

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra informatiky a výpočetní techniky

Bakalářská práce

Modelování květenství pomocí L-systémů

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 20. dubna 2012

Petra Křivanová

Abstract

Modeling of inflorescence using L-systems

The main topic of this thesis is a possibility of using L-systems for making patterns of the inflorescence. The L-systems are type of string-rewriting mechanism introduced in 1968 by Aristid Lindenmayer. They make a perfect tool for describing plants. The inflorescence is a group of flowers. The thesis deals with both types of inflorescence - the simple and the compound one.

In order to find out how the L-systems can represent characteristics of the inflorescence the biggest part of this work deals with comparing the patterns of the inflorescence. 2-dimensional patterns are divided into corresponding botanical groups. The other part of this thesis includes the comparison 2-dimensional and 3-dimensional patterns. This part tries to discover the differences between these patterns. The last part deals with possibilities of making compound inflorescence from the simple.

Finally, the results and procedures are discussed.

Obsah

1	Úvod	1
2	Gramatika	2
2.1	Definice gramatiky	3
2.2	L-systémy	4
2.2.1	Reprezentace L-systémů	4
2.2.2	D0L-systémy	7
2.2.3	Závorkové 0L-systémy	8
2.2.4	Stochastické L-systémy	8
2.2.5	Kontextové L-systémy	9
2.2.6	Parametrické L-systémy	10
3	Nástroje pro vizualizaci	13
3.1	Applety	13
3.1.1	Lindenmayer System Demonstration Applet	13
3.1.2	GILS	13
3.1.3	LSystems Application	13
3.1.4	Generate a Tree as L-System	14
3.2	Programy	14
3.2.1	Fractal Grower	14
3.2.2	L-Studio	14
3.3	Vybraný nástroj	15
3.3.1	Popis důležitých částí programu	16
4	Květentství	19
5	Realizace vybraných květentství	22
5.1	Výběr květentství	22
5.2	Způsoby realizace	22
5.3	Srovnání způsobů realizace	23
6	Možnosti porovnávání květentství	25

7	Porovnávání 2D modelů květenství	26
7.1	Hroznovité	26
7.1.1	Hroznovité	26
7.1.2	Latovité	33
7.2	Vrcholičnaté	41
7.2.1	Latovité	41
7.2.2	Vidlanovité	42
7.3	Shrnutí	47
8	Vzájemná porovnání 2D a 3D modelů	48
8.1	Hroznovité	48
8.1.1	Hroznovité	48
8.1.2	Latovité	51
8.2	Vrcholičnaté	57
8.2.1	Latovité	57
8.2.2	Vidlanovité	59
8.3	Shrnutí	63
9	Odvození složených květenství	64
9.1	Hrozen vijanů	64
9.2	Složený okolík	65
9.3	Lata vidlanů	66
9.4	Shrnutí	67
10	Závěr	68
	Literatura	69
	Slovník použitých termínů a zkratk	71
	Přílohy	72

Seznam obrázků

2.1	Příklad anglické gramatiky. [1]	2
2.2	Příklad anglické gramatiky, tvoření věty [1].	3
2.3	Příklad rozvoje v D0L-systémech (viz kap. 2.2.2) [11].	4
2.4	Vývoj sinice <i>Anabaena catenula</i> a jeho předpis [11].	5
2.5	Vložka Kochové pro nultou (axiom), první a druhou derivaci.	6
2.6	Matice rotace. [11].	7
2.7	Pohyb želvy ve 3D. [11].	7
2.8	Příklad větvení. [10, 11]	8
2.9	Stochastické L-systémy. Různé rostliny podle stejného předpisu. [11]	10
2.10	Ukázka parametrických L-systémů.	12
2.11	Různě pozměněná květenství podle obr. 2.10 na str. 12.	12
3.1	Vygenerovaná lilie pomocí L-studia.	15
3.2	Popis programu - záložka L-system.	16
3.3	Popis programu L-studio - záložka View .	17
3.4	Ukázka záložky Surface v L-studiu u rostliny <i>Lychnis coronaria</i> .	18
4.1	Rozdělení květenství.	20
4.2	Typy květenství podle odborné literatury [9].	21
4.3	Pozice květů (barevné kruhy značí květ).	21
5.1	Srovnání bezparametrického a parametrického předpisu hroznu.	24
6.1	Skupiny jednoduchých květenství podle [9].	25
7.1	Hrozen.	26
7.2	Trnovník akát.	26
7.3	Hrozen párový.	27
7.4	Hrozen jednostranný .	28
7.5	Hrozen jednostranný.	28
7.6	Konvalinka vonná.	28
7.7	Hrozen přeslenitý.	29

7.8	Dřín obecný.	29
7.9	Okolík.	30
7.10	Typy hroznovitých květenství.	31
7.11	Klas.	31
7.12	Jitrocel kopinatý.	32
7.13	Chocholík.	32
7.14	Kalina tušalaj.	32
7.15	Lata.	33
7.16	Šeřík obecný.	33
7.17	Lata vstřícná.	34
7.18	Ptačí zob obecný.	34
7.19	Lata stažená.	34
7.20	Lata klubkatá.	35
7.21	Lata přeslenitá.	36
7.22	Lata hroznovitá.	36
7.23	Lata jednostranná.	37
7.24	Kavyl vláskovitý.	37
7.25	Modely lat.	38
7.26	Vymodelované a reálné květenství kytky.	39
7.27	Vymodelované a reálné květenství lichoklasu.	40
7.28	Vymodelované a reálné květenství vrcholíku.	42
7.29	Vymodelované a reálné květenství kruželu.	43
7.30	Vijan.	43
7.31	Květenství reálných jednostranných vrcholíků.	44
7.32	Srpek.	44
7.33	Vějířek.	45
7.34	Kosatec německý.	45
7.35	Modely jednoramenného vrcholíku.	45
7.36	Reálné a vymodelované květenství vidlanu.	46
7.37	Dvojvijan.	47
8.1	Hrozen 3D.	48
8.2	Hrozen přeslenitý 3D.	49
8.3	Okolík 3D.	50
8.4	Klas 3D.	50
8.5	Chocholík 3D.	51
8.6	Lata 3D.	51
8.7	Lata hroznovitá 3D.	52
8.8	Lata jednostranná 3D.	52
8.9	Lata klubkatá 3D.	53
8.10	Lata přeslenitá 3D.	54

8.11	Lata stažená 3D.	54
8.12	Lata vstřícná 3D.	54
8.13	Modely 3D lat.	55
8.14	Kytka 3D.	56
8.15	Lichoklas 3D.	56
8.16	Vrcholík 3D.	57
8.17	Kružel 3D.	58
8.18	Šroubel 3D.	59
8.19	Vijan 3D.	59
8.20	Srpek 3D.	60
8.21	Vějírek 3D.	61
8.22	3D modely jednostranných vrcholíků.	61
8.23	Vidlan 3D.	62
8.24	Dvojvijan 3D.	63
9.1	2D model hroznu vijanů a reálné květenství.	65
9.2	2D model složeného okolíku a reálné květenství.	66
9.3	2D model laty vidlanů.	67
P 1	Ukázka appletu Lindenmayer System Demonstration Applety.	72
P 2	Ukázka appletu GILS.	73
P 3	Ukázka appletu LSystems Application.	74
P 4	Ukázka appletu (Generate a Tree as L-System) pro modelování jed- noduchých stromů.	75
P 5	Program Fractal Grower pro modelování pomocí L-systémů.	75
P 6	Program L-Studio pro modelování pomocí L-systémů.	76

Seznam tabulek

2.1	Základní pravidla pro reprezentaci symbolů želvy [11].	6
2.2	Doplňující pravidla k tab. 2.1 pro orientaci želvy v prostoru [11]. . . .	6
2.3	Uložení a načtení vlastností želvy.	8
2.4	Kontextové L-systémy.	9
2.5	Některá pravidla pro reprezentaci symbolů želvy v parametrických L-systémech [11].	11

1 Úvod

V dnešní době super počítačů není problém nasimulovat montážní linku nebo zátěžové testy. V těchto případech je jasně definované, jak se daný materiál nebo obslužný robot v továrně mají chovat, tzn. na množinu vstupů máme velmi omezenou množinu výstupů, tedy reakcí na určitý podnět. Například systém pro kontrolu teploty, je-li vysoká, začne chladit, klesne-li pod určitou hranici, začne topit.

Jak je to ale s rostlinami? I zde se musí brát v úvahu množství dopadajícího světla, voda, transport živin cévami nebo i poškození. Touto problematikou se zabýval biolog Aristid Lindenmayer a v roce 1968 navrhl systém založený na přepisování řetězců - L-systémy (viz kap. 2.2). Díky tomu dnes dokážeme simulovat růst zeleně ve stínu budov nebo obnovu větví po průřezu. L-systémy dokáží podle jednoho předpisu generovat různé rostliny (viz kap. 2.2.4). Kontextové L-systémy (viz kap. 2.2.5) dokáží simulovat reakce mezi částmi rostliny a generovat tak tok živin nebo hormonů rostlinou [11].

Nakolik jsou ale vygenerované rostliny skutečně podobné těm reálným? Neboli existují mezi jednotlivými předpisy vzájemné souvislosti jako mezi reálnými rostlinami (rostliny stejného rodu mají téměř stejné květy, tvar listů atp.)? To se dá zjistit například porovnáním dvou předpisů rostlin stejného rodu (např. hluchavka bílá x hluchavka nachová).

Tato práce se nebude zabývat porovnáváním předpisů celých rostlin. Předpisy pro celé rostliny jsou příliš složité a není z nich na první pohled vidět podobnost. Budou nás zajímat pouze části rostlin - květenství. Květenství je uspořádání květů a většinou je nějaký typ květenství typický pro určitou čeleď (např. klásek pro lipnicovité). Vytvořené předpisy se budou mezi sebou porovnávat podle botanického rozdělení květenství (viz kap. 4).

Cílem této práce je zjistit, zda L-systémy dokáží zahrnout i vzájemnou podobnost květenství mezi sebou. Bude se tak dívat na základě porovnání jednotlivých květenství. Porovnávání bude prováděno v rámci nejdetailnějších skupin. Předpisy pro květenství budou tvořeny jak ve 2D tak ve 3D prostoru. Bude tedy zjišťován i rozdíl mezi prostorovým ztvárněním květenství a provede se i obecný rozbor složených květenství.

2 Gramatika

Máme-li jazyk, at' už programovací nebo přirozený, potřebujeme ho nějakým způsobem reprezentovat, čili určit všechny možné věty jazyka. Jazyk se skládá buď z konečné nebo nekonečné množiny vět. V prvním případě by se dala použít triviální reprezentace spočívající ve vyjmenování všech vět. Pro nekonečné množiny je však tento způsob nepoužitelný, a navíc jakékoliv specifikování jazyka by mělo být konečné. Tuto podmínku konečnosti splňuje právě gramatika [6, 3, 12].

Gramatika spadá pod vědní obor Formální teorie jazyků. Tato teorie z oblasti informatiky se objevila v padesátých letech minulého století díky Noamu Chomskému, který vytvořil matematický model gramatiky na základě studia přirozených jazyků. V šedesátých letech byl princip gramatiky použit pro vytvoření programovacího jazyka ALGOL-60 [12].

Gramatika je tedy množina syntaktických pravidel. Jejich sekvenční aplikací lze generovat věty daného jazyka, případně zjistit, zda daná věta do jazyka patří [3]. Podíváme-li se například na obrázek 2.1, zjistíme, že lze sestavit větu *This is the world*, která je syntakticky správně.

sentence	->	<subject> <verb-phrase> <object>
subject	->	This Computers I
verb-phrase	->	<adverb> <verb> <verb>
adverb	->	never
verb	->	is run am tell
object	->	the <noun> a <noun> <noun>
noun	->	university world cheese lies

Obr. 2.1: Příklad anglické gramatiky. [1]

První řádek na obr. 2.1 znamená, že věta (sentence) se skládá z podmětu (subject), přísudku (verb-phrase) a předmětu (object) v tomto pořadí. Druhý pak, že za podmět lze dosadit jedno ze slov počítač (computer), já (I) nebo toto (this). Postupnou aplikací jednotlivých pravidel odvodíme cílové věty (viz 2.2).

Pravidla použitá v obrázku 2.1 nám ale neříkají nic o sémantické správnosti věty. To znamená, že můžeme sestavit větu *This am a cheese*, která sice nedává smysl, ale je syntakticky správně. Tato skutečnost je ve specifikaci jazyků povolena [12].

sentence	->	<subject> <verb-phrase> <object>
	->	This <verb-phrase> <object>
	->	This <verb> <object>
	->	This is <object>
	->	This is a <noun>
	->	This is a university

Obr. 2.2: Příklad anglické gramatiky, tvoření věty [1].

2.1 Definice gramatiky

Gramatika je uspořádaná čtveřice $G = (N, \Sigma, P, S)$, kde podle [6] platí:

- N je konečná množina nonterminálních symbolů
- Σ je konečná množina terminálních symbolů $N \cap \Sigma = \emptyset$
- P je konečná podmnožina kartézského součinu $(N \cup \Sigma)^* N (N \cup \Sigma)^* \times (N \cup \Sigma)^*$
- $S \in N$ počáteční symbol gramatiky

Běžně používané konvence pro zápis symbolů [6]:

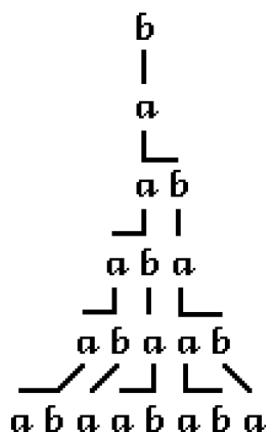
- A, B, C - značí nonterminální symboly
- a, b, c - značí terminální symboly
- U, V, \dots, Z - značí nonterminální symboly nebo výrazy
- $\alpha, \beta, \dots, \omega$ - značí řetězce nonterminálních i terminálních symbolů
- u, v, \dots, z - značí řetězce terminálních symbolů

Prvek zapsaný jako $\alpha \rightarrow \beta$ je přepisovací pravidlo (α, β) z množiny P [6]. Budeme-li mít gramatiku $G = (\{A, B\}, \{a, b, c\}, P, S)$, kde $P = \{A \rightarrow aa|c|Bbb, B \rightarrow ca\}$, pak tato gramatika generuje pouze řetězce aa, c a $cabb$.

2.2 L-systémy

Speciální druh gramatiky jsou L-systémy. Byly objeveny v roce 1968 Aristidem Lindenmayerem. Jedná se o přepisovací systém, stejně jako Chomského gramatika, s tím rozdílem, že pravidla v L-systémech se aplikují paralelně. Díky tomu se dají lépe použít na popis živých organismů. To v praxi znamená, že pokud máme počáteční řetězec (axiom) b a přepisovací pravidla $a \rightarrow ab$, $b \rightarrow a$, pak v prvním kroku vznikne slovo a , v druhém ab , třetím aba , čtvrtém $abaab$ atd. Vznik řetězců je na obr. 2.3. I když jsou L-systémy součástí formálních gramatik, existují jazyky, které lze generovat bezkontextovými L-systémy, ale nelze je generovat bezkontextovou Chomského gramatikou [11].

Původně byly L-systémy navrženy pro studování jednoduchých mnohobuněčných organismů. Později se začaly používat na modelování rostlin.

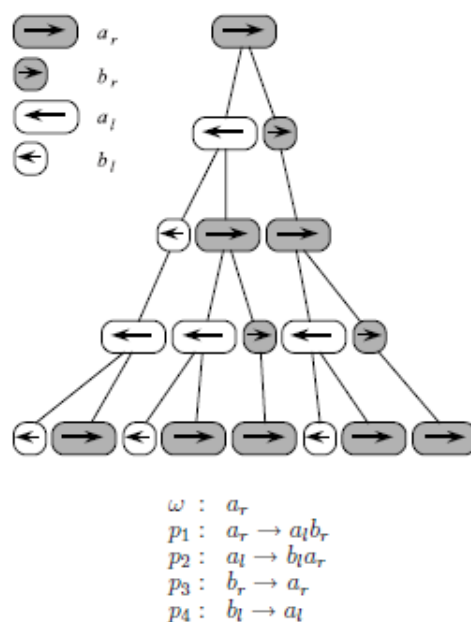


Obr. 2.3: Příklad rozvoje v D0L-systémech (viz kap. 2.2.2) [11].

2.2.1 Reprezentace L-systémů

Jak již bylo řečeno, L-systémy se v samých začátcích používaly pro modelování mnohobuněčných organismů. Tomu odpovídala i jejich reprezentace. Jednotlivá písmena řetězců byla zobrazena jako různě dlouhé zaoblené obdélníky. Vzniklé struktury jsou pak jednodimensionální řetězce obdélníků [11]. Například pro modelování sinice (*Anabaena catenula*) postačují D0L-systémy (kap. 2.2.2). Model na obr. 2.4 zachycuje vývoj sinice i s předpisem, podle kterého lze tento vývoj uskutečnit. Jak je vidět, předpis je velice jednoduchý a jednotlivé buňky jsou zobrazeny pomocí obdel-

níků s orientací. Písmena a a b zachycují vlastnosti buňky jako velikost a schopnost se dělit. Indexy l a r představují buněčnou polaritu, která udává pozici, ve které se vyvinou dceřiné buňky [11]. Tento model za jednoduchost platí tím, že nezachycuje nepřetržitý růst buněk mezi jednotlivými sekcemi [11].



Obr. 2.4: Vývoj sinice *Anabaena catenula* a jeho předpis [11].

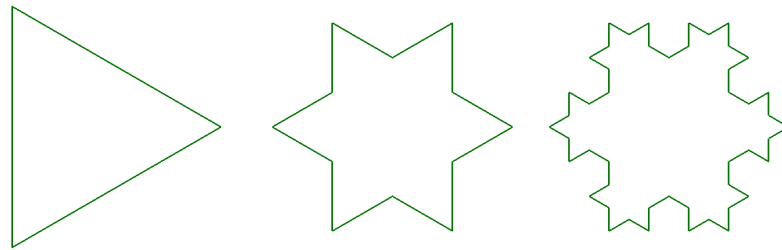
Pro popis rostlin ale tento postup nestačil. Jak je uvedeno v [11], první studie z roku 1974 byla zaměřena především na topologii větvení. Vlastnosti, jako úhel větvení nebo délka větve, byly přidány později. V roce 1979 bylo ukázáno, že jednoduché D0L-systémy dokáží modelovat fraktály (soběpodobné útvary, u kterých nezáleží na vzdálenosti pozorování objektu - příklad fraktálu na obr. 2.5). Tato myšlenka byla využita a dále rozšířena do několika různých směrů: L-systémy generující klasické křivky vyplňující prostor, objevení limitních možností křivek generovaných L-systémy a určení dimense fraktálů limitní množiny a zaměření na želví interpretaci L-systémů. Pomocí želví interpretace (turtle interpretation) lze modelovat nejen struktury reprezentující rostliny, ale i fraktály.

Interpretace pomocí želvy je v celku jednoduchá. Máme-li trojici (x, y, α) , tak pak dvojice (x, y) udává pozici želvy a α je úhel jejího natočení, neboli, kam se želva kouká. Máme-li dānu velikost kroku d a velikost natočení δ , želva se může pohybovat podle definovaných symbolů (viz tab. 2.1).

F	pohyb želvy o krok velikosti d ve směru daném α , úsečka mezi pozicí (x, y) a $(x+d\cos\alpha, y+d\sin\alpha)$ je kreslena
f	pohyb želvy o krok velikosti d ve směru daném α , bez kreslení
+	otočení doleva o daný úhel, výsledný úhel pak bude $(\alpha + \delta)$
-	otočení doprava o daný úhel, výsledný úhel bude $(\alpha - \delta)$

Tab. 2.1: Základní pravidla pro reprezentaci symbolů želvou [11].

Tímto způsobem lze generovat například fraktály. Mezi velmi známé fraktály patří vložka Kochové. Její axiom (počáteční řetězec) je $F-F-F$, úhel $\alpha=60^\circ$ a prepisovací pravidlo je $F \rightarrow F+F-F+F$. První 2 derivace jsou na obrázku 2.5 vytvořené pomocí [10].



Obr. 2.5: Vložka Kochové pro nultou (axiom), první a druhou derivaci.

Pohyb želvy je možné rozšířit i do třídídimenzionálního prostoru. Orientace želvy v prostoru je pak definována pomocí tří vektorů: \vec{H} (překlápění želvy - váli sudy), \vec{L} (pohled shora dolů), \vec{U} (natočení doprava a doleva) (viz obr. 2.7). Vektory jsou na sebe kolmé. Rotace želvy je dána vztahem: $[\vec{H}'\vec{L}'\vec{U}'] = [\vec{H}\vec{L}\vec{U}]R$, kde R je rotační matice 3×3 (viz obr. 2.6) [11]. Symboly používané pro pohyb ve 3D jsou uvedeny v tab. 2.2.

&	sklon dolů o úhel δ , použitím matice $R_L(\delta)$
^	sklon nahoru o úhel δ , použitím matice $R_L(-\delta)$
\	kutálení doleva o úhel δ , použitím matice $R_H(\delta)$
/	kutálení doprava o úhel δ , použitím matice $R_H(-\delta)$
	obtočení, použitím matice $R_U(180^\circ)$

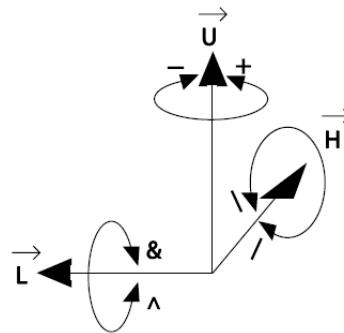
Tab. 2.2: Doplnující pravidla k tab. 2.1 pro orientaci želvy v prostoru [11].

$$\mathbf{R}_U(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_L(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_H(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

Obr. 2.6: Matice rotace. [11].



Obr. 2.7: Pohyb želvy ve 3D. [11].

2.2.2 D0L-systémy

Stejně jako v Chomského klasifikaci existují 4 typy gramatik [6], tak i L-systémy se dělí na několik skupin. D0L-systémy používají znaky zmíněné výše. Nejjednodušší z nich jsou D0L-systémy, které jsou deterministické (viz dále) a bezkontextové (viz dále). Jestliže V je abeceda, V^* je množina všech slov nad abecedou V a V^+ je množina neprázdných slov nad V , pak se tyto systémy definují jako uspořádaná trojice $G = \langle V, \omega, P \rangle$ [11], kde:

- V je abeceda systému
- $\omega \in V^+$ je neprázdné slovo zvané axiom
- $P \subset V \times V^*$ je konečná množina přepisovacích pravidel

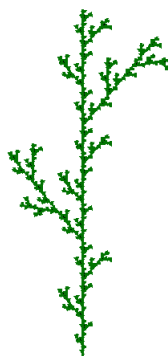
Systém je deterministický, pokud pro každé písmeno z abecedy V existuje pouze jedno přepisovací pravidlo. Bezkontextový systém znamená, že všechna pravidla mají pouze tvar $\alpha \rightarrow \beta$, kde α je písmeno abecedy V a β je slovo [11]. To značí i nula v názvu. Odvození řetězce pomocí pravidel se označuje jako derivace (generování, odvozování) [11]. Například na obr. 2.3 na str. 4 jsme z řetězce b derivovali a . Další příklad D0L-systémů je uveden na obr. 2.4 na str. 5.

2.2.3 Závorkové 0L-systémy

Stejně jako fraktály, i rostliny se dají brát jako soběpodobné útvary, tedy takové, kde část celku je geometricky podobná celku [11]. Pro modelování větvících se rostlin nám ale D0L-systémy nestačí, potřebujeme nějak zajistit ono větvení. V závorkových 0L-systémech se definují další dva znaky (viz tab. 2.3). Díky tomu lze tvořit struktury jako na obr. 2.8.

[uloží aktuálně nastavené vlastnosti želvy jako natočení, barva, tloušťka čáry atd. do zásobníku
]	nastaví vlastnosti želvy na stav vybraný ze zásobníku, želva je připravena pro další kreslení

Tab. 2.3: Uložení a načtení vlastností želvy.



Obr. 2.8: Příklad větvení. [10, 11]

2.2.4 Stochastické L-systémy

L-systémy jsou založené na tom, že každou rostlinu lze matematicky popsat. Již dříve popsané struktury to sice dokáží, ale vygenerované rostliny jsou pokaždé

stejně. Toho lze v přírodě jen těžko dosáhnout, vývoj rostliny se řídí mnoha faktory, především množstvím slunečního světla a vody. Rostlina s větším přísunem vody bude mít například mohutnější stavbu těla než rostlina stejného druhu rostoucí v období sucha. Tyto vlastnosti se do L-systémů dají zahrnout několika způsoby [11]:

- náhodný výběr želví interpretace
- náhodný výběr L-systémů
- obojí

Ve stochastických L-systémech se zavádí funkce rozdělení pravděpodobnosti [11]. Pro každé pravidlo bude dána pravděpodobnost, s jakou může nastat. Příklad stochastického L-systému i s obrázkem je na obr. 2.9. Zde nastávají všechna pravidla se stejnou třetinovou pravděpodobností. Díky zavedení funkce rozdělení pravděpodobnosti je na obrázku jasně vidět, že vygenerované rostliny jsou různé, i když mají identický předpis.

2.2.5 Kontextové L-systémy

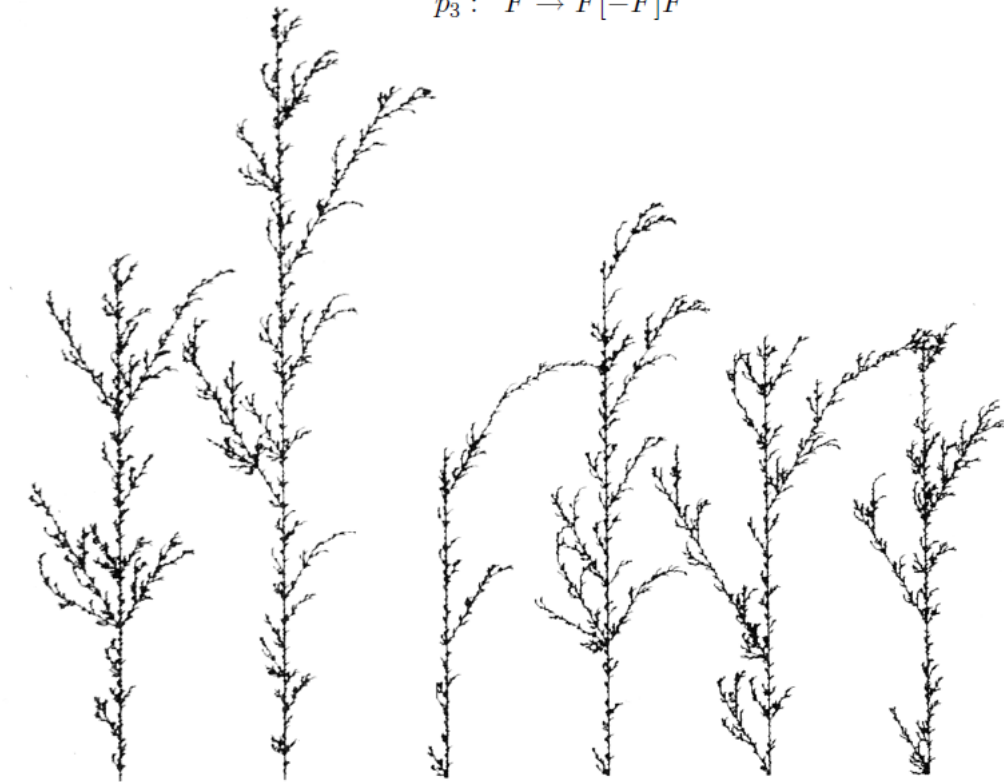
Dalším typem jsou kontextové L-systémy, které dovolují simulovat interakce mezi částmi rostliny např. rozvod hormonů. Kontextové proto, že závisí buď na předkovi, následníkovi nebo obojím [11]. Vzájemné vztahy ukazuje tabulka 2.4.

L2	přepisovací pravidla mají tvar $a < b > c \rightarrow x$, z b může vzniknout slovo x , jen když je před ním a a za ním c
L1	pravidla mají tvar $a < b \rightarrow$ nebo $a > b \rightarrow$

Tab. 2.4: Kontextové L-systémy.

V případě, že na jedno písmeno budou najednou aplikována kontextová i bezkontextová pravidla, tak kontextová mají přednost. U závorkových L-systémů je dodržování kontextu složitější, protože neudrzuje sousední segmenty u sebe. Proto postup zpracovávající tyto řetězce musí počítat i se skoky, aby našel odpovídající kontext. Levý kontext se používá pro simulování akropetálních rostlin, tedy takových, kde je signál šířen od kořenů k vrcholům rostliny. Pravý kontext je pro simulování basipetálních rostlin, u kterých probíhá šíření signálu obráceně, čili z vrcholů ke kořenům [11]. Akropetálně se šíří například postřik proti houbám, který se z listů dostává směrem k vrcholku rostliny a postupně se ukládá v jejích tkáních.

$$\begin{aligned}\omega &: F \\ p_1 &: F \xrightarrow{.33} F[+F]F[-F]F \\ p_2 &: F \xrightarrow{.33} F[+F]F \\ p_3 &: F \xrightarrow{.34} F[-F]F\end{aligned}$$



Obr. 2.9: Stochastické L-systémy. Různé rostliny podle stejného předpisu. [11]

2.2.6 Parametrické L-systémy

Pokud bychom chtěli modelovat růst rostliny závislý na čase, dosavadní způsoby modelování by to sice umožnily, ale potřebovali bychom mnoho proměnných a předpis by se stával velice nepřehledný a složitý. Na základě toho navrhl Lindemayer spojení L-systémů s numerickými parametry [11]. Tyto L-systémy jsou též kontextové i bezkontextové. Reprezentace symbolů je dosti podobná jako u bezparametrických systémů, s tím rozdílem, že za symboly jsou kulaté závorky, do kterých se píše velikost, s jakou bude daný symbol pracovat (viz tab. 2.5).

F(a)	pohyb želvy o krok velikosti a ve směru daném α , úsečka mezi pozicí (x,y) a $(x+d\cos\alpha, y+d\sin\alpha)$ je kreslena
f(a)	pohyb želvy o krok velikosti a ve směru daném α , bez kreslení
+(a)	otočení doleva o úhel a , výsledný úhel pak bude $(\alpha + a)$
-(a)	otočení doprava o úhel a , výsledný úhel bude $(\alpha - a)$

Tab. 2.5: Některá pravidla pro reprezentaci symbolů želvy v parametrických L-systémech [11].

Například podle jednoho předpisu (viz obr. 2.10) (změnou parametru l) dokážeme udělat tři různé obrázky (viz obr. 2.11). Řádky v předpisu začínající *#define* nám definují proměnné, které budou dále použity. Jak je vidět na proměnné *kolecko*, lze si předdefinovat i sekvenci znaků, v tomto případě představující kruh. Jedná se o implementační možnost programu (viz kap. 5.2). *Lsystem: 1* udává množinu pravidel, která se použijí (1 - hlavní množina, růst hlavní osy). Jsou zde i podmnožiny, které se dají použít, např. 2 - pravidla pro větvení. *Derivation lenght* je počet kroků rozvoje řetězce. *Axiom* je počáteční řetězec. Dále jsou uvedena přepisovací pravidla a ukončení specifikace L-systému pomocí *endlsystem*. Přepisovací pravidla v tomto případě využívají parametrických L-systémů. Díky tomu lze pouhou změnou parametru docílit různých vzhledů rostliny.

Parametrů lze použít i více nebo méně, vždy ale musí být jejich počet dodržen u příslušných znaků. Pokud bychom u nějakého znaku zapomněli na parametr, příklad nebude fungovat, jelikož se bude hledat pravidlo, které neexistuje. Na druhou stranu, pokud se parametry použijí, nemusí se striktně u všech předchůdců nacházet stejný počet nebo vůbec nějaký parametr. Je to vidět i na předpisu na obr. 2.10, kde předchůdce K nemá žádné parametry.

```

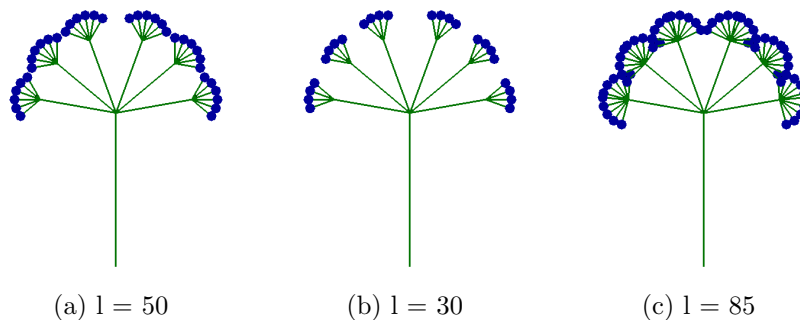
#define STEPS 100
#define kolecko ;@o(0.2)
#define uhel 30
#define l 50
#define u 20
#define d F(1.5)

Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFFF(0,80,46)
F(x,y,z): y > 0 --> [(y) d B(x,y-uhel,l)][-(y) d B(x,y-uhel,l)]F(x,y-uhel,l)
B(x,y,z): z > 0 --> [(z)D(x,y,z-u)][-(z)D(x,y,z-u)]B(x,y,z-u)

D(x,y,z) --> F(0.5)K
K --> kolecko
endsystem

```

Obr. 2.10: Ukázka parametrických L-systémů.



Obr. 2.11: Různě pozměněná květenství podle obr. 2.10 na str. 12.

3 Nástroje pro vizualizaci

3.1 Applety

Jak již bylo řečeno, vytvořený matematický popis květenství bude reprezentován pomocí gramatiky známé jako L-systémy. Pro modelování L-systémů dnes existuje spousta appletů. Většinou však slouží hlavně k pochopení a demonstraci L-systémů, a tak postrádají některé vlastnosti jako rotaci, 3D modely nebo export do grafického formátu. Náhledy jednotlivých nástrojů jsou uvedeny v příloze.

3.1.1 Lindenmayer System Demonstration Applet

Tento applet [7] patří k těm vydařenějším. Dovoluje krokovat a tím i názorně předvádět rozvinutí řetězců v jednotlivých derivacích (viz obr. P 1 na str. 72). Lze si zapsat i vlastní gramatiku. Nevýhodou je, že při vyšších stupních derivace dochází paměť a obrázek se nevykreslí. Applet neumí s výsledným obrázkem rotovat a ani neumí zobrazovat prostorové obrázky. Další nevýhoda je, že nezvládá parametrické L-systémy. Jeho ovládání je jednoduché a pro pochopení L-systémů dostačující.

3.1.2 GILS

Tento applet již umožňuje rotaci v prostoru a také podporuje 3D obrázky. Nevýhodou rotace je, že objekt rotuje kolem bodu uprostřed okna, tudíž nastává problém při vyšších derivacích, kdy velikost obrázku začne narůstat. Veškeré změny jsou okamžitě vidět. Nepodporuje však parametrické L-systémy. Má větší možnosti modelování díky mnoha nastavitelným vlastnostem jako je barva, šířka čáry, délka čáry nebo úhly v jednotlivých směrech (viz obr. P 2 na str. 73).

3.1.3 LSystems Application

Další applet na demonstraci L-systémů [13]. S vytvořenými obrázky nelze pohybovat a nelze modelovat parametrické L-systémy (viz obr. P 3 na str. 74). Applet patří k těm méně zdařilým, jelikož občas budí dojem, že si dělá, co chce, a ne, co

chce uživatel. Například při přidávání vlastních pravidel. Lze si vybrat z mnoha předdefinovaných vzorů a nechat si je vykreslit.

3.1.4 Generate a Tree as L-System

Jeden z vydařenějších appletů [15], hlavně díky snadnému ovládní a nastavení (viz obr. P 4 na str. 75). Applet díky nastavení pohledu kamery dovoluje pohyb ve 3D, dále nastavení úhlů větvení, zvětšení, rotaci a jiné. Zúčátečník jistě ocení výpis rozvinutého řetězce v jednotlivých derivacích.

3.2 Programy

Pro modelování rostlin existuje celá řada programů. My však budeme potřebovat modelovat pouze květenství, k tomu však nepotřebujeme složité grafické editory, nehledě na to, že výsledné obrázky by nebylo možno porovnávat nebo jen velmi složitě. Vzhledem k tomu, že se chystáme porovnávat květenství na základě matematického popisu vytvořeného pomocí L-systémů, potřebujeme takový program, který s L-systémy dokáže pracovat.

3.2.1 Fractal Grower

Program [5] umožňuje vytvářet jednoduché fraktály a rostliny pomocí L-systémů. Ovládní je velmi jednoduché a veškeré změny v kontrolním okně se hned projeví ve vykreslovacím okně (viz obr. P 5 na str. 75). S výsledným obrázkem se nedá otáčet. Velmi užitečný je výpis vygenerovaného řetězce, podle kterého se útvar kreslí. Program neumí parametrické L-systémy a trochu nevýhodu představuje jiné značení příkazů pro želvu. Jiné, než které je definováno v [11].

3.2.2 L-Studio

Program navržený přímo spoluvůrcem L-systémů a spoluautorem knihy *The algorithmic beauty of plants* [11] P. Prusinkiewiczem. Díky tomu znaky použité v želví interpretaci odpovídají přesně těm, které jsou použity v knize. Jedná se o verzi pro operační systém Windows. Program má trochu složitější ovládní a mnoho

funkcí, které jsou pro jednoduché struktury zbytečné (viz obr. P 6 na str. 76). Naopak při složitých strukturách, jako na obr. 3.1, velmi usnadní práci. Jedná se například o tvarování listů nebo okvětních plátků, možnost animace, výběr barvy a jiné. K programu existuje rozsáhlá dokumentace. Vygenerované obrázky je možné otáčet, zmenšovat, ukládat pod různými formáty nebo animovat jednotlivé kroky.



Obr. 3.1: Vygenerovaná lilie pomocí L-studia.

3.3 Vybraný nástroj

Applety jsou dobré pro pochopení fungování L-systémů. Bohužel pro naše účely jsou nedostačující. Potřebujeme sice generovat jednoduché struktury (viz obr. 2.11 na str. 12), ale i tak jsou zapotřebí parametrické L-systémy (viz kap. 2.2.6). Jako nejideálnější nástroj se zdá být L-studio, které je založeno na formalismech L-systémů a dokáže specifikovat architekturu od mnohobuněčných organismů, přes travnaté byliny a stromy až po celé ekosystémy. Výhodou je, že znaky pro pohyb želvy jsou stejné, jako v [11]. Navíc je zde například znak pro vytvoření kruhu o zadaném průměru. Proto byl tento program vybrán.

3.3.1 Popis důležitých částí programu

Program je po vyplnění registračních údajů volně stažitelný a demoverze funguje rok. Samotný kód pro L-systém je case sensitive (rozlišuje velikost písma). Hlavní okno programu představuje záložka L-system (viz obr. 3.2), kam se píše samotný kód představující gramatiku. První 4 řádky (obr. 3.2) definují proměnné. Ty se píše přímo do předpisu a jsou pak nahrazeny nadefinovanými hodnotami. *Lsystem: 1* definuje množinu použitých pravidel a řádek pod ním počet derivací. Axiom je počáteční řetězec. Po axiomu už jsou psána samotná prepisovací pravidla. V tomto příkladu jsou použity parametrické L-systémy. Na liště zobrazený název *leaf.l* je název souboru, kam se ukládá napsaný kód. Rozebereme si nyní řádek:

$$F(x) : x == jedna \rightarrow F[+F(dva)kvet][-F(dva)kvet]FF(dva)kvet$$

```

L-studio evaluation version - [lata po 90° vstricna jako serik]
Object Cpfg Preferences Tools Window Help
L-system | View | Animate | Colors | Surfaces | Contours | Functions | Panels | Description | Text file |
leaf.l Line: 1 Find:
#define STEPS 2
#define jedna 1
#define dva 2
#define kvet ;@0(0.3)

Lsystem: 1
derivation length: STEPS

Axiom: FFF(1)
F(x) : x == jedna --> F[+F(dva)kvet][-F(dva)kvet]FF(dva)kvet
F(x) : x == dva --> F[/ (90)-F(jedna)kvet][/(90)+F(jedna)kvet]FF(jedna)

endlsystem

/*F(x) : x>0.05 --> F(x*p)+(a)F(x*h)-(a+a)F(x*h)+(a)F(x*q)*/

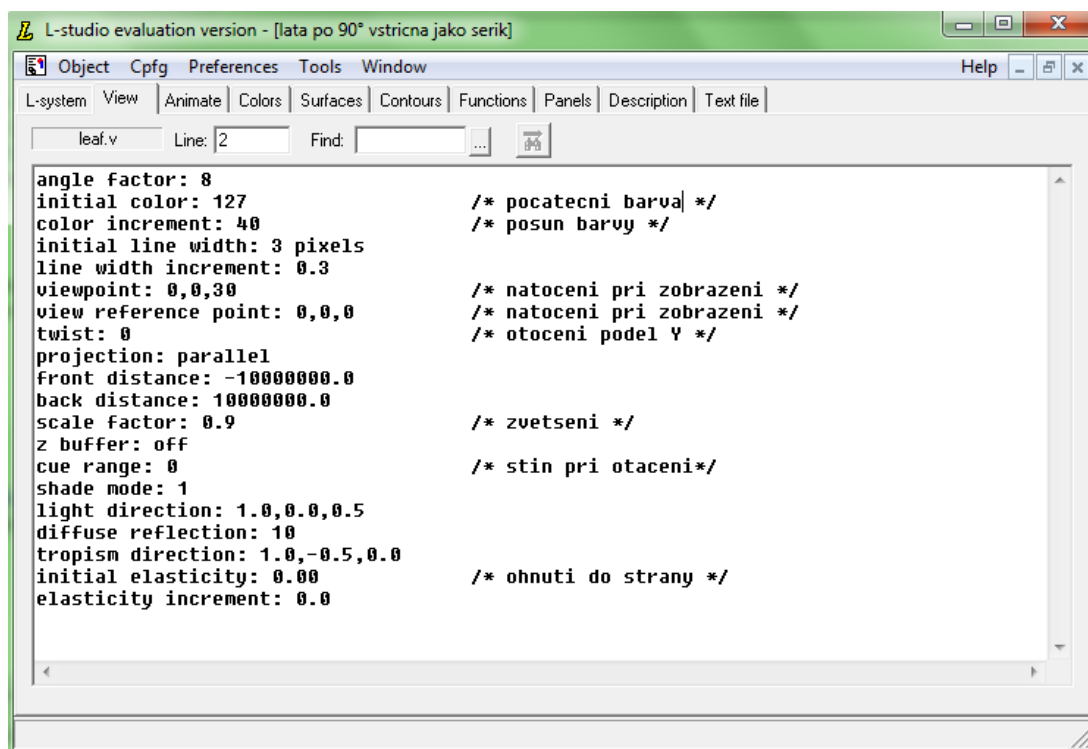
```

Obr. 3.2: Popis programu - záložka L-system.

- **F(x)** - značí, co se bude prepisovat (předchůdce)
- **x == jedna** - podmínka, za které se předchůdce prepíše
- **F[+F(dva)kvet][-F(dva)kvet]FF(dva)kvet** - nástupce, nahradí F(x)
- **+F(dva)** - vykreslí se úsečka o velikosti dané parametrem *dva* a natočená o daný úhel od hlavní osy proti směru hodinových ručiček

Konec zápisu je označen řádkem *endlsystem*. Úplně poslední řádek představuje zakomentovaný kód, tedy takový, který se nebude provádět.

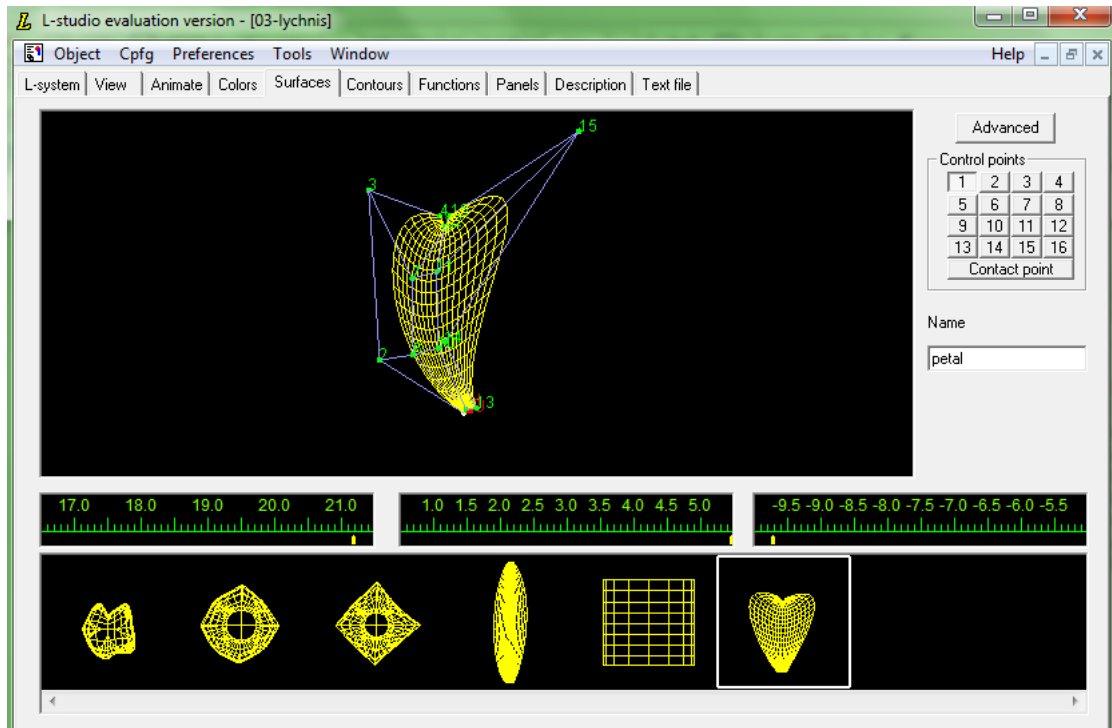
Další pro nás důležitá záložka programu je View. Zde se nachází nastavení různých vlastností vykreslování jako barva, úhel větvení, natočení, zvětšení a jiné (viz obr. 3.3).



Obr. 3.3: Popis programu L-studio - záložka View .

Program obsahuje několik dalších záložek, které ale pro nás nebudou důležité. Pro jednoduchá květenství nejsou zapotřebí. U demoverze tohoto programu se nachází i několik příkladů L-systémů (např. *Lychnis coronaria*) a u těch je možné si níže zmíněné záložky vyzkoušet. Záložka *Animate* umožňuje změnit parametry animace. Vygenerované obrázky lze animovat po jednotlivých krocích. Záložka *Color* umožňuje pomocí signálů RGB upravovat barvy. Záložka *Surface* poskytuje dva editory pro úpravu předdefinovaných 3D objektů (viz obr 3.4). *Function* nastavuje funkce růstu, hlídá například velikost listů vzhledem k věku rostliny. Všechny funkce jsou v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, kde 0 znamená nejmladší a 1 nejstarší. Záložka *Panels* slouží ke kontrole parametrů za běhu aplikace. Do *Description* si lze zapsat vlastní poznámky.

V hlavním menu pod *Cpfg* naleznete příkaz pro spuštění programu Go (ctrl+g) a pro ukončení běžícího programu Kill. Podrobný popis programu je v rozsáhlé dokumentaci, která je součástí dema.



Obr. 3.4: Ukázka záložky Surface v L-studiu u rostliny *Lychnis coronaria*.

4 Květenství

Květenství je termín z biologie a jedná se o reprodukční systém květů. Tvoří ho rozvětvený soubor, kde se hlavní osa nazývá stopka [2]. Někdy květenství vzniká zmenšováním listenů (přeměněný list) a ne vždy je pak jasné, kde začíná. Květenství se dělí do mnoha skupin a jejich popis nepřihlíží k jejich vývoji. Obecný přehled podle [9] je na obr. 4.1 (v závorkách jsou uvedeny modifikace daného květenství).

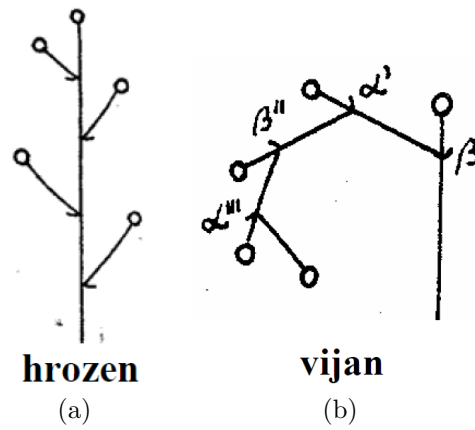
Jak je vidět, hlavní dělení spočívá v tom, zda je květenství jednoduché nebo se skládá z jiných květenství (složené). Jednoduchá květenství se dále dělí na dvě skupiny, kde hroznovitá mají delší hlavní osu a postranní větve ji nepřerůstají na rozdíl od vrcholičnatých, kde hlavní osa brzy končí svůj růst a pokračují postranní větve ve směru hlavní osy. U složených květenství se rozlišuje, zda jsou složena ze stejných (homotaktická) nebo různých (heterotaktická) typů. Homotaktická jsou složena pouze z květenství jedné skupiny, tedy buď jen z hroznovitých nebo jen z vrcholičnatých květenství. Heterotaktická pak představují různé kombinace z obou skupin. Na ukázkou jsou na obr. 4.2 zobrazena dvě jednoduchá květenství - hrozen a vijan.

Možnosti vzájemných porovnání budou uvedeny v kap. 6. Jak bylo zmíněno výše, rozdíl mezi hroznovitým a vrcholičnatým květenstvím spočívá v tom, že u hroznovitých květenství nepřerůstají postranní větve hlavní větev, jsou tedy monopodiální. Naproti tomu vrcholičnatá květenství jsou sympodiální, tedy dochází k tomu, že postranní větve přerůstají větev hlavní. Co se týče šíření signálu rostlinou, tedy např. které květy pokvetou jako první, je hroznovité květenství akropetálního typu, tedy signál je šířen od základny směrem k vrcholu. Vrcholičnatá květenství jsou bazipetální, signál je šířen od vrcholů k bázi orgánů. Poslední rozdíl představuje rozkvétání květů, kde u hroznovitých je dostředivé a u vrcholičnatých odstředivé. [14].

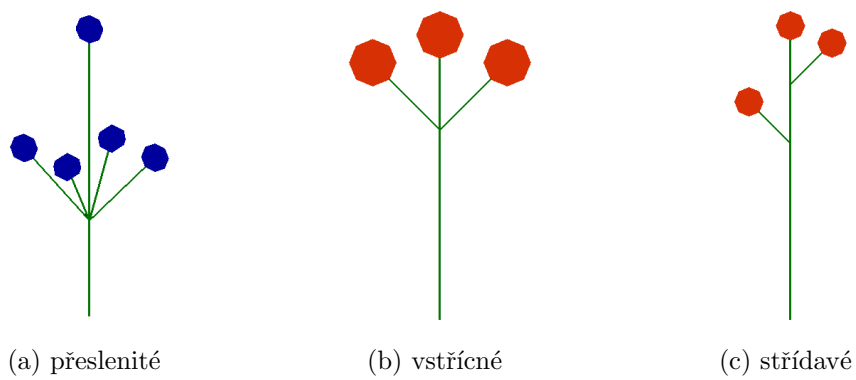
Květy mohou na stonku zaujímat 3 základní pozice: přeslenité - více květních stopek vyrůstá naproti sobě, vstřícné - květní stopky jsou umístěny naproti sobě a střídavé - květní stopky nejsou umístěny proti sobě (viz obr. 4.3).

j e d n o d u c h á	hroznovité	hroznovité	hrozen (jednostranný, párový, přeslenitý)	
			klas (přeslenitý, klásek, jehněda, palice, šiška)	
			chocholík	
			okolík	
			strboul	
			úbor	
		latovité	lata (jednostranná, klubkatá, přeslenitá, hroznovitá, stažená, vstřicná)	
			kytka	
			lichoklas	
		vrholičnaté	latovité	vrcholík
				kružel
			vidlanovité	vidlan
				jednoramenný vrcholík (vijan, srpek, šroubel, vějířek)
			lichopřeslen	
			svazeček	
			klubičko	
			dvojvijan	
s l o ž e n á	homotaktická	racemózní	hrozen hroznů	
		cymózní	vidlan vijanů	
	heterotaktická	cymobotrye	lata vijanů	
		cyathium	hroznovité květenství ukončené okolíkem a stopky nesou vidlany	
		botryocymy	kružel klásků	

Obr. 4.1: Rozdělení květenství.



Obr. 4.2: Typy květenství podle odborné literatury [9].



Obr. 4.3: Pozice květů (barevné kruhy značí květ).

5 Realizace vybraných květenství

Cílem práce je vytvořit základní tvary květenství, tedy taková květenství, která jsou např. společná pro celé čeledi. Květenství budou vypadat tak, jak se obvykle zobrazují v odborné literatuře (viz obr. 4.2). Při realizaci květenství bude brána v úvahu monopodiálnost a sympodiálnost. Naopak akropetálnost a bazipetálnost se do popisů zahrnovat nebude, protože by při tak jednoduchých modelech nebyla patrná. Stejně tak se nebude brát v úvahu dostředivé ani odstředivé kvetení. Květy budou zobrazeny jako barevné koule nebo kruhy. Do zápisů L-systémů přibudou oproti předchozím předpisům další znaky jako ; a ,, které zvětšují a zmenšují hodnotu aktuální barvy. Základní nastavení vlastností v L-studiu, jako úhel pohledu, základní barva nebo ohnutí, bylo převzato z příložených příkladů a vypadá tedy jako na obr. 3.3.

5.1 Výběr květenství

Složená květenství nebudou vytvářena, protože se skládají z jednoduchých, a pak by došlo k tomu, že by se porovnávalo již porovnané. Vycházíme-li z botanických definic, kde jedno květenství vznikne např. zkrácením větví nebo ztloustnutím větve jiného, dojdeme k závěru, že nemá smysl tato květenství vytvářet. Již při pohledu na parametrické L-systémy je jasné, že by se měnily pouze hodnoty parametrů. Tato skutečnost nahrává teorii, že květenství ve stejné skupině lze od sebe odvodit malou změnou předpisu. Mezi taková květenství patří klásek, jehněda, palice, strboul, úbor, lichopřeslen, svazeček a klubíčko. Předpisy ostatních květenství uvedených na obr. 4.1 budou vytvořeny pomocí L-studia. Pro každé květenství se vytvoří dva předpisy, jeden pro 2D a jeden pro 3D.

5.2 Způsoby realizace

Vzhledem k tomu, že vybraných květenství je hodně, bude zde ukázaná realizace jen některých z nich. Konkrétně to budou květenství pro dva typy L-systémů, které byly při realizaci použity, a to parametrické a bezparametrické. Všechna květenství jsou vytvářena tak, aby do 6. derivace včetně bylo poznat, o které jde. U některých modelů bylo nutné omezit horní hranici počtu derivací, jelikož by se s dalšími derivacemi pouze deformovala do nedefinovaných tvarů. Tyto modely pak od určitého

kroku vypadají pořád stejně na rozdíl od ostatních, které se mohou dále rozvětlovat a splňují základní strukturu, i když už ji pak kvůli velké spletnosti nejde rozeznat¹.

Všechny modely uvedené v této práci byly nově vytvořeny, žádný nebyl převzat z dostupné literatury. Modely byly vytvářeny způsobem, aby jejich struktura odpovídala květenstvím v [9]. Květenství se vytvářela tak, že byl napsán jejich předpis a následně se na základě vykreslení jednotlivých derivací upravovaly detaily jako úhel větvení, velikost větví nebo se případně trochu pozměnila struktura, pokud model nesplňoval vlastnosti vzoru. Předpisy byly sestavovány podle vizuálního porovnání s květenstvími uváděnými v odborné literatuře. Hodně modelů se dalo získat malými úpravami z již vymodelovaných květenství (viz kap. 7).

Pro vytvoření předpisů bylo použito standardních znaků uvedených v kap. 2.2. Dále byly pro realizaci květů využity implementační možnosti L-studia a to $@O(0.3)$ pro kouli a $@o(0.3)$ pro kruh a dvě značky pro operace s odstínem barvy (viz výše). Tento program má jednu malou nevýhodu, a to tu, že pokud se v předpisech používají předdefinované proměnné, které se při překladu nahrazují skutečnou hodnotou, je nutné je oddělovat mezerami, jinak předpis nefunguje, jak by měl.

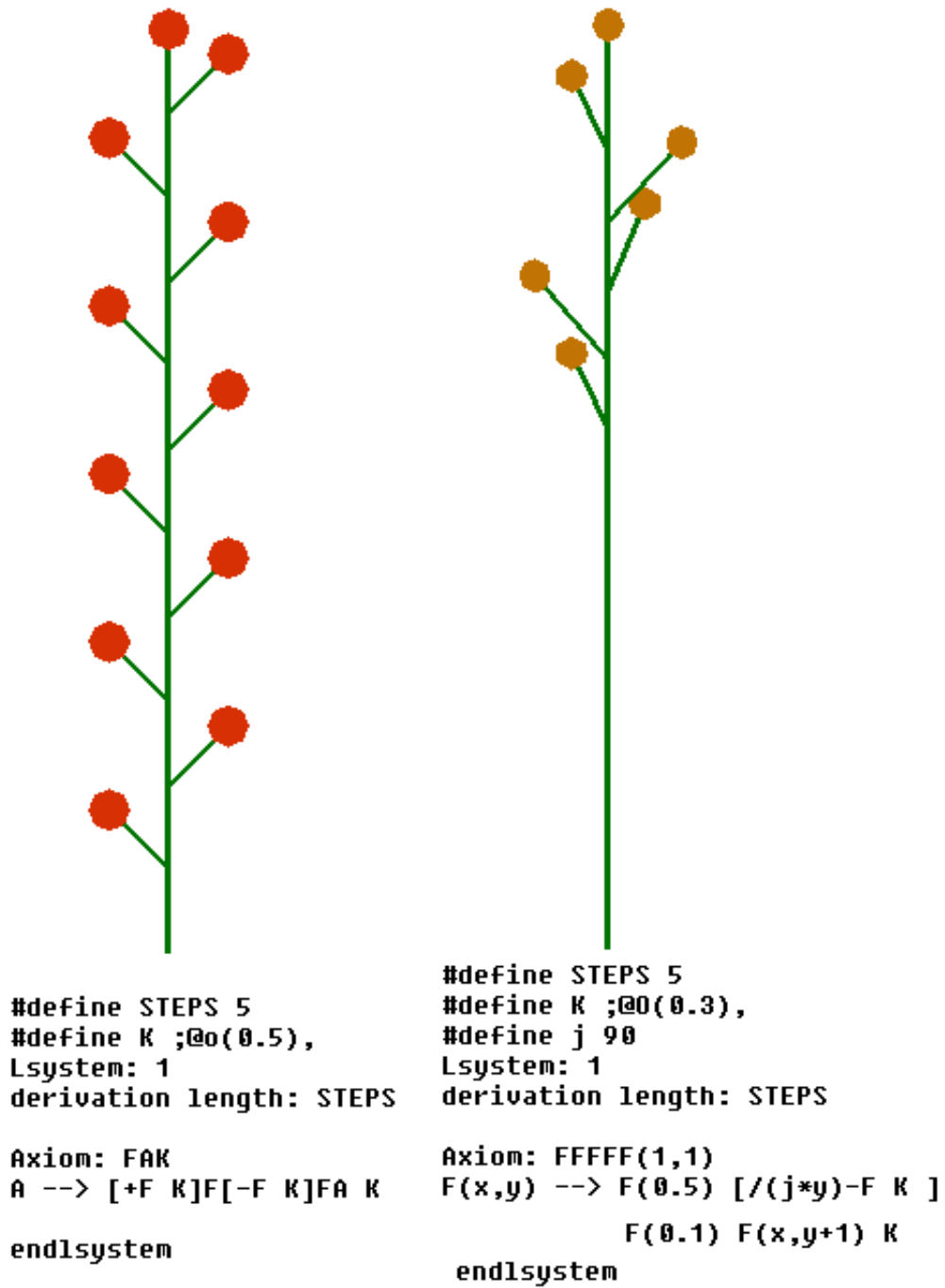
5.3 Srovnání způsobů realizace

Bezparametrické předpisy se používaly především u 2D modelů. Na první pohled jsou jednodušší. Vše se popisuje postupně přesně podle vzoru. Díky tomu je v bezparametrických předpisech vidět struktura květenství. Podíváme-li se na obr. 5.1 (a), tak je patrné, že předpis přesně kopíruje vzhled 2D hrozu.

Naproti tomu parametrické L-systémy musí být promyšleny dopředu. Díky tomu většinou umožňují kratší zápis, protože např. opakované větvení zohlední do jedné sekvence. Místo toho, aby v předpisu na obr. 5.1 (b), kde je 3D hrozen, byla čtyři větvení, je zde pouze jedno. Uvedené parametry umožní takový vzhled, jako je na obrázku. Pokud bychom změnili hodnotu j na 180, dostaneme stejný obrázek jako je (a), jen s menším počtem větví a kulatými květy. I když je tento zápis efektivnější, co se týče psaní zbytečných znaků, má jednu nevýhodu - počet derivací. Pro parametrické L-systémy je třeba daleko větší počet derivací, abychom dosáhli stejného výsledku, jako u bezparametrických. Při změně parametru j by to bylo hned o

¹V přírodě se intenzita rozvětvení řídí podle typu rostliny.

7 derivací více, abychom dostali stejný obrázek jako je 5.1 (a). Přesto shledávám parametrické L-systémy jako výhodné, především pro 3D modely.



Obr. 5.1: Srovnání bezparametrického a parametrického předpisu hroznu.

6 Možnosti porovnávání květenství

Možností porovnávání květenství by bylo jistě více. V této práci je zvolen takový postup, který se podle mě nejvíce podobá botanickým definicím, a to ten, že bude posuzováno, s jak velkou změnou jednoho květenství lze vytvořit jiné. Čili jestli popis pomocí L-systémů dokáže reprezentovat vlastnosti společné určité botanické skupině. Chceme-li mezi sebou porovnávat matematické popisy květenství, je nutné si nejdříve stanovit, co se vlastně bude porovnávat. Pokud bychom spolu porovnávali všechny možné předpisy, například hroznovitá květenství s 3D modely, nic bychom se nedozvěděli. Proto budou matematické popisy rozděleny do skupin, které odpovídají botanickému dělení v [9]. Toto rozdělení je zkráceně vyobrazeno na obr. 6.1 a úplně pak na obr. 4.1 na str. 20. Stejně jako zde (viz obr. 4.1), i ve vlastním porovnání budou zahrnuty jednotlivé typy květenství.



Obr. 6.1: Skupiny jednoduchých květenství podle [9].

Vzhledem k tomu, že složená květenství se skládají z jednoduchých, nemělo by velký význam porovnávat už jednou porovnané, a tak se zaměřím na jednoduchá květenství. Porovnávání bude probíhat od nejdetailejších skupin. To znamená, že se mezi sebou porovnají obměny skupiny hroznů, lat a jiných hroznovitých a bude posouzeno, jak velká změna musí nastat, abychom z jednoho květenství dostali jiné. U již zmíněných obměn lat by tato změna měla být velmi malá (jiné natočení větví), naproti tomu při porovnání např. hroznu a vidlanu bychom neměli nalézt téměř nic společného (bude provedena velká změna).

Zrealizovány byly též 3D modely. Stejně jako u složených květenství, i zde by bylo zbytečné porovnávat květenství stejným způsobem, jako u 2D modelů, tedy po botanických skupinách. 3D modely proto budou porovnávány s jejich protějšky ve 2D. Vzhledem k tomu, že rozdíl oproti 2D by měl být většinou jen ten, že větve porostou i po méně než 180°, měly by být změny velice malé. Konkrétně pak např. pouhá změna parametru.

7 Porovnávání 2D modelů květenství

V této kapitole budou mezi sebou porovnány modely 2D květenství. Jak již bylo zmíněno výše, rozdělení do tematických skupin bude provedeno podle obr. 4.1 na str. 20. Znaký, které zde budou použity pro předpisy květenství, jsou stejné jako v kap. 2.2. Dále je zde použita sekvence znaků pro květ ($@o(0.5)$) a znaky pro změnu barvy (;,).

7.1 Hroznovitě

7.1.1 Hroznovitě

Obecně podle [9] jsou květenství tohoto typu buď zkrácená nebo prodloužená a postranní větve nejsou rozvětvené¹.

Hrozen a okolík

Hrozen patří mezi jednodušší květenství. Jeho celý bezparametrický předpis je 7.1². Model tohoto předpisu je na obr. 7.1 a reálné květenství na obr. 7.2. Hrozen má několik obměn, které by z něj měly vycházet (párový, přeslenitý a jednostranný (obr. 7.10)).

...
derivation length: STEPS
Axiom: F A K
A \rightarrow [+F K]F[-F K]FA K
endsystem



(7.1)

Obr. 7.1: Hrozen.



Obr. 7.2: Trnovník akát.

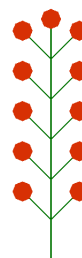
¹Pro určení reálných rostlin byla použita [4].

²V předpisech pravidel je uváděna šipka " \rightarrow ", která je složena ze dvou pomlček.

Proto budou všechny varianty porovnávány se základním hroznem. U dalších předpisů hroznů budou uvedeny pouze axiomy a přepisovací pravidla, jelikož zbytek předpisu zůstává stejný.

Jako první srovnáme se základním hroznem hrozen párový, jehož předpis je 7.2 a model je vyobrazen na obr. 7.3. Podíváme-li se na vyobrazení těchto dvou hroznů, zjistíme, že se liší umístěním větví. V gramatice se tento posun projeví smazáním jednoho písmene (F udává vykreslení části mezi větvenými). Tím dosáhneme párového hroznu a stačí k tomu velice malá změna původního květenství (zde hroznu).

Axiom: F A K
 $A \rightarrow [+F K][-F K]F A K$



(7.2) Obr. 7.3: Hrozen párový.

Jako další se bude porovnávat hrozen s jednostranným hroznem. Zobrazení na obr. 7.10 jasně ukazuje, že rozdíl mezi těmito dvěma květenstvími je ten, že jednomu chybí na jedné straně větve. Změna ze základního hroznu spočívá v odstranění větvení na jednu stranu. Tato operace je o něco málo složitější než u párového hroznu. Pro získání jednostranného hroznu se odstraní celý obsah jednoho páru závorek včetně závorek samotných (viz předpis 7.3). Z praktického hlediska je jedno, na které straně květy porostou, já jsem zvolila pravou stranu (viz obr. 7.4). Opět nám stačila malá změna pro získání nového květenství. Reálné květenství je na obr. 7.6.

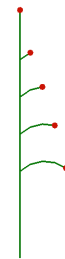
Předpis 7.3 je zjednodušený. Ve skutečnosti se květy většinou ohýbají směrem dolů a tak se i zobrazují. Tuto skutečnost vystihuje předpis 7.4 a obr. 7.5. Na rozdíl od předešlých předpisů, zde je použito parametrických L-systémů. Parametr p je nastaven na 20. Dále je zde zastavovací podmínka. Bez ní by se větve s přibývajícími derivacemi více a více stáčely a časem tvořily kola. Kvůli parametrům je hůře patrné, že s jednodušším předpisem 7.3 má téměř stejný druhý řádek. Třetí řádek je úplně nový, vytváří samotné větve a zajišťuje jejich náklon směrem dolů.

Axiom: F A K
 A \rightarrow [-F K]F A K



(7.3) Obr. 7.4: Hrozen jednostranný .

#define e 6 /* delka vetvi*/
 ...
 Axiom: FFFFF(1,1)
 F(x,y) \rightarrow FFF [-B(x,0)] F(x,0) K
 B(x,y): y < e \rightarrow -(p)F B(x,y+1) K



(7.4) Obr. 7.5: Hrozen jednostranný.



Obr. 7.6: Konvalinka vonná.

Tento předpis by bylo lepší odvozovat od jednostranného hroznu než od hroznu. I když zde byly použity parametry (kvůli výraznému zjednodušení tvaru předpisu), stále je vidět podobnost s jednodušším předpisem jednostranného hroznu.

Posledním typem květenství hroznu je přeslenitý hrozen (viz předpis 7.5). Model je na obr. 7.7 a reálná rostlina na 7.8. I zde bylo použito parametrických L-systémů s parametrem u nastaveným na 13.

/*58 / uhel, do kterého se tvoří vetve v
patre*/

...

Axiom: FF(1,0)

$F(x,y) \rightarrow D(1,10)F(1.3)F(0,y) K$

$D(x,y): y < 58 \rightarrow [(y)A(x,y+u)]$

$[-(y)A(x,y+u)]D(x,y+u)$

$A(x,y) \rightarrow F K$

(7.5)



Obr. 7.7: Hrozen přeslenitý.

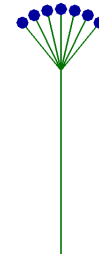


Obr. 7.8: Dřín obecný.

Pro vytvoření tohoto předpisu nám jednoduchá úprava z předešlých květenství nebude stačit. S menší úpravou by se dal použít druhý řádek z parametrického předpisu jednostranného hroznu. Třetí řádek předpisu nenajdeme pod variantami hroznu, je úplně jiný. Prozkoumáme-li ale další typy květenství, která se vyskytují v této skupině, zjistíme, že jedno je nápadně podobné. Jedná se o okolík (viz obr. 7.9). Přeslenitý hrozen jsou vlastně okolíky uspořádané nad sebou a stejně tak je sestaven i předpis. Při pohledu na předpis okolíku 7.6 je jasně vidět, že druhý řádek je úplně stejný, jako třetí v předpisu 7.5. Dokonce i parametr u je stejně nastaven na 13.

Axiom: FFFF(0,0)
 $F(x,y): y < 58 \rightarrow [+ (y)A(x,y+u)] [-$
 $(y)A(x,y+u)]F(x,y+u)$
 $A(x,y) \rightarrow F K$

(7.6)



Obr. 7.9: Okolík.

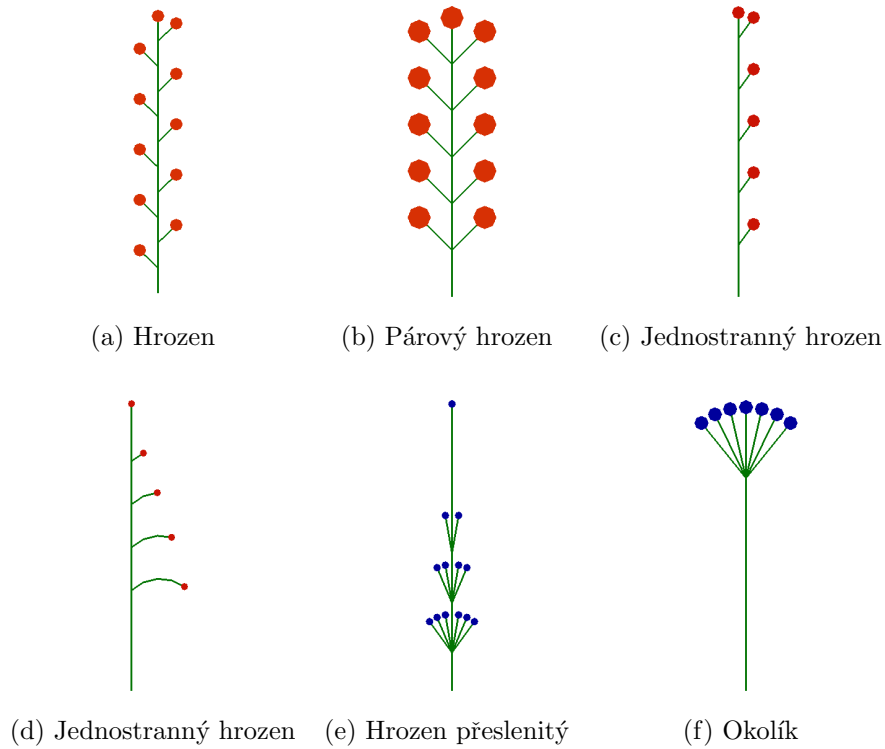
Přeslenitý hrozen je zvláštní tím, že k jeho složení slouží dvě květenství ze stejné skupiny. Pokud by se jeho složení rozdělilo na dvě části, pak pro pravidlo převzaté z okolíku nebyla provedena žádná změna a pro pravidlo z jednostranného hroznu byla provedena jen malá změna. Květenství, které na první pohled vypadalo úplně jinak, má nakonec velice úzkou souvislost s jinými ze skupiny.

Na obr. 7.10 jsou vyobrazeny všechny výše zmíněné obměny hroznu pro lepší porovnání mezi sebou.

Klas

Klas je další květenství, které má více obměn. Na rozdíl od hroznu ale nejsou tak velké. Spočívají například v silném zkrácení klasu (klásek), ztloustnutí vřetene (palice) nebo opadavosti (jehněda). Takové rozdíly by na jednoduchých modelech nebyly patrné. Zhotoven byl proto pouze základní klas (předpis 7.7).

V předpisu jsou zahrnuty listeny, jak je vidět na obr. 7.11. Je to kvůli lepší názornosti. Stejně tak jsou květy umístěny na krátkých stopkách (ve skutečnosti jsou přisedlé), jinak by vznikla pouze úsečka s kolečky. I přes tyto drobné úpravy kvůli lepší názornosti, se květenství dá velice lehce odvodit od výše zmíněného hroznu (viz předpis 7.1). Drobné úpravy tedy spočívají pouze ve zkrácení postranních větví a umístěním listenů. Reálné květenství klasu je na obr. 7.12.



Obr. 7.10: Typy hroznovitých květenství.

```
#define STEPS 5
#define l (85)F(0.4)
#define K ,@o(0.3);
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FAK
A -> [+F(0.2)K][+l]F[-F(0.2)K][-l]FA K
endlsystem
```

(7.7)



Obr. 7.11: Klas.



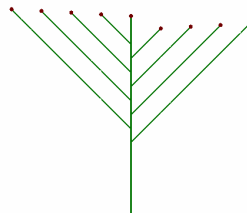
Obr. 7.12: Jitrocel kopinatý.

Chocholík

Toto hroznovité květenství je zvláštní tím, že jeho větve se postupně zkracují, a tak všechny dorůstají do přibližně stejné výšky. Jedná se vlastně o upravený hrozen s prodlouženými větvemi. Této úvaze odpovídá i předpis pro chocholík (viz 7.8).

Předpis je zde omezen na axiom a prepisovací pravidla, jelikož zbytek je stejný jako v předpisu hroznu (7.1). Stejně tak se z hroznu dá převzít první pravidlo. Nutnou úpravu zde představuje délka větví, kterou obstará druhé pravidlo předpisu. Opět se vychází ze základního hroznu a nebyla provedena velká změna k dosažení nového květenství. Model zhotovený podle předpisu 7.8 je na obr. 7.13 a reálná rostlina s tímto typem květenství pak na obr. 7.14.

Axiom: FFFFH
 H \rightarrow F[-A]F[+A]H K
 A \rightarrow FFFA K



(7.8) Obr. 7.13: Chocholík.

Obr. 7.14: Kalina tušalaj.

V této skupině je jasně vidět, že jednotlivá květenství se od sebe dají odvozovat za použití nepatrných změn. Jediné květenství, které trochu vybočuje, je okolík. Ten má sice naprosto jiný předpis než hrozen, ale pro použití na předpis přeslenitého hroznu je ideální. L-systémy se zde ukazují jako velice schopné.

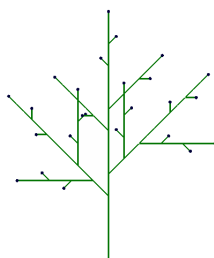
7.1.2 Latovitě

Latovitá květenství se vyznačují tím, že mají prodlouženou hlavní osu a rozvětvené postranní větve [9]. Díky většímu větvení bylo nutno u některých modelů omezit počet zobrazovaných derivací. Květenství jsou pak příliš spleťtá, než aby mohla být rozpoznána, a navíc i ztrácejí původní strukturu. Ani v přírodě se květenství nerozvíjejí pořád pryč. U každého rostlinného druhu je jiný počet rozvětvení, který se výrazně nepřekračuje.

Lata

Stejně jako hrozen, i lata má mnoho variant. Se základní latou (viz předpis 7.9), jejíž model je uveden na obr. 7.15) a reálná rostlina na obr. 7.16, budou porovnány lavy přeslenitá (viz obr. 7.25 (e)), klubkatá (viz obr. 7.25 (d)), jednostranná (viz obr. 7.25 (f)), stažená (viz obr. 7.25 (c)), hroznovitá (viz obr. 7.25 (g)) a vstříčná (viz obr. 7.25 (b)). Přeslenitá lata je vyobrazena ve druhé derivaci, jednostranná v páté a ostatní ve třetí.

Axiom: FFFFFFA(0) K
 A(x): $x < 5 \rightarrow FF$
 $[+A(x+j) K]FF$
 $[-A(x+j) K]FFA(x+j)$
 endsystem



(7.9)

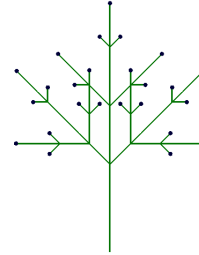
Obr. 7.15: Lata.

Obr. 7.16: Šeřík obecný.

Stejně jako u hroznů, i zde budou u dalších předpisů uváděny pouze axiomy a prepisovací pravidla. Z lavy se dá velice lehkou úpravou získat vstříčná lata. Jedná se o smazání dvou písmen, která tvoří střídání větví u lavy. Předpis pro vstříčnou lavy je pak 7.10. Tedy téměř identický s předpisem 7.9. Model vygenerovaný z předpisu je na obr. 7.17 a reálná rostlina na 7.18.

$$\begin{aligned} \text{Axiom: } & \text{FFFFA}(0) \text{ K } A(x): x < 5 \rightarrow \text{FF} \\ & [+A(x+j) \text{ K}][-A(x+j) \text{ K}] \text{ FFA}(x+j) \end{aligned}$$

(7.10)



Obr. 7.17: Lata vstříčná.

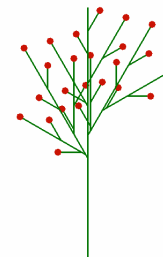


Obr. 7.18: Ptačí zob obecný.

Mezi další typy laty patří stažená lata. U tohoto typu došlo ke zkrácení bazálních částí větví, a proto bude lehké tento předpis (7.11) získat. Jediná změna spočívá ve zkrácení první větve ($F(0.2)$), jinak je předpis stejný jako 7.9. Toto květenství je ukázkou jednoho z těch, která byla vyřazena, protože by se u nich měnily pouze parametry. To nelze považovat ani za malou změnu. Model je uveden na obr. 7.19.

$$\begin{aligned} \text{Axiom: } & \text{FFFFA}(0) \\ A(x): & x < 5 \rightarrow F(0.2)[+A(x+j)F \text{ K}]F \\ & [-A(x+j)F \text{ K}]FA(x+j) \end{aligned}$$

(7.11)

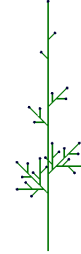


Obr. 7.19: Lata stažená.

Klubkatá lata patří mezi další typ lat, který se od původní laty liší jiným poměrem délky větví. Tentokrát došlo ke zkrácení všech postranních větví na rozdíl od stažené laty, kde se zkracuje pouze bazální část. Předpis 7.12 (viz model na obr. 7.20) vypadá složitější než předchozí předpisy, stále v něm ale můžeme nalézt původní latu. První řádek pravidel představuje hlavní osu a je stejný jako u laty (viz předpis 7.9). Druhý řádek pravidel tvoří zkrácené větve. Větve jsou stejné, jako u laty, jen jsou celkově zkráceny, proto je tento řádek stejný jako první, jen se změnou délkou větví. Rozdíl mezi staženou a klubkatou latou lze porovnat na obr. 7.25 (c) a (d).

$$\begin{aligned}
 &\text{Axiom: FFFFA}(0) \text{ K} \\
 &\text{A}(x): x < 5 \rightarrow \text{FF}[+\text{B}(x+j) \text{ K}]\text{FF} \\
 &\quad [-\text{B}(x+j) \text{ K}]\text{FFFA}(x+j) \\
 &\text{B}(x): x < 5 \rightarrow \text{F}(1)[+\text{B}(x+j) \text{ K}]\text{F}(1) \\
 &\quad [-\text{B}(x+j) \text{ K}]\text{F}(1)\text{B}(x+j)
 \end{aligned}$$

(7.12)

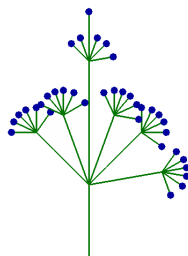


Obr. 7.20: Lata klubkatá.

Přeslenitá lata se od ostatních na první pohled liší (viz 7.25 (e)) a vypadá jako poskládaná z okolíků (viz 7.10 (f)). Tento postup by jistě byl možný, ale pak bychom se nedostali do 6. derivací, které jsou dány, aby bylo poznat, o jaké květenství se jedná. Proto byl zvolen postup, který je zobrazen v předpisu 7.13. S původním předpisem laty má společnou část řetězce, přesněji dvě větve. Ostatní větve, rostoucí ze stejného místa, musely být doplněny. K tomu slouží parametr u nastavený na 20 a určující úhel větvení. První řádek pravidel opět představuje hlavní osu a druhý větve. Změny zde provedené jsou již větší než u předchozích typů lat. Přesto je základní struktura stále stejná, jen zde přibýly přeslenité větve (viz obr. 7.21).

$$\begin{aligned}
 &\text{Axiom: A}(0) \\
 &\text{A}(x): x < 3 \rightarrow \text{FFF}[+\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}][-\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}][+(\text{u})\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}][-(\text{u})\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}] \\
 &\quad [-(80)\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}]\text{FFA}(x+j) \text{ K} \\
 &\text{B}(x): x < 3 \rightarrow \text{FFF}[+\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}][-\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}][+(\text{u})\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}][-(\text{u})\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}] \\
 &\quad [-(80)\text{B}(x+j)\text{F} \text{ K}]\text{B}(x+j)
 \end{aligned}$$

(7.13)



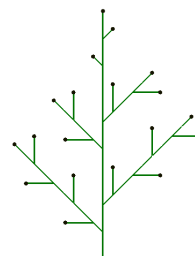
Obr. 7.21: Lata přeslenitá.

Hroznovitá lata neboli také hrozen hroznů (viz obr. 7.22) by se dala chápat jako dvě květenství spojená dohromady. Hlavní osa je tvořena latou a větve hrozny. Stejně tak se dá sestavit i předpis (viz 7.14). Jak je vidět, první pravidlo je převzaté z latory (viz 7.9) a druhé z hroznu (viz 7.1). Na hroznovité latě lze demonstrovat snadnou odvoditelnost i mezi dvěma květenstvími z různých skupin. Hrozen a lata se liší jen o rozvětvenost postranních větví, což je velice dobře vidět na tomto předpisu.

Axiom: A

A \rightarrow FF[+CF K]FF[-CF K]FFA K

C \rightarrow F[+FF K]FF[-FF K]F C



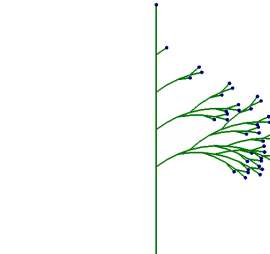
(7.14)

Obr. 7.22: Lata hroznovitá.

Poslední ze skupiny je jednostranná lata (viz předpis 7.15 a obr. 7.23). S původní latou má společnou pouze část prvního pravidla, přesněji větvení na jednu stranu. Druhý řádek představuje větvení a třetí samotný vzhled větve. Větve se opět rozvětvují do lator, a proto zde může být použito pravidlo z latory. Kvůli stočení na stranu je zde více parametrů, a tak podobnost s předpisem 7.9 není na první pohled patrná. Květenství se však dá bez problémů odvodit z latory. Reálná rostlina je na obr. 7.24.

$$\begin{aligned}
 &\text{Axiom: FFFFF(1,1)} \\
 &F(x,y) \rightarrow FFF[-B(x,y)]F(x,y+h) K \\
 &B(x,y) \rightarrow -(p)FD(x,y) K \\
 &D(x,y) \rightarrow -(o)F[-(p)FD(x,y) K]-(o)F \\
 &\quad [+ (p)FD(x,y) K]-(o)FD(x,y+h) K
 \end{aligned}$$

(7.15)

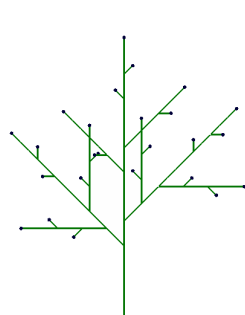


Obr. 7.23: Lata jednostranná.

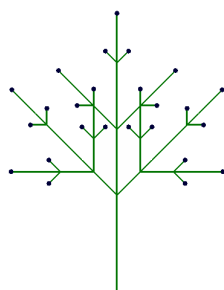


Obr. 7.24: Kavyl vláskovitý.

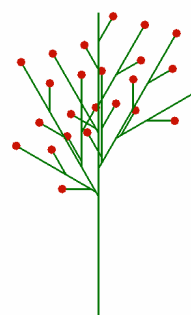
U lat bylo hledání společných znaků složitější, protože jsou celkově rozvětvenější. I přes to se ale jednotlivé typy lat dají bez problémů odvodit od základní lavy (viz obr. 7.25). L-systémy dokáží vystihnout i vlastnosti složitějších květenství, jako jsou právě lavy, a díky tomu je lze mezi sebou odvozovat pomocí malých změn. Dalším důležitým faktorem je i vystižení vzájemných znaků mezi dvěma skupinami hroznovitých.



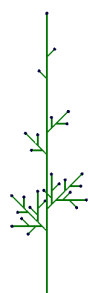
(a) Lata



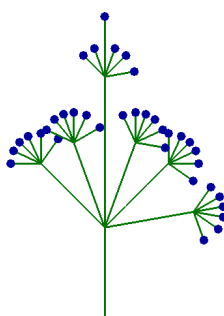
(b) Vstříčná lata



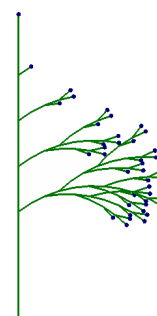
(c) Stažená lata



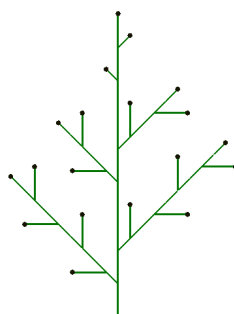
(d) Klubkatá lata



(e) Přeslenitá lata



(f) Jednostranná lata



(g) Hroznovitá lata

Obr. 7.25: Modely lat.

Kytka

Jiný název pro kytku je chocholičnatá lata (viz obr. 7.26 (a)), to znamená, že postranní větve se postupně prodlužují (u středu jsou nejkratší) a díky tomu jsou všechny květy přibližně ve stejné výšce. První řádek předpisu 7.16 můžeme nalézt hned ve dvou květenstvích, a to v chocholíku (viz 7.8) a v latě (viz 7.9).

Axiom: FFFFH(0)

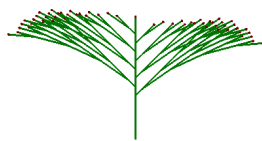
H(x): $x < 5 \rightarrow F[-A(x)] F[+B(x)]H(x+1) K$

A(x): $x < 5 \rightarrow F[-(10)FFFA(x+1) K]FFA(x+1) K$

B(x): $x < 5 \rightarrow F[+(10)FFFB(x+1) K]FFB(x+1) K$

(7.16)

Druhé a třetí pravidlo je možné převzít z chocholíku s tím, že se musí zajistit další větvení. Reálné květenství je uvedeno na obr. 7.26 (b). U tohoto květenství došlo ke zvláštnímu jevu. Mohlo by být celé odvozeno z jiné skupiny a stačí k tomu jen nepatrné změny. Další důkaz úzké souvislosti jak mezi jednotlivými předpisy tak mezi reálnými květenstvími.



(a) Model kytky



(b) Javor mléč

Obr. 7.26: Vymodelované a reálné květenství kytky.

Lichoklas

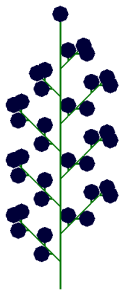
Lichoklas je stažená lata složená ze zkrácených klásků (viz obr. 7.27). Podíváme-li se na její předpis 7.17, tak vidíme, že první pravidlo je totožné s pravidlem pro

latu (viz předpis 7.9), pouze zde došlo ke zkrácení větví pomocí parametru u . Druhé pravidlo představuje samotné větve, které mají tvar klásků, tedy zkrácený a redukováný klas. V tomto případě lze použít pravidlo z předpisu klasu (viz 7.7) a pouze upravit délku větví pomocí parametru l .

```
#define l 0.2
#define u 0.5
#define p 2
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: A(0)
A(x) -> F(u)[+C(0)]F(u)[-C(x)]A(0) K
C(x): x < p -> F(l)[+F(l) K]F(l)[-F(l) K]F(l)C(x+1) K
```

(7.17)

Lichoklas tedy představuje další květenství, které lze odvodit ze dvou skupin hroznovitých a tím jen dokazuje, že L-systémy dokáží vystihnout vlastnosti v rámci větších celků.



(a) Model lichoklasu



(b) Divizna černá

Obr. 7.27: Vymodelované a reálné květenství lichoklasu.

7.2 Vrcholičnaté

Vrcholičnatá květenství jsou druhou velkou skupinou, která se od hroznovitých liší tím, že hlavní osa brzy končí svůj růst a postranní větve ji přerůstají [9].

7.2.1 Latovitě

U vrcholičnatých latovitých květenství se postranní větve dále dělí [9].

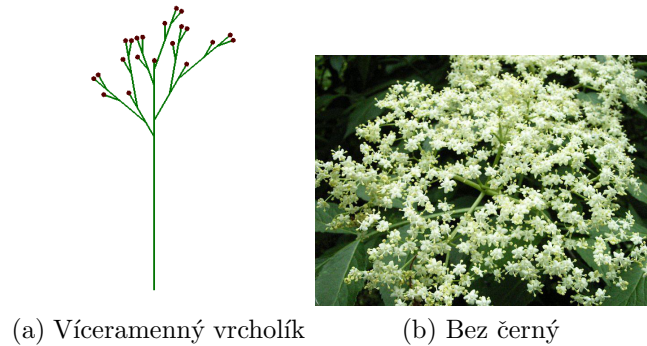
Vrcholík a kružel

Víceramenný vrcholík se vyznačuje tím, že postranní větve přerůstají hlavní osu, která končí terminálním květem. Model vzniklý podle předpisu 7.18 je na obr. 7.28 (a) a jedná se o druhou derivaci. Tento předpis je již složitější hlavně kvůli množství parametrů, ale v axiomu i v dalších dvou pravidlech se dá najít předpis laty 7.9, který je obohacen o ukončení větví květem. Odvození od laty není již tak lehké jako v předešlých případech, je zde potřeba větší změna. Z laty zde vlastně zůstalo pouze střídavé větvení i postranních větví. Větší odlišnost je způsobena hlavně tím, že vrcholík je v jiné skupině než lata. Reálné květenství je na obr. 7.28 (b).

```
#define STEPS 4
#define j 1
#define u 20
#define K ;@o(0.3),
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFFFFFFFFF[+(30) D(x,y)]F[-(30)F(0.8)D(x,y+j)]F(1,1)
F(x,y) -> FF[+(u)D(x,y) K]F[-(u)F(0.8)D(x,y+j) K][F(0.5);@o(0.3)]
D(x,y) -> F[+(u)FD(x,y) K]F[-(u)FD(x,y+j) K]F K
endlsystem
```

(7.18)

Další květenství, které je ve skupině s vrcholíkem, je kružel. Jedná se o typ vrcholíku, kde dolní větve přerůstají větve horní a totéž se děje u větví postranních



Obr. 7.28: Vymodelované a reálné květenství vrcholíku.

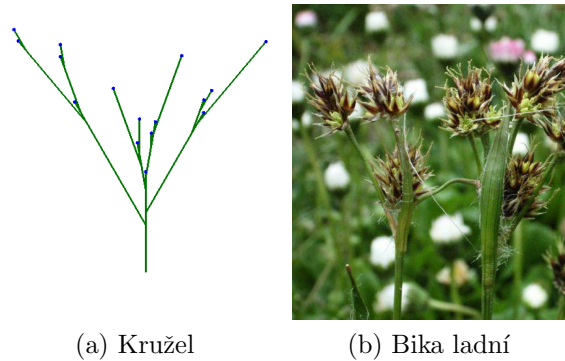
[9]. Základem předpisu 7.19, který je vyobrazen na obr. 7.29 (a) ve 4. derivaci, je tedy vrcholík. Z jeho předpisu lze převzít axiom a první a dvě poslední pravidla. Zbytek pravidel zajišťuje zmíněné přerůstání větví. Toto květenství bylo z části převzato a z části úplně nově vytvořeno. Malá změna tedy na vytvoření nestačila. Reálná rostlina na obr. 7.29 (b) představuje kružel složený z hustých klasů.

Axiom: FFFFFFFFFF[+(30)FFFB(x,y)]F[-(30)F(0.8)E(x,y+j)]F(1,1)
 F(x,y) -> FF[+(u)H(x,y) K]F[-(u)F(0.8)L(x,y+j) K][F(0.5);@o(0.3)]
 H(x,y) -> FF D(x,y+j)
 L(x,y) -> FF W(x,y+j)
 B(x,y) -> FFFFFFFF D(x,y+j) K
 E(x,y) -> FFFFFFFF W(x,y+j) K
 R(x,y) -> FD(x,y+j) K
 D(x,y) -> [(u)B(x,y)]F[-(u)FF R(x,y+j) K]F K
 W(x,y) -> [(u)R(x,y)]F[-(u) E(x,y+j)]F K

(7.19)

7.2.2 Vidlanovitě

U vidlanovitých bude nutno omezit počet derivací, jelikož podle [9] jsou postranní větve v omezeném počtu.



Obr. 7.29: Vymodelované a reálné květenství kruželu.

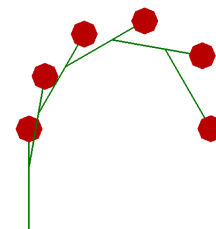
Jednoramenný vrcholík

Pro květenství jednoramenného vrcholíku je typické, že se ze dvou vstřícných větví vyvíjí jen jedna [9]. Podle toho, která větev a jakým způsobem se vyvine, rozlišujeme mezi vijanem, šroubelem, srpkem a vějířkem. Všechny budou dále rozebrány. Již z botanického popisu vyplývá, že květenství budou rozdílná od hroznovitých, ale i od vrcholičnatých latovitých. Proto budou květenství jednoramenného vrcholíku porovnána pouze mezi sebou.

U vijanu se větve vyvíjejí střídavě na obou stranách a u šroubelu rostou vždy na jedné straně. Tento rozdíl však na 2D modelu nelze zachytit, a tak předpis 7.20 vystihuje jak vijan, tak šroubel. Rozdíl mezi těmito květenstvími je patrný až na 3D modelech (viz kap. 8). Model vijanu (šroubelu) je na obr. 7.30. Reálné květenství na obr. 7.31 (a) zobrazuje vijan a obr. 7.31 (b) šroubel.

```
#define STEPS 5
#define K ;@o(0.5),
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: F(1.2)[F(0.7)K]A(10)
A(x): x < 70 -> -(x)F[F(0.7) K]A(x+10)
endlsystem
```

(7.20)



Obr. 7.30: Vijan.



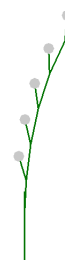
(a) Kostival lékařský (vijan) (b) Třezalka tečkovaná (šroubel)

Obr. 7.31: Květenství reálných jednostranných vrcholků.

Srpek je velice podobný předchozím dvěma květenstvím. Hlavní rozdíl je opět patrný až ve 3D modelu, kde květní stopky rostou v jedné řadě. Od předešlých květenství se tedy liší tím, že se daleko méně stáčí. To je patrné i na předpisu 7.21 a na jeho zobrazení na obr. 7.32. Předpis je celý odvozen od vijanu. Jediný rozdíl představují změněné parametry reprezentující sklon větví. Pro získání srpku byla tedy provedena pouze nepatrná změna.

$$\begin{aligned} \text{Axiom: } & F(1.2)[F(0.7)]A(3) \\ A(x): & x < 13 \rightarrow -(x)F[+(20)F(0.7) \\ & K]A(x+1) \end{aligned}$$

(7.21)



Obr. 7.32: Srpek.

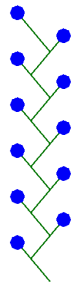
Poslední květenství v této skupině je vějířek. Od statních se liší sice nejvíce, ale stále stačí malá změna pro získání jeho předpisu 7.22. Jak je vidět, opět vychází z vijanu. Kromě pozměněných parametrů je zde navíc ještě jedna větev nebo spíše konec větve s květem (viz obr. 7.33). Reálná rostlina je na obr. 7.34.

Květenství této skupiny si jsou velice podobná. Dokazuje to i fakt, že z jednoho předpisu lze malými úpravami odvodit další tři. Podobnost vijanu a šroubelu je

extrémní, v tomto případě 2D model na vystižení rozdílů nestačí. Modely květenství jsou všechny v 5. derivaci.

$$\begin{aligned} \text{Axiom: } & +(u)F[F(0.7) K]A(10) \\ A(x) \rightarrow & -(u*2)F[F(0.7) K]+(u*2)F \\ & [F(0.7) K]A(x) \end{aligned}$$

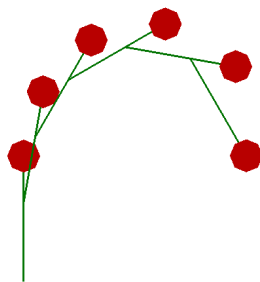
(7.22)



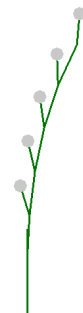
Obr. 7.33: Vějířek.



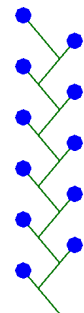
Obr. 7.34: Kosatec německý.



(a) Vijan



(b) Srpek



(c) Vějířek

Obr. 7.35: Modely jednoramenného vrcholíku.

Vidlan

Vidlan neboli dvouramenný vrcholík, jehož předpis je 7.23, se dá odvodit od vrcholíku (viz 7.18). Od něj se liší pouze v tom, že větve nejsou střídavé, ale vstřícné (viz obr. 7.36 (a)). První pravidlo je tedy převzato z vrcholíku a zbylá dvě pravidla zajišťují pouze správné vykreslení květů. Je zde potřeba jen malá změna. Předpis vidlanu by se dal celý odvodit od vrcholíku s tím, že bychom smazali pouze 3 písmena, která zajišťují větvení. Tento předpis (7.23) je však o něco kratší a také přehlednější. Reálná rostlina je uvedena na obr. 7.36 (b).

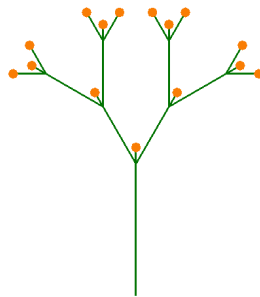
Axiom: FFF(1,1)

$F(x,y) \rightarrow FF[+(u)F(x,y+1)[A(y)][B(y)]][-(u)F(x,y+1)[A(y)][B(y)]] [F(0.5) K]$

$A(y): y == STEPS-1 \rightarrow +(30)f K$

$B(y): y == STEPS-1 \rightarrow -(30)f K$

(7.23)



(a) Vidlan



(b) Smolníčka obecná

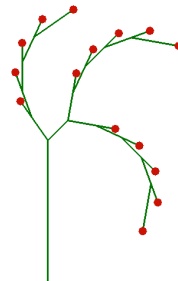
Obr. 7.36: Reálné a vymodelované květenství vidlanu.

Dvojvijan

Základ dvojvijanu se nepodobá žádnému již zmíněnému květenství, a proto musel být nově vytvořen (viz 7.24). První pravidlo, které představuje zahnutí větví (viz obr. 7.37), je možné převzít z květenství jednoramenného vrcholíku, například srpku (viz předpis 7.21). První pravidla v obou předpisech jsou stejná, až na stočení, které však nepředstavuje velkou změnu. Axiom byl celý nově vytvořen, a tak u tohoto květenství musela nastat velká změna oproti již zhotoveným květenstvím.

$$\begin{aligned} \text{Axiom: } & F(5)[+A(10)][-F[+A(10)]-A(10)] \\ \text{A}(x): & x < 40 \rightarrow -(x)F[F(0.7) K]A(x+5) \end{aligned}$$

(7.24)



Obr. 7.37: Dvojvijan.

7.3 Shrnutí

Bylo zde porovnáno 24 květenství ze všech skupin, do kterých se jednoduchá květenství dělí. V každé z těchto skupin bylo možné od sebe malými změnami odvodit jednotlivá květenství. V některých případech se květenství dala odvodit od jiných z druhé skupiny. L-systémy tedy dokáží vystihnout společné vlastnosti jednoduchých 2D modelů květenství.

8 Vzájemná porovnání 2D a 3D modelů

Porovnání společných znaků květenství bylo provedeno již v předešlé kapitole. Tato část se bude zabývat vzájemným porovnáním 2D a 3D modelů, a proto zde nebudou znovu uváděny obecné vlastnosti pro jednotlivá květenství a jejich skupiny. Zjišťováno bude, na kolik se liší předělaná květenství od prostorového zobrazení, jestli opět stačí malá změna pro získání nového květenství, a tedy zda L-systémy opět dokáží tyto změny zachytit. Květenství budou znovu rozčleněna do botanických skupin podle [9].

8.1 Hroznovitě

8.1.1 Hroznovitě

Hrozen

I zde budou porovnány obměny hroznu stejně jako v kap. 7.1.1. Předpis 3D hroznu 8.1 je na rozdíl od 2D (viz 7.1) parametrický. Už to přináší určitou změnu, a to především v modelování větví. Zde nám stačí pouze jedna větěv, která podle parametru roste pokaždé o jiný daný úhel. Tím dosáhneme zobecnění původního předpisu. Tento předpis je natolik obecný, že pokud změním parametr j na hodnotu 180, dostáváme model 2D hroznu jako je na obr. 7.10 (a), pouze s menším počtem větví (viz obr. 8.1).

```
/*90 uhel vetveni */  
Axiom: FFFFF(1,1)  
F(x,y) -> F(0.5) [/(90*y)-F K ]F(0.1)  
F(x,y+1) K
```



(8.1)

Obr. 8.1: Hrozen 3D.

Jednostranný hrozen nepředstavuje pro 3D model žádnou změnu, je naprosto totožný s 2D modelem. Jediná malá změna spočívá v zobrazení květů. Ve 2D jsou zobrazeny jako kruhy a ve 3D jako koule. Předpis i vyobrazení lze proto shlédnout u jednostranného hroznů 2D (viz kap. 7).

Stejný případ nastává i u párového hroznů. Jediný rozdíl mezi oběma zobrazeními je předpis pro květ. Předpis i vyobrazené květenství jsou v kap. 7.

Přeslenitý 3D hrozen vychází z 2D předpisu. Stejně jako tam (viz 7.5), je i zde (viz 8.2) každá strana dělána zvlášť. U 3D modelu je to hlavně proto, že lze omezit počet větví, které se mají vykreslit, i úhel, po kterém se mají vykreslovat. Byla zde použita pouze malá změna. Model lze vidět na obr. 8.2.

Axiom: FFFFF(1,1)
 $F(x,y) \rightarrow F(0.4) A(0)B(1) FF(x,y+1) K$
 $A(y) : y < 4 \rightarrow [\backslash(60*y)-FF K] A(y+1)$
 $B(y) : y < 4 \rightarrow [/(60*y)-FF K] B(y+1)$



(8.2) Obr. 8.2: Hrozen přeslenitý 3D.

Podobnost 2D a 3D hroznů je ohromující. Předpisy se nemění buď vůbec nebo jen velice málo.

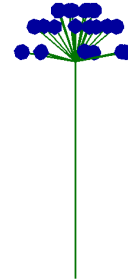
Okolík

Při sestavování 2D předpisu okolíku (viz 7.6) byl problém nalézt vhodné květenství. 3D předpis není o moc lepší, na první pohled je složitý a plný parametrů. Parametry zajišťují natáčení větví kolem dokola hlavní osy a směrem dolů (viz obr. 8.3). 3D předpis vychází z jednoduššího 2D předpisu. Má o jednu větev méně, ale mnohem více parametrů. Pro jeho získání nestačí pouze malá změna. 3D okolík navíc jako jediné květenství nesplňuje 6. derivaci, tj. musí být provedeno daleko více derivací, aby bylo jasné, o jaké květenství se jedná (viz předpis 8.3).

```

/*nastaveni parametru h 50, p 30*/
Axiom: FFFFF(0,1,20,0,7)
F(x,y,z,l,m): l < m && y < 1000 -> [\ (y)
  -(z) F K] F(x, y+h ,z, l+1, m)
  B(x, y, z, l, m)
B(x,y,z,l,m): l == m -1 ->
  F(x,y,z+p,0,m+1)
endlsystem
    
```

(8.3)



Obr. 8.3: Okolík 3D.

Klas

U klasu dochází k té samé situaci jako u hroznu. 3D předpis klasu je kratší o jednu větev a bohatší o parametry, a tak musela být provedena menší změna pro jeho získání. Stejně jako u hroznu, i u předpisu 3D klasu stačí změnit parametr b na 180 abychom dostali 2D klas. Jak je vidět na obr. 8.4, počet větví je nižší než u 2D předpisu (viz 7.7) o stejném počtu derivací.

```

...
#define b 90
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFFFF(1,1)
F(x,y) -> F(0.4)[/(b*y)-(80)F(0.5)]/[/(b*y)
  -F(0.2) K ]F(x,y+1) K
endlsystem
    
```

(8.4)



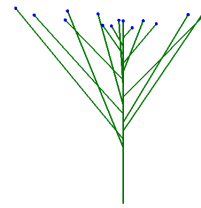
Obr. 8.4: Klas 3D.

Chocholík

Předpis 2D chocholíku (viz 7.8) byl zkrácen o jednu větev a doplněn o parametry, které zajišťují rozmístění větví (viz předpis 8.5). I u chocholíku dochází k tomu, že jedno květenství lze napsat více způsoby. V tomto případě dokážeme získat dva předpisy pro 2D chocholík, jeden bezparametrický (viz 7.8) a druhý parametrický

(viz 8.5). V parametrickém předpisu stačí změnit parametr u na 180, abychom získali stejný obrázek jako je 7.12. Při původní hodnotě, která je uvedena v předpisu 8.5, vypadá květenství jako na obr. 8.5. Chocholík lze rozeznat již v 6. derivaci. Pro vyšší názornost bylo ale použito 15 kroků.

```
/*100 - uhel vetveni */
Axiom: FFFFFFFF(1,1)
F(x,y)→F[/(100*y)-A(x,y)]F(0.2)F(x,y+1)
  K
A(x,y)→FFA(x,y+1) K
```



(8.5)

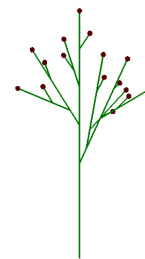
Obr. 8.5: Chocholík 3D.

8.1.2 Latovité

Lata

Stejně jako předešlá květenství, i u laty dochází k redukci jedné větve (viz 8.6), protože díky parametrům stačí pouze jedna, která se stáčí o daný úhel (viz obr. 8.6). Dochází zde pouze k malé změně. I pro 2D latu existují 2 předpisy, ten druhý lze velice jednoduše získat z 8.6 tím, že číslo 95 se zamění za 180.

```
Axiom: FFFFFF(1,1)
F(x,y) → F[/(95*y)-F(x,40*y) K]
  FF(x,y+1) K
```



(8.6)

Obr. 8.6: Lata 3D.

Předpis hroznovité laty (viz 8.7) je opět velice podobný předpisu ve 2D (viz 7.14). Pouze zde dochází k redukci jedné větve, protože druhá se stáčí podle parametrů a

zaujme i místo po smazané větvi (viz obr. 8.7). Předpis 8.7 lze použít i pro 2D latu, stačí opět pouze změnit hodnotu 90 na 180.

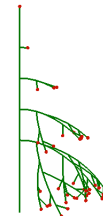
Axiom: FFFFF(1,1)
 $F(x,y) \rightarrow F[/math>(90*y)-A(x,y)]FF(x,y+1) K
 $A(x,y) \rightarrow F(0.3)[$ (90*y)-F K]FA(x,y+1)K$



(8.7) Obr. 8.7: Lata hroznovitá 3D.

Předpis pro 2D (viz 7.15) jednostrannou latu nepatří mezi nejjednodušší, ale není od něj daleko k vyobrazení 3D modelu (viz obr. 8.8). Jediný rozdíl, který předpis 8.8 obsahuje, je natočení větví v prostoru. Jinak zůstává nezměněn. V tomto případě nelze z 3D modelu získat 2D pouhou změnou hodnoty parametrů.

Axiom: FFFFF(1,1)
 $F(x,y) \rightarrow FFF[-B(x,y)]F(x,y+h) K$
 $B(x,y) \rightarrow -(30)F D(x,y) K$
 $D(x,y) \rightarrow -(o)F[\hat{(p)}FD(x,y) K]-(o)F$
 $[/\&(p)FD(x,y) K]-(o)FD(x,y+h) K$



(8.8) Obr. 8.8: Lata jednostranná 3D.

Parametrický 3D předpis pro klubkatou latu (viz 8.9) je odvozen od 2D předpisu a je lehčí. Nejen, že je opět kratší o jednu větev, ale i přímo o celý řádek, který byl u 2D modelu vyhrazen pro modelování větví (viz 7.12). Při změně hodnoty parametru h na 180 dostáváme klubkatou latu 2D, ovšem s jiným vykreslením (viz obr. 8.9), než je na obr. 7.25 (d). I přes jiné vykreslení jsou stále splněny vlastnosti tohoto květenství.

```

/*h 95, l 0.3
Axiom: FFFFF(1,1)
F(x,y) -> F(1)[/(h*y)-F(x,40*y) K]F(1)
      F(x,y+1) K

```



(8.9) Obr. 8.9: Lata klubkatá 3D.

3D přeslenitá lata byla vytvořena podle 2D předpisu téže lavy. 3D předpis (viz 8.10) byl obohacen o prostorové natočení větví, jinak zůstal nezměněn. Zajímavé je, že u přeslenité lavy jsou předpisy prohozeny, 3D je bezparametrický a 2D je parametrický. Je tomu pouze proto, že u 2D bylo nutno omezit počet zobrazitelných derivací. U 3D modelu by také mohly být omezeny, ale není to úplně nutné, také proto, že L-sytudio nedokáže zobrazit více než 5 derivací. Pak je již předpis příliš složitý. Vyobrazení 2. derivace přeslenité lavy je na obr. 8.10.

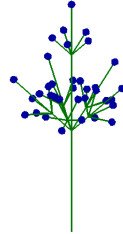
```

#define STEPS 2
#define l 72
#define K ;@O(0.3),
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFFA
A -> F[/ (1)+B F K][/(1*2)+BF K][/(1*3)+BF K][/(1*4)+BF K][/(1*5)+BF K]FFA
      K
B -> F[/ (1)+B F K][/(1*2)+BF K][/(1*3)+BF K][/(1*4)+BF K][/(1*5)+BF K]FB
endlsystem

```

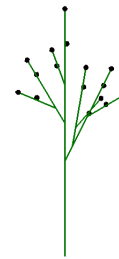
(8.10)

Stažená lata je další květenství typické smazáním jedné větve a přidáním natočení větví do prostoru (viz předpis 8.11). Stejně jako u hroznu nebo klasu, i zde je možné změnou hodnoty z 95 na 180 docílit 2D modelu stažené lavy. Pro získání 3D modelu této lavy byla potřeba malá změna. Model stažené lavy ve 4. derivaci je uveden na obr. 8.11.



Obr. 8.10: Lata přeslenitá 3D.

$$\begin{aligned} \text{Axiom: } & \text{FFFFF}(1,1) \\ \text{F}(x,y) & \rightarrow \text{F}[/math>$$

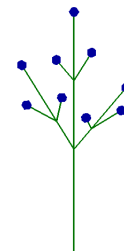


(8.11)

Obr. 8.11: Lata stažená 3D.

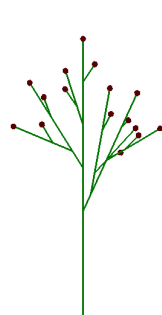
Posledním květenstvím v této skupině je vstříčná lata. Předpis (viz 8.12) byl odvozen od 2D modelu vstříčné laty (viz 7.10) s malými úpravami. Tyto úpravy opět spočívají v přidělení prostorového větvení a druhého pravidla navíc. Toto pravidlo vychází z prvního a pouze zajišťuje střídavé natáčení větví podle jejich růstu. Model v 2. derivaci je zobrazen na obr. 8.12. Všechny výše zmíněné modely 3D lat jsou pro srovnání uvedeny na obr. 8.13.

$$\begin{aligned} \text{Axiom: } & \text{FFF}(1) \\ \text{F}(x) : x == 1 & \rightarrow \text{F}[\text{+F}(2)\text{K}] \\ & \quad \text{[-F}(2)\text{K}]\text{FF}(2)\text{K} \\ \text{F}(x) : x == 2 & \rightarrow \text{F}[/math>$$

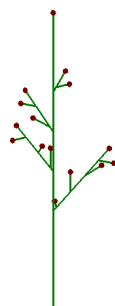


(8.12)

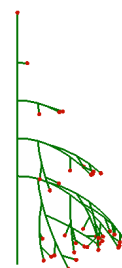
Obr. 8.12: Lata vstříčná 3D.



(a) Lata



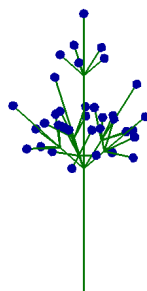
(b) Hroznovitá lata



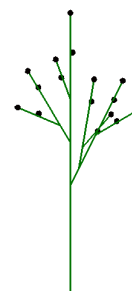
(c) Jednostranná lata



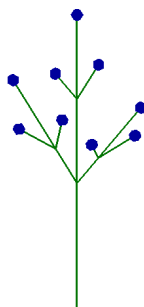
(d) Klubkatá lata



(e) Přeslenitá lata



(f) Stažetá lata



(g) Vstřícná lata

Obr. 8.13: Modely 3D lat.

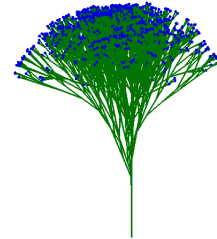
Kytka

3D předpis (viz 8.13) kytky je jednodušší než 2D (viz 7.16). Na větvení stačí jedno pravidlo a dá se získat malou úpravou 2D předpisu. Květenství lze rozpoznat do 6. derivace. Pro lepší názornost je obrázek (viz 8.14) uveden v 10. derivaci.


```

/*parametr u 100 */
Axiom: FFFFF(1,1)
F(x,y) -> F [(u*y)-(20)A(x,y)] F(0.2)
      F(x,y+1) K
A(x,y) -> F [(u*y)-(20)FA(x,y) K] F
      A(x,y+1) K
endsystem
    
```

(8.13)



Obr. 8.14: Kytka 3D.

Lichoklas

U 3D předpisu (viz 8.14) lichoklasu dochází k opačnému jevu než u většiny ostatních květenství. Místo mazání větví sem byly další 2 přidány. Tyto další větve rostou o 90° natočeny oproti původním větvím z 2D předpisu (viz 7.17). Jinak jsou předpisy naprosto shodné a stačila tedy pouze malá změna k vzájemnému odvození. Vyobrazení 3D lichoklasu je na obr. 8.15. Na obrázku je hůře patrné, že větve mezi sebou svírají pravý úhel.

```

Axiom: A(0)
A(x) -> F(u)[+C(x)]F(u)[-C(x)]F(u)[/(90)-
C(x)]F(u)
      [/(90)+C(x)] A(0) K
C(x): x < p -> F(l)[+F(l) K]F(l)[-F(l)
      K]F(l)C(x+1) K
    
```

(8.14)



Obr. 8.15: Lichoklas 3D.

8.2 Vrcholičnaté

8.2.1 Latovitě

Vrcholík

Předpis vrcholíku patří mezi květenství, kde stačí k 2D předpisu (viz 7.18) pouze přidat větvení do prostoru (viz 8.15). Předpisy jsou tedy téměř totožné a stačí jen malá změna k získání 3D předpisu a obráceně. U 3D předpisu by bylo možné změnit hodnotu parametru m na 0 a získali bychom 2D předpis. Model získaný touto úpravou by se trochu lišil od toho, jež vzniká z předpisu 8.15 (viz obr. 8.16).

```
#define STEPS 3
#define j 1
#define u 20
#define m 100
#define K ;@O(0.3),
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFFFFFFFFF[+(30)\(m)D(x,y)]F[-(30)\(m)D(x,y+j)]F(1,1)
F(x,y) -> FF[+(u)\(m)D(x,y) K]F[-(u)\(m)F(0.8) D(x,y+j) K][F(0.5) K]
D(x,y) -> [+(u)\(m) D(x,y)]F[-(u)/(m)FD(x,y+j) K]F K
endlsystem
```

(8.15)



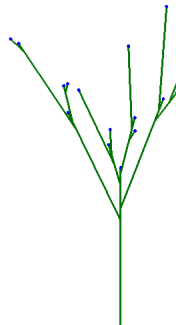
Obr. 8.16: Vrcholík 3D.

Kružel

Stejně jako u vrcholíku, i předpis kruželu (8.16) lze získat pouhým přidáním prostorového větvení větví. Předpis je sice složitý, ale od 2D se téměř neliší. To dokazuje i fakt, že pokud bychom změnili hodnotu parametru m na 0, získáme 2D předpis generující stejný obrázek jako 7.28 (b). Zobrazení 3D modelu je pak uvedeno na obr. 8.17.

```
#define STEPS 4
#define j 1
#define u 20
#define m 50
#define K ;@O(0.3),
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFFFFFFFFF[+(30)/(m)FFF B(x,y) ] F [-(30)\(m)F(0.8) E(x,y+j)]F(1,1)
F(x,y) -> FF[+(u)/(2*m) H(x,y) K] F [-(u)\(2*m)F(0.8) L(x,y+j) K][F(0.5) ;@o(0.3)]
H(x,y) -> FF D(x,y+j)
L(x,y) -> FF W(x,y+j)
B(x,y) -> /(m)FFFFFFFF D(x,y+j) K
E(x,y) -> \(m)FFFFFFFF W(x,y+j) K
R(x,y) -> F D(x,y+j) K
D(x,y) -> [+(u) B(x,y)]F[-(u)FF R(x,y+j) K]F K
W(x,y) -> [+(u) R(x,y)]F[-(u) E(x,y+j)]F K
endlsystem
```

(8.16)



Obr. 8.17: Kružel 3D.

8.2.2 Vidlanovité

Jednoramenný vrcholík

U 2D modelů jednostranných vrcholíků došlo k tomu, že některé modely mezi sebou nelze rozlišit. Konkrétně šlo o vijan a šroubel. V předpisu šroubelu (viz 8.17), který je změněn o prostorové natočení větví, dochází ke spirálovitému stáčení (viz obr. 8.18 (a)), které na 2D modelu (viz 7.20) nebylo možné zachytit.

/*u 20, 1 70 */
 Axiom: F(1.2)[F(0.7) K]A(10)
 $A(x) \rightarrow \hat{(u)}/(1)F[F(0.5) K]A(x)$



(8.17)

Obr. 8.18: Šroubel 3D.

Předpis 3D vijanu (viz 8.18) se od 2D (viz 7.20) liší v tom, že obsahuje zobrazení druhé větve (viz obr. 8.19). Ta v předešlém modelu nešla zachytit. Předpis je jinak, až na prostorové zobrazení větví, stejný a stačila nám tedy pouze malá změna k jeho získání. Rozdíly mezi zobrazením vijanu (viz obr 8.22 (b)) a šroubelu (viz obr 8.22 (a)) jsou nyní patrné.

/*1 150 */
 Axiom: F(5.2)[F(0.7) K]A(10)
 $A(x): x < 100 \rightarrow -(x)\backslash(1)F[F(0.7) K]$
 $-(x)/ (1)F[F(0.7) K]A(x+10)$



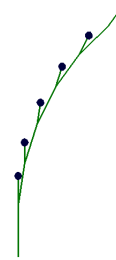
(8.18)

Obr. 8.19: Vijan 3D.

Srpek je květenství, kde se 2D a 3D zobrazení (viz 8.20) příliš neliší. Jediná změna spočívá v zobrazení květů. Předpis (viz 8.19) zůstává stejný až na prostorové natočení květenství a větví. I přes toto natočení zůstává výsledný model velice podobný modelu na obr. 7.35 (b). K získání 3D srpku nám tedy stačila velice malá změna.

Axiom: $/(-60)F(1.2)[F(0.7) K]A(10)$
 $A(x): x < 80 \rightarrow \hat{(10)F[\&(u)F(0.5) K]$
 $A(x+u)$

(8.19)



Obr. 8.20: Srpek 3D.

Poslední květenství je vějířek. Podíváme-li se na 2D vyobrazení vějířku na obr. 7.35 (c), zjistíme, že 3D model s ním bude totožný, pouze se změní předpis pro květ. Za 3D předpis vějířku tedy můžeme považovat předpis 7.22 s tím, že hodnotu parametru K změním na $;\textcircled{O}(0.2),,$.

Pokud bychom chtěli předpis více přiblížit skutečnosti, museli bychom směrem nahoru zmenšovat jak květy, tak i větve, a dostali bychom předpis 8.20. Tento předpis je kvůli reálnějšímu vzhledu plný parametrů a ztrácí se tak fakt, že by jej bylo možné odvodit z předpisu 7.22. Základ je stejný, jen zde bylo přidáno množství parametrů, které zajišťují postupné zmenšování květů a větví. Vyobrazení je uvedeno na obr. 8.21.

```
#define STEPS 10
#define l 80
#define n 0.7 /* zmenšení stonku s kvetem */
#define m 0.6 /* zmenšení stonku pred kvetem */
#define o 0.7 /* zmenšení kvetu */
#define h 0.2 /* zmenšení listenu */
#define j 95 /* natoceni listen */
Lsystem: 1
```

derivation length: STEPS

Axiom: $-(1/2) F(\text{STEPS})[F(\text{STEPS}*0.7) K(\text{STEPS}*0.8)]L(x, \text{STEPS}*0.7, \text{STEPS}*0.8, \text{STEPS}*0.4, \text{STEPS}*1)$

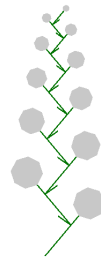
$P(x,y,z,i,d) \rightarrow [-(j) F(i)]-(1)F(d)[F(y) ;@O(z)]L(x,y-m,z-o,i-h,d-n)$

$L(x,y,z,i,d) \rightarrow [+(j) F(i)]+(1)F(d)[F(y) ;@O(z)]P(x,y-m,z-o,i-h,d-n)$

$K(z) \rightarrow ;@O(z)$

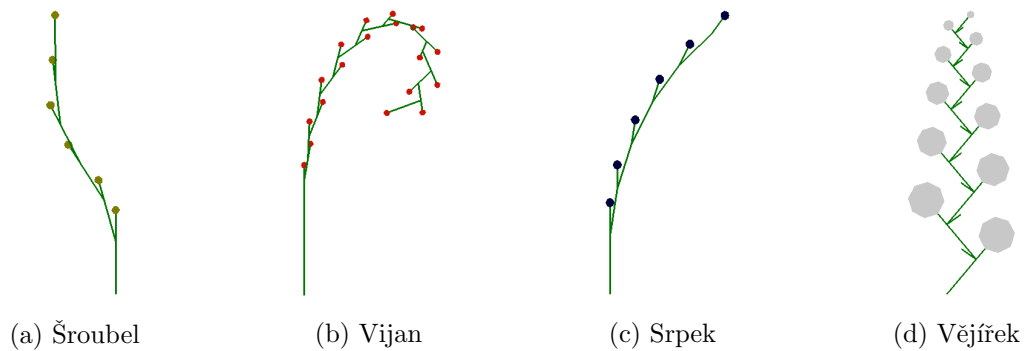
endsystem

(8.20)



Obr. 8.21: Vějířek 3D.

Jednotlivá květenství jednostranného vrcholíku jsou uvedena na obr. 8.22, kde lze porovnat jejich vzájemné rozdíly.



Obr. 8.22: 3D modely jednostranných vrcholíků.

Vidlan

Dvouramenný vrcholík má 3D předpis (viz 8.21) téměř totožný s 2D. Jediné, v čem se liší, je prostorové natočení větví, které je vidět na obr. 8.23. K získání tohoto

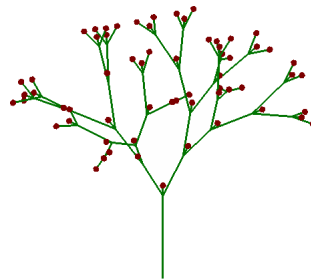
3D předpisu nám stačila velice malá změna. Pokud bychom navíc změnili hodnotu parametru o na 180, získáme předpis pro 2D model téhož květenství.

```

...
#define j 1
#define u 30
#define o 90
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFF(1,1)
F(x,y) -> FF[+(u)/(o)F(x,y+j)[A(y)][B(y)]][-(u)/(o)F(x,y+j)[A(y)][B(y)]]
      [F(0.5) K]
A(y): y == STEPS-1 -> +(u)f K
B(y): y == STEPS-1 -> -(u)f K
endlsystem

```

(8.21)



Obr. 8.23: Vidlan 3D.

Dvojvijan

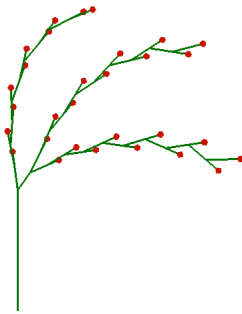
Dvojvijan je posledním předpisem (viz 8.22) 3D květenství a patří svými vlastnostmi k většině. To znamená, že opět lze malými změnami, spočívajícími v přidání prostorového větvení, dosáhnout jiného předpisu. Ukázka 3D modelu je na obr. 8.24.

```

#define STEPS 5
#define K ;;;;@O(0.3)
#define l 150
#define k 20
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: F(5.2) [(k)A(10)] [-F[(k)A(10)] [-(k)A(10)] ]
A(x): x < 100 -> -(x)\(1)F[F(0.7) K]-(x)/(1)F[F(0.7) K]A(x+10)
endlsystem

```

(8.22)



Obr. 8.24: Dvojvĳian 3D.

8.3 Shrnutí

Ukázalo se, že 2D a 3D modely květenství se od sebe liší jen velmi málo. V některých případech dokonce stačí pouhá změna parametru, abychom z 3D získali 2D. Nutnou podmínku pro tuto změnu představují parametry, a tedy parametrické L-systémy. Porovnání 2D a 3D květenství také ukázalo, že máme více možností, jak jednotlivá květenství vytvořit. Jako velice efektivní se ukazuje použití parametrických L-systémů, které dokáží zobrazit jak 2D, tak 3D modely. Bezparametrické L-systémy dokáží vymodelovat též 3D květenství. Tyto popisy jsou ale složitější než parametrické tvořící stejné květenství. Obecný postup, jak z 2D modelu vytvořit 3D, by mohl být ten, že modely budou tvořeny parametrickými L-systémy. Pak by se jen měnily parametry natočení větví. U některých modelů (okolík) by byl parametrický 3D model zbytečně složitý pro použití na 2D vzor.

9 Odvození složených květenství

Složená květenství se mezi sebou nebudou porovnávat z důvodů uvedených výše. Místo toho zde budou uvedeny možnosti odvození složených květenství z jednoduchých. Pokusíme se zjistit, zda se složená květenství opravdu skládají z jiných, jednodušších květenství. Konkrétně to pak bude okolík okolíků, který patří do homotaktických racemózních květenství. Dále hrozen vijanů a lata vidlanů, která obě patří pod heterotaktické cymobotrye¹ (viz kap. 4).

9.1 Hrozen vijanů

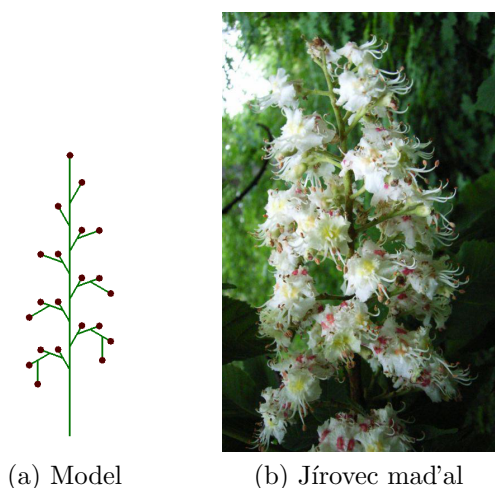
Při stavbě tohoto květenství vycházíme z úvahy, že je složeno z hroznů (viz předpis 7.1) a vijanu (viz předpis 7.20). Pomineme-li fakt, že původní hrozen nemá parametry, tak první pravidlo složeného květenství skutečně z hroznů vychází. Základ je tedy převzat z hroznů (viz 9.1). Větve tohoto květenství by měly být vijany. První pravidlo tvoří větve, které se odkazují zvláště na pravou a levou stranu, tj. druhé a třetí pravidlo. Právě tato dvě pravidla jsou shodná s předpisem pro vijan. Malý rozdíl spočívá v tom, že původní vijan byl pouze na jednu stranu.

```
#define STEPS 5
#define K ;@o(0.5)
#define r 1.7 /* velikost stonku */
#define p 30 /* sklon vetvi */
#define k 70 /* max uhel pro rozvetveni*/
#define m 10 /* prirustek uhlu */
#define l 0.7 /* velikost vetvi*/
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFFA(x,y) K
A(x,y) -> F(r)[P(x,p)]F(r)[L(x,p)]A(x,y)
P(x,y): y < k -> +(y)F[F(l) K] P(x,y+m)
L(x,y): y < k -> -(y)F[F(l) K] L(x,y+m)
endlsystem
```

(9.1)

¹Typ složeného květenství. Vrcholícíkaté je sdruženo do hroznovitého.

Jak je tedy vidět, složené květenství hrozen vijanů se skutečně skládá z jednoduchých květenství. Jeho model a reálné květenství je uvedeno na obr. 9.1.

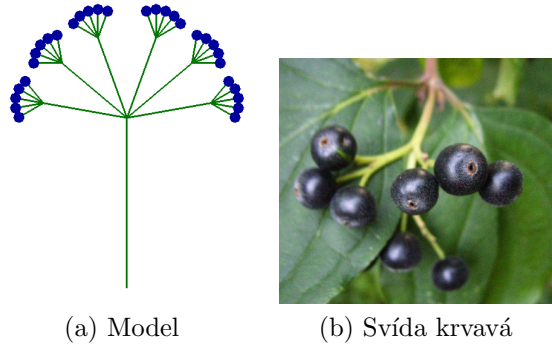


Obr. 9.1: 2D model hroznů vijanů a reálné květenství.

9.2 Složený okolík

Jak už název napovídá, toto květenství se skládá z okolíků. Tomu nasvědčuje i jeho předpis (viz 9.2), který je složen z předpisu jednoduchého okolíku (viz 7.6). První pravidlo tvoří první větvení a druhé tvoří stopky s květy. I toto květenství můžeme bez problémů složit z jeho jednoduché varianty. Ukázka modelu a skutečné rostliny je na obr. 9.2.

$$\begin{aligned}
 & /* \text{uhel } 30 - \text{uhel velkých vetví} */ \\
 & /* \text{u } 20 - \text{uhel malých vetví} */ \\
 & \text{Axiom: FFFF}(0,80,46) \\
 & F(x,y,z): y > 0 \rightarrow [+ (y)F(1.5)B(x,y-\text{uhel},0)] [- (y)F(1.5)B(x,y-\text{uhel},0)] F(x,y-\text{uhel},0) \\
 & B(x,y,z): z > 0 \rightarrow [+ (z)D(x,y,z-u)] [- (z)D(x,y,z-u)] B(x,y,z-u) \\
 & D(x,y,z) \rightarrow F(0.5)K
 \end{aligned}
 \tag{9.2}$$



Obr. 9.2: 2D model složeného okolíku a reálné květenství.

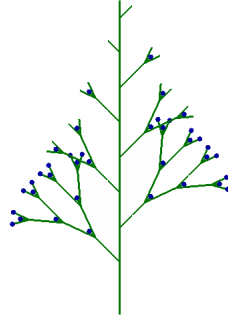
9.3 Lata vidlanů

Poslední zde zmiňované květenství je lata vidlanů. Ze všech tří rozebíraných se nejvíce podobá květenstvím, ze kterých bylo složeno. První pravidlo představuje latu (viz předpis 7.9). Stejně jako u hroznu vijanů, i zde došlo k parametrizaci pravidla (viz 9.3). To je ovšem jediný rozdíl, který zde je, protože předpis vidlanu (viz 7.23) byl převzat beze změny. I toto květenství dokazuje, že složená květenství se dají bez problémů skládat z jednoduchých. Ukázka modelu podle předpisu 9.3 je na obr. 9.3.

```

#define STEPS 4
#define j 1
#define u 20 /* uhel vetvi*/
#define K ;@o(0.3),
Lsystem: 1
derivation length: STEPS
Axiom: FFT(1,1)
T(x,y) -> F[+F(x,y)]FF[-F(x,y)]F T(x,y)
F(x,y) -> FF[+(u)F(x,y+j)[A(y)][B(y)]][-(u)F(x,y+j)[A(y)][B(y)]]F(0.5) K]
A(y): y == STEPS-2 -> +(u)f K
B(y): y == STEPS-2 -> -(u)f K
endlsystem
    
```

(9.3)



Obr. 9.3: 2D model laty vidlanů.

9.4 Shrnutí

Na těchto třech květenstvích byl demonstrován způsob modelování složených květenství. Jak se ukázalo, jedná se o možnost dosti efektivní hlavně proto, že složená květenství lze opravdu skládat z jednoduchých. Většinou jsou k tomu potřeba parametry pro ukončení růstu. To ale nemění nic na tom, že pouze malou změnou lze získat opět nová květenství a navíc je bez větších změn skládat dohromady.

10 Závěr

Podle kapitoly 7, kde jsem porovnávala 2D květenství podle botanických skupin, jsem došla k závěru, že L-systémy dokáží velice dobře reprezentovat jednotlivá květenství a jejich rozdíly. Ve vybraných skupinách se květenství lišila jen velmi málo, mohla tedy od sebe být bez problému odvozena. Dále se ukázalo, že L-systémy dokáží vystihnout nejen rozdíly těch nejdetailnějších skupin, jako je lata nebo hrozen, ale i větších celků, jako jsou například hroznovitá květenství ze skupiny hroznovitých.

Co se týče rozdílů mezi 2D a 3D modely, jsou ještě menší než mezi květenstvími ve stejném prostoru. Jak je vidět v kap. 8, jedná se převážně o velmi malé změny, které spočívají v upravení větvení. Pokud použijeme již pro zhotovení 2D modelu parametrické L-systémy, změny, které musíme udělat pro dosažení 3D modelu, jsou minimální. Jedná se pouze o změnu hodnot parametrů. Touto změnou lze dosáhnout například různého úhlu mezi sousedícími větvemi, aniž by se zasahovalo do pravidel předpisu. Z tohoto důvodu shledávám parametrické L-systémy pro popisy květenství mnohem efektivnější než bezparametrické. Díky parametrům stačí jeden předpis pro oba dva typy prostorů.

Složená květenství mezi sebou nebyla porovnávána, protože se skládají z jednoduchých a dělala by se jedna věc dvakrát. V kap. 9 jsem studovala tři složená květenství z hlediska jejich stavby. Dospěla jsem k závěru, že složená květenství se až na velmi malé změny opravdu skládají z předpisů jednoduchých květenství.

L-systémy se ukázaly jako velice schopný nástroj pro tvorbu zjednodušených květenství. Dokáží zachytit vlastnosti společně určitým botanickým skupinám, a to i dvěma skupinám v jedné podskupině. Bylo ukázáno, že květenství jedné skupiny mohou vznikat vzájemným odvozováním za použití nepatrných úprav. L-systémy tedy dokáží vystihnout botanické dělení květenství a zahrnout tak vzájemnou podobnost jednotlivých květenství.

Literatura

- [1] AHO, Alfred V. *Compilers : Principles, Techniques, and Tools*. 2nd Edition. Boston: Addison Wesley, 2006-8-31. 796 s. ISBN 0201100886.
- [2] BELL, Adrian D. *Plant form : an illustrated guide to flowering plant morphology*. New York : Oxford University Press, 1991. 341 s. ISBN 0198542194,.
- [3] BENEDIKOVIČ, Miroslav. *Formální jazyky a gramatika* [online]. 2007-3-1 [cit. 2011-11-19]. Dostupné z : <<http://kifri.fri.uniza.sk/bene/vyuka/kompilatory/prednasky-prezentace/Predn-02-text.pdf>> .
- [4] BURNIE, Geoff a Sue FORRESTEROVÁ. *Botanika*. 1. vyd. Praha: Slovart, s.r.o., 2007. ISBN 978-80-7209-936-8.
- [5] CASTELLANOS, Joel. *Fractal Grower* [online]. 2010-03. 2010 [cit. 2011-12-02]. Dostupné z: <<http://www.cs.unm.edu/joel/PaperFoldingFractal/paper.html>>.
- [6] ČEŠKA, M.; RÁBOVÁ, Z. *Gramatiky a jazyky* [online]. Brno : 1992-6-14 [cit. 2011-11-19]. Dostupné z WWW: <<http://kifri.fri.uniza.sk/bene/vyuka/kompilatory/pomocne-materialy/Gramatiky%20a%20jazyky-Ceska.3.pdf>>
- [7] JENNINGS, Christopher G. *Lindenmayer Systems* [online]. 2002, 2011 [cit. 2011-11-23]. Dostupné z : <<http://cgje-nnings.ca/toybox/lssystem/index.html>>.
- [8] MITROVIC, Bojan. *GILS : Built with Processing* [online]. 2009 [cit. 2011-12-02]. Dostupné z : <<http://www.arh.bg.ac.rs/upload/GILS/index.html>>.
- [9] OPLETAL, Lubomír ; KOULA, Václav. *Daidalea* [databáze online]. 1.0.Univerzita Karlova v Praze, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, 2011 [cit. 2011-11-24]. Květy a květenství (rozmnožovací orgány). Dostupné

- z: <http://www.faf.cuni.cz/apps/daidalea/docs/morphology/09_Kvety_a-kvetenstvi.pdf>.
- [10] PRUSINKIEWICZ, Przemyslaw. *L-studio evaluion version* [počítačový program]. ver. 4.2.13 [University of Calgary], 2009 [citováno 2011-11-21]. Dostupné z : <<http://algorithmicbotany.org/>> .
- [11] PRUSINKIEWICZ, Przemyslaw; LINDENMAYER, Aristid. *The algorithmic beauty of plants*. New York: Springer-Verlag, 1990. 228 s. ISBN 0387946764.
- [12] TREMBLAY, Jean-Paul; SORENSON, Paul G. *The theory and practice of compiler writing*. New York: McGraw-Hill, 1985. 796 s. ISBN 0070651612.
- [13] Fachbereich Biologie [online]. 2009, [cit. 2011-12-02]. *LSystems Application*. Dostupné z : <<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/lsystjava/LSys.html>>.
- [14] *Inflorescences and Its types* [online]. 2011, [cit. 2011-11-23]. The best online e-learning and e-teaching tools & resources - WIZIQ. Dostupné z : <<http://www.wiziq.com/tutorial/35052-Inflorescences-and-Its-types>> .
- [15] *JavaView Homepage* [online]. 2006, [cit. 2011-12-02]. L-System Tutorial. Dostupné z : <<http://www.javaview.de/vgp/tutor/lssystem/PaLSystem.html>>.
- [16] *Katedra experimentální biologie rostlin, PřF UK v Praze* [online]. 2008, [cit. 2011-12-02]. Základní slovník rostlinné anatomie. Dostupné z: <<http://kfr-server.natur.cuni.cz/studium/prednasky/anatomie/slovník/slovník.htm>>.

Slovník použitých termínů a zkratek

Abeceda - A je konečná neprázdná množina symbolů, ze kterých se v jazyce tvoří celky. Jejími prvky jsou písmena.

Akropetální - tvořící se nebo postupující směrem k vrcholu [16] .

Axiom - jedinečný řetězec, kterým začíná prepisovací proces [11].

Bazipetální - tvořící se nebo postupující směrem k bázi orgánu [16].

Jazyk - je-li A je abeceda, pak formální jazyk nad A je libovolná množina A^* [3].

Listen - většinou přeměněný list, ze kterého vyrůstá květ [2].

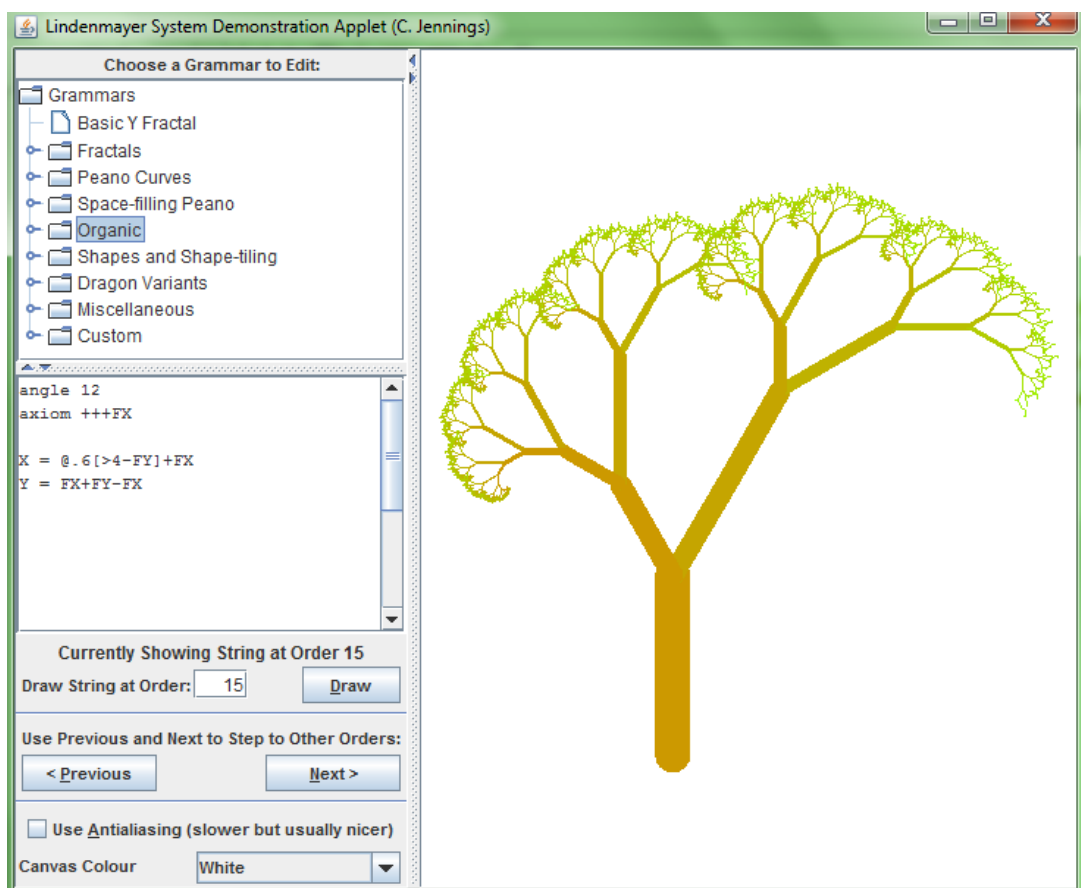
Monopodiální větvení - je takové, že postranní větve nepřerůstají hlavní stonek.

Nonterminální - symbol definovaný pomocí pravidel jazyka [3].

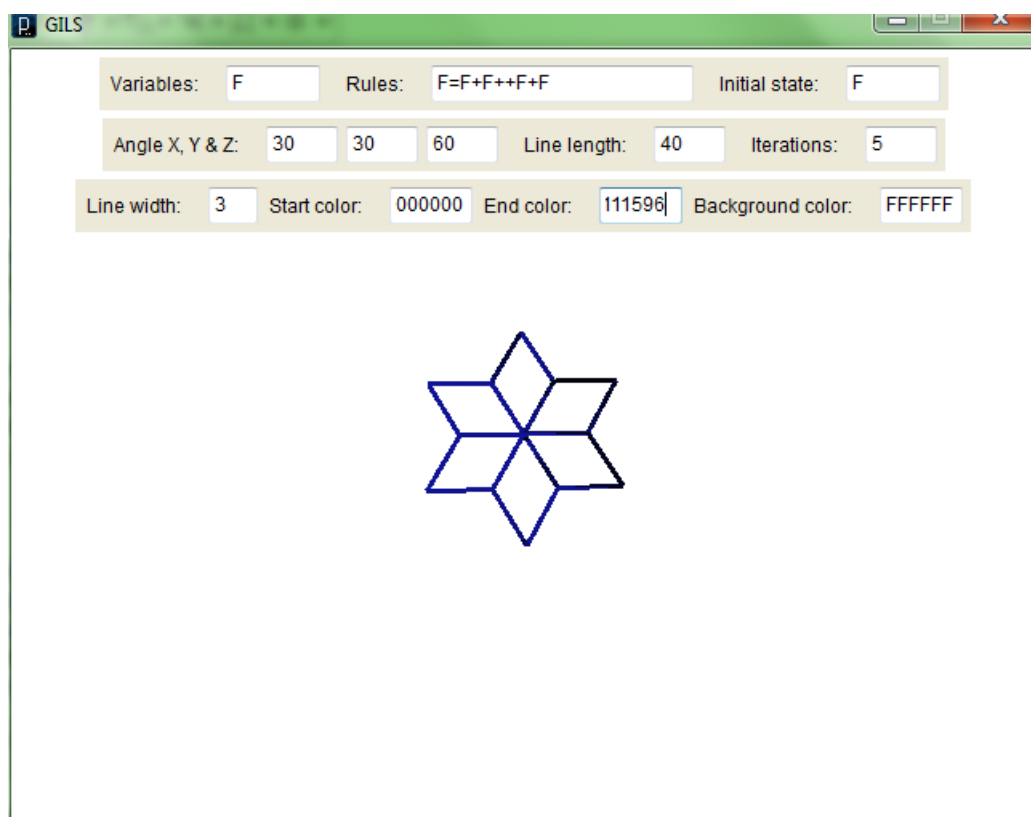
Sympodiální větvení - postranní stonek pokračuje ve směru postranního a přerůstá ho [2].

Terminální - prvotní symbol daného jazyka [3].

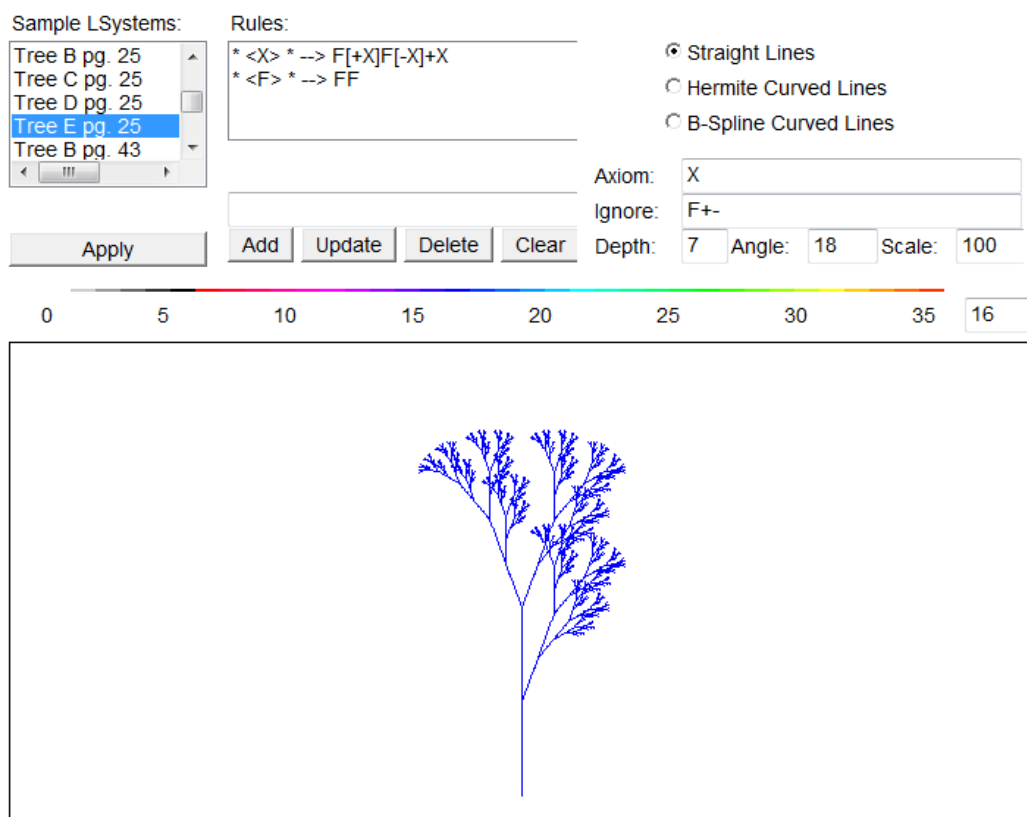
Přílohy



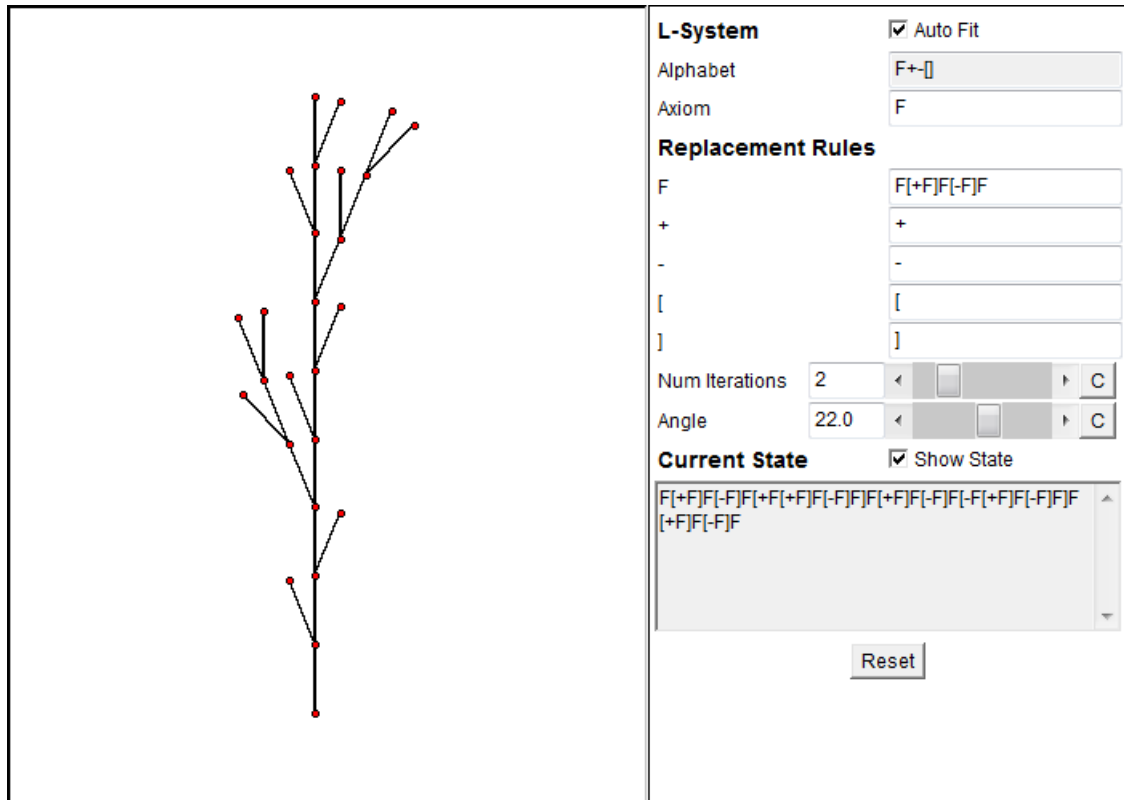
Obr. P 1: Ukázka appletu Lindenmayer System Demonstration Applety.



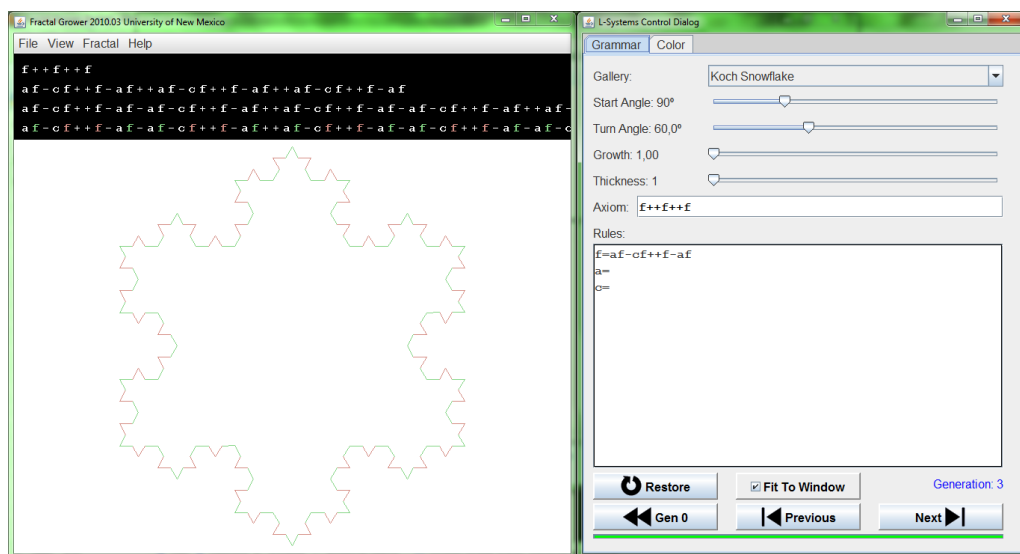
Obr. P 2: Ukázka appletu GILS.



Obr. P 3: Ukázka appletu LSystems Application.



Obr. P 4: Ukázka appletu (Generate a Tree as L-System) pro modelování jednoduchých stromů.



Obr. P 5: Program Fractal Grower pro modelování pomocí L-systemů.

The screenshot shows the L-studio evaluation version window. The menu bar includes Object, Cpfg, Preferences, Tools, Window, and Help. Below the menu bar, there are tabs for L-system, View, Animate, Colors, Surfaces, Contours, Functions, Panels, Description, and Text file. The main text area contains the following L-system code:

```

plant.l Line: 1 Find:
#define Width 0.1
Lsystem: 1
derivation length: 1

Axiom: ;(9)@;(9) !(Width) @Gs I(0.3,Width) [\ (137.5) &(45)L(0.9)]
      ^ (5+ran(10)) I(0.3,Width)A(6,1.0)
/*
Axiom: K(0.1)
*/

homomorphism
maximum depth: 20

A(n,c) : n>0 --> [&(45)L(1)] [&(45)B] ^ (5+ran(10))
              I(0.5,Width*sqrt(c))
              / (137.5) A(n-1,c-0.1)

A(n,c) : n==0 --> [&(45)L(0.5)] ^ (5+ran(10)) I(0.5,Width*sqrt(c)) @Ge K(0.5)

B --> J(0.5,0.05) [ / (137.5) &(45)L(0.7) ] J(1.0,0.05) ^ (ran(5))
      @Ge K(0.5)
    
```

Obr. P 6: Program L-Studio pro modelování pomocí L-systémů.