

**České vysoké učení technické v Praze**  
Fakulta stavební



**155ADKG Algoritmy v digitální kartografii**

**Konvexné obálky a ich konštrukcie**

Bc. Lukáš Kettner Bc. Martin Hulín  
5.11.2019

# Obsah

<b>1</b>	<b>Zadanie</b>	<b>3</b>
1.1	Bonusové úlohy . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Popis a rozbor problému</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Popis použitých algoritmov</b>	<b>5</b>
3.1	Jarvis Scan . . . . .	5
3.1.1	Implementácia metódy . . . . .	5
3.1.2	Problematické situácie . . . . .	5
3.1.3	Implementácia riešenia problému . . . . .	5
3.2	Quick Hull . . . . .	6
3.2.1	Implementácia metódy . . . . .	6
3.3	Sweep Line . . . . .	7
3.3.1	Implementácia metódy . . . . .	7
3.3.2	Problematické situácie . . . . .	8
3.3.3	Implementácia riešenia problému . . . . .	8
3.4	Graham scan . . . . .	8
3.4.1	Implementácia metódy . . . . .	8
3.4.2	Problematické situácie . . . . .	9
3.4.3	Implementácia riešenia problému . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Strikne konvexné obálky</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Vstupné dáta - generovanie bodov</b>	<b>11</b>
5.1	Množina bodov vytvorená ručne . . . . .	11
5.2	Automaticky generovaná množina bodov . . . . .	12
5.3	Způsob generování množiny bodů . . . . .	13
<b>6</b>	<b>Ukážka vytvorenej aplikácie</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Vykreslenie konvexnej obálky</b>	<b>16</b>
<b>8</b>	<b>Grafy - doby behu algoritmov</b>	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>Tabulky pro jednotlivé metody</b>	<b>23</b>
9.1	Tabulky s mezivýpočty . . . . .	28

<b>10 Dokumentácia</b>	<b>28</b>
10.1 Trieda Algorithms . . . . .	28
10.1.1 Členské premenné . . . . .	28
10.1.2 Metódy . . . . .	28
10.2 Trieda Draw . . . . .	30
10.2.1 Členské premenné . . . . .	30
10.2.2 Metódy . . . . .	30
10.3 Tridy SortByX, SortByY . . . . .	31
10.4 Trieda Widget . . . . .	32
10.4.1 Metódy . . . . .	32
<b>11 Záver</b>	<b>33</b>
<b>12 PŘÍLOHY - tabulky s mezivýpočty</b>	<b>35</b>

# 1 Zadanie

Vytvorte aplikáciu s grafickým rozhraním, ktorá vygeneruje konvexnú obálku podľa zvoleného typu algoritmu. Vstup do aplikácie : množina bodov  $\{p_1, \dots, p_n\}$  . Výstup aplikácie : konvexná obálka  $H(P)$ .

Nad množinou  $P$  implementujte nasledujúce algoritmy pre konštrukciu  $H(P)$ .

- Jarvis Scan
- Quick Hull
- Sweep Line

Vstupné množiny vrátane vygenerovaných konvexných obálok vhodne vizualizujte. Vytvorte grafy pre množiny  $n \in \langle 1000, 1000\ 000 \rangle$  ilustrujúce doby behu algoritmu. Meranie prevádzajte pre rôzne typy množín opakovane 10x a uveďte rozptyl. Namerané údaje usporiadajte do tabuliek.

Taktiež sa zamyslite nad problémom singularít pre rôzne typy vstupných množín a nad možnými optimalizáciami. Zhodnoťte dosiahnuté výsledky. Rozhodnite, ktorá z týchto metód je vzhľadom na časovú náročnosť a typ vstupnej množiny najvhodnejšia.

## 1.1 Bonusové úlohy

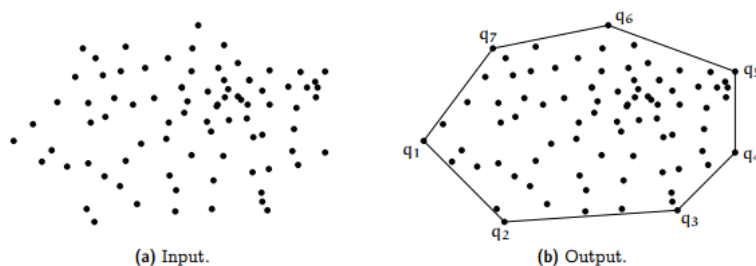
V rámci úlohy sú vypracované tieto bonusové úlohy

- Konštrukcia konvexnej obálky metódou Graham Scan.
- Ošetrenie singulárneho prípadu pro Jarvis Scan
- Konštrukcia striktne konvexných obálok
- Algoritmus pre automatické generovanie konvexných / nekonvexných množín

## 2 Popis a rozbor problému

Konvexná obálka je skupina bodov, ktorých spojením vznikne ohraničenie pre všetky ostatné body množiny. Pre konvexnú obálku platí :

- žiadny bod vstupnej množiny  $P$  neleží mimo ohraničenia konvexnej obálky.
- všetky spojnice bodov vstupnej množiny  $P$  ležia vnútri konvexnej obálky alebo tvoria jej ohraničenie.
- všetky vnútorné uhly medzi susednými segmentami konvexnej obálky sú menšie ako 180 stupňov.



Obr. 1: Princíp konvexnej obálky

Konvexnú obálku je možné zostrojiť viacerými metódami. V rámci našej práce sme zostrojili algoritmus Jarvis Scan, Quick Hull, Sweep Line a Graham scan.

## 3 Popis použitých algoritmov

### 3.1 Jarvis Scan

Tento algoritmus predstavuje jeden z najpoužívanějších postupov pre tvorbu konvexnej obálky. V algoritme sa zavádza kritérium maximálneho uhlu ( $\omega_{max}$ ). Pri tomto kritériu posudzujeme uhol medzi poslednou stranou konvexnej obálky a úsečkou posledný bod obálky - aktuálny bod. Kritérium hľadá taký aktuálny bod, pre ktorý je uhol ( $\omega$ ) maximálny. Postup je nasledovný. V prvom kroku vyberieme pivot  $q$  so súradnicou  $y_{min}$ , tento bod je automaticky súčasťou konvexnej obálky. Zavádzame kritérium maximálneho uhlu ( $\omega_{max}$ ). Keď nájdeme bod odpovedajúci kritériu, pridáme takýto bod do konvexnej obálky. Algoritmus končí v momente keď sa dostaneme opäť k pivotu  $q$ .

#### 3.1.1 Implementácia metódy

1. Nájsť pivot  $q$ . Zoradiť body podľa súradnice  $y$ .  $q : y_{min}$
2. Do konvexnej obálky pridaj  $q$
3. Inicializuj  $p_{j-1} \in X, p_j = q, p_{j+1} = p_{j-1}$
4. Opakuj pokiaľ  $p_{j+1} \neq q$
5. Nájsť bodu pre ktorý je uhol  $\omega$  maximálny  $p_{j+1} = \operatorname{argmax}_{p_i \in P} \angle(p_{j-1}, p_j, p_i)$
6. Pridaj nájsený bod  $p_{j+1}$  do konvexnej obálky
7. Inicializuj  $p_{j-1} = p_j, p_j = p_{j+1}$

#### 3.1.2 Problematické situácie

Problematickou situáciou sú vyskytujúce sa kolineárne body. V takomto prípade je potrebné ošetriť aby sa do konvexnej obálky dostal najvzdialenejší bod.

#### 3.1.3 Implementácia riešenia problému

1. Cyklus  $\text{for}(\text{inth} = 0; h < \text{ch.size}() - 1; h++)$  - prechádzame všetky body konvexnej obálky

2. Podmienka totožných súradníc  
 $if((ch[h].x() == ch[h + 1].x()) \& \& (ch[h].y() == ch[h + 1].y()))$
3. Odstráň bod s totožnými súradnicami  $ch.remove(h)$
4.  $h --$

## 3.2 Quick Hull

Tento algoritmus uplatňuje pri konštrukcii konvexnej obálky princíp rozdelenia a panuj. Jedná sa o rekurzívny algoritmus. Skladá sa z lokálnej a globálnej procedúry. Konvexná obálka je skonštruovaná z dvoch častí - upper hull a lower hull. Deliacou priamkou je spojnice dvoch bodov s extrémnymi súradnicami x (minimum, maximum). S oboma časťami obálky sa počas výpočtu pracuje samostatne. Algoritmus hľadá bod s extrémnymi súradnicami v ose y, samostatne pre hornú a dolnú časť. Výsledná konvexná obálka je pri zachovaní CCW orientácie zložená z dvoch častí automaticky, bez nutnosti spájania.

### 3.2.1 Implementácia metódy

1. Vytvor množinu konvexnej obálky, vektor vrchných *upoints* a spodných bodov *lpoints*
2. Zorad' vstupnú množinu bodov podľa súradnice X
3. Nájdi body  $q_1$  ,  $q_3$  s extrémnymi súradnicami X
4. Pridaj  $q_1$  ,  $q_3$  do *upoints* a *lpoints*
5. Rozdeľ všetky body vstupnej množiny podľa kritéria do *upoints* alebo *lpoints*
6. Do konvexnej obálky pridaj bod  $q_3$
7. Volaj rekurzívnu funkciu - nájde najvzdialenejší bod v *upoints*
8. Pridaj tento bod do konvexnej obálky
9. Do konvexnej obálky pridaj bod  $q_1$
10. Volaj rekurzívnu funkciu - nájde najvzdialenejší bod v *lpoints*

11. Pridaj tento bod do konvexnej obálky
12. Vráť konvexnú obálku.

### 3.3 Sweep Line

Jedná sa o metódu zametacej priamky. Tento algoritmus pracuje na princípe prepisovania pozície predchodcu a následníka  $i$ -teho bodu. Popis algoritmu slovne je miestami zložité pochopiť a pri jeho prezentácii pred osobou mimo obor by sme mohli skončiť na psychiatrii. Implementácia metódy jednoduchšie zobrazí jej fungovanie.

#### 3.3.1 Implementácia metódy

1. Zoradenie množiny bodov  $P_s$  podľa súradnice  $x$
2. if  $p_3 \in \sigma_L(p_1, p_2)$
3.        $n[1] = 2; n[2] = 3; n[3] = 1$
4.        $p[1] = 3; p[2] = 1; p[3] = 2$
5. else
6.        $n[1] = 3; n[3] = 2; n[2] = 1$
7.        $p[1] = 2; p[3] = 1; p[2] = 3$
8. for  $p_i \in P_s, i > 3$
9.       if  $(y_i > y_{i-1})$
10.            $p[i] = i-1; n[i] = n[i-1]$
11.       else
12.            $n[i] = i-1; p[i] = p[i-1]$
13.        $n[p[i]] = i; p[n[i]] = i;$
14.       while  $(n[n[i]]) \in \sigma_R(i, n[i])$
15.            $p[n[n[i]]] = i; n[i] = n[n[i]];$



16.  $\text{while } (p[p[i]]) \in \sigma_L(i, p[i])$
17.  $n[p[p[i]]] = i; p[i] = p[p[i]];$

### 3.3.2 Problematické situácie

Problematická situácia pri algoritme Sweep Line nastáva, ak sa vo vstupnej množine bodov nachádzajú duplicitné body. Tie je potrebné odstrániť a až po ich odstránení určiť veľkosť vektoru bodov vstupnej množiny, vytvoriť zoznam predchodcov, následníkov a v cykle spustiť algoritmus.

### 3.3.3 Implementácia riešenia problému

1. Odstránenie duplicitných bodov po zoradení podľa osy X  
Cyklus  $\text{for}(\text{unsigned int } i = 0; i < \text{points.size()} - 1; i++)$  - prechádzame celý vektor bodov
2. Podmienka totožných súradníc  
 $\text{if}((\text{points}[i].x() \neq \text{points}[i + 1].x()) || (\text{points}[i].y() \neq \text{points}[i + 1].y()))$
3. Ulož bod, ktorý nie je duplicitný  $\text{noDuplicityPoints.push\_back}(\text{points}[i])$
4.  $\text{noDuplicityPoints.push\_back}(\text{points}[\text{points.size()} - 1])$
5.  $\text{points} = \text{noDuplicityPoints}$

## 3.4 Graham scan

Grahamov prehľadávací algoritmus využíva kritérium pravotočivosti, pri ktorom posudzuje uhol ( $\omega_i$ ). Množina bodov je zoradená podľa súradnice y. Bod s najmenšou y súradnicou je zvolený za pivota. Z pivota vedieme rovnobežku s osou X. Následne určíme uhol od osi X k ostatným bodom množiny. Tieto uhly je potrebné zotriediť podľa veľkosti. Následne vyberieme bod ( $p_i$ ) pre ktorý je uhol ( $\omega_i$ ) maximálny. Pri pridávaní bodu do konvexnej obálky musí byť splnená podmienka ľavotočivosti.

### 3.4.1 Implementácia metódy

1. Zoradenie množiny bodov  $P_s$  podľa súradnice y
2. Nájdenie pivota q,  $q = \min(y_i)$  ,  $q \rightarrow \text{Convex Hull}$

3. Zorad' body podľa veľkosti uhlu  $(\omega_i) \angle(p_{kolinearbyx}, x, p_i)$
4. Vymaž bližší bod ku q *if*  $(\omega_i = \omega_j)$
5. Opakuj pre všetky body j < n
6. Pridaj bod  $p_j$  pre ktorý je uhol omega maximálny a je splnená podmienka ľavotočivosti  $\rightarrow$  Convex Hull
7.               j = j+1
8. Else pop S

### 3.4.2 Problematické situácie

Problematická situácia pri algoritme Graham Scan nastáva, ak sa vo vstupnej množine bodov nachádzajú body, ktoré zvierajú s osou X a pivotom rovnaký uhol  $(\omega_i)$ . Je potrebné určiť vzdialenosť takýchto bodov od pivotu a ponechať v množine bodov len bod s najväčšou vzdialenosťou od pivotu.

### 3.4.3 Implementácia riešenia problému

1. Odstránenie bližších bodov k pivotu pri totožnom uhle  $(\omega_i)$   
Cyklus *for*  $(unsigned\ i = 0; i < chGS.size() - 2; i++)$  prechádzame celú konvexnú obálku
2. Podmienka totožného uhlu  $(\omega_i)$   
*if*  $(getPointLineDistance(chGS[i], chGS[i + 1], chGS[i + 2]) == -1)$
3. Odstráň bližší bod  $chGS.erase(chGS.begin() + (i + 1))$
4.  $i = i - 1$

Odstránenie duplicitných bodov

1. Cyklus *for*  $(int\ h = 0; h < chGS.size() - 1; h++)$  - prechádzame všetky body konvexnej obálky
2. Podmienka totožných súradníc  
*if*  $((chGS[h].x() == chGS[h + 1].x()) \&\& (chGS[h].y() == chGS[h + 1].y()))$

3. Odstráň bod s totožnými súradnicami  $chGS.remove(h)$
4.  $h - -$

## 4 Strikne konvexné obálky

Striktne konvexná obálka musí spĺňať podmienku : neobsahovať 3 nasledujúce body na jednej priamke. Pre ošetrovanie tohto prípadu sme implementovali funkciu, ktorá takéto body odstránila, taktiež sme vymazali duplicitné body.

## 5 Vstupné dáta - generovanie bodov

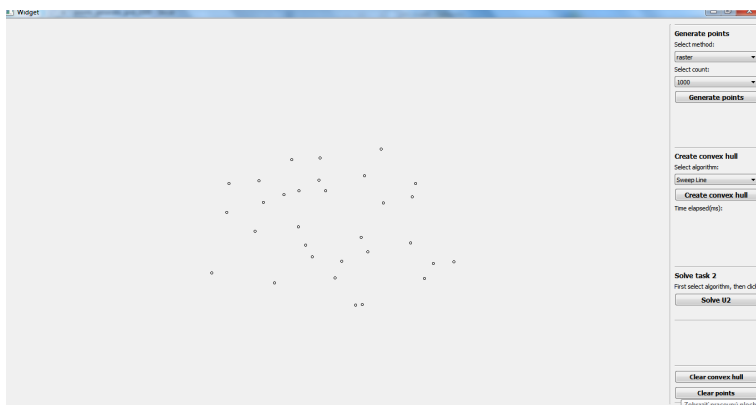
Vstupnými dátami je množina bodov. Táto množina môže byť ručne naklikaná v Canvase alebo automaticky generovaná.

Generovanie je možné previesť do rastu, kruhového tvaru alebo náhodného usporiadania množiny bodov. Oblasť generovania je určená z aktuálnej veľkosti okna aplikácie. Od každej hrany okna je pevne nastavený odstup. Samotné náhodné generovanie je realizované pomocou *std :: random\_device* s použitím generátoru *std :: mt19937*.

Raster je generovaný s pevným krokom pre šírku a dĺžku okna, ktorý sa počíta na základe požadovaného počtu bodov. Náhodné generovanie sa prevádza pomocou príkazu *std :: uniform\_int\_distribution*, ktorý generuje celé čísla v určitom rozsahu. Pre možnosť circle – kruhového generovania bodov sú body generované polárnymi súradnicami s použitím rovnakého náhodného generátoru ako v predchádzajúcom prípade.

### 5.1 Množina bodov vytvorená ručne

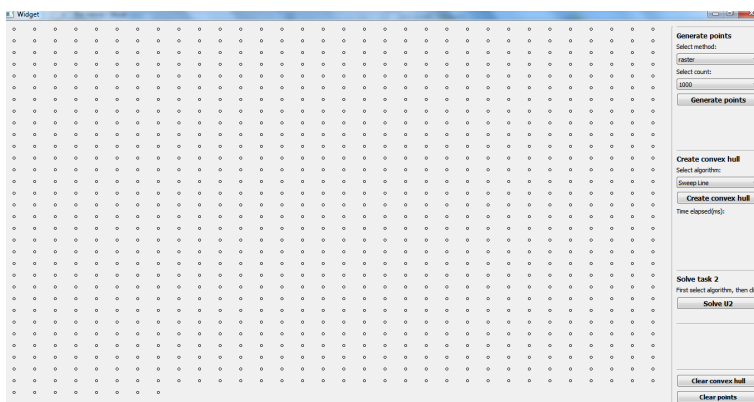
Táto množina vznikne ručným naklikaním bodov priamo v Canvase.



Obr. 2: Manuálne zadane body a vygenerová konvexná obálka

## 5.2 Automaticky generovaná množina bodov

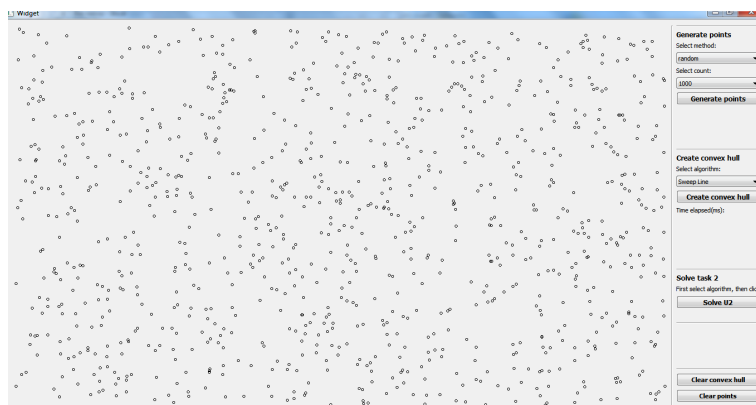
Množina vznikne automatickým vygenerovaním po zadaní požadovaného počtu generovaných bodov. Rozsah generovaných bodov je  $n \in \langle 1000, 1000\ 000 \rangle$ . Tvary generovaných bodov sú raster, kruh, náhodne generované body.



Obr. 3: Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare rastru.



Obr. 4: Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare kruhu.



Obr. 5: Automaticky generovaných 1000 bodů v náhodném tvare.

### 5.3 Způsob generování množiny bodů

Generování je rozdílné pro možné tvary generované množiny. Obecně se při každém generování počítá s aktuální velikostí okna aplikace, podle které se určuje velikost generované množiny. Je tím zaručeno, že vygenerovaná a následně zobrazená množina bodů bude zaplňovat celé okno aplikace. Zároveň generování bodů probíhá s pevným odstupem od hranice okna aplikace. Tím máme jistotu, že všechny generované body budou v okně celé a dobře viditelné. Hodnota odstupů od hrany je nastavena na 4.

- Raster

Dochází ke generování pravidelné bodové sítě, která má obecně rozdílný krok ve vodorovném a vertikálním směru. Po vygenerování nedostáváme přesný počet požadovaných bodů. Odchylka je pohybuje do 100 bodů od požadovaného počtu. Při požadavku na kompletní řádky nejde přesného počtu jednoduchým výpočtem docílit. Přesným řešením jsme se nezabývali, poněvadž nám toto řešení přišlo jako dostačující. Generování probíhá řádek po řádku.

- Random

Generování probíhá pomocí `std::random_device` s využitím generátoru `std::mt19937` (A Mersenne Twister pseudo-random generator of 32-bit numbers). Rozdělení souřadnice  $x$  a souřadnice  $y$  je určeno pomocí `std::uniform_int_distribution` a je dáno aktuální šířkou/výškou

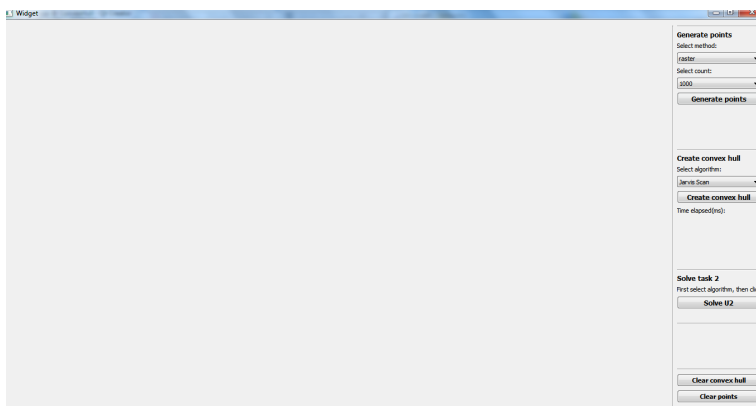
okna dvakrát zmenšenou o odstupu od hranice(z levé a pravé, resp horní a dolní hrany, tj o  $2 * 4$  v obou směrech).

- Circle

Pro body ve tvaru kružnice je generování podobné jako u Random, jen s tím rozdílem, že generujeme úhel a poloměr místo souřadnice x a y. Úhel je generován jako celé číslo v rozsahu 0 až 360. Poloměr jako celé číslo od poloviny aktuální výšky okna zmenšené o požadovanou šířku pruhu do poloviny aktuální výšky okna. Šířka pruhu je nastavena na 100. Vygenerované polární souřadnice jsou následně jednoduše přepočteny na kartézské x a y. Kromě `std :: uniform_int_distribution <>` bylo využito `std :: chrono :: system_clock :: now().time_since_epoch().count()` pro inicializaci generátoru.

## 6 Ukážka vytvorenej aplikácie

Grafické rozhranie aplikácie, vo svojej pravej časti, obsahuje možnosť generovania počtu bodov v užívateľom zvolenom tvare, vytvorenie konvexnej obálky pomocou zvoleného algoritmu. Pod tlačítkom *Create convex hull* sa nachádza label v ktorom sa zobrazí doba trvania vygenerovania konvexnej obálky. Ďalej grafické rozhranie obsahuje tlačítko *Solve U2*. Po jeho stlačení sa zvoleným algoritmom prevedie generovanie konvexnej obálky automaticky. Toto generovanie prebieha automaticky 10x pre každý typ rozmiestnenia bodov ( raster, kruh, náhodné rozmiestnenie bodov) a počet bodov  $n \in \langle 1000, 5000, 10\ 000, 25\ 000, 50\ 000, 75\ 000, 100\ 000, 250\ 000, 500\ 000, 750\ 000, 1000\ 000 \rangle$ . Pre každé generovanie konvexnej obálky je počítaná doba behu, ktorá sa spolu s počtom a typom generovaných bodov, typom algoritmu a poradím opakovania je ukladaná do textového súboru. Tento textový súbor je následne spracovaný v programe R Studio. Výsledné vytvorené grafy s porovnaním časovej náročnosti pri  $n$  počte vstupných bodov sú uvedené v kapitole *Grafy a tabuľky*.

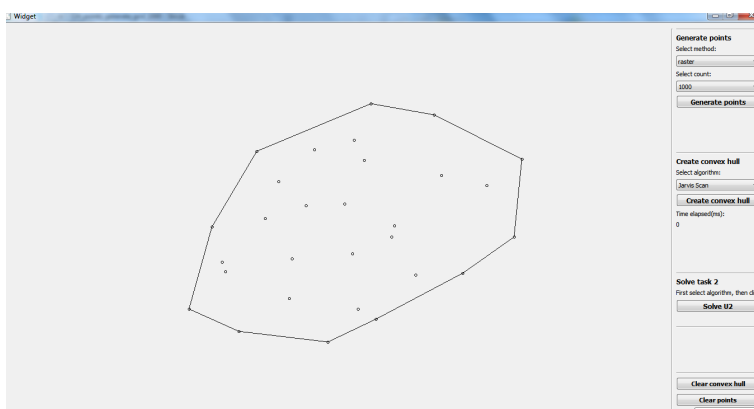


Obr. 6: Ukážka grafického rozhrania aplikácie

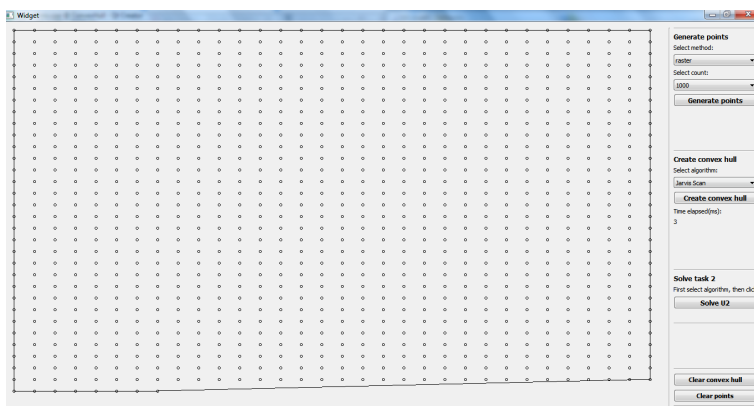


## 7 Vykreslenie konvexnej obálky

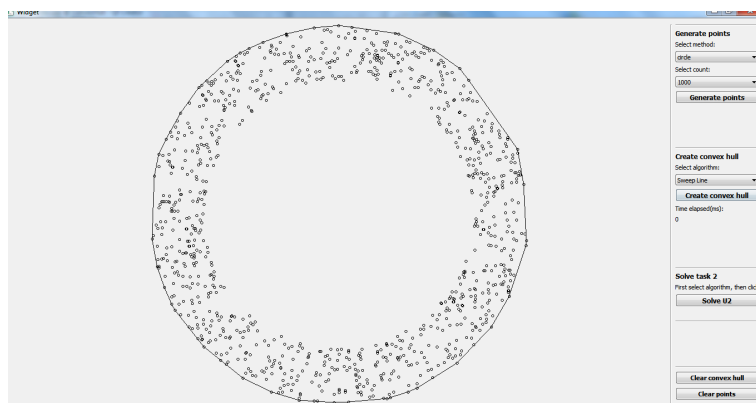
Po automatickom vygenerovaní bodov, prípadne ručnom naklikaní v Canvase, voľbe algoritmu konštrukcie konvexnej obálky a stlačení tlačidla *Create convex hull* dostane užívateľ vygenerovanú konvexnú obálku. Pri generovaní väčšieho počtu bodov ako  $n = 5000$  sa v grafickom rozhraní vykreslí len prvých 5000 bodov, z dôvodu rýchlejšieho a jednoduchšieho vykresľovania. Konvexná obálka sa vygeneruje v plnom rozsahu.



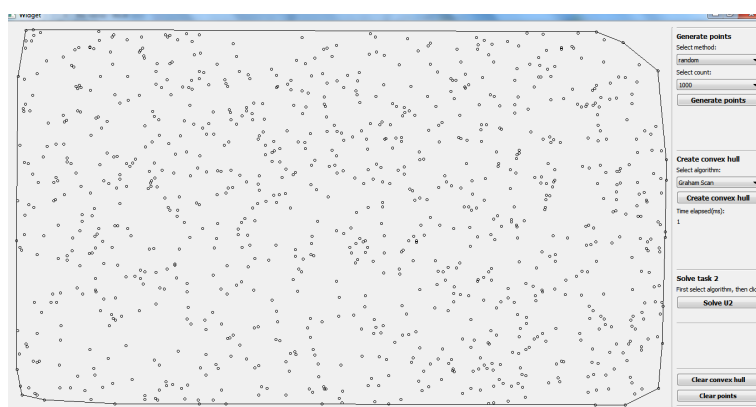
Obr. 7: Manuálne zadané body a vygenerová konvexná obálka



Obr. 8: Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare rastru, konvexná obálka bodov.



Obr. 9: Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare kruhu, konvexná obálka bodov.



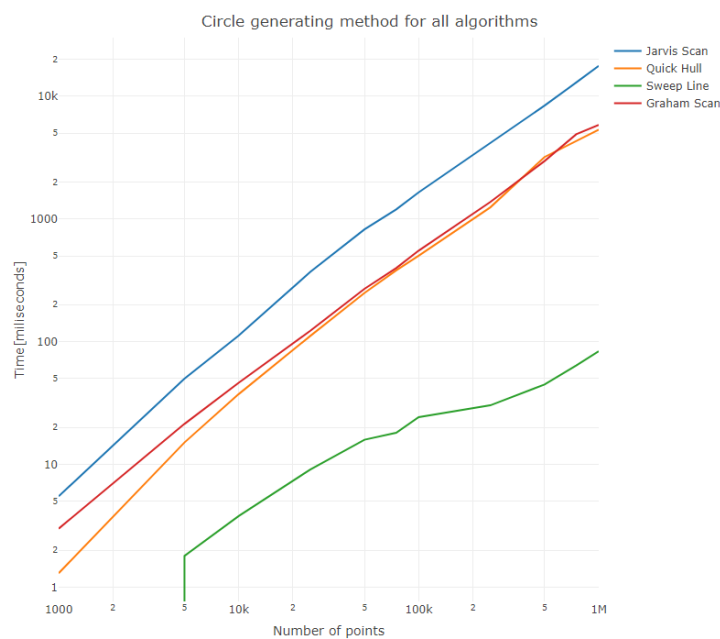
Obr. 10: Automaticky generovaných 1000 bodov v náhodnom tvare, konvexná obálka bodov.



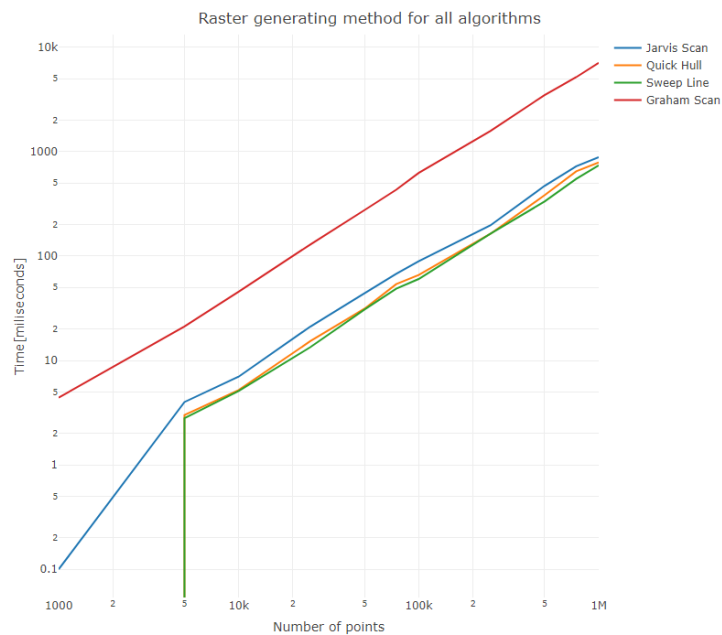
Obr. 11: Automaticky generovaných 1 000 000, konvexná obálka Sweep Line.

## 8 Grafy - doby behu algoritmov

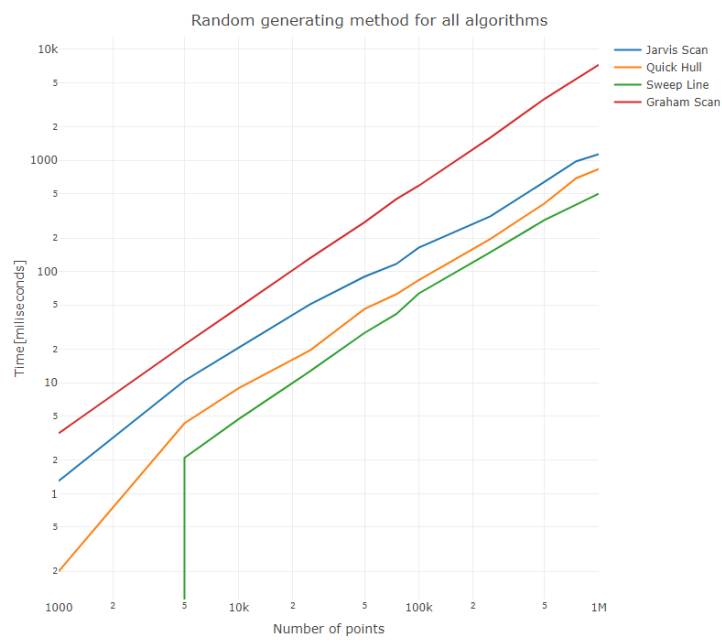
Súčasťou úlohy je porovnanie doby behu jednotlivých algoritmov pre testované množiny bodov generované v tvare kruhu, rastru a náhodne. Prezentácia výsledkov je pomocou grafov vytvorených v programe R Studio. Testovanie bolo vykonané 10x pre každý počet bodov z intervalu a tvar generovanej množiny bodov. Vykonalí sme ho v režime Relase.



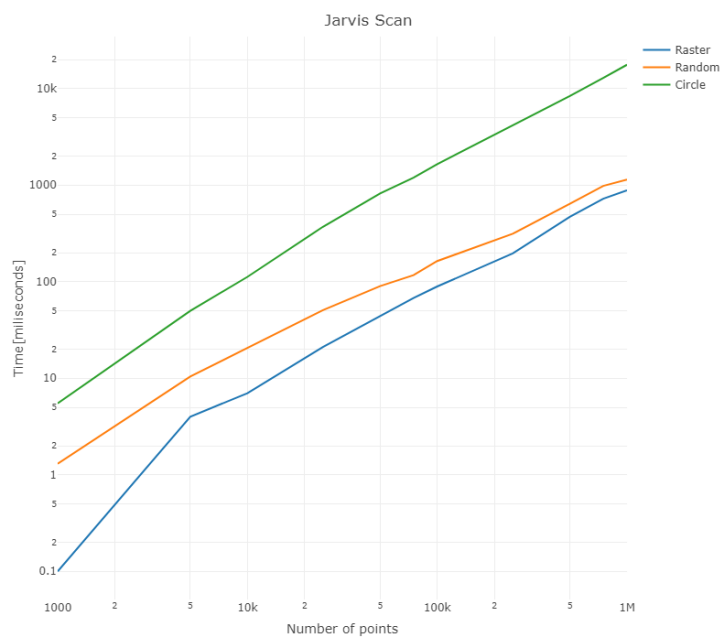
Obr. 12: Doba behu jednotlivých algoritmov pre množinu bodov v tvare kruhu.



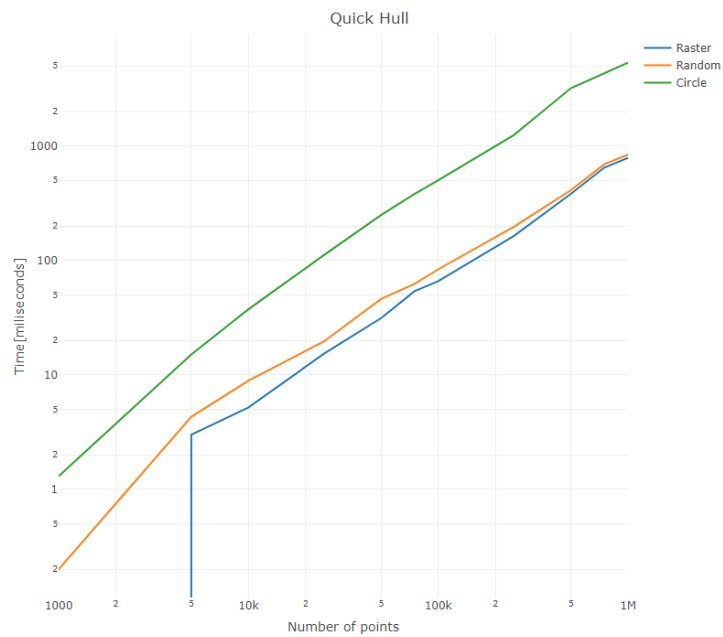
Obr. 13: Doba behu jednotlivých algoritmov pre množinu bodov v tvare rastu.



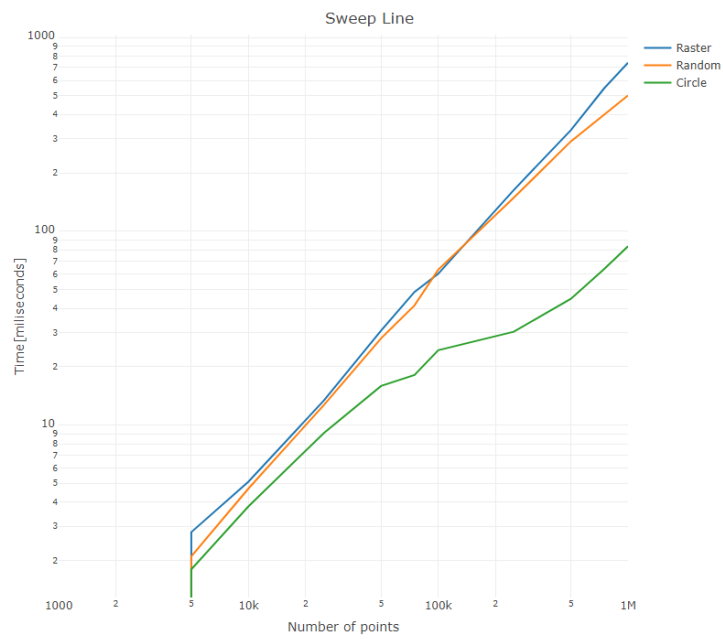
Obr. 14: Doba behu jednotlivých algoritmov pre množinu bodov v náhodnom tvare.



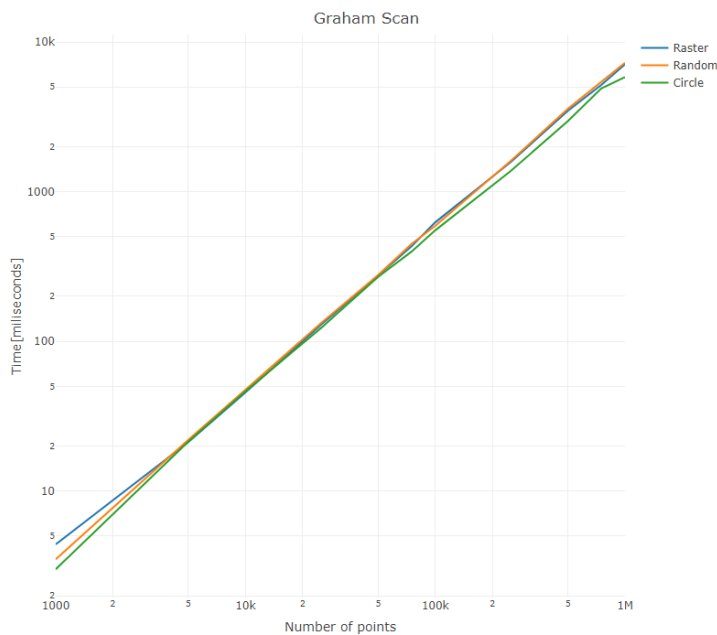
Obr. 15: Doba behu algoritmu Jarvis Scan pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch.



Obr. 16: Doba behu algoritmu Quick Hull pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch.



Obr. 17: Doba behu algoritmu Sweep Line pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch.



Obr. 18: Doba behu algoritmu Graham Scan pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch.

## 9 Tabulky pro jednotlivé metody

Tabulky s presnou dobou behu jednotlivých algoritmov pre množiny bodov. Tabulky sú rozdelené po jednotlivých algoritmoch a každá obsahuje priemerný čas generovania konvexnej obálky v jednotkách milisekúnd určený z desiatich pokusov a rozptyl. Rozptyl bol určený ako prostý rozdiel najdlhšieho a najkratšieho času výpočtu obálky z desiatich pokusov.



Tabulka 1: Jarvis Scan data z výpočtu

Jarvis Scan			
points	method	avg elapsed time [ms]	variance [ms]
1000	raster	0.1	1
5000	raster	4	0
10000	raster	7	0
25000	raster	21.1	1
50000	raster	43.9	3
75000	raster	67.6	6
100000	raster	89.2	3
250000	raster	196.3	3
500000	raster	469.5	6
750000	raster	722.4	4
1000000	raster	882	55
1000	random	1.3	1
5000	random	10.4	1
10000	random	20.6	2
25000	random	50.8	31
50000	random	89.9	10
75000	random	116.8	14
100000	random	163.7	26
250000	random	313.5	42
500000	random	641.3	78
750000	random	981.1	108
1000000	random	1138.4	199
1000	circle	5.5	1
5000	circle	49.9	5
10000	circle	112.2	20
25000	circle	370.3	56
50000	circle	821.7	88
75000	circle	1195.5	32
100000	circle	1647.4	14
250000	circle	4167.5	86
500000	circle	8373.2	452
750000	circle	12913.8	833
1000000	circle	17651.2	1077

Tabulka 2: Quick Hull data z výpočtu

<b>Quick Hull</b>			
points	method	avg elapsed time [ms]	variance [ms]
1000	raster	0	0
5000	raster	3	0
10000	raster	5.2	2
25000	raster	15.3	4
50000	raster	31.3	7
75000	raster	53.8	25
100000	raster	65.8	15
250000	raster	163	43
500000	raster	381.6	199
750000	raster	647.3	138
1000000	raster	787.4	323
1000	random	0.2	1
5000	random	4.3	1
10000	random	8.9	2
25000	random	19.6	5
50000	random	46	19
75000	random	62.4	14
100000	random	83.5	16
250000	random	196.5	45
500000	random	410.2	101
750000	random	691.6	202
1000000	random	838.5	252
1000	circle	1.3	1
5000	circle	15.1	1
10000	circle	37.4	3
25000	circle	111.4	21
50000	circle	249.2	60
75000	circle	380.6	59
100000	circle	501.8	85
250000	circle	1242.6	61
500000	circle	3192.4	2496
750000	circle	4293.5	462
1000000	circle	5331.2	618

Tabulka 3: Sweep Line data z výpočtu

Sweep Line			
points	method	avg elapsed time [ms]	variance [ms]
1000	raster	0	0
5000	raster	2.8	1
10000	raster	5.1	1
25000	raster	13.4	4
50000	raster	30.7	8
75000	raster	48.6	17
100000	raster	60.3	17
250000	raster	163.1	41
500000	raster	332.3	87
750000	raster	547.1	201
1000000	raster	739.9	243
1000	random	0	0
5000	random	2.1	1
10000	random	4.7	2
25000	random	12.7	4
50000	random	28	11
75000	random	41.4	19
100000	random	63.3	18
250000	random	148.7	59
500000	random	290.7	172
750000	random	398.7	248
1000000	random	501.1	414
1000	circle	0	0
5000	circle	1.8	1
10000	circle	3.8	3
25000	circle	9.1	7
50000	circle	15.9	18
75000	circle	18.1	30
100000	circle	24.3	63
250000	circle	30.3	131
500000	circle	44.8	274
750000	circle	63.9	445
1000000	circle	83.6	649

Tabulka 4: Graham Scan data z výpočtu

<b>Graham Scan</b>			
points	method	avg elapsed time [ms]	variance [ms]
1000	raster	4.4	2
5000	raster	21.2	1
10000	raster	45.5	2
25000	raster	128.9	5
50000	raster	275.3	47
75000	raster	431.3	16
100000	raster	623.9	108
250000	raster	1575.6	104
500000	raster	3472.2	238
750000	raster	5160.9	166
1000000	raster	7088.7	1641
1000	random	3.5	1
5000	random	22	0
10000	random	47.5	1
25000	random	132.2	5
50000	random	277.5	11
75000	random	447.2	83
100000	random	591.1	83
250000	random	1602.9	86
500000	random	3579.8	1230
750000	random	5402.5	2263
1000000	random	7262.5	946
1000	circle	3	0
5000	circle	21.4	1
10000	circle	46.3	1
25000	circle	122.7	1
50000	circle	269.5	38
75000	circle	397.4	7
100000	circle	551.6	122
250000	circle	1374.7	38
500000	circle	2958.7	670
750000	circle	4889	2046
1000000	circle	5823.7	190

## 9.1 Tabulky s mezivýpočty

Tabulky jsou rozdělené pro jednotlivé algoritmy a obsahují všech 10 pokusů pro každou velikost a tvar vstupní množiny. Tyto tabulky jsou v textovém formátu výstupem aplikace (zvolení algoritmu z výběrového menu a stisknutí tlačítka Solve U2) a vstupují do výpočetního skriptu v programu R, který zprůměruje 10 pokusů, spočítá rozptyl a vykreslí grafy. Výstupem skriptu jsou opět textové soubory, které tvoří tabulky č. 4, č. 3, č. 2 a č. 1. Pro přehlednost technické zprávy jsou tabulky uvedeny na konci v přílohách viz. kapitola 12.

## 10 Dokumentácia

### 10.1 Trieda Algorithms

Triedu Algorithms sme použili pre deklarovanie funkcií pre výpočtové algoritmy tvorby konvexnej obálky a pre deklaráciu ich pomocných metód.

#### 10.1.1 Členské premenné

static QPoint pivot

- bod obsahujúci súradnice pivota

QPoint kolinear X point

- bod obsahujúci súradnice pomocného bodu, kolinearneho s osou X

#### 10.1.2 Metódy

getAngle2Vectors

- Slúži k určeniu uhlu medzi dvoma priamkami. Jej návratovou hodnotou je double
- na vstupe má : súradnice bodov  $p_1, p_2, p_3, p_4$  určujúcich prvú a druhú priamku
- výstupom je hodnota uhlu medzi priamkami

getPointLinePosition

- Slúži na určenie polohy bodu voči priamke. Jej návratovou hodnotou je integer.
- na vstupe má : súradnice určovaného bodu  $q$  , súradnice bodov priamky  $p_1 p_2$
- na výstupe hodnoty :
  - 1 – bod sa nachádza na priamke
  - 0 – bod sa nachádza vpravo od priamky
  - 1 – bod sa nachádza vľavo od priamky

#### getPointLineDistance

- je pomocnou metódou pre metódu positionPointPolygonWinding. Slúži na určenie polohy bodu voči priamke. Jej návratovou hodnotou je double.
- na vstupe má : súradnice určovaného bodu  $q$  , súradnice bodov priamky  $p_1 p_2$
- na výstupe hodnotu vzdialenosti určovaného bodu od priamky.

#### Distance

- Slúži na porovnanie vzdialenosti dvoch bodov.
- na vstupe má : súradnice bodov  $p_1$  a  $p_2$
- na výstupe hodnotu vzdialenosti medzi dvoma bodmi.

#### Angle

- Slúži na porovnanie veľkosti dvoch uhlov.
- na vstupe má : súradnice bodov  $p_1$  a  $p_2$
- na výstupe väčší uhol.

#### jarvisScan, qHull, grahamScan, sweepLine

- Metódy slúžia k výpočtu konvexnej obálky podľa zvoleného výpočtového algoritmu. Vstupným typom je QPolygon
- na vstupe je vektor bodov `std::vector<QPoint>points`

- na výstupe je polygón obsahujúci množinu bodov a konvexnú obálku.

qh

- Metódy slúžia k výpočtu konvexnej obálky podľa algoritmu Quick Hull. Je to pomocná metóda. Vstupným typom je void.
- na vstupe je index počiatočného a koncového bodu deliacej priamky start, end
- std::vector<QPoint>points vektor bodov okolo ktorých vytvárame konvexnú obálku
- QPolygon convexHull ktorý obsahuje body konvexnej obálky
- na výstupe je polygón obsahujúci konvexnú obálku.

## 10.2 Trieda Draw

Trieda Draw slúži ku grafickému vykresleniu množiny bodov a konvexnej obálky nad touto množinou.

### 10.2.1 Členské premenné

std::vector<QPoint>points

- vektor bodov okolo ktorých vytvárame konvexnú obálku

QPolygon ch

- polygón obsahujúci body konvexnej obálky

### 10.2.2 Metódy

paintEvent

- slúži k vykresleniu naklikaných a vygenerovaných bodov, vykresleniu konvexnej obálky. Návrátovým typom je void.

void mousePressEvent

- slúži k vykresleniu bodu stlačením tlačidla myši, v okamihu stlačenia tlačidla na myši sa uložia súradnice bodu do vektoru points. Návrátovým typom je void.

void clearCH

- slúži k vymazaniu konvexnej obálky. Návrátovým typom je void.

void clearPoints

- slúži k vymazaniu množiny bodov. Návrátovým typom je void.

std::vector<QPoint>getPoints

- vektor, ktorý slúži k vráteniu množiny bodov points.

setCH

- slúži na prevedenie konvexnej obálky do vykresľovacieho okna.

generatePoints

- slúži ku generovaniu množiny bodov. Na vstupe je zadaná metóda, počet bodov, šírka a výška.
- na výstupe je vygenerovaná množina bodov podľa užívateľského zadania.

std::vector<QPoint>generatePointsU2

- slúži ku generovaniu množiny bodov. Na vstupe je zadaná metóda, počet bodov, šírka a výška.
- na výstupe je vygenerovaná množina bodov podľa užívateľského zadania. Generovanie konvexnej obálky prebehne automaticky 10x pre všetky typy tvaru generovanej množiny bodov a počty generovaných bodov v intervale od 1 000 do 1 000 000.

### 10.3 Tridy SortByX, SortByY

Sú to triedy, ktoré obsahujú zorad'ovacie kritériá. Pomocou týchto funkcií zoradíme súbor bodov podľa X alebo podľa Y súradnice.



## 10.4 Trieda Widget

Trieda Widget obasha metódy ktoré sú odkazom na sloty umožňujúce vykonávať príkazy z grafického rozhrania aplikácie. Nemajú žiadne vstupné hodnoty, návratovým typom je void.

### 10.4.1 Metódy

#### on\_pushButton\_createCH\_clicked

- tlačidlo **Create convex hull** po kliknutí naň sa vygeneruje konvexná obálka množiny bodov

#### on\_pushButton\_clearPoints\_clicked

- tlačidlo **Clear points** po kliknutí naň sa vymaže množina bodov

#### on\_pushButton\_clearCH\_clicked

- tlačidlo **Clear convex hull** po kliknutí naň sa vymaže konvexná obálka

#### on\_pushButton\_generatePoints\_clicked

- tlačidlo **Generate points** po kliknutí naň sa vygenerujú body v zvolenom tvare a počte

#### on\_pushButton\_solveU2\_clicked

- tlačidlo **Solve U2** po kliknutí naň sa vykoná automatické generovanie konvexnej obálky 10x pre každý typ rozmiestnenia bodov ( raster, kruh, náhodné rozmiestnenie bodov) a počet bodov  $n \in \langle 1000, 5000, 10\ 000, 25\ 000, 50\ 000, 75\ 000, 100\ 000, 250\ 000, 500\ 000, 750\ 000, 1000\ 000 \rangle$  . Pre každé generovanie konvexnej obálky je počítaná doba behu, ktorá sa spolu s počtom a typom generovaných bodov, typom algoritmu a poradím opakovania je ukladaná do textového súboru

## 11 Záver

Výsledkom úlohy je funkčná aplikácia a grafická prezentácia doby trvania jednotlivých algoritmov pre rôzne množiny bodov. Po vypracovaní úlohy sme došli k nasledujúcemu záveru. Najvhodnejší algoritmus pre generovanie konvexných obálok je Sweep Line. Táto metóda dosiahla najlepšie výsledky vo všetkých testovacích prípadoch. Obzvlášť výrazný časový rozdiel oproti ostatným algoritmom bol pri zväčšujúcej sa množine bodov usporiadanej v kruhovom tvare. Algoritmy Graham Scan a Jarvis Scan sú o poznanie pomalšie, hlavne pri rastri a náhodne generovanej množine bodov. Algoritmus Quick Hull dosahuje pre rastrovú a náhodnú množinu bodov takmer totožnú rýchlosť ako algoritmus Sweep Line, pri kruhovom rozložení bodov je pomalší, obdobne rýchly ako Graham Scan.

V úlohe sme sa neimplementovali generovanie množiny bodov v tvare elipsy a star - shaped rozloženia. Bolo by zaujímavé porovnať doby behov algoritmov aj pre takéto rozloženia množín bodov.

## Zoznam obrázkov

1	Princíp konvexnej obálky . . . . .	4
2	Manuálne zadane body a vygenerová konvexná obálka . . . . .	11
3	Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare rastru. . . . .	12
4	Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare kruhu. . . . .	12
5	Automaticky generovaných 1000 bodov v náhodnom tvare. . .	13
6	Ukážka grafického rozhrania aplikácie . . . . .	15
7	Manuálne zadane body a vygenerová konvexná obálka . . . . .	16
8	Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare rastru, konvexná obálka bodov. . . . .	16
9	Automaticky generovaných 1000 bodov v tvare kruhu, konvexná obálka bodov. . . . .	17
10	Automaticky generovaných 1000 bodov v náhodnom tvare, konvexná obálka bodov. . . . .	17
11	Automaticky generovaných 1 000 000, konvexná obálka Sweep Line. . . . .	18
12	Doba behu jednotlivých algoritmov pre množinu bodov v tvare kruhu. . . . .	19
13	Doba behu jednotlivých algoritmov pre množinu bodov v tvare rastru. . . . .	20
14	Doba behu jednotlivých algoritmov pre množinu bodov v náhodnom tvare. . . . .	20
15	Doba behu algoritmu Jarvis Scan pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch. . . . .	21
16	Doba behu algoritmu Quick Hull pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch. . . . .	22
17	Doba behu algoritmu Sweep Line pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch. . . . .	22
18	Doba behu algoritmu Graham Scan pre množiny bodov vo všetkých generovaných tvaroch. . . . .	23

## Zoznam tabuliek

1	Jarvis Scan data z výpočtu . . . . .	24
2	Quick Hull data z výpočtu . . . . .	25
3	Sweep Line data z výpočtu . . . . .	26

4	Graham Scan data z výpočtu . . . . .	27
5	Jarvis Scan mezivýpočty . . . . .	44
6	Quick Hull mezivýpočty . . . . .	54
7	Sweep Line mezivýpočty . . . . .	63
8	Graham Scan mezivýpočty . . . . .	72

## Literatúra

- [1] Convex hulls : Explained.
- [2] Qt documentation archives. qt documentation archives.
- [3] Tomáš Bayer. Geometrické vyhledání.
- [4] Tomáš Bayer. *Algoritmy v digitální kartografii*. Karolinum, 2008.

## 12 PŘÍLOHY - tabulky s mezivýpočty

Jarvis Scan				
Count points	generating method	algorithm	repetition	elapsed time[milliseconds]
1000	raster	Jarvis Scan	1	0
1000	raster	Jarvis Scan	2	1
1000	raster	Jarvis Scan	3	0
1000	raster	Jarvis Scan	4	0
1000	raster	Jarvis Scan	5	0
1000	raster	Jarvis Scan	6	0
1000	raster	Jarvis Scan	7	0
1000	raster	Jarvis Scan	8	0
1000	raster	Jarvis Scan	9	0
1000	raster	Jarvis Scan	10	0
1000	random	Jarvis Scan	1	2
1000	random	Jarvis Scan	2	1
1000	random	Jarvis Scan	3	1
1000	random	Jarvis Scan	4	2
1000	random	Jarvis Scan	5	2
1000	random	Jarvis Scan	6	1

1000	random	Jarvis Scan	7	1
1000	random	Jarvis Scan	8	1
1000	random	Jarvis Scan	9	1
1000	random	Jarvis Scan	10	1
1000	circle	Jarvis Scan	1	6
1000	circle	Jarvis Scan	2	5
1000	circle	Jarvis Scan	3	5
1000	circle	Jarvis Scan	4	6
1000	circle	Jarvis Scan	5	6
1000	circle	Jarvis Scan	6	6
1000	circle	Jarvis Scan	7	6
1000	circle	Jarvis Scan	8	5
1000	circle	Jarvis Scan	9	5
1000	circle	Jarvis Scan	10	5
5000	raster	Jarvis Scan	1	4
5000	raster	Jarvis Scan	2	4
5000	raster	Jarvis Scan	3	4
5000	raster	Jarvis Scan	4	4
5000	raster	Jarvis Scan	5	4
5000	raster	Jarvis Scan	6	4
5000	raster	Jarvis Scan	7	4
5000	raster	Jarvis Scan	8	4
5000	raster	Jarvis Scan	9	4
5000	raster	Jarvis Scan	10	4
5000	random	Jarvis Scan	1	11
5000	random	Jarvis Scan	2	10
5000	random	Jarvis Scan	3	10
5000	random	Jarvis Scan	4	11
5000	random	Jarvis Scan	5	10
5000	random	Jarvis Scan	6	10
5000	random	Jarvis Scan	7	11
5000	random	Jarvis Scan	8	11
5000	random	Jarvis Scan	9	10
5000	random	Jarvis Scan	10	10
5000	circle	Jarvis Scan	1	50
5000	circle	Jarvis Scan	2	51

5000	circle	Jarvis Scan	3	51
5000	circle	Jarvis Scan	4	51
5000	circle	Jarvis Scan	5	52
5000	circle	Jarvis Scan	6	52
5000	circle	Jarvis Scan	7	48
5000	circle	Jarvis Scan	8	47
5000	circle	Jarvis Scan	9	48
5000	circle	Jarvis Scan	10	49
10000	raster	Jarvis Scan	1	7
10000	raster	Jarvis Scan	2	7
10000	raster	Jarvis Scan	3	7
10000	raster	Jarvis Scan	4	7
10000	raster	Jarvis Scan	5	7
10000	raster	Jarvis Scan	6	7
10000	raster	Jarvis Scan	7	7
10000	raster	Jarvis Scan	8	7
10000	raster	Jarvis Scan	9	7
10000	raster	Jarvis Scan	10	7
10000	random	Jarvis Scan	1	22
10000	random	Jarvis Scan	2	20
10000	random	Jarvis Scan	3	20
10000	random	Jarvis Scan	4	20
10000	random	Jarvis Scan	5	20
10000	random	Jarvis Scan	6	21
10000	random	Jarvis Scan	7	21
10000	random	Jarvis Scan	8	20
10000	random	Jarvis Scan	9	21
10000	random	Jarvis Scan	10	21
10000	circle	Jarvis Scan	1	116
10000	circle	Jarvis Scan	2	120
10000	circle	Jarvis Scan	3	120
10000	circle	Jarvis Scan	4	123
10000	circle	Jarvis Scan	5	120
10000	circle	Jarvis Scan	6	106
10000	circle	Jarvis Scan	7	104
10000	circle	Jarvis Scan	8	106

10000	circle	Jarvis Scan	9	104
10000	circle	Jarvis Scan	10	103
25000	raster	Jarvis Scan	1	21
25000	raster	Jarvis Scan	2	21
25000	raster	Jarvis Scan	3	21
25000	raster	Jarvis Scan	4	21
25000	raster	Jarvis Scan	5	21
25000	raster	Jarvis Scan	6	21
25000	raster	Jarvis Scan	7	21
25000	raster	Jarvis Scan	8	21
25000	raster	Jarvis Scan	9	21
25000	raster	Jarvis Scan	10	22
25000	random	Jarvis Scan	1	44
25000	random	Jarvis Scan	2	54
25000	random	Jarvis Scan	3	45
25000	random	Jarvis Scan	4	46
25000	random	Jarvis Scan	5	47
25000	random	Jarvis Scan	6	51
25000	random	Jarvis Scan	7	47
25000	random	Jarvis Scan	8	47
25000	random	Jarvis Scan	9	52
25000	random	Jarvis Scan	10	75
25000	circle	Jarvis Scan	1	414
25000	circle	Jarvis Scan	2	371
25000	circle	Jarvis Scan	3	375
25000	circle	Jarvis Scan	4	367
25000	circle	Jarvis Scan	5	366
25000	circle	Jarvis Scan	6	365
25000	circle	Jarvis Scan	7	358
25000	circle	Jarvis Scan	8	359
25000	circle	Jarvis Scan	9	365
25000	circle	Jarvis Scan	10	363
50000	raster	Jarvis Scan	1	46
50000	raster	Jarvis Scan	2	43
50000	raster	Jarvis Scan	3	44
50000	raster	Jarvis Scan	4	43

50000	raster	Jarvis Scan	5	46
50000	raster	Jarvis Scan	6	43
50000	raster	Jarvis Scan	7	44
50000	raster	Jarvis Scan	8	43
50000	raster	Jarvis Scan	9	43
50000	raster	Jarvis Scan	10	44
50000	random	Jarvis Scan	1	98
50000	random	Jarvis Scan	2	88
50000	random	Jarvis Scan	3	89
50000	random	Jarvis Scan	4	88
50000	random	Jarvis Scan	5	88
50000	random	Jarvis Scan	6	90
50000	random	Jarvis Scan	7	88
50000	random	Jarvis Scan	8	88
50000	random	Jarvis Scan	9	91
50000	random	Jarvis Scan	10	91
50000	circle	Jarvis Scan	1	817
50000	circle	Jarvis Scan	2	795
50000	circle	Jarvis Scan	3	883
50000	circle	Jarvis Scan	4	818
50000	circle	Jarvis Scan	5	826
50000	circle	Jarvis Scan	6	799
50000	circle	Jarvis Scan	7	805
50000	circle	Jarvis Scan	8	819
50000	circle	Jarvis Scan	9	818
50000	circle	Jarvis Scan	10	837
75000	raster	Jarvis Scan	1	70
75000	raster	Jarvis Scan	2	71
75000	raster	Jarvis Scan	3	68
75000	raster	Jarvis Scan	4	71
75000	raster	Jarvis Scan	5	68
75000	raster	Jarvis Scan	6	67
75000	raster	Jarvis Scan	7	65
75000	raster	Jarvis Scan	8	65
75000	raster	Jarvis Scan	9	65
75000	raster	Jarvis Scan	10	66



75000	random	Jarvis Scan	1	128
75000	random	Jarvis Scan	2	120
75000	random	Jarvis Scan	3	115
75000	random	Jarvis Scan	4	115
75000	random	Jarvis Scan	5	116
75000	random	Jarvis Scan	6	115
75000	random	Jarvis Scan	7	115
75000	random	Jarvis Scan	8	115
75000	random	Jarvis Scan	9	115
75000	random	Jarvis Scan	10	114
75000	circle	Jarvis Scan	1	1204
75000	circle	Jarvis Scan	2	1189
75000	circle	Jarvis Scan	3	1221
75000	circle	Jarvis Scan	4	1193
75000	circle	Jarvis Scan	5	1190
75000	circle	Jarvis Scan	6	1189
75000	circle	Jarvis Scan	7	1194
75000	circle	Jarvis Scan	8	1190
75000	circle	Jarvis Scan	9	1192
75000	circle	Jarvis Scan	10	1193
100000	raster	Jarvis Scan	1	91
100000	raster	Jarvis Scan	2	89
100000	raster	Jarvis Scan	3	89
100000	raster	Jarvis Scan	4	89
100000	raster	Jarvis Scan	5	90
100000	raster	Jarvis Scan	6	89
100000	raster	Jarvis Scan	7	89
100000	raster	Jarvis Scan	8	89
100000	raster	Jarvis Scan	9	89
100000	raster	Jarvis Scan	10	88
100000	random	Jarvis Scan	1	174
100000	random	Jarvis Scan	2	178
100000	random	Jarvis Scan	3	180
100000	random	Jarvis Scan	4	175
100000	random	Jarvis Scan	5	154
100000	random	Jarvis Scan	6	155

100000	random	Jarvis Scan	7	155
100000	random	Jarvis Scan	8	155
100000	random	Jarvis Scan	9	155
100000	random	Jarvis Scan	10	156
100000	circle	Jarvis Scan	1	1657
100000	circle	Jarvis Scan	2	1651
100000	circle	Jarvis Scan	3	1654
100000	circle	Jarvis Scan	4	1644
100000	circle	Jarvis Scan	5	1643
100000	circle	Jarvis Scan	6	1644
100000	circle	Jarvis Scan	7	1643
100000	circle	Jarvis Scan	8	1646
100000	circle	Jarvis Scan	9	1646
100000	circle	Jarvis Scan	10	1646
250000	raster	Jarvis Scan	1	197
250000	raster	Jarvis Scan	2	198
250000	raster	Jarvis Scan	3	196
250000	raster	Jarvis Scan	4	195
250000	raster	Jarvis Scan	5	196
250000	raster	Jarvis Scan	6	196
250000	raster	Jarvis Scan	7	197
250000	raster	Jarvis Scan	8	196
250000	raster	Jarvis Scan	9	196
250000	raster	Jarvis Scan	10	196
250000	random	Jarvis Scan	1	350
250000	random	Jarvis Scan	2	310
250000	random	Jarvis Scan	3	309
250000	random	Jarvis Scan	4	309
250000	random	Jarvis Scan	5	310
250000	random	Jarvis Scan	6	309
250000	random	Jarvis Scan	7	308
250000	random	Jarvis Scan	8	311
250000	random	Jarvis Scan	9	309
250000	random	Jarvis Scan	10	310
250000	circle	Jarvis Scan	1	4202
250000	circle	Jarvis Scan	2	4214

250000	circle	Jarvis Scan	3	4148
250000	circle	Jarvis Scan	4	4133
250000	circle	Jarvis Scan	5	4134
250000	circle	Jarvis Scan	6	4178
250000	circle	Jarvis Scan	7	4154
250000	circle	Jarvis Scan	8	4147
250000	circle	Jarvis Scan	9	4219
250000	circle	Jarvis Scan	10	4146
500000	raster	Jarvis Scan	1	474
500000	raster	Jarvis Scan	2	471
500000	raster	Jarvis Scan	3	471
500000	raster	Jarvis Scan	4	468
500000	raster	Jarvis Scan	5	469
500000	raster	Jarvis Scan	6	469
500000	raster	Jarvis Scan	7	468
500000	raster	Jarvis Scan	8	469
500000	raster	Jarvis Scan	9	468
500000	raster	Jarvis Scan	10	468
500000	random	Jarvis Scan	1	710
500000	random	Jarvis Scan	2	632
500000	random	Jarvis Scan	3	633
500000	random	Jarvis Scan	4	633
500000	random	Jarvis Scan	5	634
500000	random	Jarvis Scan	6	635
500000	random	Jarvis Scan	7	633
500000	random	Jarvis Scan	8	636
500000	random	Jarvis Scan	9	634
500000	random	Jarvis Scan	10	633
500000	circle	Jarvis Scan	1	8404
500000	circle	Jarvis Scan	2	8343
500000	circle	Jarvis Scan	3	8271
500000	circle	Jarvis Scan	4	8272
500000	circle	Jarvis Scan	5	8723
500000	circle	Jarvis Scan	6	8398
500000	circle	Jarvis Scan	7	8294
500000	circle	Jarvis Scan	8	8316

500000	circle	Jarvis Scan	9	8372
500000	circle	Jarvis Scan	10	8339
750000	raster	Jarvis Scan	1	724
750000	raster	Jarvis Scan	2	722
750000	raster	Jarvis Scan	3	722
750000	raster	Jarvis Scan	4	721
750000	raster	Jarvis Scan	5	721
750000	raster	Jarvis Scan	6	721
750000	raster	Jarvis Scan	7	725
750000	raster	Jarvis Scan	8	724
750000	raster	Jarvis Scan	9	723
750000	raster	Jarvis Scan	10	721
750000	random	Jarvis Scan	1	1077
750000	random	Jarvis Scan	2	969
750000	random	Jarvis Scan	3	969
750000	random	Jarvis Scan	4	970
750000	random	Jarvis Scan	5	971
750000	random	Jarvis Scan	6	971
750000	random	Jarvis Scan	7	971
750000	random	Jarvis Scan	8	972
750000	random	Jarvis Scan	9	971
750000	random	Jarvis Scan	10	970
750000	circle	Jarvis Scan	1	12685
750000	circle	Jarvis Scan	2	12582
750000	circle	Jarvis Scan	3	12555
750000	circle	Jarvis Scan	4	12702
750000	circle	Jarvis Scan	5	13204
750000	circle	Jarvis Scan	6	13388
750000	circle	Jarvis Scan	7	13036
750000	circle	Jarvis Scan	8	13126
750000	circle	Jarvis Scan	9	12788
750000	circle	Jarvis Scan	10	13072
1000000	raster	Jarvis Scan	1	894
1000000	raster	Jarvis Scan	2	883
1000000	raster	Jarvis Scan	3	899
1000000	raster	Jarvis Scan	4	907

1000000	raster	Jarvis Scan	5	859
1000000	raster	Jarvis Scan	6	864
1000000	raster	Jarvis Scan	7	893
1000000	raster	Jarvis Scan	8	868
1000000	raster	Jarvis Scan	9	852
1000000	raster	Jarvis Scan	10	901
1000000	random	Jarvis Scan	1	1292
1000000	random	Jarvis Scan	2	1112
1000000	random	Jarvis Scan	3	1147
1000000	random	Jarvis Scan	4	1102
1000000	random	Jarvis Scan	5	1121
1000000	random	Jarvis Scan	6	1182
1000000	random	Jarvis Scan	7	1121
1000000	random	Jarvis Scan	8	1093
1000000	random	Jarvis Scan	9	1113
1000000	random	Jarvis Scan	10	1101
1000000	circle	Jarvis Scan	1	17704
1000000	circle	Jarvis Scan	2	17681
1000000	circle	Jarvis Scan	3	17371
1000000	circle	Jarvis Scan	4	17596
1000000	circle	Jarvis Scan	5	17835
1000000	circle	Jarvis Scan	6	17863
1000000	circle	Jarvis Scan	7	17586
1000000	circle	Jarvis Scan	8	17691
1000000	circle	Jarvis Scan	9	18131
1000000	circle	Jarvis Scan	10	17054

Tabuľka 5: Jarvis Scan mezivýpočty

Quick Hull				
Count points	generating method	algorithm	repetition	elapsed time[milliseconds]
1000	raster	Quick Hull	1	0
1000	raster	Quick Hull	2	0
1000	raster	Quick Hull	3	0
1000	raster	Quick Hull	4	0
1000	raster	Quick Hull	5	0

1000	raster	Quick Hull	6	0
1000	raster	Quick Hull	7	0
1000	raster	Quick Hull	8	0
1000	raster	Quick Hull	9	0
1000	raster	Quick Hull	10	0
1000	random	Quick Hull	1	1
1000	random	Quick Hull	2	0
1000	random	Quick Hull	3	0
1000	random	Quick Hull	4	0
1000	random	Quick Hull	5	0
1000	random	Quick Hull	6	0
1000	random	Quick Hull	7	1
1000	random	Quick Hull	8	0
1000	random	Quick Hull	9	0
1000	random	Quick Hull	10	0
1000	circle	Quick Hull	1	2
1000	circle	Quick Hull	2	1
1000	circle	Quick Hull	3	1
1000	circle	Quick Hull	4	1
1000	circle	Quick Hull	5	1
1000	circle	Quick Hull	6	2
1000	circle	Quick Hull	7	2
1000	circle	Quick Hull	8	1
1000	circle	Quick Hull	9	1
1000	circle	Quick Hull	10	1
5000	raster	Quick Hull	1	3
5000	raster	Quick Hull	2	3
5000	raster	Quick Hull	3	3
5000	raster	Quick Hull	4	3
5000	raster	Quick Hull	5	3
5000	raster	Quick Hull	6	3
5000	raster	Quick Hull	7	3
5000	raster	Quick Hull	8	3
5000	raster	Quick Hull	9	3
5000	raster	Quick Hull	10	3
5000	random	Quick Hull	1	5

5000	random	Quick Hull	2	5
5000	random	Quick Hull	3	5
5000	random	Quick Hull	4	4
5000	random	Quick Hull	5	4
5000	random	Quick Hull	6	4
5000	random	Quick Hull	7	4
5000	random	Quick Hull	8	4
5000	random	Quick Hull	9	4
5000	random	Quick Hull	10	4
5000	circle	Quick Hull	1	16
5000	circle	Quick Hull	2	15
5000	circle	Quick Hull	3	15
5000	circle	Quick Hull	4	15
5000	circle	Quick Hull	5	15
5000	circle	Quick Hull	6	15
5000	circle	Quick Hull	7	15
5000	circle	Quick Hull	8	15
5000	circle	Quick Hull	9	15
5000	circle	Quick Hull	10	15
10000	raster	Quick Hull	1	7
10000	raster	Quick Hull	2	5
10000	raster	Quick Hull	3	5
10000	raster	Quick Hull	4	5
10000	raster	Quick Hull	5	5
10000	raster	Quick Hull	6	5
10000	raster	Quick Hull	7	5
10000	raster	Quick Hull	8	5
10000	raster	Quick Hull	9	5
10000	raster	Quick Hull	10	5
10000	random	Quick Hull	1	10
10000	random	Quick Hull	2	9
10000	random	Quick Hull	3	9
10000	random	Quick Hull	4	9
10000	random	Quick Hull	5	9
10000	random	Quick Hull	6	8
10000	random	Quick Hull	7	9

10000	random	Quick Hull	8	8
10000	random	Quick Hull	9	10
10000	random	Quick Hull	10	8
10000	circle	Quick Hull	1	39
10000	circle	Quick Hull	2	36
10000	circle	Quick Hull	3	37
10000	circle	Quick Hull	4	37
10000	circle	Quick Hull	5	38
10000	circle	Quick Hull	6	38
10000	circle	Quick Hull	7	38
10000	circle	Quick Hull	8	37
10000	circle	Quick Hull	9	37
10000	circle	Quick Hull	10	37
25000	raster	Quick Hull	1	18
25000	raster	Quick Hull	2	14
25000	raster	Quick Hull	3	15
25000	raster	Quick Hull	4	16
25000	raster	Quick Hull	5	15
25000	raster	Quick Hull	6	15
25000	raster	Quick Hull	7	15
25000	raster	Quick Hull	8	15
25000	raster	Quick Hull	9	15
25000	raster	Quick Hull	10	15
25000	random	Quick Hull	1	24
25000	random	Quick Hull	2	20
25000	random	Quick Hull	3	19
25000	random	Quick Hull	4	19
25000	random	Quick Hull	5	19
25000	random	Quick Hull	6	19
25000	random	Quick Hull	7	19
25000	random	Quick Hull	8	19
25000	random	Quick Hull	9	19
25000	random	Quick Hull	10	19
25000	circle	Quick Hull	1	109
25000	circle	Quick Hull	2	107
25000	circle	Quick Hull	3	108



25000	circle	Quick Hull	4	126
25000	circle	Quick Hull	5	119
25000	circle	Quick Hull	6	106
25000	circle	Quick Hull	7	106
25000	circle	Quick Hull	8	122
25000	circle	Quick Hull	9	105
25000	circle	Quick Hull	10	106
50000	raster	Quick Hull	1	37
50000	raster	Quick Hull	2	30
50000	raster	Quick Hull	3	30
50000	raster	Quick Hull	4	30
50000	raster	Quick Hull	5	30
50000	raster	Quick Hull	6	31
50000	raster	Quick Hull	7	30
50000	raster	Quick Hull	8	31
50000	raster	Quick Hull	9	31
50000	raster	Quick Hull	10	33
50000	random	Quick Hull	1	61
50000	random	Quick Hull	2	51
50000	random	Quick Hull	3	45
50000	random	Quick Hull	4	42
50000	random	Quick Hull	5	43
50000	random	Quick Hull	6	42
50000	random	Quick Hull	7	42
50000	random	Quick Hull	8	44
50000	random	Quick Hull	9	43
50000	random	Quick Hull	10	47
50000	circle	Quick Hull	1	251
50000	circle	Quick Hull	2	241
50000	circle	Quick Hull	3	243
50000	circle	Quick Hull	4	239
50000	circle	Quick Hull	5	239
50000	circle	Quick Hull	6	237
50000	circle	Quick Hull	7	236
50000	circle	Quick Hull	8	239
50000	circle	Quick Hull	9	271

50000	circle	Quick Hull	10	296
75000	raster	Quick Hull	1	71
75000	raster	Quick Hull	2	54
75000	raster	Quick Hull	3	56
75000	raster	Quick Hull	4	58
75000	raster	Quick Hull	5	59
75000	raster	Quick Hull	6	50
75000	raster	Quick Hull	7	46
75000	raster	Quick Hull	8	47
75000	raster	Quick Hull	9	49
75000	raster	Quick Hull	10	48
75000	random	Quick Hull	1	74
75000	random	Quick Hull	2	62
75000	random	Quick Hull	3	60
75000	random	Quick Hull	4	61
75000	random	Quick Hull	5	61
75000	random	Quick Hull	6	61
75000	random	Quick Hull	7	61
75000	random	Quick Hull	8	60
75000	random	Quick Hull	9	61
75000	random	Quick Hull	10	63
75000	circle	Quick Hull	1	420
75000	circle	Quick Hull	2	367
75000	circle	Quick Hull	3	412
75000	circle	Quick Hull	4	365
75000	circle	Quick Hull	5	401
75000	circle	Quick Hull	6	370
75000	circle	Quick Hull	7	364
75000	circle	Quick Hull	8	361
75000	circle	Quick Hull	9	375
75000	circle	Quick Hull	10	371
100000	raster	Quick Hull	1	78
100000	raster	Quick Hull	2	64
100000	raster	Quick Hull	3	64
100000	raster	Quick Hull	4	65
100000	raster	Quick Hull	5	65

100000	raster	Quick Hull	6	66
100000	raster	Quick Hull	7	63
100000	raster	Quick Hull	8	65
100000	raster	Quick Hull	9	64
100000	raster	Quick Hull	10	64
100000	random	Quick Hull	1	97
100000	random	Quick Hull	2	82
100000	random	Quick Hull	3	82
100000	random	Quick Hull	4	81
100000	random	Quick Hull	5	81
100000	random	Quick Hull	6	82
100000	random	Quick Hull	7	82
100000	random	Quick Hull	8	82
100000	random	Quick Hull	9	82
100000	random	Quick Hull	10	84
100000	circle	Quick Hull	1	574
100000	circle	Quick Hull	2	515
100000	circle	Quick Hull	3	495
100000	circle	Quick Hull	4	489
100000	circle	Quick Hull	5	489
100000	circle	Quick Hull	6	491
100000	circle	Quick Hull	7	494
100000	circle	Quick Hull	8	493
100000	circle	Quick Hull	9	489
100000	circle	Quick Hull	10	489
250000	raster	Quick Hull	1	200
250000	raster	Quick Hull	2	157
250000	raster	Quick Hull	3	159
250000	raster	Quick Hull	4	158
250000	raster	Quick Hull	5	164
250000	raster	Quick Hull	6	158
250000	raster	Quick Hull	7	158
250000	raster	Quick Hull	8	160
250000	raster	Quick Hull	9	158
250000	raster	Quick Hull	10	158
250000	random	Quick Hull	1	233

250000	random	Quick Hull	2	189
250000	random	Quick Hull	3	193
250000	random	Quick Hull	4	200
250000	random	Quick Hull	5	205
250000	random	Quick Hull	6	189
250000	random	Quick Hull	7	188
250000	random	Quick Hull	8	189
250000	random	Quick Hull	9	189
250000	random	Quick Hull	10	190
250000	circle	Quick Hull	1	1287
250000	circle	Quick Hull	2	1237
250000	circle	Quick Hull	3	1242
250000	circle	Quick Hull	4	1241
250000	circle	Quick Hull	5	1235
250000	circle	Quick Hull	6	1243
250000	circle	Quick Hull	7	1242
250000	circle	Quick Hull	8	1226
250000	circle	Quick Hull	9	1238
250000	circle	Quick Hull	10	1235
500000	raster	Quick Hull	1	428
500000	raster	Quick Hull	2	342
500000	raster	Quick Hull	3	345
500000	raster	Quick Hull	4	357
500000	raster	Quick Hull	5	541
500000	raster	Quick Hull	6	396
500000	raster	Quick Hull	7	363
500000	raster	Quick Hull	8	343
500000	raster	Quick Hull	9	348
500000	raster	Quick Hull	10	353
500000	random	Quick Hull	1	491
500000	random	Quick Hull	2	394
500000	random	Quick Hull	3	392
500000	random	Quick Hull	4	390
500000	random	Quick Hull	5	395
500000	random	Quick Hull	6	400
500000	random	Quick Hull	7	407

500000	random	Quick Hull	8	406
500000	random	Quick Hull	9	413
500000	random	Quick Hull	10	414
500000	circle	Quick Hull	1	2656
500000	circle	Quick Hull	2	2577
500000	circle	Quick Hull	3	2627
500000	circle	Quick Hull	4	2706
500000	circle	Quick Hull	5	3478
500000	circle	Quick Hull	6	5073
500000	circle	Quick Hull	7	3769
500000	circle	Quick Hull	8	3510
500000	circle	Quick Hull	9	2814
500000	circle	Quick Hull	10	2714
750000	raster	Quick Hull	1	739
750000	raster	Quick Hull	2	610
750000	raster	Quick Hull	3	616
750000	raster	Quick Hull	4	624
750000	raster	Quick Hull	5	609
750000	raster	Quick Hull	6	699
750000	raster	Quick Hull	7	612
750000	raster	Quick Hull	8	601
750000	raster	Quick Hull	9	717
750000	raster	Quick Hull	10	646
750000	random	Quick Hull	1	848
750000	random	Quick Hull	2	709
750000	random	Quick Hull	3	654
750000	random	Quick Hull	4	674
750000	random	Quick Hull	5	672
750000	random	Quick Hull	6	655
750000	random	Quick Hull	7	707
750000	random	Quick Hull	8	656
750000	random	Quick Hull	9	646
750000	random	Quick Hull	10	695
750000	circle	Quick Hull	1	4560
750000	circle	Quick Hull	2	4469
750000	circle	Quick Hull	3	4187

750000	circle	Quick Hull	4	4347
750000	circle	Quick Hull	5	4310
750000	circle	Quick Hull	6	4305
750000	circle	Quick Hull	7	4174
750000	circle	Quick Hull	8	4098
750000	circle	Quick Hull	9	4192
750000	circle	Quick Hull	10	4293
1000000	raster	Quick Hull	1	1014
1000000	raster	Quick Hull	2	732
1000000	raster	Quick Hull	3	714
1000000	raster	Quick Hull	4	871
1000000	raster	Quick Hull	5	982
1000000	raster	Quick Hull	6	707
1000000	raster	Quick Hull	7	744
1000000	raster	Quick Hull	8	722
1000000	raster	Quick Hull	9	697
1000000	raster	Quick Hull	10	691
1000000	random	Quick Hull	1	1008
1000000	random	Quick Hull	2	787
1000000	random	Quick Hull	3	957
1000000	random	Quick Hull	4	928
1000000	random	Quick Hull	5	790
1000000	random	Quick Hull	6	766
1000000	random	Quick Hull	7	796
1000000	random	Quick Hull	8	807
1000000	random	Quick Hull	9	756
1000000	random	Quick Hull	10	790
1000000	circle	Quick Hull	1	5749
1000000	circle	Quick Hull	2	5382
1000000	circle	Quick Hull	3	5135
1000000	circle	Quick Hull	4	5131
1000000	circle	Quick Hull	5	5288
1000000	circle	Quick Hull	6	5445
1000000	circle	Quick Hull	7	5441
1000000	circle	Quick Hull	8	5315
1000000	circle	Quick Hull	9	5230

1000000	circle	Quick Hull	10	5196
---------	--------	------------	----	------

Tabuľka 6: Quick Hull mezivýpočty

Sweep Line				
Count points	generating method	algorithm	repetition	elapsed time[milliseconds]
1000	raster	Sweep Line	1	0
1000	raster	Sweep Line	2	0
1000	raster	Sweep Line	3	0
1000	raster	Sweep Line	4	0
1000	raster	Sweep Line	5	0
1000	raster	Sweep Line	6	0
1000	raster	Sweep Line	7	0
1000	raster	Sweep Line	8	0
1000	raster	Sweep Line	9	0
1000	raster	Sweep Line	10	0
1000	random	Sweep Line	1	0
1000	random	Sweep Line	2	0
1000	random	Sweep Line	3	0
1000	random	Sweep Line	4	0
1000	random	Sweep Line	5	0
1000	random	Sweep Line	6	0
1000	random	Sweep Line	7	0
1000	random	Sweep Line	8	0
1000	random	Sweep Line	9	0
1000	random	Sweep Line	10	0
1000	circle	Sweep Line	1	0
1000	circle	Sweep Line	2	0
1000	circle	Sweep Line	3	0
1000	circle	Sweep Line	4	0
1000	circle	Sweep Line	5	0
1000	circle	Sweep Line	6	0
1000	circle	Sweep Line	7	0
1000	circle	Sweep Line	8	0
1000	circle	Sweep Line	9	0
1000	circle	Sweep Line	10	0

5000	raster	Sweep Line	1	3
5000	raster	Sweep Line	2	3
5000	raster	Sweep Line	3	3
5000	raster	Sweep Line	4	2
5000	raster	Sweep Line	5	3
5000	raster	Sweep Line	6	3
5000	raster	Sweep Line	7	3
5000	raster	Sweep Line	8	3
5000	raster	Sweep Line	9	2
5000	raster	Sweep Line	10	3
5000	random	Sweep Line	1	3
5000	random	Sweep Line	2	2
5000	random	Sweep Line	3	2
5000	random	Sweep Line	4	2
5000	random	Sweep Line	5	2
5000	random	Sweep Line	6	2
5000	random	Sweep Line	7	2
5000	random	Sweep Line	8	2
5000	random	Sweep Line	9	2
5000	random	Sweep Line	10	2
5000	circle	Sweep Line	1	2
5000	circle	Sweep Line	2	2
5000	circle	Sweep Line	3	2
5000	circle	Sweep Line	4	2
5000	circle	Sweep Line	5	2
5000	circle	Sweep Line	6	2
5000	circle	Sweep Line	7	2
5000	circle	Sweep Line	8	1
5000	circle	Sweep Line	9	1
5000	circle	Sweep Line	10	2
10000	raster	Sweep Line	1	6
10000	raster	Sweep Line	2	5
10000	raster	Sweep Line	3	5
10000	raster	Sweep Line	4	5
10000	raster	Sweep Line	5	5
10000	raster	Sweep Line	6	5



10000	raster	Sweep Line	7	5
10000	raster	Sweep Line	8	5
10000	raster	Sweep Line	9	5
10000	raster	Sweep Line	10	5
10000	random	Sweep Line	1	6
10000	random	Sweep Line	2	4
10000	random	Sweep Line	3	5
10000	random	Sweep Line	4	4
10000	random	Sweep Line	5	4
10000	random	Sweep Line	6	5
10000	random	Sweep Line	7	5
10000	random	Sweep Line	8	4
10000	random	Sweep Line	9	5
10000	random	Sweep Line	10	5
10000	circle	Sweep Line	1	6
10000	circle	Sweep Line	2	4
10000	circle	Sweep Line	3	4
10000	circle	Sweep Line	4	3
10000	circle	Sweep Line	5	3
10000	circle	Sweep Line	6	4
10000	circle	Sweep Line	7	4
10000	circle	Sweep Line	8	3
10000	circle	Sweep Line	9	3
10000	circle	Sweep Line	10	4
25000	raster	Sweep Line	1	17
25000	raster	Sweep Line	2	13
25000	raster	Sweep Line	3	13
25000	raster	Sweep Line	4	13
25000	raster	Sweep Line	5	13
25000	raster	Sweep Line	6	13
25000	raster	Sweep Line	7	13
25000	raster	Sweep Line	8	13
25000	raster	Sweep Line	9	13
25000	raster	Sweep Line	10	13
25000	random	Sweep Line	1	16
25000	random	Sweep Line	2	13

25000	random	Sweep Line	3	12
25000	random	Sweep Line	4	12
25000	random	Sweep Line	5	12
25000	random	Sweep Line	6	13
25000	random	Sweep Line	7	12
25000	random	Sweep Line	8	13
25000	random	Sweep Line	9	12
25000	random	Sweep Line	10	12
25000	circle	Sweep Line	1	15
25000	circle	Sweep Line	2	8
25000	circle	Sweep Line	3	8
25000	circle	Sweep Line	4	8
25000	circle	Sweep Line	5	9
25000	circle	Sweep Line	6	8
25000	circle	Sweep Line	7	9
25000	circle	Sweep Line	8	8
25000	circle	Sweep Line	9	9
25000	circle	Sweep Line	10	9
50000	raster	Sweep Line	1	37
50000	raster	Sweep Line	2	30
50000	raster	Sweep Line	3	30
50000	raster	Sweep Line	4	30
50000	raster	Sweep Line	5	31
50000	raster	Sweep Line	6	30
50000	raster	Sweep Line	7	30
50000	raster	Sweep Line	8	30
50000	raster	Sweep Line	9	29
50000	raster	Sweep Line	10	30
50000	random	Sweep Line	1	37
50000	random	Sweep Line	2	27
50000	random	Sweep Line	3	27
50000	random	Sweep Line	4	28
50000	random	Sweep Line	5	27
50000	random	Sweep Line	6	26
50000	random	Sweep Line	7	27
50000	random	Sweep Line	8	26

50000	random	Sweep Line	9	27
50000	random	Sweep Line	10	28
50000	circle	Sweep Line	1	31
50000	circle	Sweep Line	2	14
50000	circle	Sweep Line	3	15
50000	circle	Sweep Line	4	15
50000	circle	Sweep Line	5	15
50000	circle	Sweep Line	6	14
50000	circle	Sweep Line	7	14
50000	circle	Sweep Line	8	14
50000	circle	Sweep Line	9	13
50000	circle	Sweep Line	10	14
75000	raster	Sweep Line	1	55
75000	raster	Sweep Line	2	43
75000	raster	Sweep Line	3	45
75000	raster	Sweep Line	4	45
75000	raster	Sweep Line	5	60
75000	raster	Sweep Line	6	52
75000	raster	Sweep Line	7	49
75000	raster	Sweep Line	8	46
75000	raster	Sweep Line	9	45
75000	raster	Sweep Line	10	46
75000	random	Sweep Line	1	58
75000	random	Sweep Line	2	39
75000	random	Sweep Line	3	40
75000	random	Sweep Line	4	39
75000	random	Sweep Line	5	39
75000	random	Sweep Line	6	40
75000	random	Sweep Line	7	41
75000	random	Sweep Line	8	39
75000	random	Sweep Line	9	39
75000	random	Sweep Line	10	40
75000	circle	Sweep Line	1	45
75000	circle	Sweep Line	2	15
75000	circle	Sweep Line	3	15
75000	circle	Sweep Line	4	15

75000	circle	Sweep Line	5	15
75000	circle	Sweep Line	6	15
75000	circle	Sweep Line	7	15
75000	circle	Sweep Line	8	15
75000	circle	Sweep Line	9	16
75000	circle	Sweep Line	10	15
100000	raster	Sweep Line	1	75
100000	raster	Sweep Line	2	59
100000	raster	Sweep Line	3	59
100000	raster	Sweep Line	4	58
100000	raster	Sweep Line	5	58
100000	raster	Sweep Line	6	59
100000	raster	Sweep Line	7	59
100000	raster	Sweep Line	8	59
100000	raster	Sweep Line	9	59
100000	raster	Sweep Line	10	58
100000	random	Sweep Line	1	73
100000	random	Sweep Line	2	55
100000	random	Sweep Line	3	56
100000	random	Sweep Line	4	55
100000	random	Sweep Line	5	64
100000	random	Sweep Line	6	63
100000	random	Sweep Line	7	64
100000	random	Sweep Line	8	72
100000	random	Sweep Line	9	63
100000	random	Sweep Line	10	68
100000	circle	Sweep Line	1	79
100000	circle	Sweep Line	2	22
100000	circle	Sweep Line	3	21
100000	circle	Sweep Line	4	19
100000	circle	Sweep Line	5	20
100000	circle	Sweep Line	6	18
100000	circle	Sweep Line	7	16
100000	circle	Sweep Line	8	16
100000	circle	Sweep Line	9	16
100000	circle	Sweep Line	10	16

250000	raster	Sweep Line	1	188
250000	raster	Sweep Line	2	150
250000	raster	Sweep Line	3	147
250000	raster	Sweep Line	4	172
250000	raster	Sweep Line	5	165
250000	raster	Sweep Line	6	149
250000	raster	Sweep Line	7	160
250000	raster	Sweep Line	8	172
250000	raster	Sweep Line	9	152
250000	raster	Sweep Line	10	176
250000	random	Sweep Line	1	192
250000	random	Sweep Line	2	156
250000	random	Sweep Line	3	136
250000	random	Sweep Line	4	141
250000	random	Sweep Line	5	149
250000	random	Sweep Line	6	137
250000	random	Sweep Line	7	158
250000	random	Sweep Line	8	133
250000	random	Sweep Line	9	144
250000	random	Sweep Line	10	141
250000	circle	Sweep Line	1	148
250000	circle	Sweep Line	2	18
250000	circle	Sweep Line	3	18
250000	circle	Sweep Line	4	17
250000	circle	Sweep Line	5	17
250000	circle	Sweep Line	6	17
250000	circle	Sweep Line	7	17
250000	circle	Sweep Line	8	17
250000	circle	Sweep Line	9	17
250000	circle	Sweep Line	10	17
500000	raster	Sweep Line	1	398
500000	raster	Sweep Line	2	320
500000	raster	Sweep Line	3	324
500000	raster	Sweep Line	4	325
500000	raster	Sweep Line	5	324
500000	raster	Sweep Line	6	318

500000	raster	Sweep Line	7	311
500000	raster	Sweep Line	8	341
500000	raster	Sweep Line	9	348
500000	raster	Sweep Line	10	314
500000	random	Sweep Line	1	418
500000	random	Sweep Line	2	303
500000	random	Sweep Line	3	250
500000	random	Sweep Line	4	249
500000	random	Sweep Line	5	246
500000	random	Sweep Line	6	247
500000	random	Sweep Line	7	311
500000	random	Sweep Line	8	329
500000	random	Sweep Line	9	280
500000	random	Sweep Line	10	274
500000	circle	Sweep Line	1	291
500000	circle	Sweep Line	2	17
500000	circle	Sweep Line	3	17
500000	circle	Sweep Line	4	18
500000	circle	Sweep Line	5	17
500000	circle	Sweep Line	6	17
500000	circle	Sweep Line	7	17
500000	circle	Sweep Line	8	18
500000	circle	Sweep Line	9	18
500000	circle	Sweep Line	10	18
750000	raster	Sweep Line	1	703
750000	raster	Sweep Line	2	577
750000	raster	Sweep Line	3	510
750000	raster	Sweep Line	4	502
750000	raster	Sweep Line	5	511
750000	raster	Sweep Line	6	509
750000	raster	Sweep Line	7	515
750000	raster	Sweep Line	8	598
750000	raster	Sweep Line	9	511
750000	raster	Sweep Line	10	535
750000	random	Sweep Line	1	598
750000	random	Sweep Line	2	350

750000	random	Sweep Line	3	392
750000	random	Sweep Line	4	375
750000	random	Sweep Line	5	371
750000	random	Sweep Line	6	392
750000	random	Sweep Line	7	385
750000	random	Sweep Line	8	375
750000	random	Sweep Line	9	374
750000	random	Sweep Line	10	375
750000	circle	Sweep Line	1	463
750000	circle	Sweep Line	2	20
750000	circle	Sweep Line	3	21
750000	circle	Sweep Line	4	21
750000	circle	Sweep Line	5	19
750000	circle	Sweep Line	6	18
750000	circle	Sweep Line	7	18
750000	circle	Sweep Line	8	18
750000	circle	Sweep Line	9	20
750000	circle	Sweep Line	10	21
1000000	raster	Sweep Line	1	928
1000000	raster	Sweep Line	2	688
1000000	raster	Sweep Line	3	739
1000000	raster	Sweep Line	4	705
1000000	raster	Sweep Line	5	691
1000000	raster	Sweep Line	6	685
1000000	raster	Sweep Line	7	740
1000000	raster	Sweep Line	8	751
1000000	raster	Sweep Line	9	756
1000000	raster	Sweep Line	10	716
1000000	random	Sweep Line	1	858
1000000	random	Sweep Line	2	476
1000000	random	Sweep Line	3	444
1000000	random	Sweep Line	4	446
1000000	random	Sweep Line	5	468
1000000	random	Sweep Line	6	444
1000000	random	Sweep Line	7	469
1000000	random	Sweep Line	8	476

1000000	random	Sweep Line	9	453
1000000	random	Sweep Line	10	477
1000000	circle	Sweep Line	1	667
1000000	circle	Sweep Line	2	20
1000000	circle	Sweep Line	3	21
1000000	circle	Sweep Line	4	19
1000000	circle	Sweep Line	5	19
1000000	circle	Sweep Line	6	18
1000000	circle	Sweep Line	7	18
1000000	circle	Sweep Line	8	18
1000000	circle	Sweep Line	9	18
1000000	circle	Sweep Line	10	18

Tabulka 7: Sweep Line mezivýpočty

<b>Graham Scan</b>				
Count points	generating method	algorithm	repetition	elapsed time[milliseconds]
1000	raster	Graham Scan	1	5
1000	raster	Graham Scan	2	5
1000	raster	Graham Scan	3	5
1000	raster	Graham Scan	4	5
1000	raster	Graham Scan	5	5
1000	raster	Graham Scan	6	4
1000	raster	Graham Scan	7	4
1000	raster	Graham Scan	8	4
1000	raster	Graham Scan	9	4
1000	raster	Graham Scan	10	3
1000	random	Graham Scan	1	4
1000	random	Graham Scan	2	4
1000	random	Graham Scan	3	4
1000	random	Graham Scan	4	3
1000	random	Graham Scan	5	3
1000	random	Graham Scan	6	4
1000	random	Graham Scan	7	3
1000	random	Graham Scan	8	3
1000	random	Graham Scan	9	3



1000	random	Graham Scan	10	4
1000	circle	Graham Scan	1	3
1000	circle	Graham Scan	2	3
1000	circle	Graham Scan	3	3
1000	circle	Graham Scan	4	3
1000	circle	Graham Scan	5	3
1000	circle	Graham Scan	6	3
1000	circle	Graham Scan	7	3
1000	circle	Graham Scan	8	3
1000	circle	Graham Scan	9	3
1000	circle	Graham Scan	10	3
5000	raster	Graham Scan	1	21
5000	raster	Graham Scan	2	21
5000	raster	Graham Scan	3	22
5000	raster	Graham Scan	4	21
5000	raster	Graham Scan	5	22
5000	raster	Graham Scan	6	21
5000	raster	Graham Scan	7	21
5000	raster	Graham Scan	8	21
5000	raster	Graham Scan	9	21
5000	raster	Graham Scan	10	21
5000	random	Graham Scan	1	22
5000	random	Graham Scan	2	22
5000	random	Graham Scan	3	22
5000	random	Graham Scan	4	22
5000	random	Graham Scan	5	22
5000	random	Graham Scan	6	22
5000	random	Graham Scan	7	22
5000	random	Graham Scan	8	22
5000	random	Graham Scan	9	22
5000	random	Graham Scan	10	22
5000	circle	Graham Scan	1	21
5000	circle	Graham Scan	2	22
5000	circle	Graham Scan	3	21
5000	circle	Graham Scan	4	21
5000	circle	Graham Scan	5	22

5000	circle	Graham Scan	6	22
5000	circle	Graham Scan	7	21
5000	circle	Graham Scan	8	22
5000	circle	Graham Scan	9	21
5000	circle	Graham Scan	10	21
10000	raster	Graham Scan	1	44
10000	raster	Graham Scan	2	46
10000	raster	Graham Scan	3	46
10000	raster	Graham Scan	4	46
10000	raster	Graham Scan	5	46
10000	raster	Graham Scan	6	45
10000	raster	Graham Scan	7	46
10000	raster	Graham Scan	8	45
10000	raster	Graham Scan	9	46
10000	raster	Graham Scan	10	45
10000	random	Graham Scan	1	47
10000	random	Graham Scan	2	47
10000	random	Graham Scan	3	48
10000	random	Graham Scan	4	47
10000	random	Graham Scan	5	48
10000	random	Graham Scan	6	47
10000	random	Graham Scan	7	47
10000	random	Graham Scan	8	48
10000	random	Graham Scan	9	48
10000	random	Graham Scan	10	48
10000	circle	Graham Scan	1	46
10000	circle	Graham Scan	2	46
10000	circle	Graham Scan	3	46
10000	circle	Graham Scan	4	47
10000	circle	Graham Scan	5	47
10000	circle	Graham Scan	6	46
10000	circle	Graham Scan	7	46
10000	circle	Graham Scan	8	46
10000	circle	Graham Scan	9	47
10000	circle	Graham Scan	10	46
25000	raster	Graham Scan	1	126

25000	raster	Graham Scan	2	130
25000	raster	Graham Scan	3	131
25000	raster	Graham Scan	4	129
25000	raster	Graham Scan	5	131
25000	raster	Graham Scan	6	130
25000	raster	Graham Scan	7	127
25000	raster	Graham Scan	8	128
25000	raster	Graham Scan	9	127
25000	raster	Graham Scan	10	130
25000	random	Graham Scan	1	129
25000	random	Graham Scan	2	132
25000	random	Graham Scan	3	132
25000	random	Graham Scan	4	132
25000	random	Graham Scan	5	132
25000	random	Graham Scan	6	132
25000	random	Graham Scan	7	133
25000	random	Graham Scan	8	134
25000	random	Graham Scan	9	134
25000	random	Graham Scan	10	132
25000	circle	Graham Scan	1	123
25000	circle	Graham Scan	2	123
25000	circle	Graham Scan	3	122
25000	circle	Graham Scan	4	122
25000	circle	Graham Scan	5	123
25000	circle	Graham Scan	6	123
25000	circle	Graham Scan	7	123
25000	circle	Graham Scan	8	122
25000	circle	Graham Scan	9	123
25000	circle	Graham Scan	10	123
50000	raster	Graham Scan	1	263
50000	raster	Graham Scan	2	273
50000	raster	Graham Scan	3	271
50000	raster	Graham Scan	4	273
50000	raster	Graham Scan	5	271
50000	raster	Graham Scan	6	271
50000	raster	Graham Scan	7	271

50000	raster	Graham Scan	8	280
50000	raster	Graham Scan	9	310
50000	raster	Graham Scan	10	270
50000	random	Graham Scan	1	271
50000	random	Graham Scan	2	277
50000	random	Graham Scan	3	279
50000	random	Graham Scan	4	278
50000	random	Graham Scan	5	277
50000	random	Graham Scan	6	278
50000	random	Graham Scan	7	277
50000	random	Graham Scan	8	280
50000	random	Graham Scan	9	276
50000	random	Graham Scan	10	282
50000	circle	Graham Scan	1	261
50000	circle	Graham Scan	2	269
50000	circle	Graham Scan	3	268
50000	circle	Graham Scan	4	299
50000	circle	Graham Scan	5	276
50000	circle	Graham Scan	6	263
50000	circle	Graham Scan	7	267
50000	circle	Graham Scan	8	265
50000	circle	Graham Scan	9	265
50000	circle	Graham Scan	10	262
75000	raster	Graham Scan	1	420
75000	raster	Graham Scan	2	429
75000	raster	Graham Scan	3	434
75000	raster	Graham Scan	4	434
75000	raster	Graham Scan	5	429
75000	raster	Graham Scan	6	432
75000	raster	Graham Scan	7	433
75000	raster	Graham Scan	8	435
75000	raster	Graham Scan	9	431
75000	raster	Graham Scan	10	436
75000	random	Graham Scan	1	421
75000	random	Graham Scan	2	432
75000	random	Graham Scan	3	470

75000	random	Graham Scan	4	454
75000	random	Graham Scan	5	467
75000	random	Graham Scan	6	427
75000	random	Graham Scan	7	436
75000	random	Graham Scan	8	430
75000	random	Graham Scan	9	431
75000	random	Graham Scan	10	504
75000	circle	Graham Scan	1	398
75000	circle	Graham Scan	2	397
75000	circle	Graham Scan	3	394
75000	circle	Graham Scan	4	401
75000	circle	Graham Scan	5	399
75000	circle	Graham Scan	6	394
75000	circle	Graham Scan	7	397
75000	circle	Graham Scan	8	396
75000	circle	Graham Scan	9	398
75000	circle	Graham Scan	10	400
100000	raster	Graham Scan	1	602
100000	raster	Graham Scan	2	615
100000	raster	Graham Scan	3	610
100000	raster	Graham Scan	4	608
100000	raster	Graham Scan	5	609
100000	raster	Graham Scan	6	607
100000	raster	Graham Scan	7	634
100000	raster	Graham Scan	8	630
100000	raster	Graham Scan	9	614
100000	raster	Graham Scan	10	710
100000	random	Graham Scan	1	585
100000	random	Graham Scan	2	580
100000	random	Graham Scan	3	606
100000	random	Graham Scan	4	586
100000	random	Graham Scan	5	586
100000	random	Graham Scan	6	658
100000	random	Graham Scan	7	578
100000	random	Graham Scan	8	580
100000	random	Graham Scan	9	577

100000	random	Graham Scan	10	575
100000	circle	Graham Scan	1	524
100000	circle	Graham Scan	2	525
100000	circle	Graham Scan	3	533
100000	circle	Graham Scan	4	646
100000	circle	Graham Scan	5	560
100000	circle	Graham Scan	6	557
100000	circle	Graham Scan	7	545
100000	circle	Graham Scan	8	541
100000	circle	Graham Scan	9	539
100000	circle	Graham Scan	10	546
250000	raster	Graham Scan	1	1561
250000	raster	Graham Scan	2	1604
250000	raster	Graham Scan	3	1553
250000	raster	Graham Scan	4	1575
250000	raster	Graham Scan	5	1574
250000	raster	Graham Scan	6	1574
250000	raster	Graham Scan	7	1602
250000	raster	Graham Scan	8	1637
250000	raster	Graham Scan	9	1543
250000	raster	Graham Scan	10	1533
250000	random	Graham Scan	1	1559
250000	random	Graham Scan	2	1605
250000	random	Graham Scan	3	1599
250000	random	Graham Scan	4	1585
250000	random	Graham Scan	5	1618
250000	random	Graham Scan	6	1592
250000	random	Graham Scan	7	1645
250000	random	Graham Scan	8	1618
250000	random	Graham Scan	9	1611
250000	random	Graham Scan	10	1597
250000	circle	Graham Scan	1	1368
250000	circle	Graham Scan	2	1372
250000	circle	Graham Scan	3	1365
250000	circle	Graham Scan	4	1382
250000	circle	Graham Scan	5	1373

250000	circle	Graham Scan	6	1354
250000	circle	Graham Scan	7	1387
250000	circle	Graham Scan	8	1373
250000	circle	Graham Scan	9	1392
250000	circle	Graham Scan	10	1381
500000	raster	Graham Scan	1	3400
500000	raster	Graham Scan	2	3416
500000	raster	Graham Scan	3	3418
500000	raster	Graham Scan	4	3489
500000	raster	Graham Scan	5	3483
500000	raster	Graham Scan	6	3442
500000	raster	Graham Scan	7	3420
500000	raster	Graham Scan	8	3424
500000	raster	Graham Scan	9	3592
500000	raster	Graham Scan	10	3638
500000	random	Graham Scan	1	3364
500000	random	Graham Scan	2	3448
500000	random	Graham Scan	3	3548
500000	random	Graham Scan	4	3507
500000	random	Graham Scan	5	4553
500000	random	Graham Scan	6	3789
500000	random	Graham Scan	7	3528
500000	random	Graham Scan	8	3323
500000	random	Graham Scan	9	3357
500000	random	Graham Scan	10	3381
500000	circle	Graham Scan	1	2719
500000	circle	Graham Scan	2	2684
500000	circle	Graham Scan	3	2706
500000	circle	Graham Scan	4	2760
500000	circle	Graham Scan	5	2996
500000	circle	Graham Scan	6	3229
500000	circle	Graham Scan	7	3354
500000	circle	Graham Scan	8	2710
500000	circle	Graham Scan	9	3233
500000	circle	Graham Scan	10	3196
750000	raster	Graham Scan	1	5076

750000	raster	Graham Scan	2	5144
750000	raster	Graham Scan	3	5242
750000	raster	Graham Scan	4	5152
750000	raster	Graham Scan	5	5160
750000	raster	Graham Scan	6	5156
750000	raster	Graham Scan	7	5167
750000	raster	Graham Scan	8	5163
750000	raster	Graham Scan	9	5189
750000	raster	Graham Scan	10	5160
750000	random	Graham Scan	1	4894
750000	random	Graham Scan	2	4983
750000	random	Graham Scan	3	4996
750000	random	Graham Scan	4	5287
750000	random	Graham Scan	5	5205
750000	random	Graham Scan	6	5251
750000	random	Graham Scan	7	5247
750000	random	Graham Scan	8	5372
750000	random	Graham Scan	9	5633
750000	random	Graham Scan	10	7157
750000	circle	Graham Scan	1	4517
750000	circle	Graham Scan	2	5068
750000	circle	Graham Scan	3	4933
750000	circle	Graham Scan	4	6212
750000	circle	Graham Scan	5	5311
750000	circle	Graham Scan	6	4533
750000	circle	Graham Scan	7	4975
750000	circle	Graham Scan	8	4827
750000	circle	Graham Scan	9	4348
750000	circle	Graham Scan	10	4166
1000000	raster	Graham Scan	1	6557
1000000	raster	Graham Scan	2	6768
1000000	raster	Graham Scan	3	6759
1000000	raster	Graham Scan	4	6730
1000000	raster	Graham Scan	5	6729
1000000	raster	Graham Scan	6	6724
1000000	raster	Graham Scan	7	7510



1000000	raster	Graham Scan	8	8147
1000000	raster	Graham Scan	9	6765
1000000	raster	Graham Scan	10	8198
1000000	random	Graham Scan	1	7755
1000000	random	Graham Scan	2	7184
1000000	random	Graham Scan	3	6809
1000000	random	Graham Scan	4	7178
1000000	random	Graham Scan	5	7205
1000000	random	Graham Scan	6	7001
1000000	random	Graham Scan	7	7402
1000000	random	Graham Scan	8	7576
1000000	random	Graham Scan	9	7583
1000000	random	Graham Scan	10	6932
1000000	circle	Graham Scan	1	5778
1000000	circle	Graham Scan	2	5778
1000000	circle	Graham Scan	3	5857
1000000	circle	Graham Scan	4	5946
1000000	circle	Graham Scan	5	5831
1000000	circle	Graham Scan	6	5774
1000000	circle	Graham Scan	7	5865
1000000	circle	Graham Scan	8	5836
1000000	circle	Graham Scan	9	5816
1000000	circle	Graham Scan	10	5756

Tabuľka 8: Graham Scan mezivýpočty