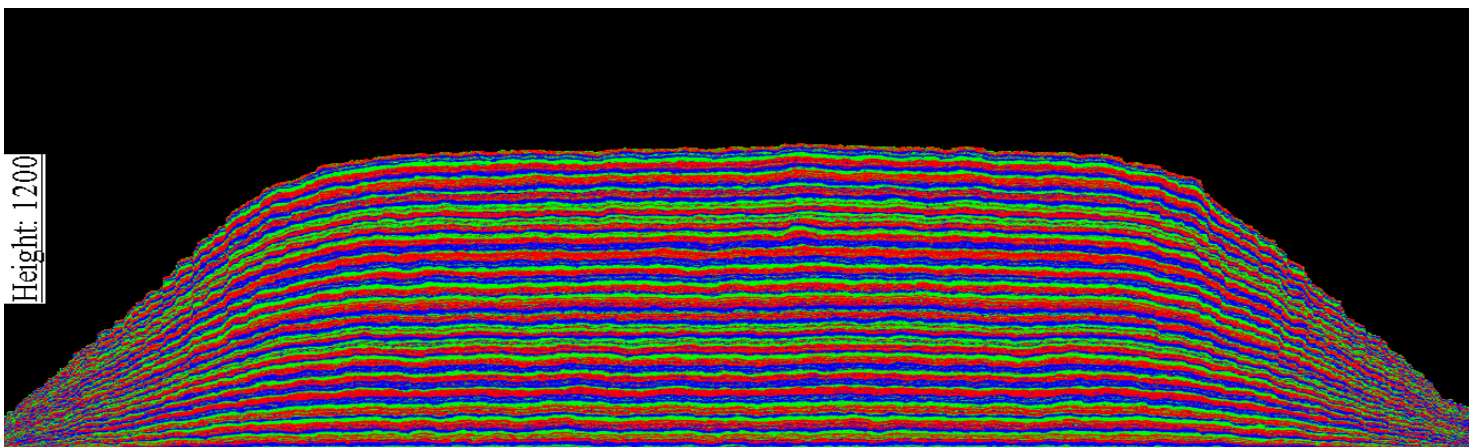
6.4. Zarovnávání částic do mřížky

V části 4.8. Kaskádová úprava zarovnávání částic do mřížky je popsána metoda **kaskádového** zarovnávání částic do **mřížkové struktury** (viz 4.7. Zpracování částic). V této části budeme testovat právě vliv použité kaskády na tvaru (nanostruktuře) výsledného řezu. Na Obr. 39 až 44 jsou zachyceny výsledné řezy, které se navzájem liší pouze v typu kaskády použité v procesu vyhodnocování. Na Obr. 39 byla použita kaskáda 0, na Obr. 40 byla použita kaskáda 1, na Obr. 41 byla použita kaskáda 2, na Obr. 42 byla použita kaskáda 3, na Obr. 43 byla použita kaskáda 4, na Obr. 44 byla použita kaskáda 5.



Kaskáda 0

Obr. 39



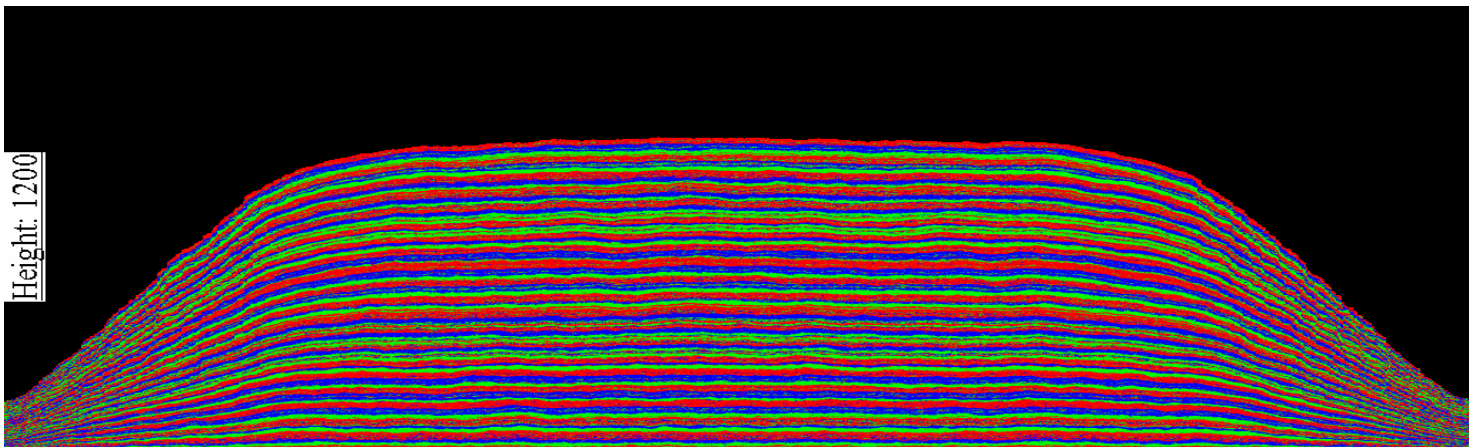
Kaskáda 1

Obr. 40



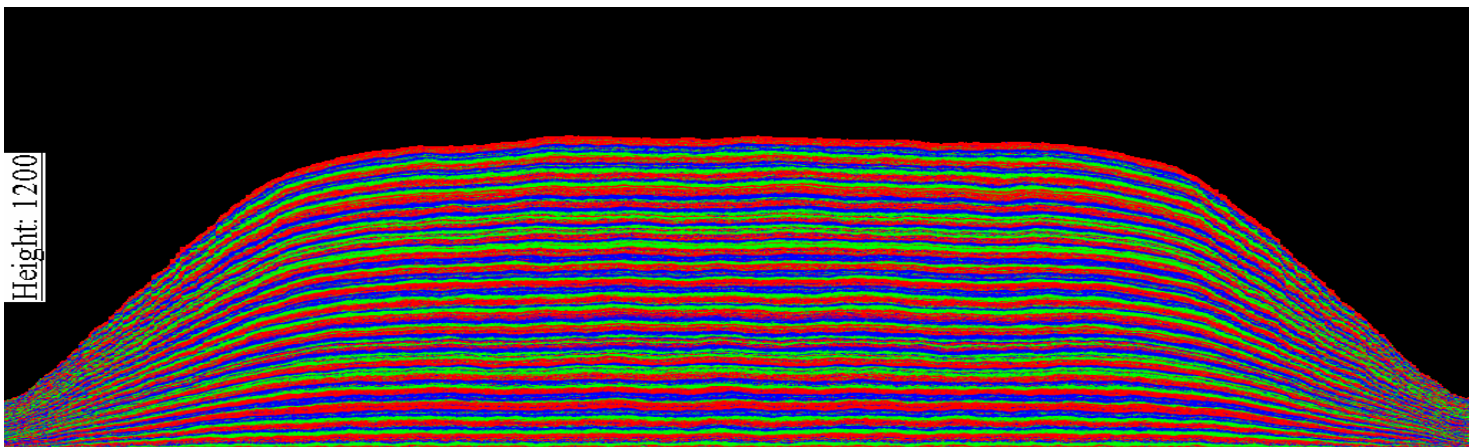
Kaskáda 2

Obr. 41



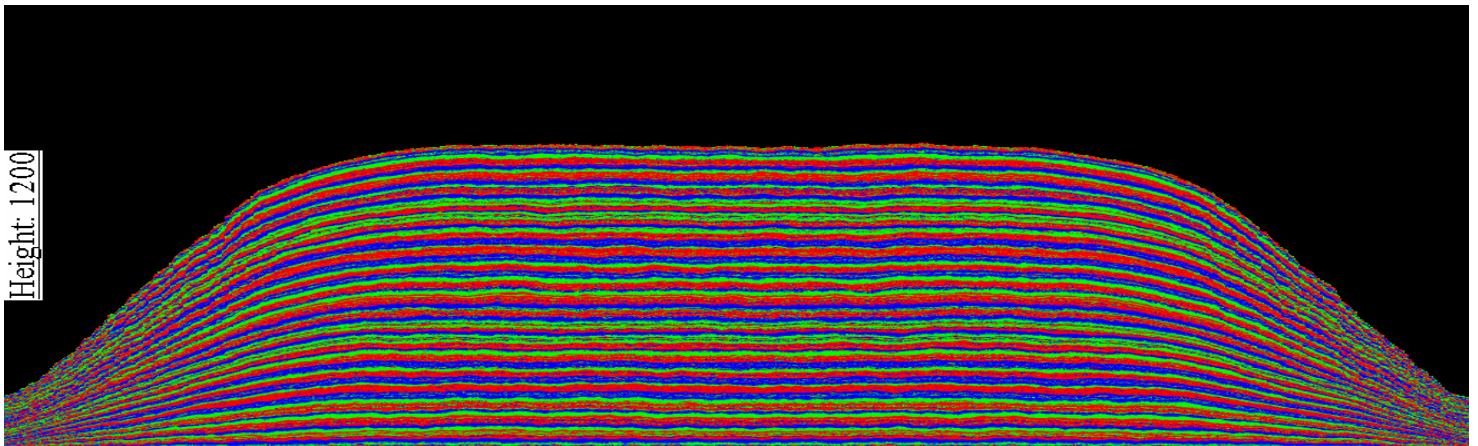
Kaskáda 3

Obr. 42



Kaskáda 4

Obr. 43



Kaskáda 5

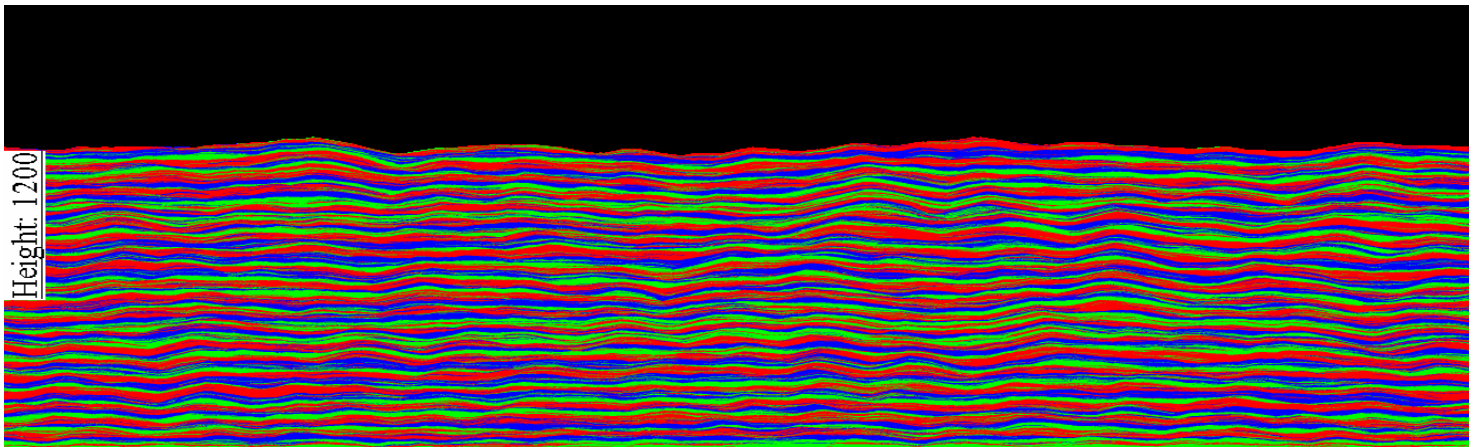
Obr. 44

Bez použití kaskády je výsledný řez špičatý a zrnitý. Čím vyšší kaskáda (kaskáda 3 je vyšší kaskáda, než kaskáda 2) se použije, tím víc se nerovnosti ve vrstvě zarovnají. Přesto však nedojde ke zdeformování tvaru vrstvy, k tomu dojde až při použití velmi vysoké kaskády (okolo 100).

6.5. Převodové poměry

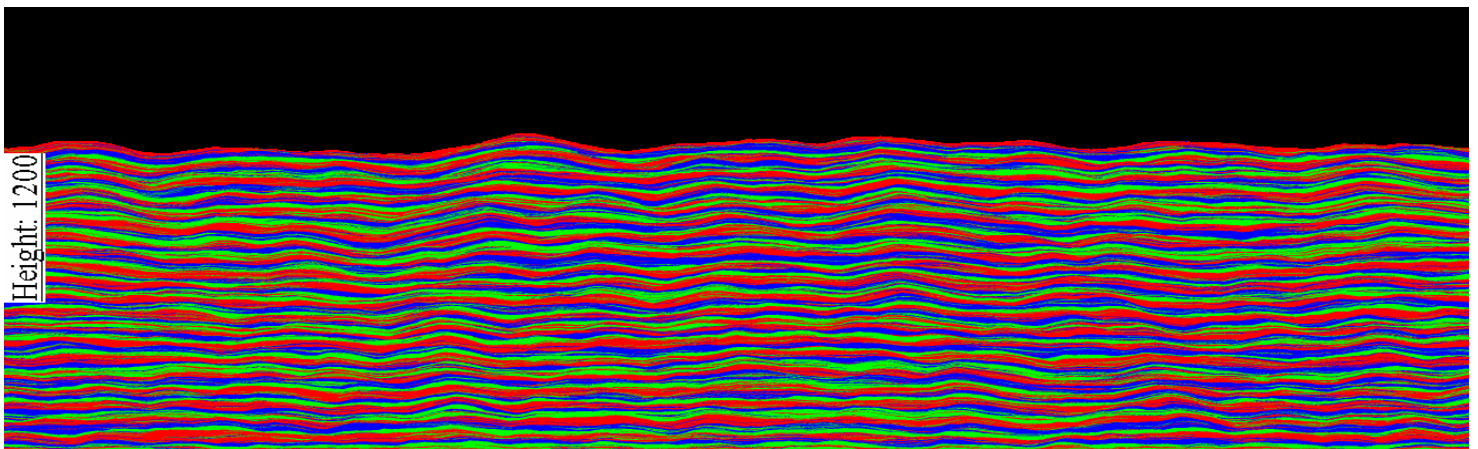
Při definování **karuselu** (viz 5.3. Karusel) se jako jeden z parametrů zadává převodový poměr karuselu. Taktéž při definování **planetkového držáku** (viz 5.4. Planetka) se jako jeden z parametrů zadává převodový poměr planetky. Tyto dva parametry mají velmi silný vliv na nanostrukturu vrstvy. Proto se v této části budeme zabývat testováním převodového poměru karuselu a planetky. Je dobré si uvědomit, že se převodové poměry (ať už karuselu nebo planetky) nedají volit libovolně, protože převodový poměr v praxi odpovídá poměru počtu zubů na ozubeném soukolí. Některé převodové poměry tedy není možné udělat. Na Obr. 45 až 49 jsou zachyceny výsledné řezy, které se navzájem liší pouze v převodových poměrech karuselu a planetek. Tento test se od ostatních liší ještě v jednom detailu. Řezy prováděné na vzorkách nejsou vertikální (viz výchozí nastavení), ale horizontální. Tyto řezy jsou vedeny středem vzorků. To je z toho důvodu, že ne vždy je povlak rovnoměrně nanesený po obvodu válce, a pokud bychom zvolili vertikální řez, nezaregistrovali bychom tuto nerovnoměrnost.

Na Obr. 45 byly použity převodové poměry 4.125 a 2.429 (první převodový poměr je karuselu, druhý je planetkových držáků), na Obr. 46 byly použity převodové poměry 4.38 a 2.692, na Obr. 47 byly použity převodové poměry 4.105 a 0, na Obr. 48 byly použity převodové poměry 1 a 1 a na Obr. 49 byly použity převodové poměry 4.4 a 2.2.



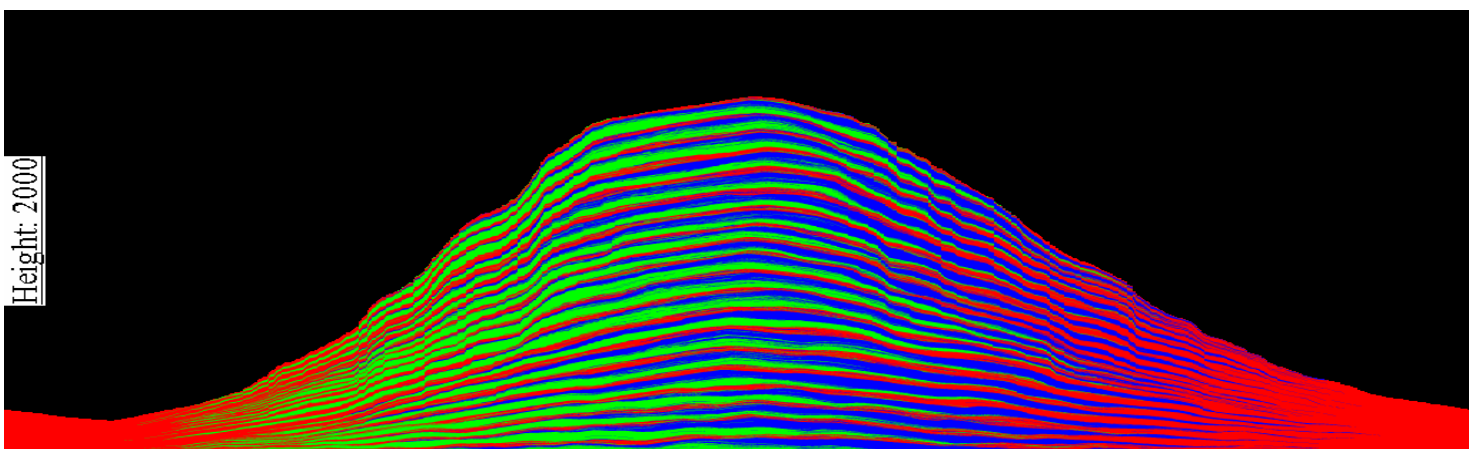
Převodové poměry 4.125 a 2.429

Obr. 45



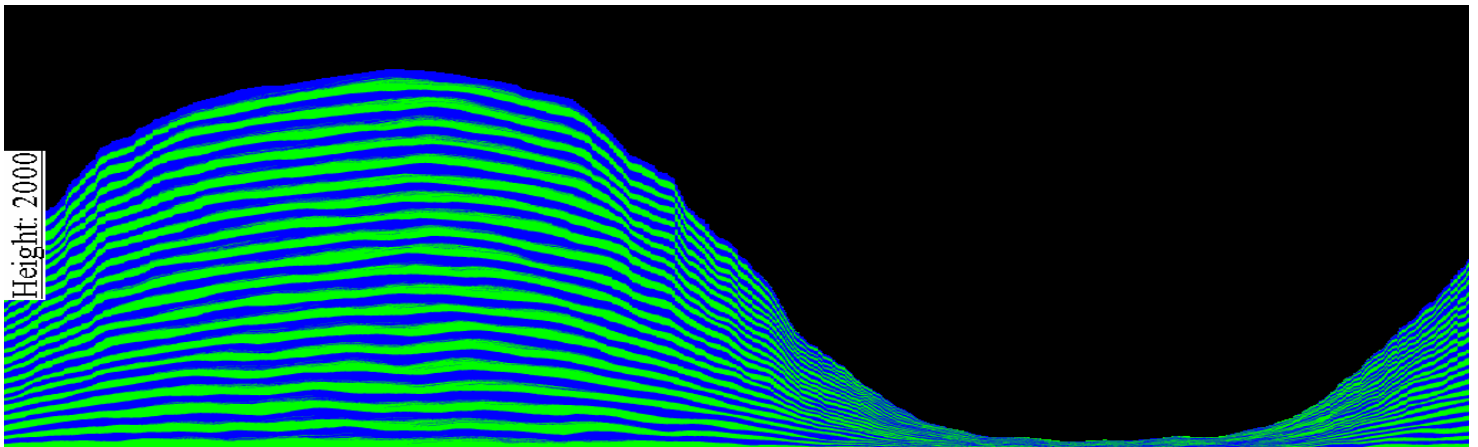
Převodové poměry 4.38 a 2.692

Obr. 46



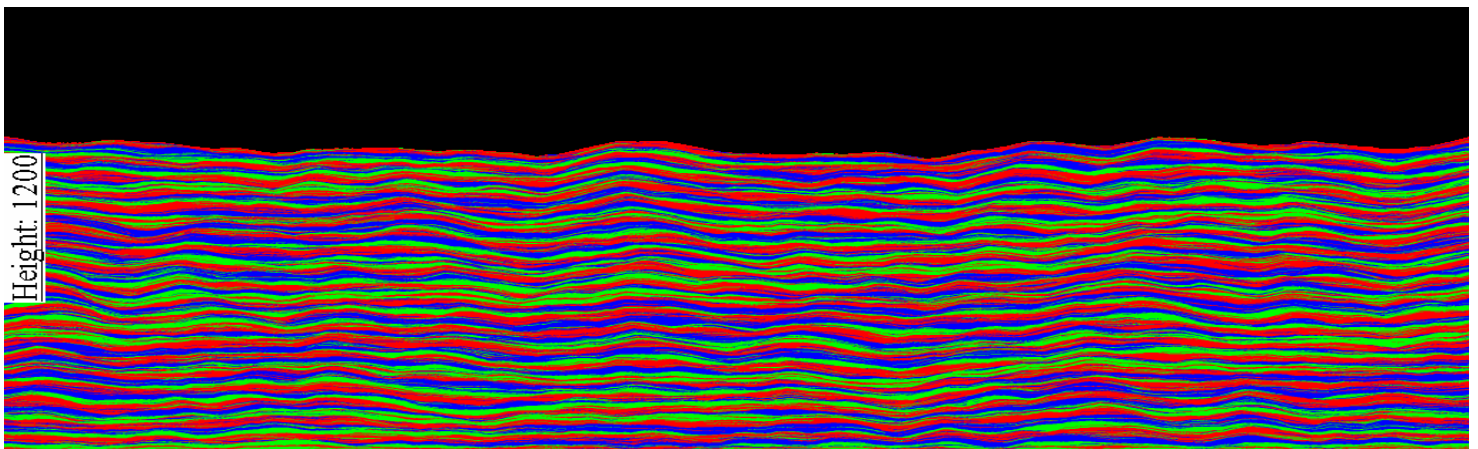
Převodové poměry 4.105 a 0

Obr. 47



Převodové poměry 1 a 1

Obr. 48



Převodové poměry 4.4 a 2.2

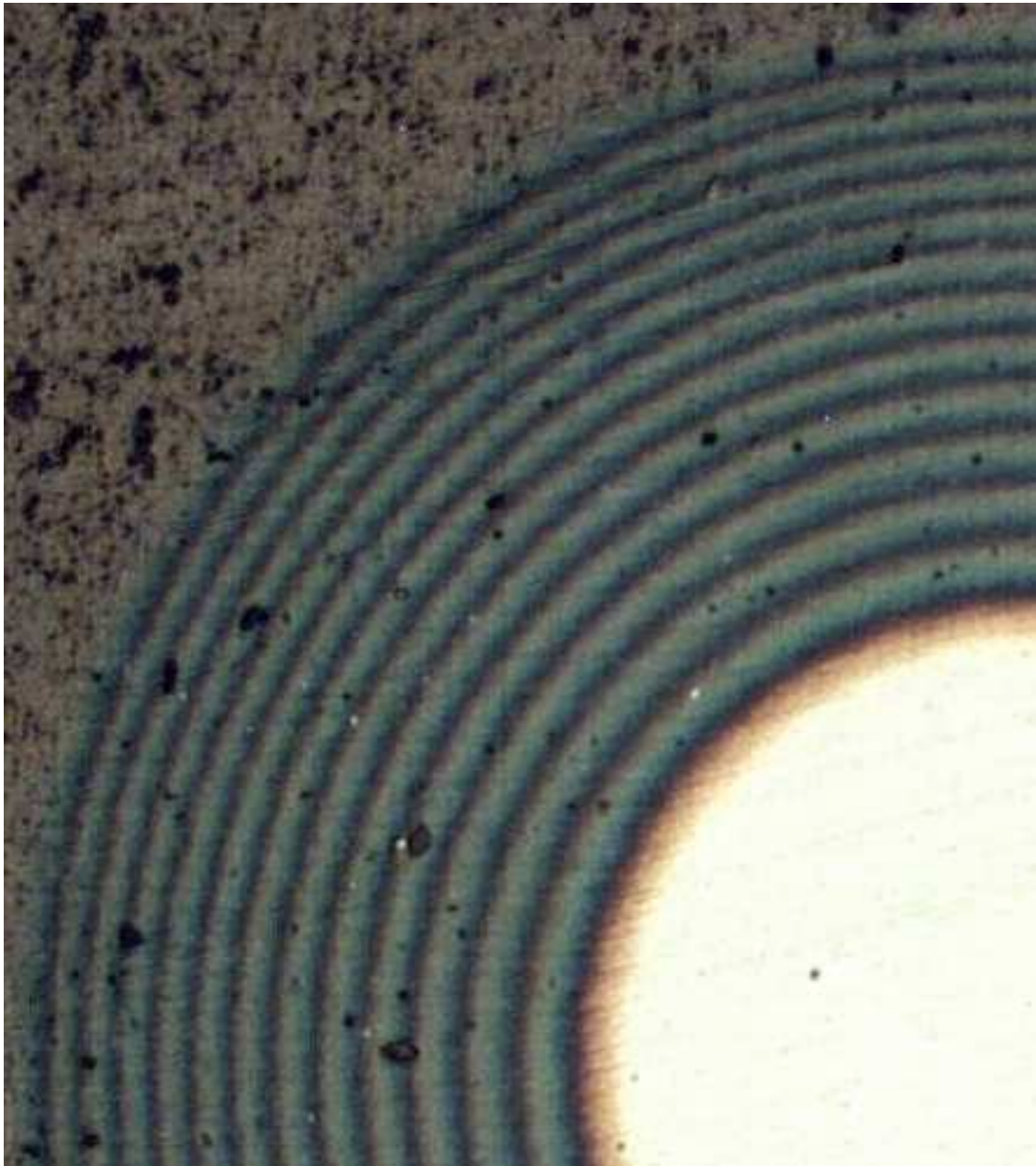
Obr. 49

Na Obr. 47 a 48 je vidět, že pokud se zvolí převodové poměry tak, že se po několika otáčkách dostaneme do počátečního stavu, potom povlak není rovnoměrně nanesený po obvodu válce a vznikají nerovnosti, které mají obrovský dopad na kvalitu nanesené vrstvy. Jindy převodové poměry mohou ovlivnit, s jakou hustotou se střídají jednotlivé vrstvičky (z těchto vrstviček je složen výsledný řez).

..

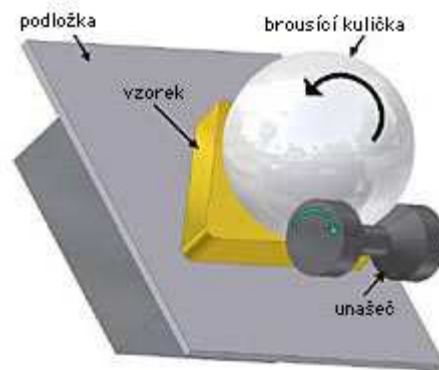
6.6. Porovnání výsledků

V této kapitole budu porovnávat svoje výsledky s výsledky naměřenými firmou SHM. Cílem této bakalářské práce je vytvořit a popsat program, jehož vrstvy se shodují s “přírodou”. Na Obr. 50 vidíme kalotest vytvořený firmou SHM. Kalotest je výbrus do vzorku kuličkou, viz Obr. 51.



Obr. 50

Po zadání inicializačních dat vytvořených na základě zařízení, na kterém se dělal test viz Obr. 50 a zkalibrování, se získal výsledný řez odpovídající Obr. 52. Červená barva z Obr. 52 odpovídá světle šedé barvě z Obr. 50 a modrá barva z Obr. 52 odpovídá tmavě modré barvě z Obr. 50. Je dobré si všimnout, že jak Obr. 50, tak Obr. 52 se skládá z 26 vrstviček. Dále je dobré si všimnout, že si odpovídá poměr tloušťky modré a červené vrstvičky z Obr. 52 a poměr tloušťky světle šedé a tmavě modré vrstvičky z Obr. 50. Simulovaný výsledek se tedy shoduje s reálným výsledkem. Důvod, proč si Obr.50 a Obr. 51 nemohou přesně barevně odpovídat, je jednoduchý. Barvy vrstviček z Obr. 50 spolu interferují (jsou částečně průsvitné) a díky tomu tvoří jiné barvy, než které získáme smícháním barev ze vstupní barevné palety. Proto jsme na Obr. 52 zvolili dvě kontrastní barvy.



Obr. 51



Obr. 52

7. Další metody simulace povlakování

Stejným problémem jako já se zabývalo ještě několik dalších lidí, ale vždy řešili pouze specifické případy, tj. simulovali nanášení částic pouze pro konkrétní povlakovací zařízení bez možnosti přizpůsobit se změnám v technologii. Na rozdíl od těchto prací jsem se pokusil vytvořit co nejobecnější model, který je možné používat i s poměrně výraznými modifikacemi. Tato pružnost rozšiřuje pole uplatnění mého programu.

Detailněji jsem měl možnost nahlédnout pouze do práce Mgr. Rostislava Vodáka, Ph.D.

Mgr. Vodák zvolil 2D model pro nanášení částic. Tj. elektrody definoval jako bodové zdroje a soustavu válců definoval pomocí několika kružnic. Kružnice, která odpovídala povlakovanému vzorku, se po obvodu navzorkovala. V každém kroku (pootočení válce) se zjistila intenzita, jakou elektroda střílí částice na každý z navzorkovaných bodů. Tímto postupem se pro daný počet bodů po obvodu kružnice zjistilo, jak intenzivně elektrody střílely částice do těchto bodů v průběhu procesu povlakování. Jejich propojením se sestrojil výsledný obraz . Tento obraz se sestrojil podobně, jako můj výsledný řez. Tato metoda je zatím ještě ve vývoji, takže nelze uveřejnit zatím žádné výsledky.

8. Závěr

Jsem přesvědčen, že tato práce bude přínosem pro firmu SHM k simulování růstu vrstev u různých druhů povlakovacích zařízení, která tato firma využívá a prodává. Také doufám, že by se tento program mohl distribuovat zákazníkům společně s povlakovacími zařízeními, aby si sám zákazník mohl rozhodnout o tom, jak bude pro něj nejlepší naložit nástroje do držáků, jak zvolit převodové poměry mezi jednotlivými planetkami a jaké napětí pustit do elektrod.

9. Použitá literatura a zdroje

- [1] Bjarne Soustroup: The C++ Programming Language, third edition, Addison-Wesley, 2004.
- [2] P. Kevin MacKeown: Stochastic Simulation in Physics, Springer, 1997.
- [3] Harvey Gould & Jan Tobochnik: An Introduction to Computer Simulation Methods, Part 2, Applications to Physical Systems, Addison-Wesley, 1988.
- [4] <http://msdn2.microsoft.com/en-us/visualc/default.aspx>