

MASARYKOVA UNIVERZITA

FAKULTA INFORMATIKY



# Generátor špirálových mozaík

BAKALÁRSKA PRÁCA

**Marek Maruška**

Brno, jar 2012

## **Prehlásenie**

Prehlasujem, že táto bakalárska práca je mojím pôvodným autorským dielom, ktoré som vypracoval samostatne. Všetky zdroje, pramene a literatúru, ktoré som pri vypracovaní používal alebo z nich čerpal, v práci riadne citujem s uvedením úplného odkazu na príslušný zdroj.

**Vedúci práce:** Mgr. Jiří Chmelík

## **Podakovanie**

Chcel by som sa poďakovať vedúcemu práce Mgr. Jiřímu Chmelíkovi za dohľad a pomoc pri tvorbe tejto práce. Rovnako ďakujem svojej rodine za trpezlivosť a veľkú podporu.

## Zhrnutie

Cieľom práce je objasniť princípy a podmienky zostrojenia algoritmu na generovanie tapetových periodických špirálových mozaík tvorených C a S krivkami. Súčasne ukázať pravidlá tvorby C a S kriviek samotných. Následne naprogramovať aplikáciu na tvorbu špirálových mozaík zo spomínaných kriviek s možnosťami výberu viacerých atribútov ako sú uhol zatočenia, typ dláždenia a pod.

## **Kľúčové slová**

generátor špirálových mozaík, špirálové mozaiky, C-krivky, S-krivky, dláždenia, Chris Palmer

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Výtvarná informatika a algoritmické umenie .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Mozaiky .....</b>	<b>4</b>
3.1	Špirálové mozaiky.....	5
3.2	Rozdelenie dláždení.....	5
3.3	Tvorba mozaiky .....	7
<b>4</b>	<b>C, S a E-krivky .....</b>	<b>9</b>
4.1	Tvorba kriviek .....	9
4.2	Pomer veľkosti špirál.....	11
<b>5</b>	<b>Implementácia .....</b>	<b>14</b>
5.1	MoSaiC.....	14
5.2	Uhol otočenia kriviek.....	14
5.3	Nastaviteľný pomer špirál .....	15
5.4	Dlaždice v programe MoSaiC .....	16
5.5	Algoritmus vykresľovania .....	16
<b>6</b>	<b>Užívateľské rozhranie programu .....</b>	<b>21</b>
6.1	Hlavné menu programu.....	21
6.2	Ovládací panel.....	22
6.3	Plátno .....	23
6.4	Známe nedostatky.....	24
<b>7</b>	<b>Záver .....</b>	<b>26</b>
	<b>Literatúra.....</b>	<b>27</b>
<b>A</b>	<b>Obrazová príloh.....</b>	<b>29</b>
<b>B</b>	<b>Obsah CD .....</b>	<b>35</b>

## Kapitola 1

### Úvod

Od počiatku sedemdesiatych rokov sa v informatike a výpočtovej technike objavujú vizuálne zaujímavé diela, ktoré vznikli ako výstupy programov tvorených či už jednoduchými algoritmami, alebo komplexnými rovnicami, často obohatenými o prvok náhody. Tento fenomén sa stal rýchlo obľúbeným a tak vzniklo odvetvie umenia „computer art“, v preklade výtvarná informatika, ktorej súčasťou je aj algoritmické umenie [1].

Algoritmické umenie je umelecký prúd, ktorý na vytvorenie umeleckých diel, či už vykreslených na obrazovku, alebo sprostredkované prístrojom na papier, využíva rôzne matematické algoritmy. Pri výkone dnešných počítačov tak za niekoľko okamihov vznikajú veľmi pôsobivé a zároveň komplikované a ručne veľmi ťažko napodobiteľné obrazce. Najvdáčnejším predmetom spracovania sú fraktály, špirály a mozaiky. Práve mozaikám, resp. ich časti, je venovaná táto práca.

Vznik prvých najstarších známych špirálových útvarov a mozaík sa datuje viac ako 5000 rokov dozadu [2]. Paradoxne aj napriek ich existencii v kultúre takých krajín ako bolo staroveké Grécko, snaha matematicky vyjadriť mozaiky sa objavila až v 20. Storočí. O vyjadrenie regulárnych periodických špirálových mozaík a mozaikových štruktúr (viď kapitola 3) sa zaslúžil až pomerne nedávno (r. 2005) umelec a vedec Chris K. Palmer. Ten identifikoval mozaikové dlaždice a vzory a zostavil pravidlá na ich tvorbu [3]. Krivky, ktorými sú tieto mozaikové dlaždice tvorené, nazval podľa ich tvaru: S-krivky a C-krivky.

Cieľom tejto práce je práve preštudovať spomenuté krivky a mozaiky vytvorené pomocou nich. Jej výstupom je program generujúci dané mozaiky s vybratými farebnými vzormi. Úlohou je takisto umožniť užívateľovi uložiť vytvorené mozaiky v rôznych vektorových a rastrových formátoch obrázkov. Ďalším cieľom práce je pridanie ovládateľnosti, to znamená okrem možnosti zmeny veľkosti mozaiky aj jej otočenie o určitý uhol, vykresľovanie v reálnom čase po zmene nejakej vlastnosti mozaiky a pridanie nových prvkov ovládania – zmeny veľkosti pomeru dvoch spojených špirál a rozptylu špirál. Program, ktorý je praktickou časťou tejto práce, má názov MoSaiC. Text práce je rozdelený do piatich kapitol. Prvá z nich pojednáva o súčasnom rozdelení výtvarnej informatiky a približuje jej časť, ktorej sa táto práca venuje – algoritmické umenie.

V kapitole 3 je vysvetlené rozdelenie mozaík z morfológického hľadiska a podľa periodicity. Takisto sa v nej dočítate o základných pravidlách tvorby mozaiky. Nasledujúca kapitola sa podrobnejšie venuje krivkám a špirálam, z ktorých sa skladajú špirálové mozaiky. Vyjadruje základné rovnice, ale takisto problémy a obmedzenia s nimi spojené. V piatej kapitole je opísaný spôsob implementácie problematiky kriviek a špirál do programu MoSaiC. Vysvetlený je takisto základný algoritmus použitý na vykreslenie mozaiky. Posledná kapitola je zameraná na užívateľské rozhranie a jeho možnosti a funkcie. Na záver sú uvedené niektoré zaujímavé vzory vytvorené týmto programom.



## Kapitola 2

### Výtvarná informatika a algoritmické umenie

Ako som už spomenul v úvode, počiatky výtvarnej informatiky siahajú niekde medzi roky 1960-1965 (zdroje sa v presnom čísle líšia). V tomto období sa objavili prvé články a diela od Dr. A. Michael Noll-a a Desmond Paul Henry-ho. Za najvýznamnejších, čo sa týka prínosu a oboznámenia verejnosti s týmto čerstvým „odvetvím“ umenia, sa považujú práve Dr. Noll, Georg Nees a Frieder Nake, označovaní aj ako „3N of computer art“, ktorí mali počiatkom sedemdesiatych rokov v krátkom slede za sebou výstavy svojich diel. Keďže prevažnú väčšinu diel na výstavách Nees-a a Nake-a tvorili diela vytvorené plotterom, považujú sa títo dvaja aj za zakladateľov počítačového algoritmického umenia [4]. Algoritmickým umením nazývame vo všeobecnosti diela vytvorené na základe nejakého algoritmu. Ako také ale nevzniklo v tomto storočí, práve naopak. Jeho príkladom je podľa niektorých zdrojov dokonca aj dobre známy Stonehenge (odhadovane postavený 2000 rokov pred n. l.), kde bol algoritmus výstavby údajne založený na pohybe slnka a mesiaca po oblohe v priebehu roka. Algoritmické umenie v počítačovom chápaní je prúdom výtvarnej informatiky, ktorý zahŕňa všetky diela vytvorené počítačom, pričom ale funkcia samotného počítača je obmedzená iba na vykonanie daného úseku kódu, funkcie či výrazu. Rovnako ako maliar nosí bremeno tvorivosti a originalnosti na svojich ramenách a štetec je iba prostriedkom na vyjadrenie a prenesenie nápadu na plátno, tak aj pri tvorení diela v algoritmickom umení je originalita na tvorcovi a samotný algoritmus slúži len na prevod idey do digitálnej obrazovej podoby.

## Kapitola 3

### Mozaiky

Pojem mozaika väčšinou odkazuje na umelecké dielo tvorené rôznofarebnými kúskami kameňa, skla, keramiky, dreva či iného materiálu. V tejto práci sa ale mozaikou bude nazývať priestor v rovine pokrytý dlaždicami tak, že žiadne dve dlaždice sa ani len čiastočne neprekrývajú a zároveň pokrývajú celý vymedzený priestor bez medzier medzi nimi. Pod dlaždicami budeme rozumieť ľubovoľné geometrické útvary spĺňajúce predošlé podmienky. Takto definované mozaiky potom môžeme z morfológického hľadiska rozdeliť nasledovne:

- Rozetové mozaiky – zaplňajú väčšinou kruhový priestor, určujúcim faktorom je  $n$  = počet segmentov (cyklické mozaiky), prípadne počet dvojíc segmentov (dihedrálne mozaiky).
- Pásové (vlysové) mozaiky – nekonečný (prípadne cyklický) pás tvorený mozaikovými vzormi, na ktoré je aplikovaný vopred definovaný súbor transformácií.
- Tapetové mozaiky – pokrývajú celú nekonečnú rovinu.



Obrázok 3.1 Príklady mozaík (obrázky prevzaté z [5]).

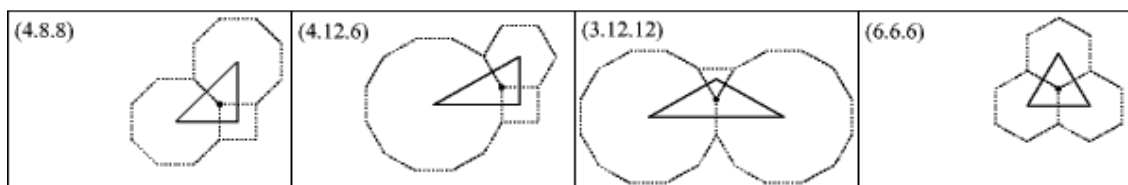
Aby pri tapetových mozaikách bolo možné pokryť celú rovinu podľa definície, t.j. bez prekrytia a bez vynechaných medzier, je často potrebné aplikovať na dlaždice transformácie – posunutie, rotáciu (otočenie), horizontálnu a vertikálnu reflexiu, prípadne reflexiu podľa inej osi symetrie, resp. kombináciu týchto operácií. Na základe toho, aké dlaždice tvoria mozaiku (a čo z nich dokážeme poskladať), potom môžeme takto tvorené mozaiky ďalej rozdeliť na periodické, neperiodické a aperiodické. V tejto práci sa bližšie venujem tapetovým periodickým mozaikám (viac o neperiodických a aperiodických viď [3], [6], [7]).

### 3.1 Špirálové mozaiky

Pokrytie nekonečnej roviny pravidelnými útvarmi nie je žiadna nová vedomosť. Už starovekí Egypťania vedeli, že existuje 17 spôsobov ako možno symetricky pokryť rovinu a tieto vzory sa vyskytujú napríklad v ich hrobkách [8]. Ak by sme však chceli rovinu pokryť pravidelnými mnohoúhľníkmi, možností je podstatne menej – konkrétne 3: rovina pokrytá štvorcami, rovnoramennými trojuholníkmi a pravidelnými šesťuholníkmi. Takéto mozaiky, nazývané regulárne (tapetové periodické), sú umelecky menej zaujímavé, pretože neposkytujú veľa možností, ako ich ďalej spestriť. Zaujímavejšie sú takzvané polymorfné (tapetové periodické) mozaiky, ktoré na pokrytie priestoru využívajú kombináciu dvoch a viac odlišných tvarov. Výborným príkladom polymorfných mozaík sú veľkolepé a svetoznáme mozaiky v Alhambre [9]. Jednoduchým dôkazom je pospájanie stredov susedných dlaždíc priamkami, čím dostaneme ich vzor dláždenia (spätným procesom – pospájaním stredov susedných mnohoúhľníkov vzoru dláždenia – nám vznikne mozaika). Práve spomínané mozaiky v Alhambre inšpirovali a motivovali k štúdiu C. K. Palmera, ktorý na základe svojej niekoľkoročnej štúdie potom zostavil pravidlá na tvorbu polymorfných mozaikových štruktúr zložených z dlaždíc ohraňovaných týmito krivkami. Keďže krivky tvoriace dlaždice mozaík v Alhambre mali rôzne stočené hrany pripomínajúce písmená S a C, nazval ich „Spiral tilings with C-curves and S-curves“, voľne preložené: Špirálové mozaiky tvorené C-krivkami a S-krivkami.

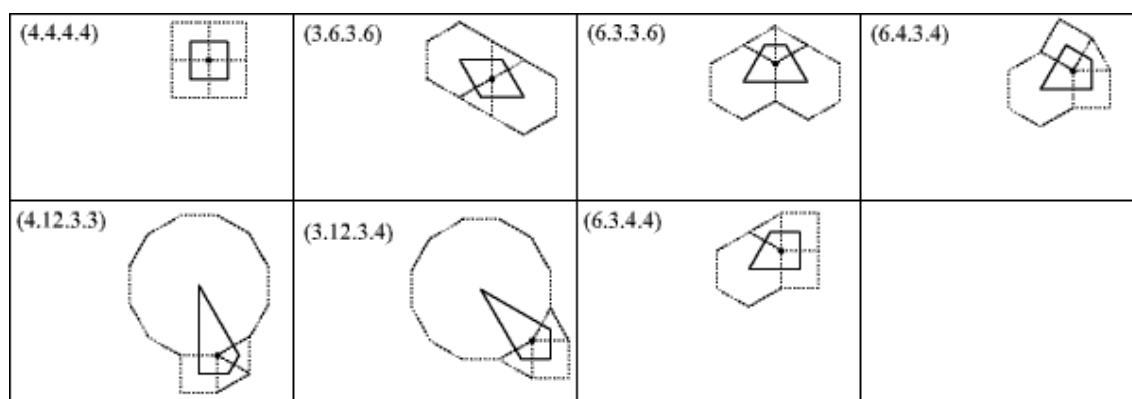
### 3.2 Rozdelenie dláždení

Čo sa týka druhov dláždení, C. K. Palmer sa obmedzil len na Archimedovské dláždenia („1-uniform tilings“ [10]), t.j. dláždenia, kde vzniknuté mozaiky tvorí len jedna dlaždica, ku ktorým vo svojej práci pridal aj niekoľko dláždení, kde mozaiku vyplňajú dlaždice dve („2-uniform tilings“). Dlaždice tvoriace tieto dláždenia potom kategorizoval do skupín podľa počtu vrcholov (obrázky 3.2, 3.4 a 3.4 prevzaté a upravené z [11]).

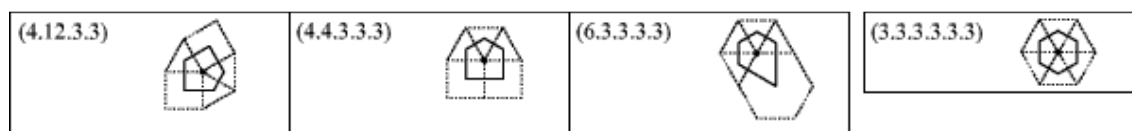


Obrázok 3.2 Dlaždice s 3 vrcholmi.

### 3.1. ŠPIRÁLOVÉ MOZAIKY



Obrázok 3.3 Dlaždice so 4 vrcholmi.

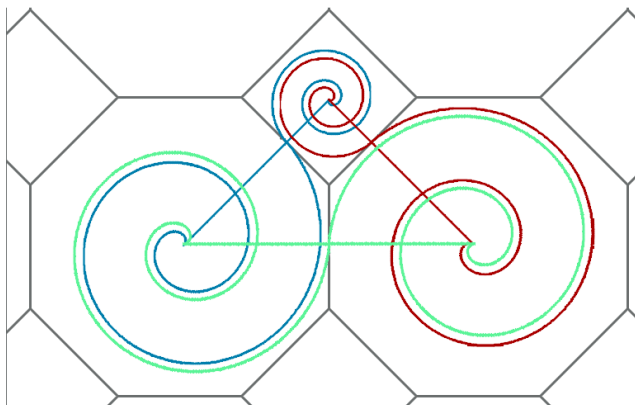


Obrázok 3.4 Dlaždice s 5 a 6 vrcholmi.

Názvy jednotlivých dláždení sú zostavené jednoducho z poradia mnohoúholníkov, ktoré tvoria dlaždicu v danom dláždení. Dláždenie 3.12.12 má teda názov podľa toho, že spojením stredov dvoch susedných dvanásťuholníkov a trojuholníka nám vznikne dlaždica tvoriaca mozaiku. Z názvu sa takisto dajú jednoducho odvodiť vnútorné uhly dlaždice a to tak, že podelíme  $360^\circ$  číslom z názvu:  $360/3 = 120$ ,  $360/12 = 30$ . Dlaždica mozaiky na dláždení 3.12.12 teda bude mať vnútorné uhly  $120^\circ$ ,  $30^\circ$  a  $30^\circ$ . Potom už len stačí zakriviť hrany dlaždice do požadovaného tvaru špirály a máme hotovú špirálovú mozaiku. Aj tu však platia isté obmedzenia a pravidlá (popísané v ďalších podkapitolách).

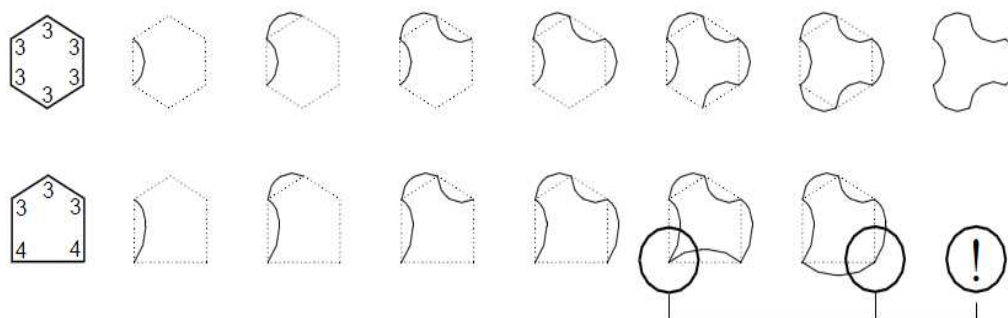
### 3.3 Tvorba mozaiky

Základnou podmienkou pri tvorení dlaždíc je, že všetky špirály (krivkám a špirálam je venovaná kapitola 4) začínajúce v jednom vrchole musia mať rovnaký uhol otočenia, keďže to ovplyvňuje ich tvar a rovnakú veľkosť, t.j. vzdialenosť počiatočného a koncového bodu. V opačnom prípade by vznikali medzi dlaždicami diery alebo by sa dlaždice prekryvali. Ďalšou podmienkou je, aby krivky vychádzajúce z jedného bodu boli rovnako veľké. Niektoré dlaždice totiž nemajú všetky hrany rovnako dlhé, a ak by sa krivky tvoriace jednu špirálu stretávali stále v strede danej hrany, krivky vychádzajúce z toho istého bodu by mohli mať rôzne veľkosti a opäť by nastalo prekrytie hrán, resp. vznikli „diery“. Riešením tohto problému je určiť za miesto stretnutia kriviek jednej špirály vždy bod, kde hrana z dlaždenia pretína hranu dlaždice. Vyplýva to z vyššie uvedeného faktu, že každý vrchol dlaždice je umiestnený v strede nejakého pravidelného mnohoúhelníka dlaždenia. K jeho hranám je to zo stredu logicky vždy rovnako ďaleko – teda aj krivky vychádzajúce jeho stredu siahajúce po stredu jeho hrán budú vždy rovnako dlhé.



Obrázok 3.5 Krivky jednej špirály sa spájajú v mieste pretnutia hrany špirály a hrany mnohoúhelníka dlaždenia.

Fakt, že sú S-krivky stredovo súmerné vzhľadom na miesto spojenia špirál znamená, že pri tvorbe dlaždíc nevyžadujú žiadne ďalšie obmedzenia. Je ale dôležité poukázať na to, že nie všetky typy dlaždení vymenované v časti 3.1 môžu byť pokryté pomocou C kriviek. Ak je totiž jedna krivka vypuklá smerom do telesa, musia byť obe susedné vypuklé von z telesa. Aby sa tak mohli striedať všetky hrany, musí mať dlaždica párny počet hrán. Problém vhodne vyobrazuje Chris Palmer (viď obrázok 3.6).



Obrázok 3.6 Problém pri tvorení dlaždíc z C-kriviek, obrázok prevzatý z [3].

Na obrázku vidíme, že pri párnom počte hrán postupným striedaním krivky zahnutej dnu a von obehneme celý útvar bez problémov. Ak sa ale jedná napríklad o päťuholník, piatu hranu už nemôžeme zaobliť smerom do dlaždice, pretože nastane kolízia s prvou hranou (porušená základná podmienka rovnakého uhla otočenia) a ani von z dlaždice, pretože v tom prekáža štvrtá hrana. Keďže s tejto práci sa zaoberám dlaždicami tvorenými vždy iba jedným typom krivky (neuvažujem mozaiky, ktoré by súčasne obsahovali aj C-krivky aj S-krivky), použitie C a E kriviek je možné len pri štvoruholníkových a šesťuholníkových dlaždiciach.

## Kapitola 4

### C, S a E-krivky

#### 4.1 Tvorba kriviek

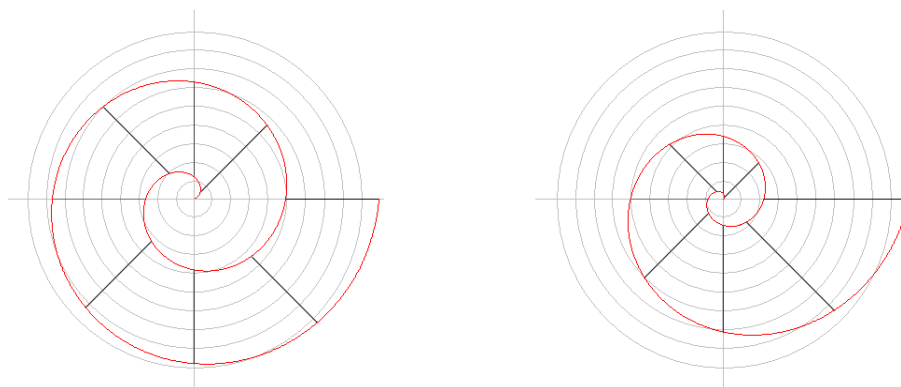
Tvorba C a S kriviek samozrejme má viacero variant. Voľnou rukou nakresliť nejaké špirálovité oblúky by bola síce najrýchlejšia a najjednoduchšia cesta, ale keďže potrebujeme tento proces nejako „algoritmizovať“, aby ho mohli vykonávať počítače, je takýto postup neprijateľný. Mgr. Jakub Zajac vo svojej práci navrhol veľmi vhodnú a jednoduchú variantu – Archimedovu špirálu (viď rovnica 4.1, kde  $a, b$  sú konštanty, pričom  $b$  bude pri tvorbe dlaždíc vždy rovné nule,  $\theta$  je uhol v radiánoch).

$$\begin{aligned} r(\theta) = b + a\theta = a\theta &\Rightarrow x(\theta) = x_0 + r(\theta) \cos(\theta) \\ y(\theta) &= y_0 + r(\theta) \sin(\theta) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Archimedova špirála je význačná tým, že s narastajúcim uhlom sa vzdialenosť od stredu mení konštantne, čo môže pôsobiť nezaujímavo, nudne, neprirodzene. Zvolil som teda namiesto Archimedovej špirály špirálu logaritmickú (viď rovnica 4.2), pretože tá, keďže sa vyskytuje často v prírode (najčastejšie pripomína ulitu slimáka), je pre ľudské oko oveľa príjemnejšia a prirodzenejšia. Navyše sa nám takto naskytne nový atribút, ktorým môžeme vniesť pestrosť do špirálových mozaík, a to je rozptyl špirál.

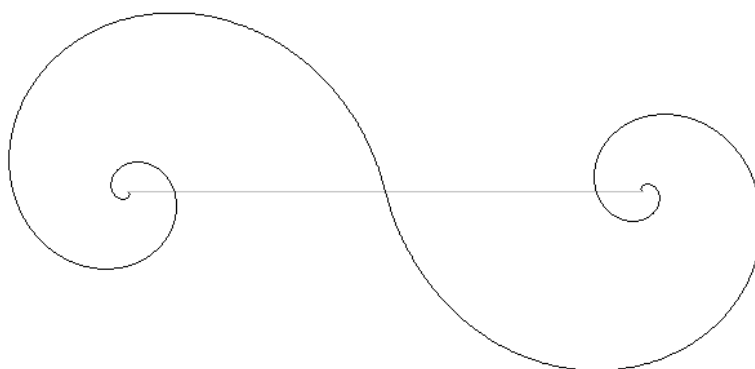
$$\begin{aligned} r(\theta) = ae^{s\theta} &\Rightarrow x(\theta) = x_0 + ae^{s\theta} \cos(\theta) \\ y(\theta) &= y_0 + ae^{s\theta} \sin(\theta) \end{aligned} \quad (4.2)$$

Rozptylom špirály budeme nazývať mieru zmeny vzdialenosti dvoch najbližších bodov špirály ležiacich na jednej priamke prechádzajúcej počiatkom špirály (na obrázku 4.1 je táto vzdialenosť značená čiernymi úsečkami). V rovnici 4.2 konštanta  $s$  určuje mieru rozptylu špirály. Z rovnice vyplýva, že nárast vzdialenosti (daného bodu od počiatku) s uhlom bude narastať a pri veľmi malých hodnotách  $s$  sa bude  $ae^{s\theta}$  blížiť konštante a rozptyl špirály sa bude znižovať, čím sa bude špirála viac a viac podobáť tej Archimedovej.



Obrázok 4.1 Konštantný rozptyl Archimedovej(vľavo) a zväšujúci sa rozptyl logaritmickkej špirály(vpravo).

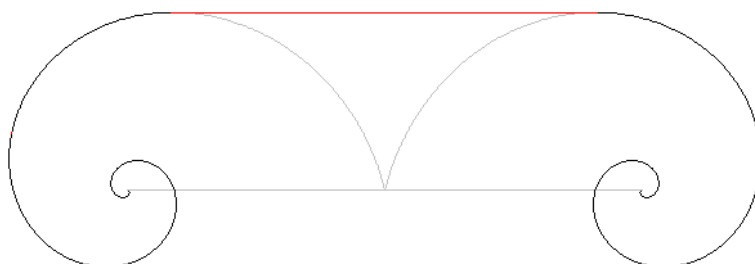
Každú hranu dlaždice vytvoríme spojením dvoch logaritmických špirál vychádzajúcich z jej konečných bodov do stredu hrany. Ak má hranu tvoriť S-krivka, špirála vychádzajúca z konečného bodu hrany bude taká istá ako tá vychádzajúca z počiatočného bodu, len otočená o 180 stupňov vzhľadom k svojmu počiatku (obrázok 4.2).



Obrázok 4.2 S-krivka.

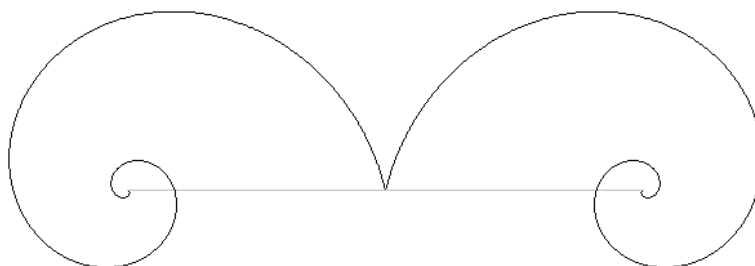
V prípade C-krivky nie je jej tvorenie až tak triviálne, pretože neexistuje vzorec, ktorým by sa dala priamo parametricky vyjadriť. Na jej vytvorenie teda použijeme takisto logaritmické špirály, avšak špirálu vychádzajúcu z konečného bodu neotočíme, ako v prípade S-krivky, ale preklopíme vzhľadom k osi kolmej na hranu v bode počiatku špirály. Obe špirály potom spojíme priamkou v mieste, kde sú najviac vzdialené od pôvodnej hrany dlaždice (obrázok 4.3). Oproti postupu, ktorý vo svojej práci navrhol Mgr. Zajac, tak pri vytváraní mozaík s C-krivkami nebudú vznikať nežiaduce artefakty (viď [5] – vysvetlenie tvorby C-kriviek str.19, ukážka artefaktov str.29).





Obrázok 4.3 C-krivka.

Počas tvorby C-kriviek vznikol „mediútvar“, ktorým takisto môžeme nahradzovať hrany dlaždíc. Takýto útvar nie je spomenutý ani zobrazený v žiadnej literatúre, avšak čo sa týka mozaík, je prakticky ekvivalentný C-krivkám, takisto bez rizika vzniku artefaktov a teda pravidlá tvorby dlaždíc z neho budú rovnaké, ako pravidlá tvorby z C-kriviek. Keďže ostatné krivky sú pomenované písmenami, na ktoré sa podobajú, nazval som spomínaný útvar E-krivkou (obrázok 4.4) a v praktickej časti práce ho používam ako jednu z možností na tvorenie mozaík.

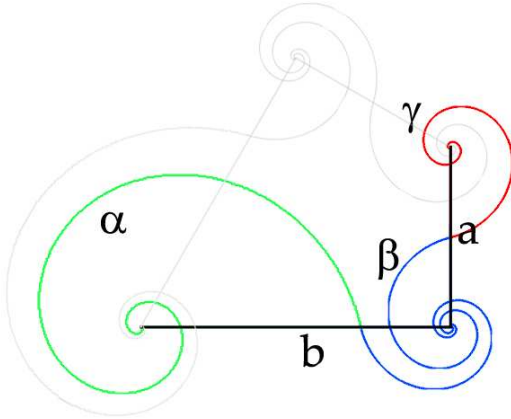


Obrázok 4.4 E-krivka.

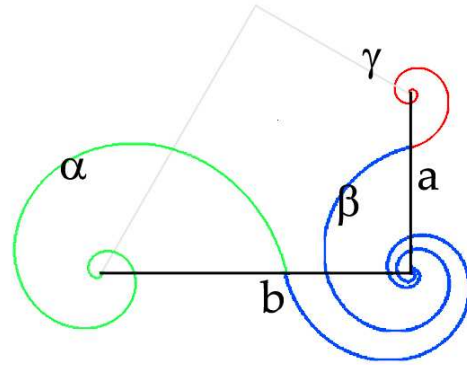
## 4.2 Pomer veľkosti špirál

Ďalším problémom, na ktorý narazíme pri tvorení špirál je rôzna dĺžka hrán dlaždice. Štandardne sú tieto špirály rovnako veľké, a ako som písal, spájajú sa v strede hrany, ktorú tvoria. Posunúť bod stretnutia týchto špirál nie je v tomto ideálnom prípade žiadny problém. Ak si pomer určíme ako reálne číslo  $X$  z intervalu  $<0;1>$ , jednoduchým vložением do ich rovníc dostaneme rovnicu  $r(\theta) = Xae^{s\theta}$  pre jednu špirálu a rovnicu  $r(\theta) = (1 - X)ae^{s\theta}$  pre špirálu druhú (na obrázku 4.5 by týmto rovnicami zodpovedali špirály  $\beta$  a  $\gamma$ ). Výraz  $ae^{s\theta}$  je v tomto prípade dĺžka hrany, ktorú špirály tvoria.

V situáciách, keď sa špirály nespájajú v strede hrany, ale bod stretnutia je posunutý kvôli rôznej dĺžke hrán do miesta prieseku hrany dlaždice a hrany dláždenia (obrázky 4.5 a 4.6, špirály  $\alpha$  a  $\beta$ ), je problém trochu komplikovanejší.



Obrázok 4.5 Pomer špirál pre  $X = 0,5$ .



Obrázok 4.6 Pomer špirál pre  $X = 0,7$ .

Ak v tomto prípade zmeníme pomer  $X$  z 0,5 na 0,7 (obrázok 4.6), špirály na hrane  $a$  zmenia veľkosti – špirála  $\beta$  na 0,7-násobok dĺžky hrany  $a$ ,  $\gamma$  na  $0,3a$  (budú teda v pomere 7:3). Úpravou špirály  $\beta$  sa ale automaticky musí zmeniť aj špirála  $\alpha$  (vychádzajúc z pravidiel stanovených v 3.3). Takto sa teda zmení aj pomer špirál na hrane  $b$ , na prvý pohľad však nejde o pomer 7:3. Musíme teda vyjadriť pomer pre jednu hranu z pomeru pre druhú. Špirála  $\beta$  bude mať pôvodnú rovnicu  $r(\theta) = Xae^{s\theta}$  a červená bude mať tým pádom k nej opačnú  $r(\theta) = (1 - X)ae^{s\theta}$ . Špirála  $\alpha$  určíme najprv všeobecne:

$$r(\theta) = bYe^{s\theta},$$

úvahou ale dôjdeme k nasledovnému: Dĺžka špirály  $\alpha$  sa dá z obrázku 4.6 vyjadriť ako  $(b - aX)e^{s\theta}$ . Spojením všeobecnej rovnice pre  $\alpha$  a tohto vzorca dostaneme rovnicu:

$$bY = b - aX,$$

z čoho po úprave dostaneme:

$$Y = 1 - \frac{aX}{b}$$

Výsledná rovnica pre špirálu  $\alpha$  z obrázkov 4.5 a 4.6 je:

$$r(\theta) = b\left(1 - \frac{a}{b}X\right)e^{c\theta}, \quad (4.3)$$

kde  $a$ ,  $b$  sú zodpovedajúce hrany a  $X$  je udaný pomer pre hranu  $a$ .

Na základe tejto rovnice môžeme teda vyjadriť pomer pre všetky rôzne dlhé krivky v mozaike z jedného univerzálneho  $X$ . K meniteľnému pomeru špirál sa ale viažu viaceré obmedzenia. Teoreticky nie je problém meniť pomer ľubovoľne, reálne však pri vysokom uhle zatočenia špirály dôjdeme k tomu, že pri  $X$  blízkom koncom intervalu (1 alebo 0) sa začnú jednotlivé krivky prekrývať. Čím väčší je uhol otočenia špirály, tým menší je interval  $X$  na ktorom nedochádza k prekrytiu špirál, stred intervalu bude stále v 0,5. Vyjadrením možnej závislosti hraníc intervalu od uhlu otočenia špirál sa v tejto práci nezaoberám.

## Kapitola 5

### Implementácia

Praktickou časťou tejto práce je aplikácia, ktorá generuje špirálové mozaiky na základe definície C. K. Palmera, z dlaždíc tvorených C-krivkami a S-krivkami. Pri tvorbe mozaík sú umožnené rôzne voľby parametrov pre tvar a výplň mozaík, aby boli možnosti výstupu programu pestré. Aplikácia takisto ukladá vytvorené mozaiky do rastrových formátov obrázkov, navyše umožňuje ukladanie do vektorového formátu SVG (Scalable Vector Graphics) a do vlastného formátu súborov na uloženie parametrov mozaiky. Táto práca sčasti čerpá z bakalárskej práce Mgr. Jakuba Zajaca, ktorej praktickou časťou je program CSgen. Zatiaľ čo CSgen generuje mozaiky náhodne z vopred stanovenej množiny útvarov ([4], str. 22), v praktickej časti tejto práce – programe MoSaiC – je vynechaný prvok náhody, t.j. pri rovnakých nastaveniach MoSaiC vykreslí stále rovnakú mozaiku. Výhodou je teda možnosť opakovaného vytvorenia požadovaného vzoru, čo pri náhodnom generovaní nie je možné.

#### 5.1 MoSaiC

Na vytvorenie aplikácie bol použitý programovací jazyk Java vo verzii 1.7.0\_01, hlavne kvôli platformovej nezávislosti. Aplikácia bola vytváraná vo vývojovom prostredí NetBeans 7.0, na tvorbu grafického rozhrania boli použité nástroje balíka javax.swing, vykresľovanie na plátno vykonávajú triedy java.awt.Graphics a java.awt.Graphics2D. Na väčšinu matematických operácií postačili funkcie statickej Javovskej triedy Math a balíka java.awt.geom. Na vývoj boli takisto použité triedy Polygon2D [12] od firmy Apache Software Foundation, a trieda SimpleFileFilter z programu CSgen [4]. Vzhľadom k použitému prostriedkom je program nutné spúšťať na 32-bit JVM (Java Virtual Machine).

#### 5.2 Uhol otočenia kriviek

Jedna z najzákladnejších vecí, ktorú MoSaiC poskytuje, je zmena uhlu otočenia kriviek. Ak chceme aplikovať rovnicu 4.2 z predchádzajúcej kapitoly do reálneho algoritmu, musíme spraviť niekoľko úprav. Rovnicu špirály musíme vycentrovať, aby začínala v bode  $[0; 0]$  prenásobiť ju pomerom veľkosti hrany a uhla otočenia.

Navyše keďže súradnice bodu, kde špirála končí, závisia od uhla otočenia, musíme rovnicu 4.2 dodatočne prenásobiť maticou rotácie v dvojrozmernom priestore (viď rovnica 5.1). Výsledkom týchto operácií bude upravená parametrická rovnica pre logaritmickú špirálu (rovnica 5.2).

$$\begin{bmatrix} x^\oplus \\ y^\oplus \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Rovnica 5.1 Matica rotácie o uhol  $\alpha$

$$x(\theta) = x_0 + aX \frac{(e^{s\theta} - 1)}{(e^{s\Omega} - 1)} \cos(\theta - \alpha) \quad (5.2)$$

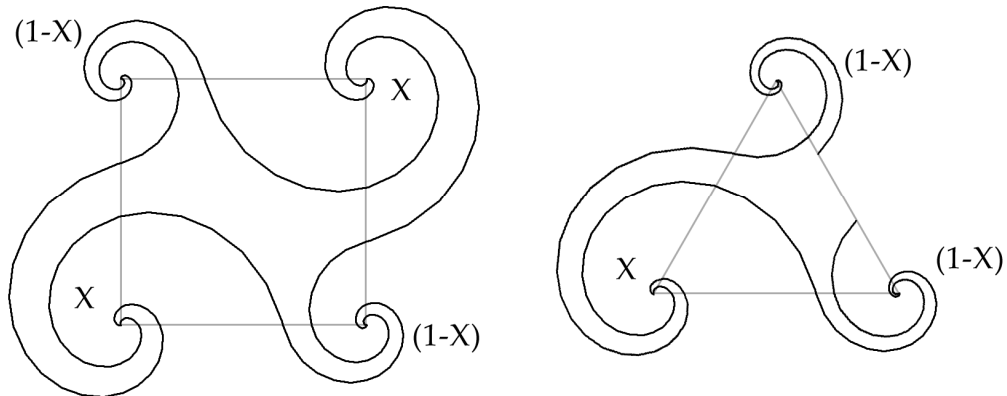
$$y(\theta) = y_0 + aX \frac{(e^{s\theta} - 1)}{(e^{s\Omega} - 1)} \sin(\theta - \alpha)$$

Premenné použité v rovnici:

- $\Omega$  - uhol otočenia špirály v radiánoch,
- $\theta$  - iteračná premenná,  $\theta \in \langle 0; \Omega \rangle$ ,
- $a$  - dĺžka hrany dlaždice,
- $X$  - pomer veľkosti dvoch spojených špirál,  $X \in \langle 0; 1 \rangle$ ,
- $s$  - koeficient rozptylu špirály,  $s \in \langle 0; 1 \rangle$ ,
- $\alpha$  - uhol dodatočného otočenia špirály.

### 5.3 Nastaviteľný pomer špirál

Vyjadrenie viackrát spomínaného pomeru špirál pomocou jednej premennej opísané v časti 4.2 má veľkú výhodu v tom, že sa pri prenesení do aplikácie dá užívateľom ľahko a rýchlo meniť, pričom jej zmenou súčasne zmeníme všetky špirály v mozaike. Možnosťou zmeny pomeru tak vnesieme do aplikácie ďalšie spestrenie možných výstupov. Použitie dynamického pomeru má však obmedzenie v tom, že súčet pomerov dvoch spájajúcich sa špirál musí dávať vždy výsledok rovný jednej, t.j.  $aX + a(1 - X) = a$ ,  $aX + b\left(1 - \frac{a}{b}X\right) = b$ . Preto sa špirály s pomerom  $X$  a  $(1 - X)$ , musia po obvodu každej dlaždice striedať, a teda je možné dynamicky meniť pomer iba v mozaikách, kde všetky použité dlaždice majú párny počet vrcholov. Problém je ukázaný na obrázku 5.1, kde môžeme vidieť vzniknutú „dieru“ medzi dvoma špirálami s rovnakým pomerom  $(1 - X)$ . Pri dláždeniach, kde počet vrcholov dlaždíc je nepárny, je preto  $X$  nastavené pevne na hodnotu 0,5.



Obrázok 5.1 Aplikácia zmeny pomeru špirál na dlaždicu s párnym počtom hrán (vľavo) a nepárnym (vpravo).

#### 5.4 Dlaždice v programe MoSaiC

Dlaždice v programe MoSaiC sú reprezentované triedou `Tile`. Tá je rozšírením spomínanej prevzatej triedy `Polygon2D`, ktorá predstavuje mnohoúholníky tak, že má v sebe uložené polia x-ových a y-ových súradníc vrcholov pre daný mnohoúholník. Inštancia objektu `Tile` má v sebe uložený typ dláždenia, typ dlaždice (pre dláždenia, kde je viac typov dlaždíc), súradnice stredu dlaždice a všetky potrebné nastavenia od užívateľa (uhol otočenia, pomer špirál, rozptyl, atď.) zapuzdrené v inštancii triedy `Settings`. V závislosti od toho, či je daná dlaždica určená na vykreslenie na plátno, alebo na export do SVG formátu, si pri vytvorení buď prepočíta všetky body do spomínaných polí zdedených od triedy `Polygon2D`, alebo ich prevedie na text a uloží do reťazca, keďže formát SVG je reprezentovaný textom. Vzhľadom k spôsobu, akým sa dlaždice vykresľujú (časť 5.5), nie je nutné, aby mala dlaždica uloženú farbu výplne alebo hrúbku či farbu hrán.

#### 5.5 Algoritmus vykresľovania

Najjednoduchší spôsob, ako vykresliť užívateľom zvolenú mozaiku, by bolo vykresliť na plátno všetky viditeľné krivky a vyplniť priestory medzi nimi. Toto riešenie je ale značne neefektívne v tom, že každá špirála, ktorých sú (hlavne pri malých rozmeroch dlaždíc) na plátno vykreslené rádovo tisíce až desaťtisíce, by musela byť osobitne prepočítaná a vykreslená a následne by museli byť vyplnené všetky plochy medzi nimi. Použité triedy `Graphics` a `Graphics2D` navyše neposkytujú funkciu na vyplnenie tak komplikovanej plochy farbou.

Čo však poskytujú, je vykreslenie ľubovoľného mnohouholníka a jeho vyplnenie zvolenou farbou, čo bol hlavný dôvod reprezentácie dlaždíc mnohouholníkmi.

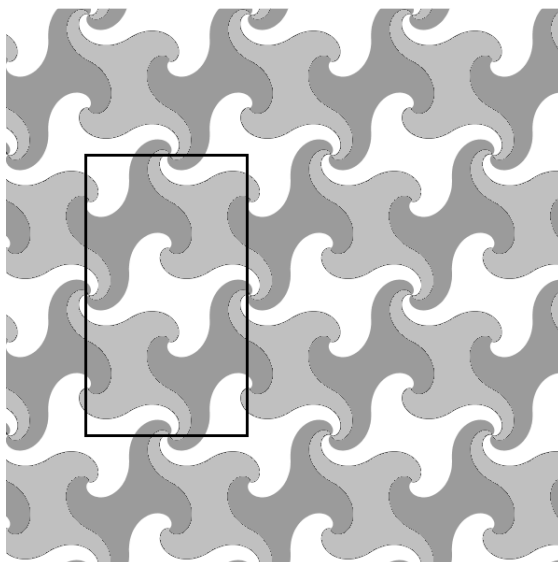
Vykresľovaním dlaždíc namiesto špirál sa algoritmus zjednoduší, no stále zostávajú na vykreslenie stovky až tisíce dlaždíc, pričom pre každú by sme museli najprv vypočítať tvar. Keďže sú však buď všetky dlaždice rovnaké, alebo je to skupina opakujúcich sa tvarov, trieda `TileRenderer`, ktorá sa stará o vykresľovanie dlaždíc si uloží všetky tvary použité v danej mozaike do poľa, z ktorého si ich potom vyberá a vykresľuje na jednotlivé pozície. Farba výplne dlaždice závisí od jej polohy, preto nie je uložená priamo v triede `Tile`, ale určuje ju `TileRenderer` pri jej vykreslení.

Takýto algoritmus je už značne efektívnejší, stále je však nutné prepočítavať súradnice pre všetky dlaždice osobitne. Fakt, že sa jedná o periodické mozaiky nám však aj tu poskytuje možnosť na zjednodušenie – každá dlaždica konkrétneho tvaru a farby sa totiž tým pádom na plátne po istej vzdialenosti opakuje v horizontálnom aj vertikálnom smere. Ak tieto vzdialenosti poznáme, stačí nám potom vykresliť dlaždice len pre obdĺžnik, ktorého šírka je najmenšia horizontálna vzdialenosť stredov rovnakých dlaždíc v mozaike a podobne výška je najmenšia vertikálna vzdialenosť stredov dvoch rovnakých dlaždíc (obrázok 5.1). Takýmto obdĺžnikom potom jednoducho vytapetujeme celé plátno. Za rohy obdĺžnika zvolíme stredy opakujúcej sa dlaždice.

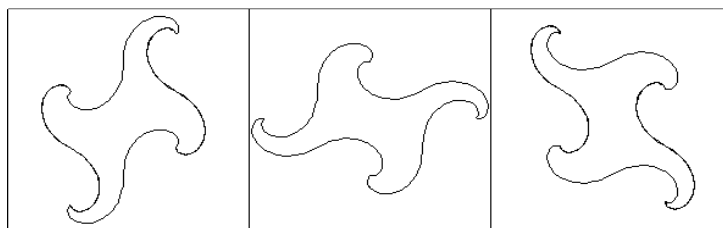
Minimálnych obdĺžnikov sú na plátno vykresľované už iba maximálne desiatky až stovky, čo je oproti desaťtisícom kriviek značný pokrok, no aj k tomuto algoritmu ešte existuje drobné vylepšenie. Plátno, na ktoré sa mozaika vykresľuje má totiž vždy určenú nejakú farbu pozadia, a ak ho celé zakryjeme dlaždicami, túto vlastnosť prakticky nevyužijeme. Plátno sa preto pred vykreslením celé zafarbí farbou jednej z dlaždíc mozaiky. `TileRenderer` vyberie stále tú farbu, ktorú má uloženú ako prvú, v užívateľskom rozhraní popísanom v časti 6.2 je táto farba označená menom „Color1“. Všetky dlaždice danej farby sú potom pri vykresľovaní ignorované, vykreslí sa iba ich hrana (aj to iba ak nie je hrúbka hrany nastavená na 0 pixelov, bližšie o hrúbke hrany v časti 6.2). V mozaike tak vzniknú akoby diery, ale keďže farba pozadia obrázku a farba ignorovaných dlaždíc je zhodná, vo výsledku nevidno rozdiel. V prípade dlaždenia 4.4.4.4 však takýmto spôsobom môžeme znížiť počet vykresľovaných dlaždíc až na polovicu, vo väčšine ostatných na dve tretiny.

Zhrnutie kresliaceho algoritmu je teda nasledovné:

1. Určenie minimálneho obdĺžnika na základe typu a farebného vzoru mozaiky (obrázok 5.1) a zostavenie poľa dlaždíc tvoriacich mozaiku (obrázok 5.2).



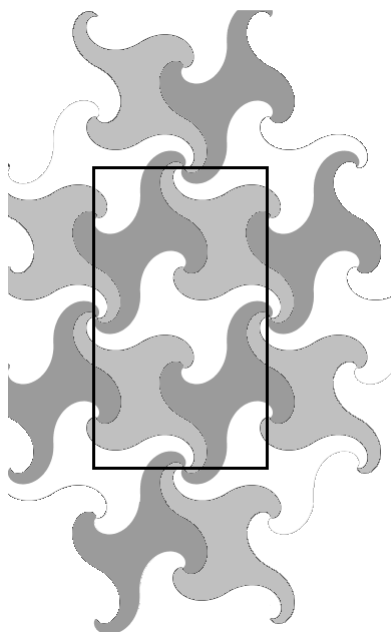
Obrázok 5.1 Dlaždenie 6.3.6.3 a jeho minimálny obdĺžnik potrebný na vykresľovanie.



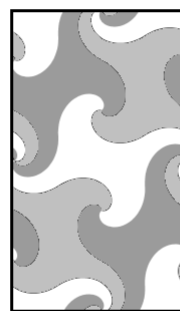
Obrátok 5.2 Pole dlaždíc potrebné pre vykreslenie 6.3.6.3 mozaiky.



2. Vyplnenie minimálneho obdĺžnika dlaždicami. Vykresliť sa musia aj tie dlaždice, ktoré čo i len čiastočne zasahujú do obdĺžnika. V prípade, že plátno je biele sa v rámci spomínaného šetrenia biele dlaždice nevykreslia, ale ako vidno, diery, ktoré po nich ostanú majú rovnaký tvar a rovnakú farbu. Na konečný výsledok to teda nemá dopad. Dokončený obdĺžnik sa uloží ako obrázok do operačnej pamäte.

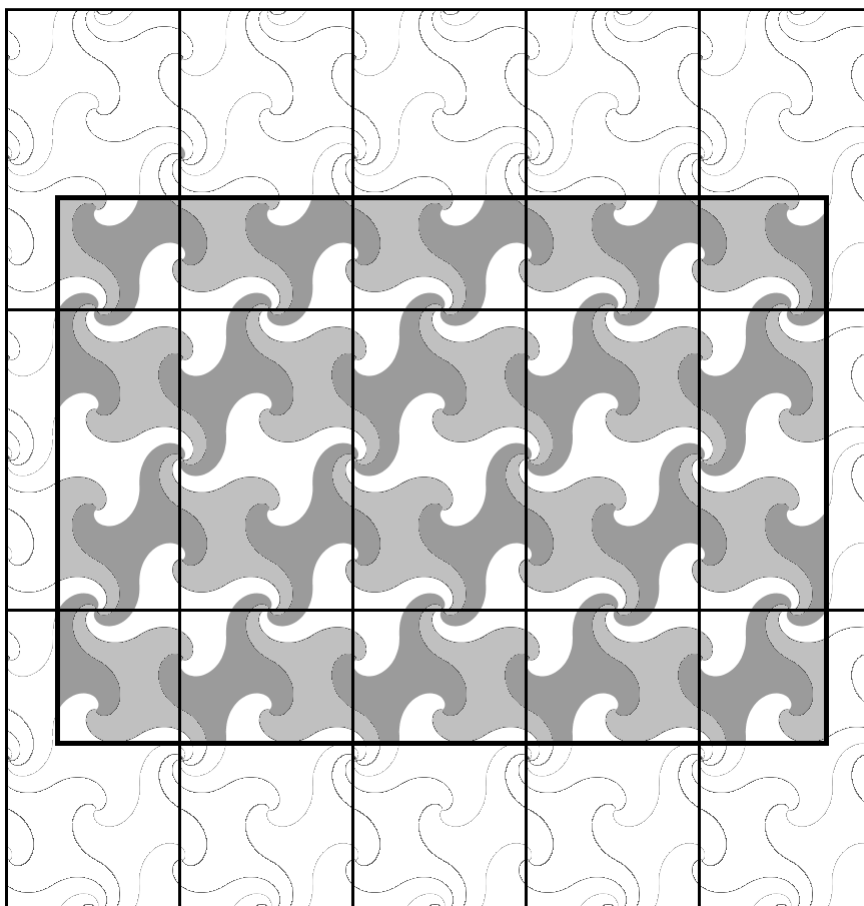


Obrázok 5.3 Vyplnenie obdĺžnika.



Obrázok 5.4 Výsledný minimálny obdĺžnik

3. Jednoduchým dvojitým cyklom po riadkoch a stĺpcoch zaplníme viditeľnú časť plátna daným obdĺžnikom. Vďaka dobre navrhnutým funkciám v triede Graphics2D sa z obdĺžnika vždy vykreslí iba viditeľná časť, čiže nie je nutné vykreslenie celých obdĺžnikov a následné orezanie viditeľnej časti.



Obrázok 5.5 Plátno s výslednou mozaikou typu 6.3.6.3.

## Kapitola 6

### Užívateľské rozhranie programu

Rozhranie programu MoSaiC má štyri časti. Prvou je klasické menu v hornej časti, v ktorom je ponúknuté ukladanie a načítavanie nastavení a export vytvorenej mozaiky do viacerých formátov. V ľavej časti okna programu sa nachádza hlavný panel so všetkými ovládacími prvkami poskytnutými k tvorbe mozaík. Spodnú hranu okna lemuje úzka lišta, na ktorej sa vľavo nachádza prepínanie vyhladzovania a na pravom konci je tzv. „progress bar“, ktorý oznamuje vykresľovanie mozaiky. Zvyšok (prevažná pravá časť) okna programu je vyhradený pre plátno, na ktoré sa mozaika vykresľuje.

#### 6.1 Hlavné menu programu

Hlavné menu poskytuje nasledovné možnosti:

„New mosaic“ – obnoví všetky parametre na počiatočné hodnoty a vykreslí základnú mozaiku 4.4.4.4. Dá sa spustiť aj klávesovou skratkou Ctrl-N.

„Open mosaic“ – otvorí dialógové okno na vyhľadanie .msc súboru, z ktorého načíta uložené nastavenia mozaiky a danú mozaiku vykreslí. Súbor typu msc (skratka od slova mosaic) je textový súbor, do ktorého program ukladá stav všetkých premenných spomenutých v časti 6.2. Klávesová skratka túto položku je Ctrl-O.

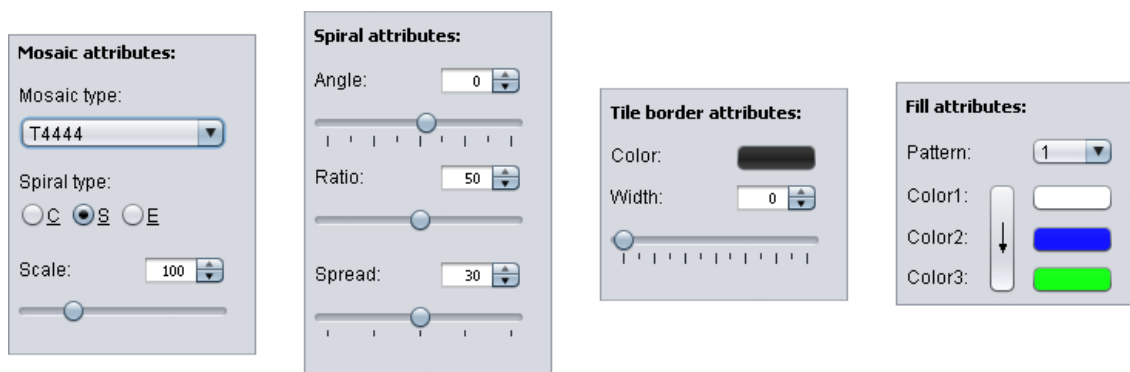
„Save mosaic“ – umožní užívateľovi uložiť nastavenia mozaiky do súboru s príponou msc. Skratka tejto položky je Ctrl-S.

„Export image“ – otvorí modálne okno, v ktorom si užívateľ vyberie požadovaný formát obrázku, zadá šírku (kolónka „Width“) a výšku (kolónka „Height“) a stlačením tlačidla „Export“ program vykreslí a uloží aktuálnu mozaiku do následne zvoleného súboru. List s formátmi má názov „Format“ a ponúka rastrové bezstratové formáty BMP a PNG, stratový formát JPG a vektorový grafický formát SVG. Veľkosť obrázku je obmedzená na maximálne 10000x8000 pixelov,

resp. ľubovoľné rozmery s rovnakým obsahom, keďže program testuje obsah, nie jednotlivé rozmery (napr. 20000 a 4000 sú takisto platné hodnoty). Ak sa napriek tomuto obmedzeniu nepodarí programu vyhradiť si na spracovanie dostatok operačnej pamäte, upozorní užívateľa informáciou o chybe, beh programu to však nezastaví. Export obrázku možno spustiť aj stlačením skratky Ctrl-E.

## 6.2 Ovládací panel

Pri vytváraní programu bola snaha poskytnúť užívateľovi čo najväčšiu kontrolu nad výslednou mozaikou. Preto sa na ovládacom paneli nachádzajú prvky reprezentujúce všetky premenné a nastavenia, ktoré nejakým spôsobom vstupujú do generovania mozaiky a ktoré je možné aspoň v minimálnej miere meniť. Ovládacie prvky sú usporiadané do štyroch panelov, ktoré sú umiestnené pod sebou. Na obrázku 6.1 sú kvôli šetreniu miesta zobrazené vedľa seba. Panely sú nasledujúce:



Obrázok 6.1 Časti ovládacieho panela.

„Mosaic attributes“ – panel obsahujúci základné nastavenia mozaiky. V tomto paneli si môže užívateľ vybrať z akého dláždenia bude mozaika tvorená (Mosaic type). Na výber je 8 dláždení, názvy vznikli z jednotlivých typov (kapitola 3.2, obrázky 3.2, 3.3 a 3.4), písmeno T je odvodené z anglického „tiling“ (dláždenie). Užívateľ si ďalej môže v tomto paneli zvoliť typ krivky, ktorá bude použitá na vytvorenie danej mozaiky (druhy kriviek sú podrobnejšie opísané v kapitole 4.1). Posledné, čo panel ponúka je „Scale“ – mierka mozaiky. Mierka udáva dĺžku hrany dlaždice v pixeloch, dá sa to ale chápať aj ako priblíženie mozaiky v percentách, keďže počiatočná hodnota je nastavená na 100 jednotiek. Rozsah mierky je stanovený od 10 do 400 jednotiek.

„Spiral attributes“ – panel, v ktorom sú zahrnuté atribúty ovplyvňujúce rovnicu špirály tvoriacej krivky. Parameter „Angle“ určuje uhol otočenia špirály (popísaný v kapitole 4.1 a 5.2) a aplikácia ho povoľuje zvoliť v rozsahu od  $-720^\circ$  do  $720^\circ$ . V konečnej rovnici špirály (rovnica 5.2) reprezentuje premennú  $\Omega$  (po prevedení zo stupňov na radiány). „Ratio“ užívateľovi umožňuje meniť viackrát spomínaný pomer špirál v krivke (kapitoly 4.2, 5.3). V užívateľskom rozhraní nadobúda hodnoty 0 – 100, pričom pri jednotlivých typoch mozaiky sú jeho hranice rôzne obmedzené, pri iných je úplne vypnutý. Po predelení číslom 100 je v rovnici 5.2 doplnený na miesto premennej  $X$ . Posledným na tomto paneli je atribút „Spread“, ktorý reprezentuje rozptyl špirál v mozaike. Takisto nadobúda hodnoty od 0 do 100 a po stonásobnom zmenšení sa dosadzuje do rovnice 5.2 za premennú  $s$ .

„Tile border attributes“ je panel zhrňujúci ovládacie prvky pre hrany dlaždice. Tlačidlom vpravo od nápisu „Color:“ sa nastavuje farba hrán. Parameter „Width“ určuje hrúbku vykresľovaných hrán dlaždíc. Povolený rozsah je 0 až 6 pixelov, pričom pri nastavení na 0 pixelov sa hrany vôbec nevysvetľujú. Hodnota hrúbky čiar sa po nastavení ešte prenášobí mierkou v percentách ( $*scale / 100$ ), aby pri zväčšení mozaiky úmerne zhrubli aj vykreslené hrany. Nutné je poznamenať, že zväčšenie hrúbky čiar značne spomaľuje rýchlosť vykresľovania mozaiky, čo je dané spôsobom vykresľovania čiar v jave, nie programom MoSaiC.

„Fill attributes“ obsahuje nastavenia farebnej výplne mozaiky. Pri väčšine typov mozaiky sú na výber minimálne dva farebné vzory, ktoré určujú algoritmus použitý na zafarbovanie jednotlivých dlaždíc pri ich vykresľovaní. Užívateľ si môže jeden z nich zvoliť v liste s názvom „Pattern“. Pod týmto listom sa nachádzajú tlačidlá, pomocou ktorých sa volia farby použité pri zvolenom algoritme, nazvané „Color1“, „Color2“ a „Color3“. Medzi nápsmi a tlačidlami na výber farby sa nachádza ešte jedno nepomenované tlačidlo, na ktorom je zobrazená šípka dolu. Toto tlačidlo slúži na rotáciu vybraných farieb o jednu pozíciu nižšie na lište, t.j. farba, ktorá bola nastavená ako „Color1“ sa uloží do „Color2“, tá sa zas uloží do „Color3“ a farba č.3 sa zas posunie späť na 1. pozíciu a nastaví sa teda ako „Color1“.

### 6.3 Plátno

Aj keď je plátno zdanlivo pasívnym prvkom v programe, pretože slúži hlavne na zobrazovanie výstupu, má pridaných zopár užitočných funkcií, ktoré v tejto časti spomeniem.

Už pri presune myši nad plátno si užívateľ všimne, že kurzor sa zmení z klasickej šípky na štvorsmerovú. Touto zmenou kurzora poukážem na to, že mozaikou sa dá hýbať.

Táto funkcia bola pridaná, pretože pri veľkom zväčšení mozaiky nemusí byť viditeľný celý mozaikový vzor. Užívateľ si teda môže podržaním ľubovoľného tlačidla myši a jej pohybom nad plátnom posúvať mozaiku na plátne. Ak má užívateľ myš presunutú nad plátnom, fungujú aj skratky, ktorými sa dajú meniť atribúty mozaiky:

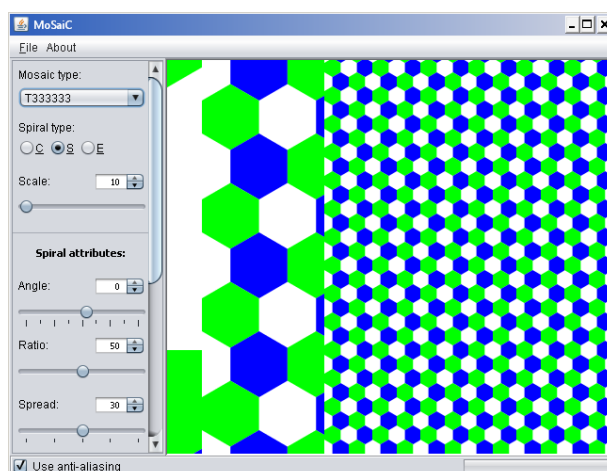
- Pohyb kolieskom myši – zmena mierky mozaiky (parameter „Scale“).
- Ctrl + koliesko myši – zmena uhla otočenia špirál (parameter „Angle“).
- Alt + koliesko myši – zmena pomeru spojených špirál (parameter „Ratio“).
- Shift + koliesko myši – zmena rozptylu špirál (parameter „Spread“).

Dvojklik myšou na plátno maximalizuje okno programu. Ak je už okno maximalizované, obnoví sa pôvodná veľkosť okna.

## 6.4 Známe nedostatky

Bolo by naivné myslieť si, že program MoSaiC nemá nedostatky. Ponúkam teda zoznam tých, ktoré sa mi podarilo odhaliť a ak je to možné, aj riešenia.

- Pri prudkom zmenšení veľkosti mozaiky sa občas stane, že sa plátno začne správať chybne, a vykresľovať iba svoju časť. Tento stav potom pretrváva aj pri zmene atribútov mozaiky či veľkosti okna. Príčina vzniku tejto chyby je neznáma. Riešením je posúvanie plátna myšou, až kým sa plátno nenapraví do pôvodného stavu.



Obrázok 6.2 Chybné vykresľovanie plátna.

- Pri zapnutom vyhladzovaní môžu byť hrany dlaždíc čiastočne viditeľné, aj keď je hrúbka čiary nastavená na nulu. Tento problém bohužiaľ spočíva v spôsobe, akým sa vykresľovanie na plátno vykonáva a pretože možnosť vyhladzovania bola do programu doplnená ako posledná (nebolo s ním pri návrhu počítané), nie je daný problém možné odstrániť bez komplexných zmien v celom zdrojovom kóde programu. Pri vykresľovaní bez vyhladzovania k tomuto javu nedochádza.
- Kvôli chybe vznikajúcej pri zaokrúhľovaní vznikajú pri niektorých typoch mozaík a použití C-kriviek medzi dlaždicami drobné diery. Rovnako pri veľmi vysokom resp. nízkom nastavení pomeru môže pri použití C-kriviek dochádzať k „zlomeniu“ kriviek. Tieto javy sú spôsobené komplikovanosťou rovnice C-krivky a nie je možné ich napraviť bez jej lepšieho vyjadrenia.

## Kapitola 7

### Záver

Táto práca popisuje základné princípy tvorby špirálových mozaík a ich stavebných prvkov, t.j. S-kriviek, C-kriviek a špirál, z ktorých sa skladajú. Stanovuje základné pravidlá a podmienky pri tvorbe a modifikácií týchto špirál. V časti venujúcej sa implementácií týchto problémov popisuje použité prostriedky a algoritmy, ktoré boli vyberané a navrhované s dôrazom na malú časovú náročnosť.

Výsledná aplikácia MoSaiC dokáže spomínané mozaiky konštruovať, pričom reaguje na zmeny okamžite. Ponúka 8 druhov dláždenia, v ktorých má užívateľ na výber z celkovo 19 farebných vzorov. K tvorbe mozaík je možné použiť jeden z troch typov kriviek, ku ktorým ovládacie prvky poskytujú vysokú mieru kontroly nad ich tvarom. Bohaté možnosti programu navyše dopĺňa výstup do formátu SVG, ktorý značne zvyšuje jeho použiteľnosť.

Aj keď MoSaiC poskytuje širokú škálu možností, stále existuje priestor na jeho vylepšenie. Okrem doplnenia dodatočných dláždení, vzorov výplne a odstránenia nedostatkov spomenutých v časti 6.4 by sa dala napríklad implementovať voľba presnosti výpočtu bodov krivky ako pri vykresľovaní na plátno, tak pri ukladaní do súborov. Zaujímavá by takisto mohla byť napríklad možnosť použitia textúr namiesto farieb. Osobne by som však najviac privítal zrušenie obmedzenia veľkosti ukladaných obrázkov.



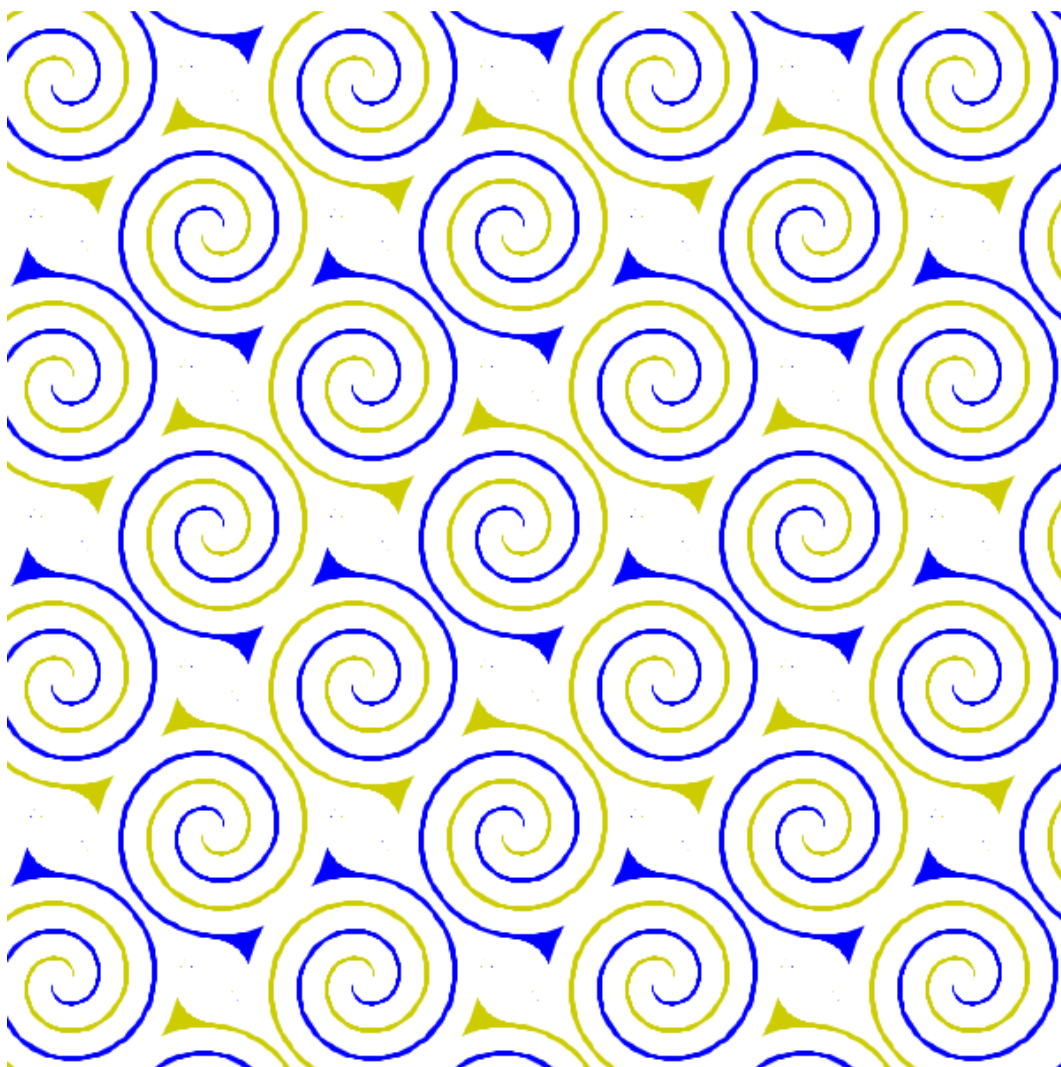
## Literatúra

- [1] DIETRICH, F. *Visual Intelligence: The First Decade of Computer Art* [online], [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Computer\\_art#History](http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_art#History)>.
- [2] *Newgrange* [online], [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://www.newgrange.com/index.htm>>.
- [3] PALMER, Chris K. Spiral Tilings with C-curves Using Combinatorics to Augment Tradition. *Renaissance Banff: Bridges Mathematical Connections in Art, Music and Science*, 2005 [online], [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <[http://www.shadowfolds.com/whirl\\_spools\\_paper/ScurlsBridges9.pdf](http://www.shadowfolds.com/whirl_spools_paper/ScurlsBridges9.pdf)>.
- [4] VEROSTKO, R. *Algorithmic art Composing the score for visual art* [online], [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <<http://www.verostko.com/algorithm.html>>.
- [5] ZAJAC, J. *Generátor špirálových mozaík* [online], [cit 2012-04-08]. Dostupné z: <[http://is.muni.cz/th/208019/fi\\_b/](http://is.muni.cz/th/208019/fi_b/)>.
- [6] CHMELÍK, J. Prednášky k predmetu PV097 Výtvarná Informatika. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky, 2010 [online], [cit 2012-05-11]. Dostupné z: <<http://is.muni.cz/el/1433/podzim2010/PV097/um/pred/>>
- [7] BOURKE, P. *Non Periodic Tiling of the Plane* [online], [cit 2012-04-08]. Dostupné z: <[http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture\\_colour/nonperiodic/](http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture_colour/nonperiodic/)>
- [8] RONNING, F. *Islamic Patterns and Symmetry Groups* [online], [cit. 2012-05-13], Sør-Trøndelag University College. Dostupné z: <[http://people.exeter.ac.uk/PErnest/pome24/ronning\\_geometry\\_and\\_Islamic\\_patterns.pdf](http://people.exeter.ac.uk/PErnest/pome24/ronning_geometry_and_Islamic_patterns.pdf)>
- [9] LOVRIC, M. *Magic Geometry: Mosaics in the Alhambra* [online], [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <[http://www.alhambra-patronato.es/ria/bitstream/handle/10514/56/Magic\\_geometry\\_mosaics\\_in\\_the\\_Alhambra\\_Miroslav\\_Lovric.pdf](http://www.alhambra-patronato.es/ria/bitstream/handle/10514/56/Magic_geometry_mosaics_in_the_Alhambra_Miroslav_Lovric.pdf)>
- [10] DUTCH, S. *Uniform Tilings* [online], [cit 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://www.uwgb.edu/dutchs/symmetry/uniftil.htm>>

- 
- [11] PALMER, Chris K. *Spiral Tilings with S-curves and C-curves Using Combinatorics to Augment Tradition* [online], [cit 2012-04-08]. Dostupné z:  
<<http://www.mi.sanu.ac.rs/vismath/palmer/scws1b.html>>
- [12] *Programming tutorials and source code examples* [online]. Dostupné z:  
<<http://java2s.com>>

## Dodatok A

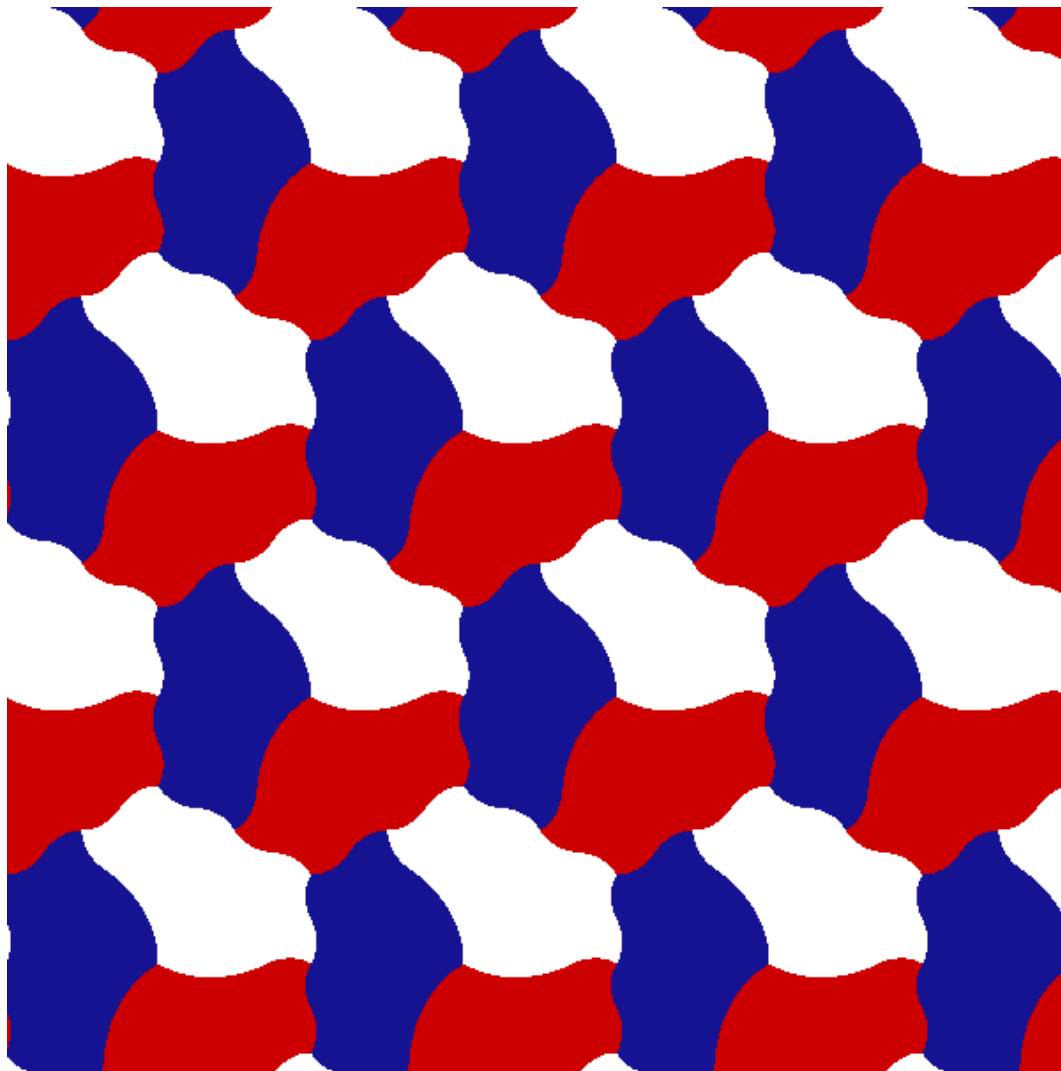
### Ukážky grafických výstupov



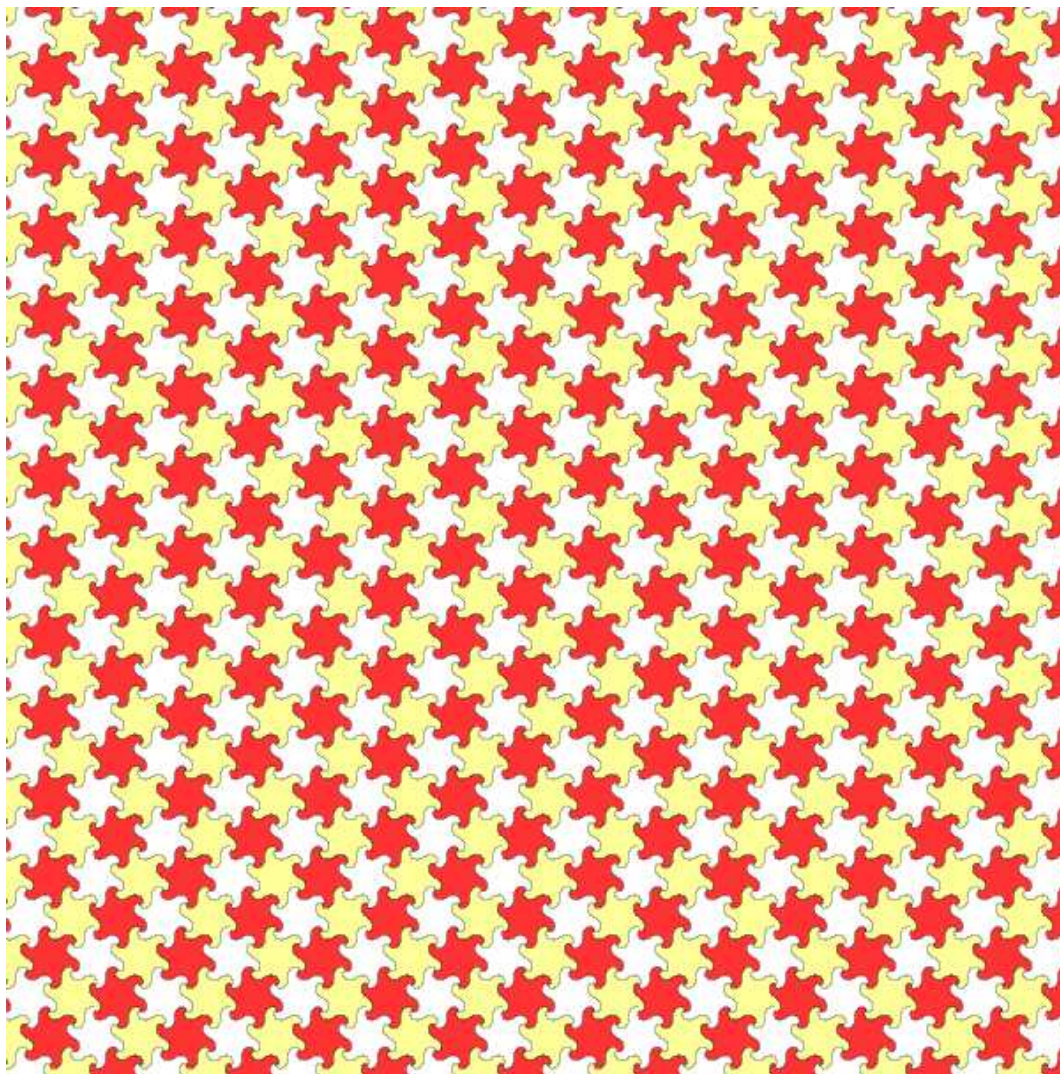
Obrázok A.1 Typ T4444, farebný vzor 2.



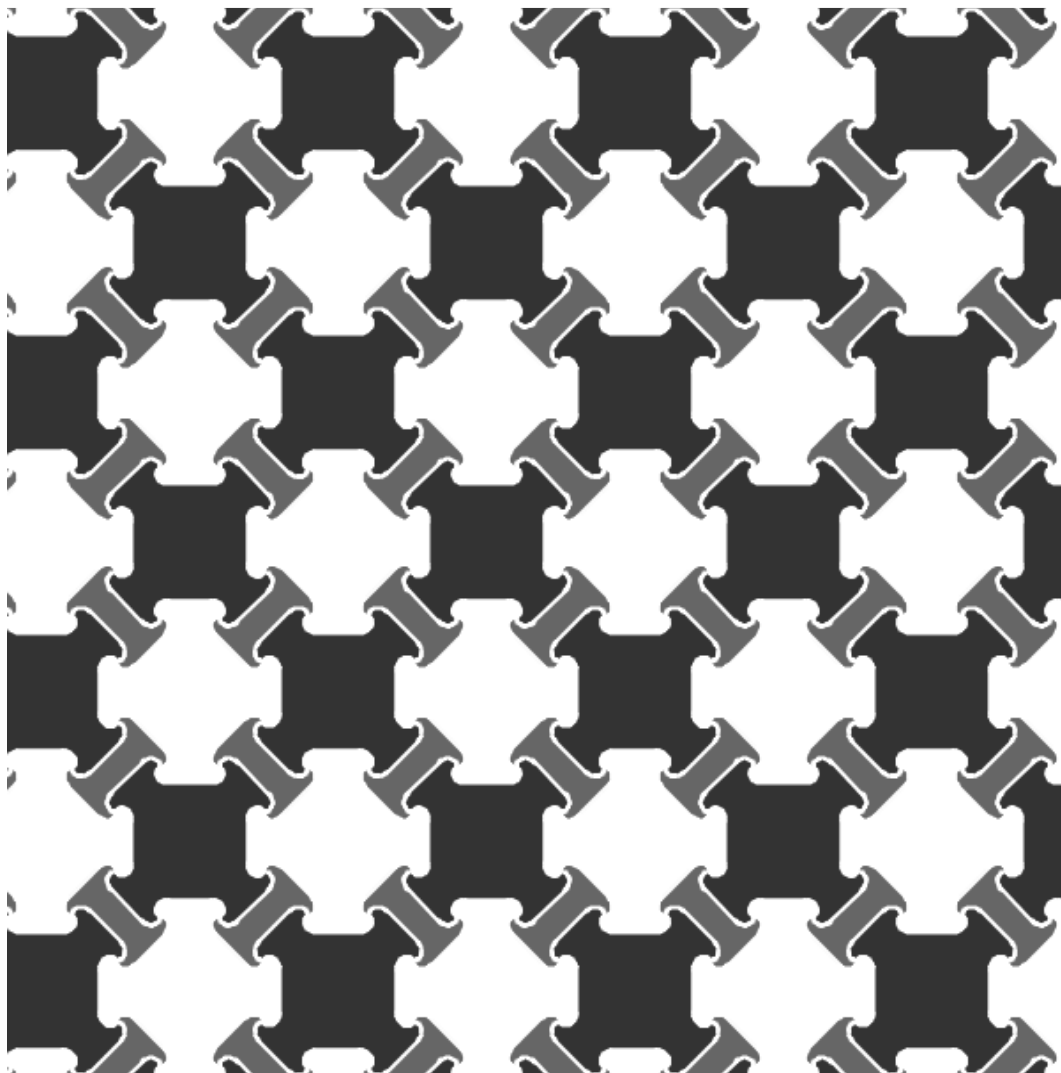
Obrázok A.2 Typ T6363.



Obrázok A.3 Typ T6434, farebný vzor 3.

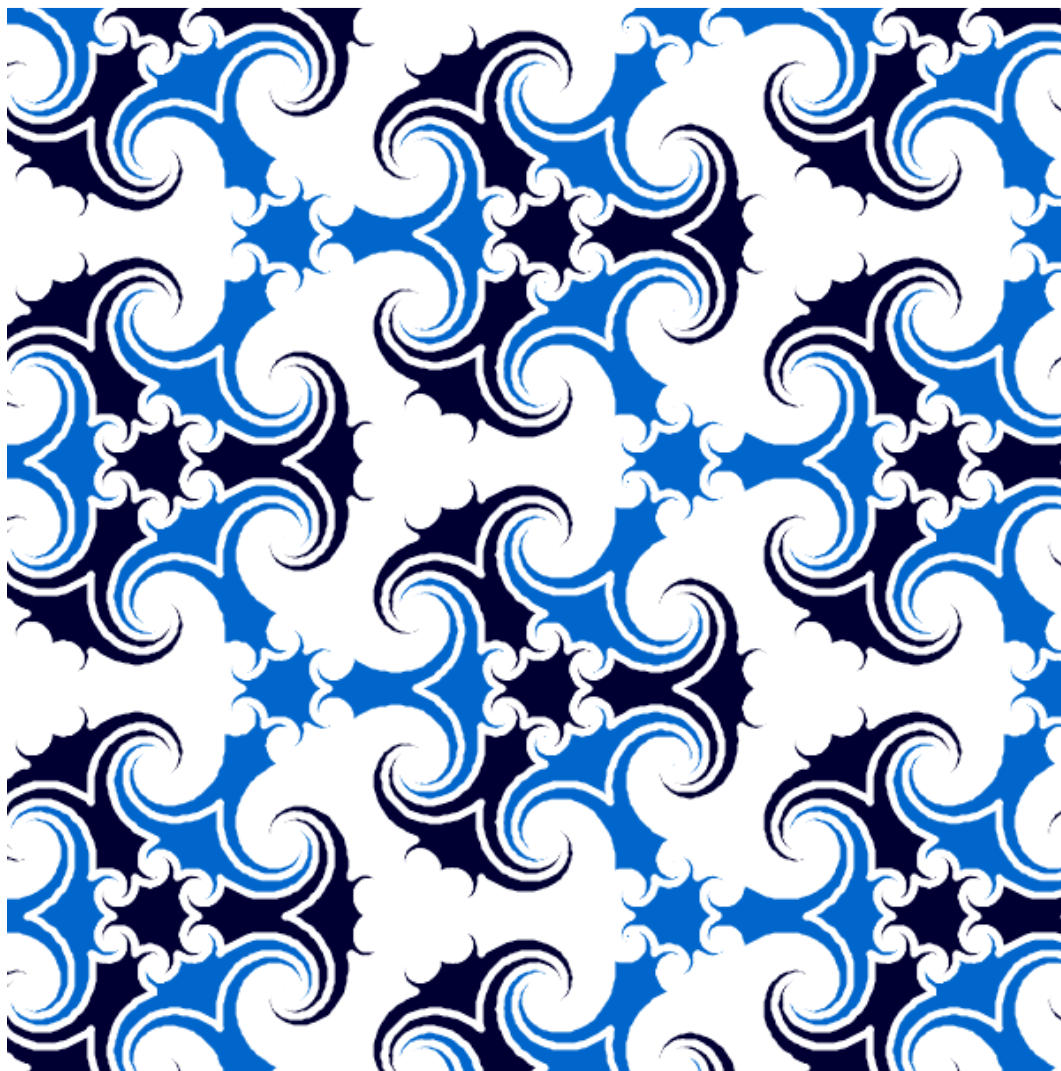


Obrázok A.4 Typ T333333, farebný vzor 1.



Obrázok A.1 Typ T884.





Obrázok A.5 Typ TH1, farebný vzor 3.



## **Dodatok B**

### **Obsah CD**

Na CD priloženom sa nachádza text tejto práce, ďalej sa na ňom nachádzajú nasledujúce adresáre:

„MoSaiC – executable“ – obsahuje spustiteľný program MoSaiC.

„MoSaiC – NetBeans project (source code)“ – obsahuje zdrojový kód programu.

„Pictures“ – obsahuje obrázky uvedené v dodatku A a msc súbory im zodpovedajúce.