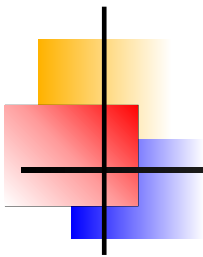


Część I

Modelowanie roślin - gramatyki Lindenmayera



GRAMATYKI - KLASYFIKACJA

- ▶ **Gramatyka formalna** zawiera:
 - ▶ **Zbiór reguł produkcji** - definiuje je schemat **ciąg symboli** → **ciąg symboli**
 - ▶ **Zbiór symboli nieterminalnych** - występują po obu stronach reguł produkcji
 - ▶ **Zbiór symboli terminalnych** - występują tylko po prawej stronie reguł produkcji i tworzą **alfabet** wraz z symbolami nieterminalnymi
 - ▶ **Symbol startowy** - wyróżniony symbol nieterminalny
- ▶ Dobrze znana informatykom **klasyfikacja Chomsky'ego** wyróżnia cztery klasy gramatyk formalnych i związanych z nimi języków:
 - ▶ **klasa 0** - **gramatyki bez ograniczeń**
 - ▶ **klasa 1** - **gramatyki kontekstowe**
 - ▶ **klasa 2** - **gramatyki bezkontekstowe**
 - ▶ **klasa 3** - **gramatyki regularne**

- ▶ **L-system** (gramatyka Lindenmayera) jest podobny do gramatyk **półthueowskich**, w których nie ma podziału na symbole terminalne i nieterminalne ani wyróżnionego symbolu początkowego.
- ▶ Formalnie, system półthueowski S nad alfabetem A jest relacją $R \subseteq A^* \times A^* \rightarrow A^*$, gdzie A^* jest zbiorem wszystkich słów nad alfabetem A .
- ▶ Bardziej formalnie przez L-system rozumiemy krotkę $\{V, \omega, P\}$, gdzie
 - ▶ V jest alfabetem
 - ▶ ω jest **ciągami startowym** dla L-systemu - w odróżnieniu od gramatyk formalnych nie musi to być pojedynczy symbol
 - ▶ P - jest zbiorem reguł produkcji - w odróżnieniu od gramatyk formalnych reguły te stosuje się w **procesie iteracyjnym** - w każdym kroku stosujemy **wszystkie** reguły
 - ▶ Jeżeli dla pewnego $A \in V$ nie ma reguły produkcji, której występuje on po lewej stronie, to zakłada się, że $A \rightarrow A$



L-SYSTEMY BEZKONTEKSTOWE

- ▶ W L-systemach **bezkontekstowych**, podobnie jak w gramatykach bezkontekstowych, przetwarzanie znaku lub ciągu znaków nie zależy od kontekstu - od znaków sąsiednich.
- ▶ Przykładowo rozpatrzmy L-system określony następująco:

$$\omega : \quad b$$

$$p_1 : \quad a \rightarrow ab$$

$$p_2 : \quad b \rightarrow a$$

- ▶ Pierwsze cztery kroki iterowania dają:

a

ab

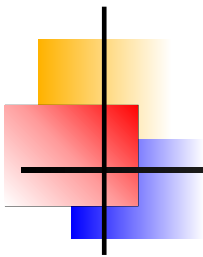
aba

abaab

- ▶ L-systemy **kontekstowe** charakteryzują się stosowaniem reguł przetwarzania w zależności od znaków sąsiednich.
- ▶ Produkcja w stosunku do danego znaku lub ciągu znaków może być zastosowana tylko wtedy, gdy ten ciąg znaków jest umieszczony w pewnym kontekście.
- ▶ W produkcji może być określony **kontekst lewy, prawy lub oba jednocześnie**.
- ▶ Niech a_l oznacza lewy, natomiast a_r prawy kontekst symbolu a . Wówczas produkcje zamiany symbolu a na ciąg X pod warunkiem, że poprzedza go a_l i następuje po nim a_r zapisujemy jako

$$a_l < a > a_r \rightarrow X.$$

- ▶ Analogicznie oznaczamy produkcje jednokontekstowe:
 - ▶ Lewy kontekst: $a_l < a \rightarrow X$,
 - ▶ Prawy kontekst: $a > a_r \rightarrow X$.



L-SYSTEMY KONTEKSTOWE

- ▶ Weźmy L-system określony następująco:

$\omega : \text{baaaaaaaaa}$

$p_1 : b < a \rightarrow b$

$p_2 : b \rightarrow a$

- ▶ Rozpoczynając przekształcanie od aksjomatu, po zastosowaniu reguł p_1 i p_2 otrzymywać będziemy kolejno :

baaaaaaaaa (*aksjomat*)

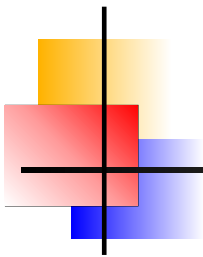
abaaaaaaaa

aabaaaaaaaa

aaabaaaaaa

aaaabaaaaa

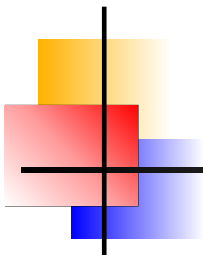
aaaaabaaaa



L-SYSTEMY PARAMETRYCZNE

- ▶ W przypadku L-systemów **parametrycznych** z symbolami skojarzone jest jeden lub wiele parametrów, np. $A(t)$ oznacza symbol A zależny od jednego parametru t , oraz $B(t, s, u)$ oznacza symbol B zależny od trzech parametrów t, s, u .
- ▶ Aby zastosować produkcje w L-systemie parametrycznym konieczna jest zgodność ilości parametrów w symbolu oraz spełnienie warunku dla parametrów określonego w produkcji.
- ▶ Stosowany jest następujący zapis:
symbol : warunek zależny od parametrów → **ciąg symboli zależnych od parametrów**
- ▶ Przykładowo

$$A(t) : t > 5 \rightarrow B(t + 1)CD\left(\frac{1}{2}t(t - 2)\right)$$



L-SYSTEMY PARAMETRYCZNE

- ▶ Zdefiniujmy L-system określony parametrycznie:

$$\omega : B(2)A(4, 4)$$

$$p_1 : A(x, y) : y \leq 3 \rightarrow A(2x, x + y)$$

$$p_2 : A(x, y) : y > 3 \rightarrow B(x)A\left(\frac{x}{y}, 0\right)$$

$$p_3 : B(x) : x < 1 \rightarrow C$$

$$p_4 : B(x) : x \geq 1 \rightarrow B(x - 1)$$

- ▶ Rozpoczynając przekształcanie od aksjomatu ω po zastosowaniu obu reguł otrzymywać będziemy kolejno:

$$B(2)A(4, 4) \quad (\text{aksjomat})$$

$$B(1)B(4)A(1, 0)$$

$$B(0)B(3)A(2, 1)$$

$$CB(2)A(4, 3)$$

$$CB(1)A(8, 7)$$

$$CB(0)B(8)A\left(\frac{8}{7}, 0\right)$$

- ▶ Jeżeli każdemu symbolowi przypisana jest tylko jedna reguła produkcji to L-system nazywamy **deterministycznym**
- ▶ W przeciwnym przypadku rozpatrujemy L-systemy **stochastyczne**, w których regułom produkcji przypisujemy **prawdopodobieństwa ich zastosowania**, co zapisujemy jako

$$a \rightarrow (P)X$$

- ▶ Poniżej przykład definicji L-systemu stochastycznego:

$$\omega : b$$

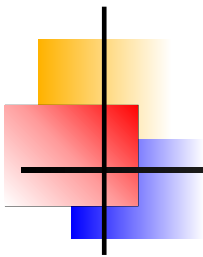
$$p_1 : a \rightarrow ab$$

$$p_2 : b \rightarrow \left(\frac{1}{6}\right) a$$

$$p_3 : b \rightarrow \left(\frac{1}{6}\right) aba$$

$$p_4 : b \rightarrow \left(\frac{1}{3}\right) bba$$

- ▶ Nie jest możliwe jednoznaczne określenie wynikowego ciągu, ponieważ nie wiadomo, która z produkcji zostanie użyta



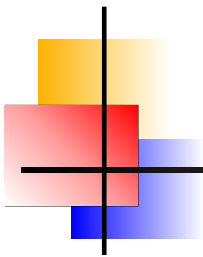
INTERPRETACJA GRAFICZNA W L-SYSTEMACH

- ▶ Dla graficznego zobrazowania L-systemu na płaszczyźnie symbolom nadajemy interpretacje geometryczne, przypisując im ruchy pióra rysującego, kierowanego podobnie do żółwia w języku LOGO.
- ▶ Pióro się poruszać rysując lub jedynie zmieniać położenie bez rysowania, oraz obracać się w lewo lub w prawo.
- ▶ Możliwe jest również zapisywanie aktualnej pozycji pióra na stosie i pobieranie pozycji ze stosu.
- ▶ Pozycja pióra na płaszczyźnie jest oznaczona przez trójkę (x, y, δ) , gdzie x i y oznaczają współrzędne położenia pióra, a δ kierunek, w którym jest ono zwrócone.
- ▶ Ponadto należy określić długość kroku d oraz przyrost kąta δ .

Interpretacja podstawowych symboli na płaszczyźnie

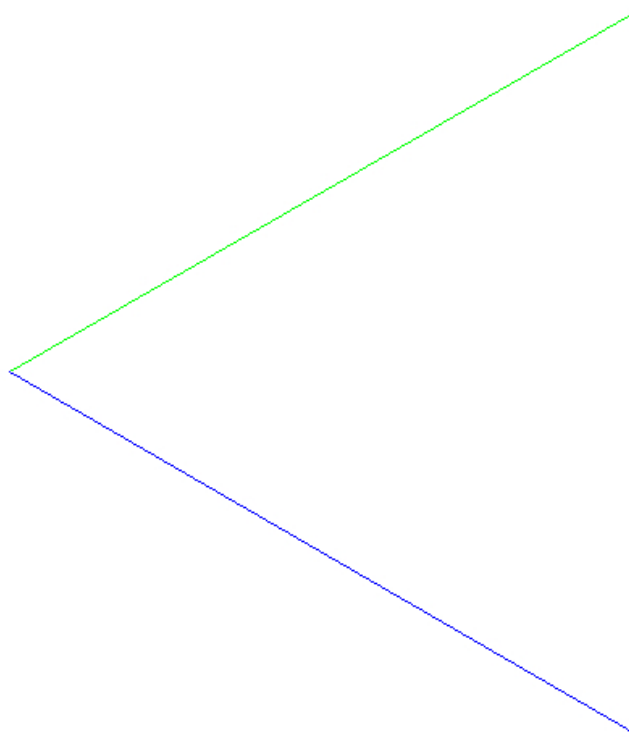
- ▶ F oznacza narysowanie linii o długości d , rozpoczynającej się w aktualnej pozycji pióra, w kierunku odpowiadającym jego zwrotowi. Po narysowaniu linii pióro jest przenoszone na koniec narysowanej linii.
- ▶ f oznacza przeniesienie pióra z aktualnej pozycji w kierunku jego zwrotu o krok długości d .
- ▶ $+$ oznacza zmianę kierunku pióra o δ w lewo. Aktualny kąt pióra jest zwiększany o δ .
- ▶ $-$ oznacza zmianę kierunku pióra o δ w prawo. Aktualny kąt pióra jest zmniejszany o δ .
- ▶ $[$ oznacza zapisanie na stosie aktualnego stanu pióra.
- ▶ $]$ oznacza pobranie stanu pióra ze stosu i ustawienie go jako stanu aktualnego. Pióro jest przenoszone bez rysowania linii.

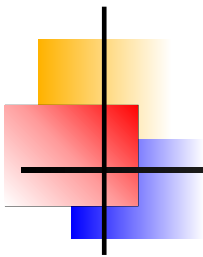
Dodatkowo do aktualnego stanu pióra można dodać inne parametry jak np. **kolor** lub **grubość** lub **typ rysowanej linii**



KRZYWA KOCHA

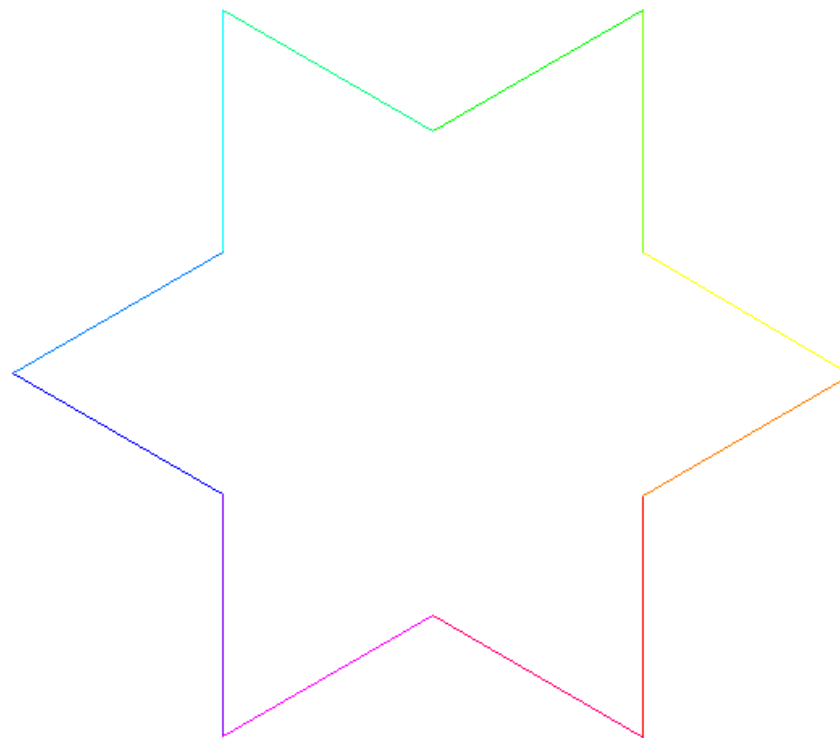
- ▶ Aksjomat $\omega = F ++F ++F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow F - F ++F - F$, Kąt $\delta = 60^\circ$
- ▶ Iteracja 0 (aksjomat)

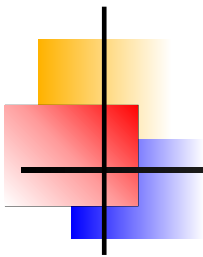




KRZYWA KOCHA

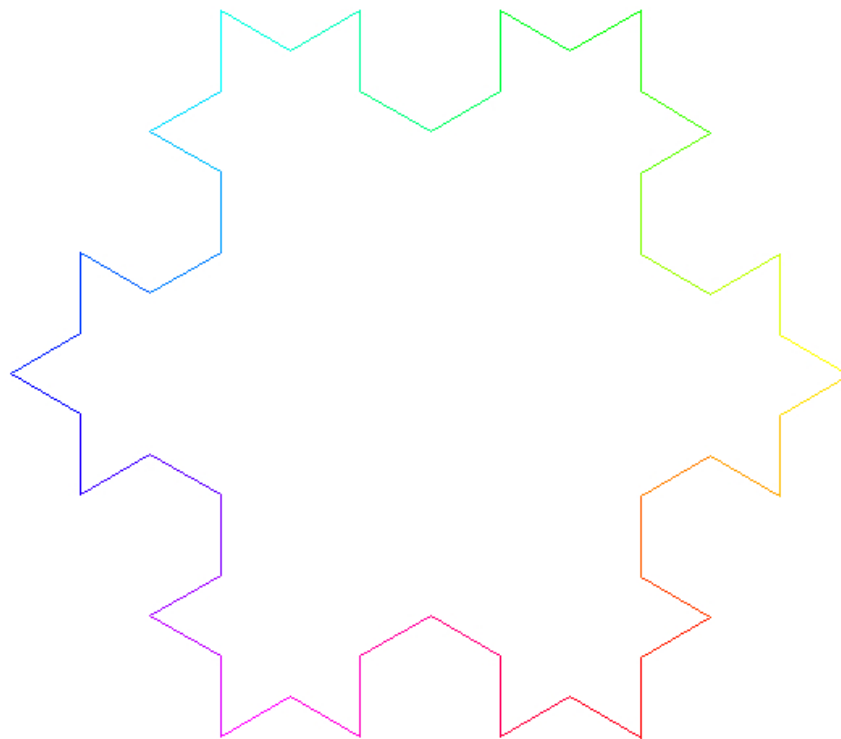
- ▶ Aksjomat $\omega = F + +F + +F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow F - F + +F - F$, Kąt $\delta = 60^\circ$
- ▶ Iteracja 1

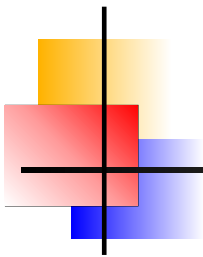




KRZYWA KOCHA

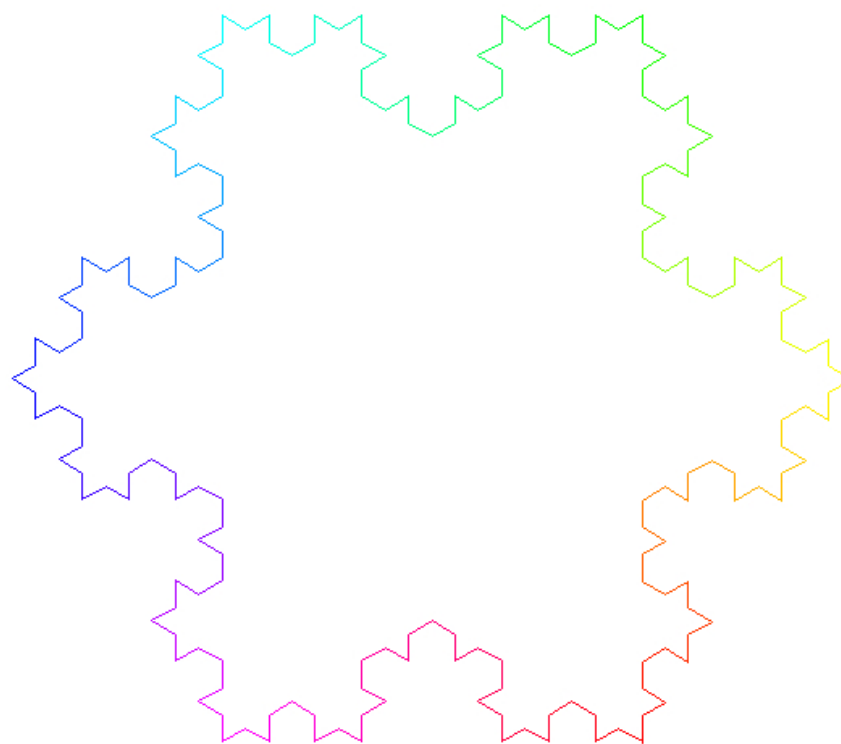
- ▶ Aksjomat $\omega = F ++F ++F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow F - F ++F - F$, Kąt $\delta = 60^\circ$
- ▶ Iteracja 2

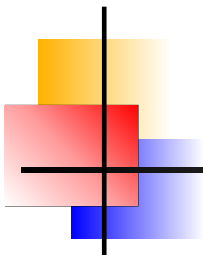




KRZYWA KOCHA

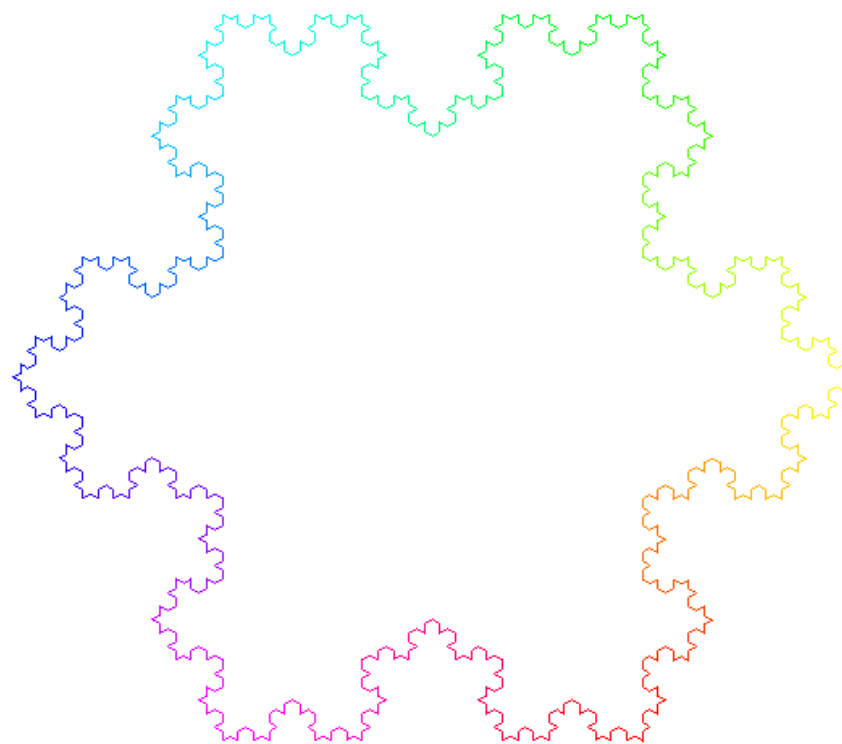
- ▶ Aksjomat $\omega = F ++F ++F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow F - F ++F - F$, Kąt $\delta = 60^\circ$
- ▶ Iteracja 3

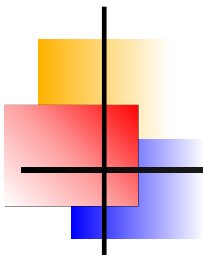




KRZYWA KOCHA

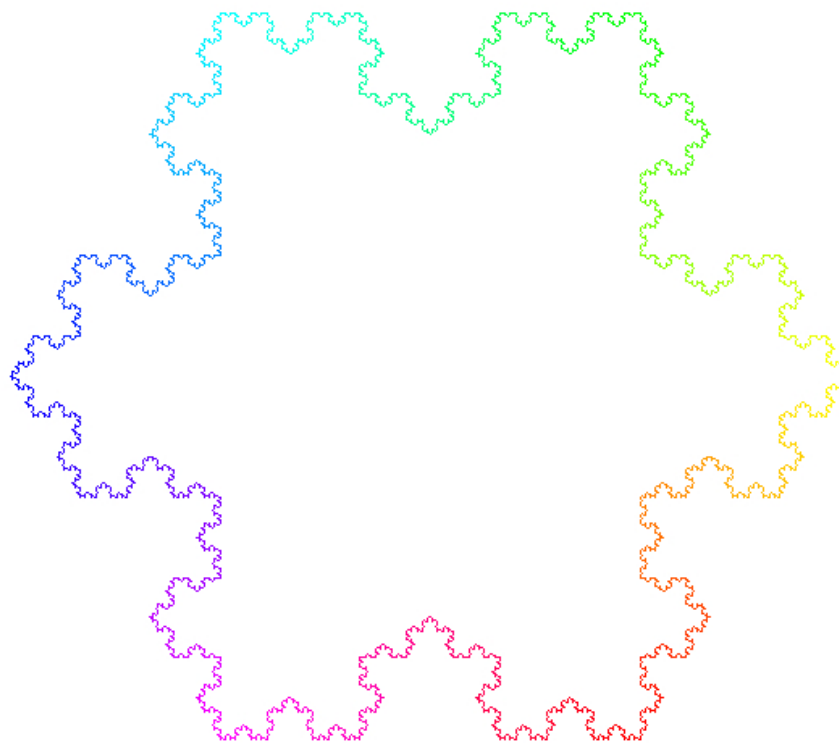
- ▶ Aksjomat $\omega = F ++F ++F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow F - F ++F - F$, Kąt $\delta = 60^\circ$
- ▶ Iteracja 4

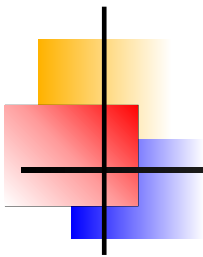




KRZYWA KOCHA

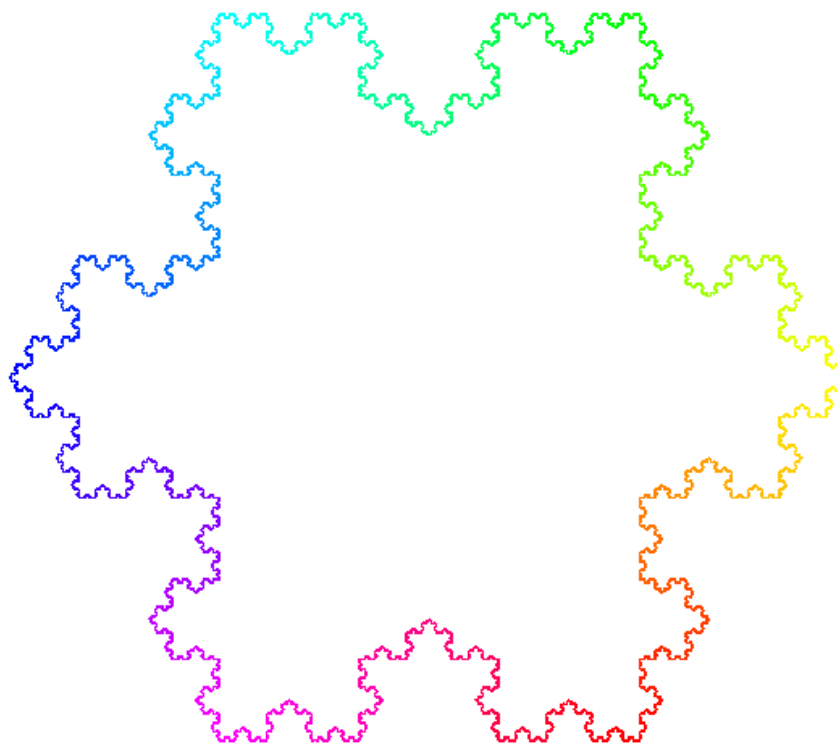
- ▶ Aksjomat $\omega = F ++F ++F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow F - F ++F - F$, Kąt $\delta = 60^\circ$
- ▶ Iteracja 5

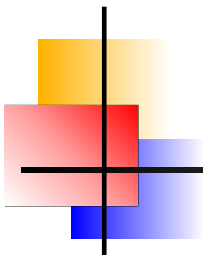




KRZYWA KOCHA

- ▶ Aksjomat $\omega = F ++F ++F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow F - F ++F - F$, Kąt $\delta = 60^\circ$
- ▶ Iteracja 9

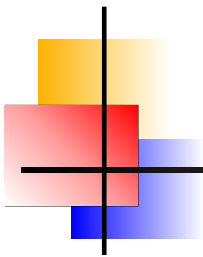




PRZYKŁADOWE DRZEWO

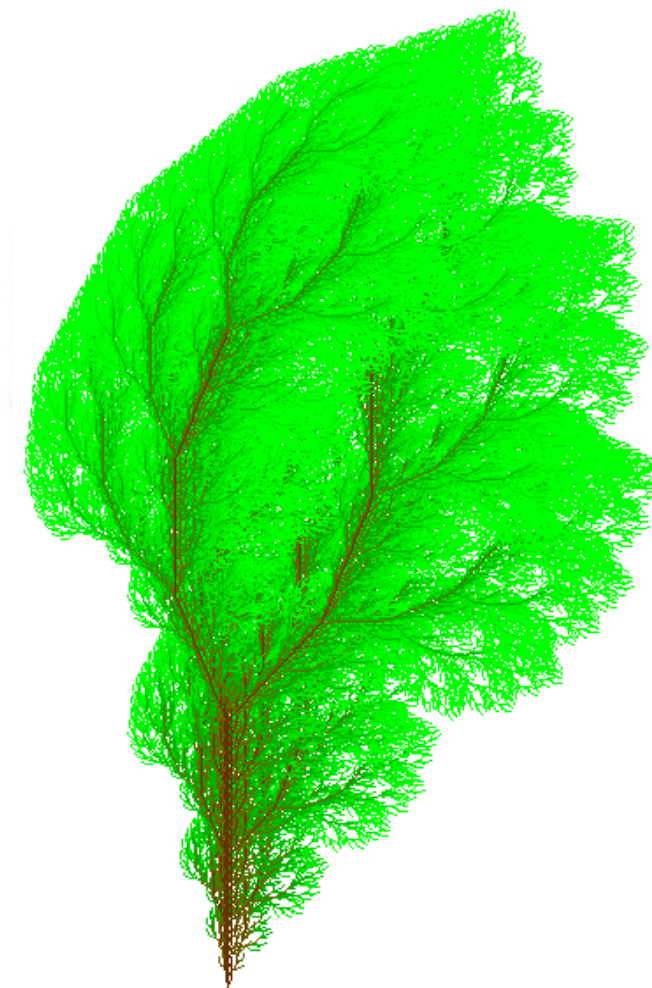
- ▶ Aksjomat $\omega = F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow FF - [-F + F + F] + [+F - F - F]$, Kąt $\delta = 22^\circ$
- ▶ Iteracje 1-4

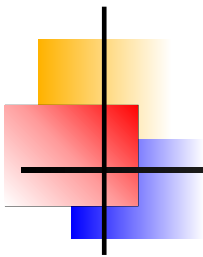




PRZYKŁADOWE DRZEWO

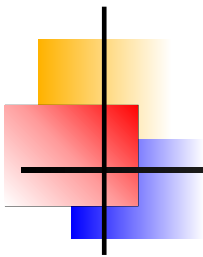
- ▶ Aksjomat $\omega = F$, Reguła produkcji
 $F \rightarrow FF - [-F + F + F] + [+F - F - F]$, Kąt $\delta = 22^\circ$
- ▶ Iteracje 5-6





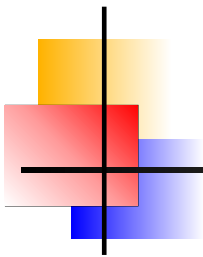
PROGRAM L-STUDIO

- ▶ Program **CPFG** jest program symulacji roślin opartym na formalizacji L-systemów.
- ▶ Jego charakterystyczną cechą jest **elastyczny język modelowania**, który pozwala użytkownikowi na określenie architektury szerokiego spectrum organizmów - od bakterii i glonów nitkowatych do roślin zielnych, drzew i ekosystemów roślinnych.
- ▶ Modele roślin mogą być **typu opisowego** bądź **funkcjonalno-strukturalnego**.
- ▶ W drugim przypadku, użytkownik może uwzględnić wpływ czynników **fizjologicznych (endogennych)** oraz **środowiskowych (egzogennych)** w procesach rozwoju roślin.
- ▶ Rezultaty symulacji mogą być reprezentowane w postaci **diagramów** lub **realistycznych obrazów (również animacji)**.
- ▶ Rezultaty numeryczne mogą być zapamiętywane w różnych formatach, pozwalających na dalszą analizę



PROGRAM L-STUDIO

- ▶ CPFG jest zintegrowany w pakiecie zwanym **Virtual Laboratory** (na stacjach roboczych Silicon Graphics systemem UNIX) i **L-studio** (dla platformy Windows).
- ▶ Pakiet ten zawiera dodatkowe interaktywne narzędzia graficzne, które ułatwiają specyfikację modelu i manipulację nim.
- ▶ Dla wsparcia **modelowania funkcjonalno-strukturalnego**, Virtual Laboratory oraz L-studio dostarczają narzędzi umożliwiających m.in. **wykrywania kolizji między organami roślin, transport światła środowisku atmosferycznym, transport różnych substancji w glebie.**
- ▶ Potencjalne zastosowania tych programów to:
 - ▶ Badania symulacyjne architektury roślin,
 - ▶ nauczania botaniki i ekologii,
 - ▶ opracowanie szczegółowych modeli specyficznych roślin do wykorzystania w ogrodnictwie, rolnictwie i leśnictwie,
 - ▶ wspomagane komputerowo projektowanie krajobrazu,
 - ▶ wizualna rekonstrukcja roślin wymarłych



PROGRAM L-STUDIO

- ▶ Język opisu L-systemów w CFPG jest **rozbudowaną i trójwymiarową** wersją opisu dwuwymiarowego
- ▶ Ze względu na symulacyjny charakter, większość L-systemów reprezentuje tu rzeczywiste rośliny, co implikuje ich **parametryczny i stochastyczny typ**
- ▶ Niektóre dodatkowe cechy programu
 - ▶ ogólne operatory pozycjonowania i przemieszczania się w 3D
 - ▶ możliwość definiowania l-systemów zagłębionych
 - ▶ zmienne abstrakcyjne w regułach produkcji i ich inicjacja poza nimi
 - ▶ sparametryzowany system opisu kolorów
 - ▶ rendering 3D: obserwator, światła, materiały i tekstury
 - ▶ duży zbiór predefiniowanych funkcji matematycznych
 - ▶ funkcje definiowane przez użytkownika
 - ▶ predefiniowane typy powierzchni geometrycznych
 - ▶ wiele formatów wyjściowych, w tym animacyjny
 - ▶ opis tropizmów roślin - reakcja na różne bodźce zewnętrzne