

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Stavebná fakulta

Evidenčné číslo: SvF-5342-105652

Algoritmy a pomôcky na riešenie sudoku

Bakalárska práca

Študijný program: matematicko-počítačové modelovanie

Študijný odbor: matematika

Školiace pracovisko: Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie

Vedúci záverečnej práce: RNDr. Ľubica Staneková, PhD.



ZADANIE BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Študentka: **Karolína Vallová**
ID študenta: 105652
Študijný program: matematicko-počítačové modelovanie
Študijný odbor: matematika
Vedúca práce: RNDr. Ľubica Staneková, PhD.
Vedúci pracoviska: Ing. Marek Macák, PhD.

Názov práce: **Algoritmy a pomôcky na riešenie sudoku**

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský jazyk

Špecifikácia zadania:

Témou tejto práce sú algoritmy a pomôcky na riešenie sudoku. V práci bude uvedený prehľad voľne dostupných programov, ktoré ponúkajú pomôcky pri riešení sudoku. Takéto programy najčastejšie ponúkajú dve pomôcky (malú a veľkú) alebo namiesto riešiteľa vygenerujú všetky možnosti. Cieľom práce je urobiť program s viacerými pomôckami (kombinácia známych a vlastných pomôcok) a tiež popísať teóriu k pomôckam a algoritmy na riešenie sudoku.

Termín odovzdania bakalárskej práce: 05. 05. 2022
Dátum schválenia zadania bakalárskej práce: 18. 02. 2022
Zadanie bakalárskej práce schválil: prof. RNDr. Karol Mikula, DrSc. – garant študijného programu

POKYNY na vypracovanie bakalárskej práce

Úvodné ustanovenie

V zmysle zákona č. 131/2002 Z. z. o vysokých školách a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov je súčasťou štúdia podľa každého študijného programu aj záverečná práca. Jej obhajoba patrí medzi štátne skúšky. Záverečnou prácou pri štúdiu podľa bakalárskeho študijného programu je bakalárska práca. Podkladom na vypracovanie bakalárskej práce je zadanie bakalárskej práce

Štruktúra záverečnej práce

- titulný list,
- zadanie záverečnej práce,
- pokyny na vypracovanie,
- vyhlásenie autora,
- názov a abstrakt v slovenskom a v anglickom jazyku (spolu v rozsahu jednej strany),
- obsah s očíslovaním kapitol,
- zoznam príloh,
- zoznam skratiek a značiek,
- text samotnej práce (odporúčané členenie),
 - úvod,
 - súčasný stav problematiky,
 - ciele záverečnej práce,
 - vlastné riešenie členené na kapitoly podľa charakteru práce,
 - zhodnotenie dosiahnutých výsledkov resp. navrhnutých riešení,
 - záver,
- resumé v slovenskom jazyku v rozsahu spravidla 10 % rozsahu ZP (len pre práce vypracované v cudzom jazyku),
- zoznam použitej literatúry,
- prílohy (výkresy, tabuľky, mapy, náčrty) vrátane postera s rozmermi 1000x700 mm.

Rozsah a forma

1. Obsah a forma záverečnej práce musí byť spracovaná v zmysle vyhlášky MŠVVaŠ SR č. 233/2011 Z. z., ktorou sa vykonávajú niektoré ustanovenia zákona č. 131/2002 Z. z. a v zmysle Metodického usmernenia č. 56/2011 o náležitostiach záverečných prác.
2. Vyžadovaný rozsah bakalárskej práce je 20 až 30 strán. Odovzdáva sa v dvoch vyhotoveniach. Jedno vyhotovenie musí byť viazané v pevnej väzbe (nie hrebeňovej) tak, aby sa jednotlivé listy nedali vyberať. Rozsiahle grafické prílohy možno v prípade súhlasu vedúceho práce odovzdať v jednom vyhotovení.
3. Autor práce je povinný vložiť prácu v elektronickej forme do akademického informačného systému. Autor zodpovedá za zhodu listinného aj elektronického vyhotovenia.

4. Po vložení záverečnej práce do informačného systému, predloží autor fakulte ním podpísaný návrh licenčnej zmluvy. Návrh licenčnej zmluvy je vytvorený akademickým informačným systémom.
5. Odporúčaný typ písma je Times New Roman, veľkosť 12 a je jednotný v celej práci. Odporúčané nastavenie strany - riadkovanie 1,5, okraj vnútorný 3,5 cm, vonkajší 2 cm, zhora a zdola 2,5 cm, orientácia na výšku, formát A4.
6. Obrázky a vzorce sa číslujú v rámci jednotlivých kapitol (napr. obr. 3.1 je obrázok č. 1 v kapitole 3). Vzorce sa číslujú na pravom okraji riadku v okrúhlych zátvorkách - napr. (3.1).
7. Všetky výpočty musia byť usporiadané tak, aby bolo možné preveriť ich správnosť.
8. Pri všetkých prevzatých vzorcoch, tabuľkách, citovaných častiach textu musí byť uvedený prameň.
9. Citovanie literatúry vrátane elektronických materiálov sa uvádza podľa STN ISO 690 (01 0197): 2012. *Informácie a dokumentácia. Návod na tvorbu bibliografických odkazov na informačné pramene a ich citovanie*.
10. Príklad zoznamu bibliografických odkazov:
 ABELOVIČ, J. a kol.: *Meranie v geodetických sieťach*. Bratislava: Alfa 1990. 104 s. ISBN 0-1554-9173.
 MICHALČÁK, O. – ADLER, E.: Výskum stability dunajských hrádzí. In: *Zborník vedeckých prác Stavebnej fakulty SVŠT*. Bratislava: Edičné stredisko SVŠT 1976, s. 17-28. ISBN 0-3552-5214.
 ŠÜTTI, J.: Určovanie priestorových posunov stavebných objektov. *Geodetický kartografický obzor*. 2000, roč. 2, č. 3, s. 8-16. ISSN 0811-6900.
 Article 18. Technical Cooperation. <http://www.lac.uk/iso/tc456> (2013-09-28)
11. Za jazykovú a terminologickú správnosť záverečnej práce zodpovedá študent.
12. Formu postera (elektronická alebo aj tlačенá) určí garant študijného programu.
13. Vzor pre poster je uvedený na dokumentovom serveri v akademickom informačnom systéme univerzity.

.....
 podpis garanta študijného programu

Ustanovenia týchto pokynov som vzal na vedomie. Som si vedomý(á), že ak nebude moja bakalárska práca vypracovaná v súlade s týmito pokynmi, nebude prijatá na obhajobu.

V Bratislave

.....
 podpis študenta

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som túto záverečnú prácu vypracovala samostatne pod vedením vedúceho záverečnej práce, s použitím literatúry uvedenej v zozname použitej literatúry.

Bratislava 6. 5. 2022

Karolína Vallová

Podakovanie

Chcela by som sa poďakovať mojej školiteľke, RNDr. Ľubici Stanekovej, PhD., za pomoc a usmernenie pri písaní tejto bakalárskej práce, za cenné rady a informácie a v neposlednom rade za ochotu.

Bratislava 6. 5. 2022

Karolína Vallová

Abstrakt

Názov práce: Algoritmy a pomôcky na riešenie sudoku

Abstrakt: Je veľa voľne dostupných programov, ktoré ponúkajú pomoc pri riešení sudoku, najčastejšie ponúkajú nápovedu (malú a veľkú) alebo namiesto riešiteľa vygenerujú všetky možnosti. V práci sú popísané niektoré z takýchto programov spolu s popísanými výhodami a nevýhodami. V práci je tiež urobený program s viacerými pomôckami a je navrhnutý tak, aby si riešiteľ mohol pomôcky vyskúšať sám bez nápovedí. V práci je vysvetlená aj teória k pomôckam.

Kľúčové slová: Pomôcka, kandidát, políčko, riešiteľ, mriežka, program

Abstract

Title: Algorithms and techniques for solving Sudoku

Abstract: There are many free available programs which offers hints to solve a Sudoku puzzle. Often the hints are more narrow and without explanation. Or instead of hints these programs gives solver an option to generates all possible candidates. This thesis contains an overview of these programs with benefits and drawbacks. It also contains a created program with several techniques. The program is created in a way so solver has a possibility to try techniques without hints. In thesis is described the theory of all known techniques with examples.

Keywords: techniques, grid, spot, candidate, program, solver

Obsah

Úvod	1
1 Hra Sudoku	2
1.1 Princíp hry	2
1.2 Zadania hry a ich úrovne	3
1.2.1 Zadanie hry	3
1.2.2 Úroveň hry	5
2 Pomôcky na riešenie hry sudoku	7
2.1 Lahké Pomôcky	7
2.1.1 Jedna pozícia (<i>Single Posistion</i>)	7
2.1.2 Jeden kandidát (<i>Single Candidate/Naked sing</i>)	8
2.2 Pokročilé pomôcky	9
2.2.1 Jedna línia kandidátov (<i>Candidate Lines</i>)	9
2.2.2 Dvojité páry (<i>Double Pairs</i>)	9
2.2.3 Viaceré línie kandidátov (<i>Multiple Lines</i>)	10
2.3 Náročné Pomôcky	11
2.3.1 Zjavný/á pár/trojica/štvorica (<i>Naked Pair/Triple/Quad</i>)	11
2.3.2 Skrytý/á pár/trojica/štvorica (<i>Hidden Pair/Triple/Quad</i>)	11
2.3.3 X-wing	12
2.3.4 XY-wing	13
2.3.5 Swordfish	14
3 Dostupné programy	16
3.1 Sudoku Solver	16
3.2 Sudoku	17
3.3 Sudoku Hint	18
4 Programovanie Pomôcok a Algoritmov	20
4.1 Štruktúra programu	20
4.1.1 Trieda Grid	20

4.1.2	Trieda Game	22
4.1.3	Porovnanie s dostupnými programami	24
	Záver	26
	Bibliografia	27

Úvod

Sudoku je logická doplňovacia hra pre jedného hráča, ktorá sa v dnešnej dobe pre svoje jednoduché pravidlá a množstvo úrovní obtiažnosti stala veľmi populárnou pre väčšinu vekových kategórií.

Prvá verzia sudoku puzzle sa objavila vo francúzskych novinách na konci 19. storočia pod menom *Number Place*. Avšak jej popularitu si získala až v meste Manhattan, New York v 70. rokoch 20. storočia. Získala si ju vďaka pánovi z Nového Zélandu menom Wayne Gould, ktorý po 6. rokoch skonštruoval počítačový program na tvorenie zadaní sudoku. [8] Vďaka tomuto programu sa ľahko generovali zadania sudoku, začali sa pravidelne a s úspechom publikovať do novín a táto logická hra sa rýchlo rozšírila do celého sveta. Neskôr táto hra bola publikovaná japonskou rébus firmou, ktorá ju pomenovala sudoku, znamenajúc *jedno číslo práve raz* a tento názov jej zostal dodnes. [7]

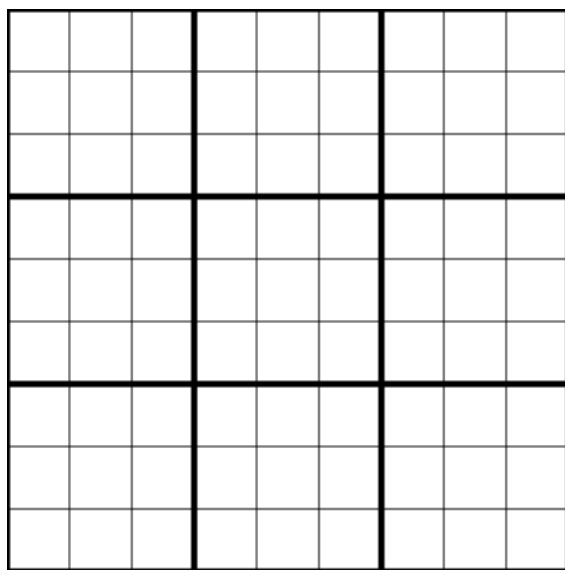
Cieľom práce je vytvoriť program na precvičenie riešenia zadaní pomocou pomôcok spomenutých v práci, aby sa hráč mohol zlepšovať a postupne vyriešiť aj náročné úrovne hry.

Kapitola 1

Hra Sudoku

1.1 Princíp hry

Logickú hru sudoku tvorí 81 políček po 9 riadkov a 9 stĺpcoch. Mriežka sa delí na deväť 3×3 štvorcov po 9 políček.



Obr. 1.1: Prázdna mriežka.

Cieľom hry je vyplniť týchto 81 políček číslicami od 1 po 9, pričom sa budú dodržiavať nasledovné tri základné pravidlá:

1. Každý riadok obsahuje čísla 1 - 9 práve raz.
2. Každý stĺpec obsahuje čísla 1 - 9 práve raz.
3. Každý 3×3 štvorec obsahuje čísla 1 - 9 práve raz.

Na obrázku 1.2 vidíme už vyplnenú mriežku hry sudoku. Zároveň môžeme vidieť, že takto vyplnená mriežka dodržiava tri základne pravidlá hry a preto ju môžeme nazvať aj jedným z mnohých správnych riešení sudoku.

2	7	4	1	5	9	3	6	8
1	8	5	3	2	6	7	9	4
3	6	9	4	7	8	1	5	2
7	5	8	6	4	1	9	2	3
6	2	3	9	8	5	4	7	1
9	4	1	2	3	7	5	8	6
8	3	6	7	9	4	2	1	5
4	1	7	5	6	2	8	3	9
5	9	2	8	1	3	6	4	7

Obr. 1.2: Vyriešená hra sudoku.

1.2 Zadania hry a ich úrovne

1.2.1 Zadanie hry

Intuitívne akákoľvek čiastočne nevyplnená mriežka hry sudoku 1.3 by sa dala považovať za jej zadanie. Nie však každé nevyplnené sudoku sa dá považovať za plnohodnotné zadanie. Vďaka kombinatorike vieme, že existuje práve 6.7×10^{21} riešení. Toto číslo vypočítali pomocou počítačového programu dvaja páni a to B. Felgenhauer a F. Jarvis v roku 2005 ako jeden z viacerých enumeračných problémov sudoku. [2]

Zároveň vďaka experimentu z Univerzity College Dublin [5] bol v roku 2013 overený minimálny počet pre zadané čísla, aby sa zadanie považovalo za plnohodnotné. Tým sa myslí, aby zadanie hry malo vždy jednoznačne jedno riešenie. Pán menom Gary McGuire overil toto číslo a došiel k záveru, že minimálny počet zadaných čísel je 17. Pri nevyriešených hrách sudoku, kde je zadaných len 16 čísel, hra nemá jedno, ale viac ako jediné riešenie a považuje sa teda za neplnohodnotné. Bežný počet čísel v zadaní hry pre začiatočníkov býva okolo 30 čísel. Avšak toto číslo sa pre rôzne úrovne mení, ale zostáva okolo 24 čísel aj pri náročnejších úrovniach.

Čo nám naznačuje, že aj zadanie pre logickú hru sudoku by malo mať svoje pravidlá

alebo zásady. Avšak na takéto zásady sa prišlo potom ako sa hra predstavila verejnosti. Tieto tzv. nepísané pravidlá, ktorými by sa malo riadiť každé zadanie, aby sa považovalo za plnohodnotné, sú nasledovné:

1. Každé zadanie by malo mať práve jedno riešenie.
2. Každé zadanie by malo byť riešiteľné bez hádania alebo pomoci počítača.
3. Každé zadanie by malo byť minimálne, teda po odstránení jednej číslice by už nemalo mať iba jedno riešenie.

2			1				6	
	8	5		2			9	
				7		1		2
					1			3
			9		5			
9			2					
8		6		9				
	1			6		8	3	
	9				3			7

Obr. 1.3: Vzor zadania. [4]

Špeciálne zadania hry

Počítačom vygenerované zadania hry sú najdostupnejšie, a taktiež najčastejšie používané vo zväzkoch zadaní, v novinách a časopisoch alebo sú uvádzané v dostupných programoch na riešenie hry sudoku. Nájdú sa ale aj zadania vytvorené ľuďmi. Tieto zadania sa skôr sústredia na postupnosť pri dosádzaní čísel, alebo využívaní určitých pomôcok či z estetického hľadiska alebo náučného. Príkladom takéhoto zadania je zadanie v tvare motýľa na obrázku 1.4, ktoré vytvoril pán Grant Fikes. [3]

Toto zadanie nie je len esteticky zaujímavé, ale aj v tom, v akom poradí sa dopĺňajú čísla. Poradie pri dopĺňaní je zrkadlové k diagonále z ľavého horného rohu. Zároveň úroveň tohto zadania je ľahká aj pri veľmi malom počte a to 22 zadaných čísel.

			4	6	8			
			5			3		
						1	9	
2	1							5
3								6
4							8	7
	9	5		9				
		8			6			
			7	1	2			

Obr. 1.4: Sudoku v tvare motýľa.

1.2.2 Úroveň hry

Každé plnohodnotné zadanie má teda svoje jediné riešenie. Keď sa pozrieme na počet čísel v zadaní, môžeme približne určiť alebo aspoň hráčovi môže dať približnú predstavu o úrovni obtiažnosti. Avšak aj pri obvyklom počte čísel môžeme nájsť ľahšie alebo náročnejšie zadanie hry. Preto obtiažnosti hry by sa nemala určovať na základe počtu čísel v zadaní, ale na základe nejakého systému, ktorý by určil úroveň obtiažnosti hry jednoznačnejšie.

Existujú už rôzne systémy, ktoré ohodnotia úroveň zadania hry, jedným z týchto systémov môžeme nájsť na stránke [Difficulty of Sudoku puzzle](#). Tento systém bol vytvorený malou firmou, ktorá pochádza z Anglicka a má názov Astraware Limited. Na tejto stránke sa každé zadanie hry ohodnotí pomocou metódy, ktorá sa riadi týmito troma zásadami:

1. Počet nevyplnených (prázdnych) políček.
2. Koľko rôznych pomôcok treba použiť.
3. Ako často každú z týchto pomôcok treba zopakovať na vyriešenie zadania.

Tento konkrétny systém, ktorý každej použitej pomôcke pridelí istú hodnotu (cenu) sa riadi nasledujúcou tabuľkou:

Tabuľka 1.1: Tabuľka hodnôt pre pomôcky.

Pomôcka	1. použitie	Ďalšie použitie
Jedna pozícia (<i>Single Position</i>)	100	100
Jeden kandidát (<i>Single Candidate/Naked single</i>)	100	100
Jedna línia kandidátov (<i>Candidate Lines</i>)	350	200
Dvojité páry (<i>Double Pair</i>)	500	250
Viaceré línie kandidátov (<i>Multiple Lines</i>)	700	400
Zjavný pár (<i>Naked Pair</i>)	750	500
Skrytý pár (<i>Hidden Pair</i>)	1500	1200
Zjavná trojica (<i>Naked Triple</i>)	2000	1400
Skrytá trojica (<i>Hidden Triple</i>)	2400	1600
X-Wing a XY-Wing	2800	1600
Reťazová reakcia (<i>Forcing Chains</i>)	4200	2100
Zjavná štvorica (<i>Naked Quad</i>)	5000	4000
Skrytá štvorica (<i>Hidden Quad</i>)	7000	5000
Swordfish	8000	6000

S veľkým množstvom zadaní, ich úrovně sa príležitostne môžu líšiť, jedno riešenie môže byť o trošku ľahšie ako ďalšie, ktoré je len o menšiu hodnotu náročnejšie. A to len preto koľko pomôcok a ich opakovaní je potrebných na vyriešenie hry. Preto sa zoskupili úrovně zadaní, ktoré boli podobne ohodnotené na základe vyššie spomenutej tabuľky, a potom rozdelené do šiest kategórií:

Tabuľka 1.2: Tabuľka úrovni hry sudoku.

Úroveň	Dolná hranica	Horná hranica
Začiatočník	3600	4500
Ľahká	4300	5500
Stredne ťažká	5300	6900
Náročná	6500	9300
Čertovská	8300	14000
Diabolská	11000	25000

Jednotlivé kategórie sa prekrývajú niekde viac, niekde menej, avšak tieto prekryvy sú tam zámerne. Umožňujú pri vytváraní zadaní istú voľnosť, aby zadanie bolo stále v prijateľnom rozsahu kvôli opakovaniu pomôcok.

Kapitola 2

Pomôcky na riešenie hry sudoku

V Predchádzajúcej kapitole sme spomenuli pomôcky na vyriešenie logickej hry sudoku. V tejto kapitole sa ich skúsime čitateľovi vysvetliť do čo najzrozumiteľnejšej miery, aby si ich ako príležitostný alebo pravidelný hráč mohol prípadne vyskúšať pri najbližšej hre. Postupne spomenieme väčšinu spomenutých pomôcok z už spomínanej tabuľky 1.1 hodnôt pre pomôcky.

Hlavná myšlienka za pomôckami logickej hry sudoku je uľahčenie hľadania kandidáta alebo skupiny kandidátov, neskôr dedukciou aj nájsť konkrétne číslo pre konkrétne políčko v mriežke.

2.1 Ľahké Pomôcky

Medzi najľahšie a hlavne prvé pomôcky, s ktorými sa hráč stretne pri hraní hry sudoku sú základné tri pravidlá hry a ich rôzne aplikácie či už pri hľadaní priamo čísla alebo kandidátov. Ako sa v predchádzajúcej kapitole spomínali princípy hry sudoku, hlavná myšlienka je vyplniť mriežku číslami 1 – 9, tak aby sa dodržali základné pravidlá.

2.1.1 Jedna pozícia (*Single Position*)

Práve táto pomôcka patrí medzi tie najľahšie a hráčovi začiatočníkovi je vysvetlená ako prvá. Pomôcka *Jedna pozícia* využíva základne tri pravidlá hry. Nižšie máme príklad na obrázku 2.1, kde môžeme vidieť hru sudoku v počiatočnej fáze riešenia. V posledných dvoch riadkoch môžeme vidieť už zvýraznené aj dve číslice 3. Ak sa pozrieme na posledné tri riadky zdola a zameriame sa na číslo 3 môžeme vidieť dve veci:

1. V treťom riadku zdola chýba číslo 3, keďže v nižších riadkoch sa už nemôže nachádzať kvôli číslam 3 v predposlednom a poslednom riadku.
2. Číslo 3 chýba aj vo štvorci v ľavom dolnom rohu.

Keď spojíme tieto dva poznatky, vyjde nám, že číslo 3 sa musí nachádzať vo vrchnom riadku ľavého dolného štvorca. Avšak tam je voľné iba jedno políčko. Tým pádom vieme jednoznačne povedať, že číslo 3 sa bude nachádzať práve v tomto voľnom políčku.

2			1				6	
	8	5		2			9	
				7		1		2
					1			3
			9		5			
9			2					
8		6		9				
	1			6		8	3	
	9				3			7

Obr. 2.1: Príklad pomôcky Jedna pozícia.

2.1.2 Jeden kandidát (*Single Candidate/Naked sing*)

Medzi ďalšie pomôcky, ktoré patria k tým ľahším, je pomôcka *Jeden kandidát*. Táto pomôcka vyplýva z troch základných pravidiel hry a hráč ju môže použiť, keď vyplní všetky voľné políčka v mriežke všetkými možnými kandidátmi podľa týchto pravidiel. Veľmi ojedinele nastane situácia, kedy jedno konkrétne voľné políčko má iba jedného kandidáta na zváženie. Najlepšie je to vidieť na obrázku 2.2b, kde sú v každom voľnom políčku vpísaní všetci možní kandidáti na zváženie a jedno políčko je zvýraznené práve preto, lebo sa tam nachádza iba jeden kandidát a to číslo 4.

2			1				6	
	8	5		2			9	
				7		1		2
					1			3
			9		5			
9			2					
8		6		9				
	1			6		8	3	
	9				3			7

(a) Bez všetkých kandidátov.

2	³⁴⁷	³⁴⁷	1	³⁴⁵	⁴⁸⁹	³⁴⁵	6	⁴⁵⁸
¹³⁴	8	5	³⁴⁶	2	⁴⁶	³⁴⁷	9	⁴
³⁴⁶	³⁴⁶	³⁴⁹	³⁴⁵	7	⁴⁶⁸	¹	⁴⁵⁸	2
⁴⁵⁶	²⁴⁵	²⁴⁷	⁴⁶⁷	⁴⁸	1	²⁴⁵	²⁴⁵	3
¹³⁴	²³⁴	¹²³	9	³⁴⁸	5	²⁴⁶	¹²⁴	¹⁴⁶
9	³⁴⁵	¹³⁴	2	³⁴⁸	⁴⁶⁷	⁴⁵⁶	¹⁴⁵	¹⁴⁵
8	²³⁴	6	⁴⁵⁷	9	²⁴⁷	²⁴⁵	¹²⁴	¹⁴⁵
⁴⁵⁷	1	²⁴⁷	⁴⁵⁷	6	²⁴⁷	8	3	⁴⁵⁹
⁴⁵	9	²⁴	⁴⁵⁸	¹⁴⁵	3	²⁴⁵	¹²⁴	7

(b) So všetkými kandidátmi.

Obr. 2.2: Príklad pomôcky Jeden kandidát.

Ďalšie číslo 4 sa v tomto zadaní aj ťažko hľadá, keď sa v zadaní ani nenachádza, ale práve v takýchto ojedinelých situáciach pomôcka Jeden Kandidát je veľmi nápomocná. Vo všeobecnosti platí, že táto pomôcka je veľmi prácna a málokedy využívaná pre jej ojedinelosť. Pomôcka preto nepatrí medzi prvú voľbu ani skúseného hráča, nie to ešte začiatočníka, hlavne kvôli práci, ktorú táto pomôcka vyžaduje. Na príkladnom obrázku 2.2b môžeme vidieť koľko rôzne veľkých skupín kandidátov sa nachádza v tomto konkrétnom zadaní hry a ako je ľahké sa stratiť a pomýliť. Preto sa táto pomôcka doporučuje používať pri väčšom počte už jasne daných čísel. Avšak aj vtedy táto pomôcka patrí medzi tie posledné, ktoré hráči využívajú. Narozdiel od počítačových programov, ktoré používajú túto pomôcku ako prvoradú, ale aj na hľadanie ďalších pomôcok.

2.2 Pokročilé pomôcky

V tejto sekcii sa budú rozoberať pomôcky, ktoré môžu, ale vo väčšine prípadov neurčia konkrétne číslo voľnému políčku, skôr zredukujú skupiny možných kandidátov pre jednotlivé voľné políčka. Preto sa v príkladoch nachádzajú aj všetci vygenerovaní kandidáti, aby pomôcky boli ľahšie nájdené. Keď sa využije kombinácia takýchto pomôcok, hráča to priblíži k správne riešeniu, ak nie priamo k riešeniu. To však záleží na úrovni hry.

2.2.1 Jedna línia kandidátov (*Candidate Lines*)

Jednou z prvých pokročilejších pomôcok je Jedna línia kandidátov. Keď sa pozrieme na štvorec 3 x 3 v strede mriežky na obrázku 2.3, môžeme ilustračne ukázať príklad tejto pomôcky. Na obrázku 2.3 vidíme, že číslo 3 sa v tomto štvorci môže nachádzať už iba v dvoch voľných zvýraznených políčkach. V iných voľných políčkach sa číslo 3 nachádzať nemôže, kvôli už jednoznačne daným číslam 3 vo štvrtom riadku zhora a v šiestom stĺpci zľava. S týmto poznatkom ďalej môžeme povedať, že číslo 3 sa v piatom stĺpci bude nachádzať iba na týchto dvoch zvýraznených voľných políčkach v strednom 3 x 3 štvorci. Na základe čoho ďalej môžeme s istotou odstrániť číslo 3 zo skupiny kandidátov vo voľnom políčku v piatom stĺpci a prvom riadku, keďže na tomto mieste sa toto číslo nebude nachádzať.

2.2.2 Dvojité páry (*Double Pairs*)

Ďalšou pomôckou sú Dvojité páry, kde máme po dva páry kandidátov v dvoch stĺpoch a zároveň v dvoch štvorcoch 3 x 3 pre konkrétne číslo. Vďaka týmto dvom párom, potom vieme zredukovať kandidátov spomínaného čísla. Najlepšie je to však ukázať na obrázku 2.4. Tu môžeme vidieť všetkých vygenerovaných kandidátov aj pre číslo 2 v stredných troch 3 x 3 štvorcach. Keď sa lepšie pozrieme na prvý a druhý štvorec, zistíme, že kandidáti pre číslo 2 sa v nich nachádzajú len v prvom a treťom stĺpci týchto štvorcov. Inak aj povedané, v prvom a treťom štvorci v strednom stĺpci sa číslo 2 nemôže nachádzať. Za to v treťom štvorci sa

2	³⁴⁷ ₉	³⁴⁷ ₉	1	4 ⁴⁵ ₈	489	³⁴⁵ ₇	6	458
¹³⁴ ₆₇	8	5	346	2	46	347	9	4
346	346	349	³⁴⁵ ₆₈	7	⁴⁶⁸ ₉	1	458	2
⁴⁵⁶ ₇	²⁴⁵ ₆₇	²⁴⁷ ₈	⁴⁶⁷ ₈	48	1	²⁴⁵ ₆₇₉	²⁴⁵ ₇₈	3
¹³⁴ ₆₇	²³⁴ ₆₇	¹²³ ₄₇₈	9	³⁴⁸ ₅	5	²⁴⁶ ₇	¹²⁴ ₇₈	¹⁴⁶ ₈
9	³⁴⁵ ₆₇	¹³⁴ ₇₈	2	³⁴⁸ ₅	⁴⁶⁷ ₈	⁴⁵⁶ ₇	¹⁴⁵ ₇₈	¹⁴⁵ ₆₈
8	²³⁴ ₅₇	6	457	9	247	245	¹²⁴ ₅	145
457	1	247	457	6	247	8	3	459
45	9	24	458	¹⁴⁵ ₈	3	²⁴⁵ ₆	¹²⁴ ₅	7

Obr. 2.3: Príklad pomôcky Jedna línia kandidátov.

nachádzajú kandidáti pre číslo 2 aj v strednom stĺpci. Preto môžeme vyškrtnúť kandidátov pre číslo 2 v poslednom štvorci v prvom a v tretom stĺpci, lebo v tomto štvorci sa musí číslo 2 nachádzať práve v strednom stĺpci.

9	3	4	¹²⁷ ₈	6	²⁷⁸ ₅	178	5	18
17	15	6	178	578	4	9	2	3
127	125	8	9	³⁵ ₇	³⁵ ₇	17	4	6
8	¹²⁹ ₉	¹²³ ₉	5	4	6	13	19	7
6	249	²³⁷ ₉	²⁷⁸ ₅	1	²⁷⁸ ₅	348	89	5
5	14	17	3	9	78	148	6	2
3	6	59	4	⁵⁸ ₉	1	2	7	⁸⁹ ₅
4	7	129	6	238	3 ³⁸ ₉	5	189	189
12	8	¹²⁵ ₉	2 ⁷ ₉	257	5 ⁷ ₉	6	3	4

Obr. 2.4: Príklad pomôcky Dvojité páry.

2.2.3 Viaceré línie kandidátov (*Multiple Lines*)

Táto pomôcka je veľmi podobná pomôcke Dvojité páry, avšak v dvoch stĺpoch sa nenachádzajú kandidáti pre konkrétne číslo po dva-krát na dvoch políčkach, ale sa nachádzajú na viacerých políčkach. To opäť zredukuje možných kandidátov v treťom stĺpci či už na jednom alebo troch políčkach.

2.3 Náročné Pomôcky

2.3.1 Zjavný/á pár/trojica/štvorica (*Naked Pair/Triple/Quad*)

Pomôcka Zjavné páry patrí medzi tie najužitočnejšie pomôcky a zároveň najlepšie zbadateľné. Jej princíp spočíva v tom, že sa nájde dvojica po dvoch kandidátoch na dvoch políčkach a v týchto políčkach sa nenachádzajú už iní kandidáti. Na obrázku 2.5 môžeme vidieť takýto pár v poslednom riadku a to kandidátov pre čísla 5 a 1. V týchto políčkach sa môžu nachádzať iba títo dvaja kandidáti, a preto môžeme týchto dvoch kandidátov vyškrtnúť z ostatných voľných políček v tomto riadku. Čo v tomto prípade znamená, že v jednom z týchto políček, kde sme vyškrtli kandidáta pre číslo 1, zostane už iba jeden kandidát a to pre číslo 6.

4	15	35	2	7	39	6	189	58
7	9	8	1	5	6	2	3	4
136	2	356	8	4	39	15	19	7
2	3	7	4	6	8	9	5	1
8	4	9	5	3	1	7	2	6
5	6	1	7	9	2	8	4	3
36	8	2	36	1	5	4	7	9
169	7	56	69	2	4	3	168	58
3 36	15	4	369	8	7	15	3 6	2

Obr. 2.5: Príklad pomôcky Zjavný pár.

Pre trojice alebo štvorice platí podobný postup, akurát sa nachádzajú kandidáti na iba na troch alebo iba na štyroch políčkach. Niekedy je zjavná trojica zbadateľná v tvare po troch kandidátov, rozdelená po dvoch na troch políčkach alebo zjavná štvorica kandidátov je cez štyri políčka po rôznych počtoch rozdelená. Nezáleží či sa nachádza pár, trojica alebo štvorica v stĺpci, štvorci alebo v riadku.

2.3.2 Skrytý/á pár/trojica/štvorica (*Hidden Pair/Triple/Quad*)

Skrytý pár nie je vždy ľahké nájsť, ale zato keď sa už nájde, tak vie veľmi pomôcť priblížiť hráča k riešeniu. Takýto pár sa nájde medzi skupinami viacerých kandidátov, avšak pre iba tento pár platí, že sa môže nachádzať na voľných políčkach iba na dvoch miestach. Na obrázku 2.6 sa takýto príklad nachádza v treťom riadku zhora. Pre kandidátov pre čísla 3 a 1 v tomto riadku platí, že sa môžu nachádzať iba na políčkach tmavomodrej farby. Preto

kandidáta pre číslo 2 v jednom z týchto políčkam môžeme odstrániť a tak isto aj kandidáta pre číslo 4 v druhom políčku.

Skryté trojice a štvorice sa dajú nájsť v podobných situáciách, avšak pri tejto pomôcke trojice sa nájdu menej často ako páry, a štvorice sa nachádzajú veľmi ojedinele a to iba v zadaniach z najnáročnejších úrovní.

8	25	1	27	35	6	37	9	4
3	25	46	247	145	9	167	8	127
9	7	46	24	8	134	5	26	123
5	4	7	89	6	2	18	3	19
6	3	2	489	14	14	178	5	179
1	9	8	3	7	5	2	4	6
47	8	3	6	2	47	9	1	5
47	6	5	1	9	8	347	27	237
2	1	9	5	34	347	346	67	8

Obr. 2.6: Príklad pomôcky Skrytý Pár.

2.3.3 X-wing

Pomocou X-Wing pomôcky vieme redukovať možných kandidátov na jednotlivých políčkach, dokonca kandidátov vrámci štvorcov. Princíp tejto pomôcky spočíva v nájdení dvoch párov jedného kandidáta v dvoch riadkoch a v stĺpcoch, ktoré spojením sa vytvorí písmeno **X**, vďaka ktorému sa eliminujú zvyšní kandidáti tohto čísla v danom riadku alebo stĺpci. Najlepšie bude túto pomôcku predstaviť na konkrétnom príklade.

Majme zadanie už v určitom štádiu riešenia a máme situáciu na obrázku 2.7, kde hľadáme jediné možné políčko pre číslo 4. V štyroch 3 x 3 štvorcoch ešte nie je jednoznačný kandidát pre toto číslo, ale máme v dvoch riadkoch, v 3. a 6. zhora po dvoch kandidátoch pre číslo 4 (modrou farbou označené na obrázku 2.7). Zároveň veľmi dôležitý faktor pre pomôcku *X-Wing* je splnený a to, že práve títo štyria kandidáti pre číslo 4 sú aj pod sebou v dvoch stĺpcoch a to v 2. a 5. zľava.

Tieto štyri vyznačené políčka tvoria štvoruholník alebo ak ich spojíme krížom, písmeno **X**. Na základe základných pravidiel hry, vieme, že v týchto dvoch riadkoch a stĺpcoch môže byť iba po jednom čísle 4. Vďaka tejto pomôcke môžeme eliminovať ostatných kandidátov v ich stĺpcoch a ponechať iba týchto štyroch kandidátov. Vďaka tejto eliminácii vieme prípadne prísť na jednoznačného kandidáta pre iné číslo a priblížiť sa tak k riešeniu.

246 7	247 9	3	8	469 24	5	1	46
245 6	245 6	8	7	146 124	9	3	46
1	49 69		3	469	5	7	28
567 357	567 357	2	137 13	8	4	9	
8	34	1	9	34	6	2	57
247 9	247 9	79	5	478 48	1	6	3
9	6	4	1	2	7	3	85
3	8	2	6	5	9	4	71
57	1	57	4	38 38	6	9	2

Obr. 2.7: Príklad pomôcky X-wing.

2.3.4 XY-wing

Princíp *XY-wing* pomôcky eliminuje kandidátov pomocou dôležitého konceptu priesečníkov pri riešení sudoku. Najskôr si predstavíme princíp priesečníkov.

Princíp priesečníkov

Dve políčka sa nazývajú priesečníkmi, ak zdieľajú rovnaký riadok, stĺpec alebo malý štvorec 3 x 3. Týmto povedané čísla v týchto políčkach nesmú byť tie isté čísla.

XY-Wing

Táto pomôcka sa vzťahuje na tri políčka. Pre každé z týchto troch políčok je dôležité, aby mali iba po dvoch kandidátoch, ktoré sú navzájom logicky prepojené ako to je na obrázku 2.8 označené modrou a zelenou farbou.

Na obrázku môžeme vidieť, že na zeleno vyfarbené políčko má priesečníky s oboma jeho krídlami, modrými políčkami. Na to, aby sme mohli uplatniť túto pomôcku, modré políčka navzájom nemusia mať priesečník, ale musia zdieľať jedno a to isté číslo z kandidátov. Zároveň obaja kandidáti v zelenom políčku sa musia tiež nachádzať v jednom z modrých políčok.

Predstavme si, že na zelenom políčku by bolo číslo 7, potom by pravé na pravom modrom políčku bolo číslo 1. Ak by zelené políčko bolo číslo 2, zase ľavé políčko by bolo číslo 1. Z toho nám vyplýva, že práve jedno z modrých políčok bude číslo 1. Na základe tohto poznatku, vieme povedať, že kandidátov pre číslo 1 vyznačené bledomodrou farbou v prvom štvorci môžeme eliminovať a napríklad v tomto prípade vylúštiť ľavý štvorček a doplniť tak jednoznačne čísla do zadania.

1 2 3	4	1 3	5	9	1 7
5	9	7	2 6	8	1 6
1 2	6	8	2 7	3	4

Obr. 2.8: Príklad pomôcky XY-wings.

2.3.5 Swordfish

Ako poslednú pomôcku si vysvetlíme Swordfish. Táto pomôcka nie je ťažká na pochopenie, jej princíp je veľmi podobný pomôcke x-wing [2.7](#), avšak využíva tri riadky a tri stĺpce namiesto dvoch. V zadaní hry na obrázku [2.9](#) sa nachádza táto pomôcka a pomôže v tomto prípade s kandidátmi pre číslo 5. Ako môžeme vidieť podstatné 3 riadky sú zvýraznené modrou farbou a to iste môžeme vidieť aj pre stĺpce zelenou farbou. Tieto riadky boli vybrané tak, aby sa kandidáti pre číslo 5 nachádzali tam, kde sa krížia so stĺpcami, v ktorých sa tiež nachádzajú vo voľných políčkach kandidáti pre číslo 5. Všetky tri riadky musia obsahovať číslo 5 a keďže pre toto číslo sú možnosti limitované, každý z týchto riadkov bude mať číslo 5, tam kde sa kríži so zelenými stĺpcami. Aj keď nám zatiaľ nič z povedaného nepomohlo s jednoznačným určením pozície pre číslo 5, môžeme však určiť, že kandidáti pre číslo 5 sa budú nachádzať iba na políčkach, kde sa krížia vyznačené riadky a stĺpce. Číslo 5 sa bude teda nachádzať iba na políčkach zvýraznených tmavomodrou farbou. Z políček zafarbených tmavozelenou farbou potom môžeme odstrániť kandidáta pre číslo 5.

5 6	3 5 6	2	3 4	8	1	4 5	9	7
7	3 5	1	6	9	3 4	2	4 5	8
9	8	4	5	2	7	6	3	1
4	2	5	1	3	8	9	7	6
3	7	6	9	5	2	1	8	4
8	1	9	7	4	6	3	2 5	2 5
1 6	6 9	3	8	7	4 5	4 5	1 2 4 5	2 5 9
2	4 5	8	3 4	1	9	7	6	3 5
1 5	4 5 9	7	2	6	3 4 5	8	1 4 5	3 5 9

Obr. 2.9: Príklad pomôcky Swordfish.

Pomôcku Swordfish, na rozdiel od ostatných, je veľmi ťažké zbadáť a zároveň ju aj využiť pri riešení logickej hry sudoku. Nachádza sa na poslednom mieste tabuľky hodnôt pre

pomôcky [1.2](#) a na tomto mieste je umiestnená právoplatne pre jej náročnosť ju nájsť.

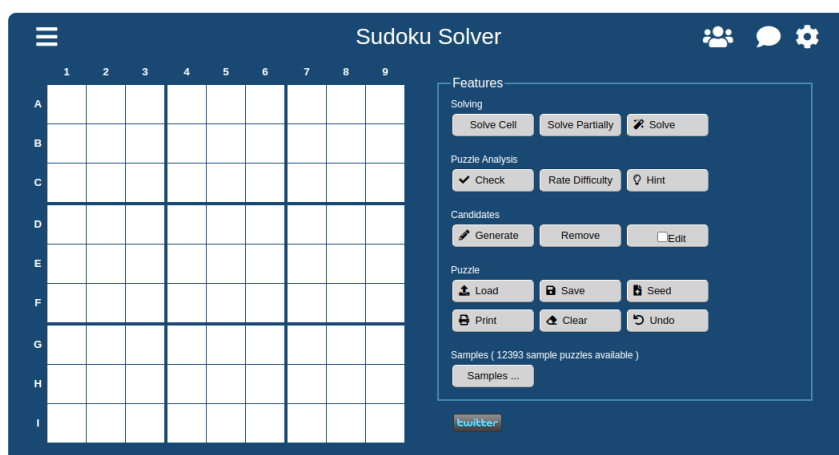
Kapitola 3

Dostupné programy

Hráči akýchkoľvek úrovní sa vedia dostať k rôznym programom pre logickú hru sudoku či už na internete alebo na mobilných zariadeniach. V tejto kapitole budeme rozoberať pár vybraných dostupných programov z internetu, ktoré sú ľahko nájdniteľné a na prvý pohľad spĺnili očakávania. Budeme hodnotiť ich prístup k pomôckam a ich interpretáciu, alebo aj ich riešenie zadania samostatne a navzájom.

3.1 Sudoku Solver

Program sudoku Solver môžeme nájsť na stránke [Sudoku solutions](#) ako jeden z dostupných programov. Autorom je spoločnosť Aire Technologies, ktorá sídli v Nemecku. [9] Na obrázku 3.1 nižšie môžeme vidieť s akým prostredím sa stretneme pri navštívení stránky.



Obr. 3.1: Sudoku Solver

Z prvého dojmu môžeme považovať, že tento program spĺní očakávania aj skúsených hráčov. Nižšie na stránke sa dozvieme ako presne narábať s takýmto programom. Sú tam vysvetlené všetky tlačidlá a aj ako pracovať s kandidátmi. Pri vybratí zadania stlačením tlačítka *samples...* si môžeme vybrať kategóriu zadania alebo sa vrátiť už ku konkrétnemu zadaniu z tejto stránky pomocou čísla, ktoré má každé zadanie pridelené.

Popár vyriešených zadaniach si môžeme všimnúť, že tam nie je dokonalá súhra medzi spracovaním jednotlivých krokov. Program spracováva jednotlivé kroky hráča postupne, aj keď hráč naďalej pracuje s programom, čo sa prejaví tak, že program ďalšie kroky hráča nezobrazí ak nie sú v správnom poradí. Program umožňuje hráčovi si vygenerovať všetkých kandidátov pre každé voľne políčko, ale aj hráčovi dovolí si zapísať vlastných kandidátov. Avšak pri doplnení konkrétnych čísel do zadania sa vygenerovaní kandidáti automaticky neupravujú, to sa stane až pri ďalšom vygenerovaní kandidátov. Pri doplnení zlého čísla, ktoré porušuje 3 základné pravidlá program automaticky upozorní na chybu, avšak ak doplnené číslo spĺňa tieto pravidlá program na chybu neupozorní. Upozornenie na takúto chybu v zadaní príde až potom, keď si hráč nechá samotným programom vyriešiť celé zadanie alebo si nechá skontrolovať zadanie pomocou tlačidla *Check*. Upozornenie príde ale bez vysvetlenia.

Ak by si hráč chcel nechať poradiť, program mu ponúkne nápovedu avšak v poradí, v akom by mal hráč postupne riešiť zadanie. A ak by chcel hráč nevyužiť túto nápovedu, ale chcel by dostať ďalšiu, program ho nepustí, kým nevyžije predošlú nápovedu. V ostatných programoch sa s týmto nestýkame, však tam nemáme ani nápovedy vysvetlené.

V porovnaní s ostatnými programami tu však môžeme zbadáť rozdiel vo farebnom zvýraznení riadku, stĺpca či štvorca, ktorého sa týka hráčom vybrané políčko. Ale za to sa vieme pozrieť na zadanie hry, bez akéhokoľvek zvýrazneného riadku, stĺpca alebo štvorca, čo môže byť pre hráča rozptyľujúce. Program po vyriešení celého sudoku ukáže hráčovi za aký čas dané zadanie vylúštil.

3.2 Sudoku

Program na stránke [Sudoku.com](https://www.sudoku.com) je vytvorený firmou Easybrain, ktorá momentálne sídli na ostrove Cyprus. [1] Prostredie s akým sa stretneme na tejto stránke môžeme vidieť nižšie na obrázku 3.2. Na prvý pohľad zbadáme, že tento program ponúka hráčovi hrať túto logickú hru iba myškou, čo v porovnaní s programom Sudoku Solver 3.1 hráč nemá k dispozícii. Ďalším rozdielom je aj zvýraznený riadok, stĺpec a štvorec pre akékoľvek políčko šachovnice, čo hráčovi neumožňuje sa pozrieť na zadanie hry ako na celok. Program taktiež ponúka rôzne úrovne zadaní, ale neponúka hráčovi generovanie všetkých kandidátov pre voľne políčka. Akýchkoľvek kandidátov si hráč dopĺňa samostatne a preto si napríklad pomôcku Jeden kandidát 2.1.2 musí vyskúšať.

Ak by hráč spravil chybu pri zadaní konkrétneho čísla, má možnosť sa nechať hneď programom na to upozorniť. Tak má ale hráč možnosť týmto poznatkom si nechať aj pomôcť, túto možnosť ale môže vypnúť. Avšak pri správnom doplnení čísla do zadania hneď upraví skupiny kandidátov, ktoré toto doplnené číslo ovplyvňuje. Ak by si chcel hráč nechať poradiť, program mu priamo poradí číslo, ktoré má doplniť na hráčom vyznačené políčko, ale bez akéhokoľvek vysvetlenia.

Tento program ponúka aj meranie času za ako dlho hráč vyrieši dané zadanie logickej

hry, vďaka čomu sa hráč vie nielen v rámci úrovni, ale aj v rámci rýchlosti zlepšovať.



Obr. 3.2: Sudoku.com

3.3 Sudoku Hint

Ďalší program je na stránke [Sudoku Hints](#) a jeho autorom je David J. Nixon. [6] Každým dňom od júna 2005 pribúdajú nové zadania hry sudoku, pričom predošlé sú hráčovi stále prístupné a vie ich opätovne riešiť. Program pre každý deň ponúka 4 rôzne úrovne.

Aj tento program ponúka možnosť sa pozrieť na všetkých možných kandidátov pre každé voľné políčko, avšak neumožňuje ich úpravu, s čím sa v porovnaní s druhými programami nestretávame. Chyby pri zadaní čísel program neukazuje hneď, ale až keď sa hráč sám rozhodne skontrolovať doterajší postup pri riešení hry. To platí aj pri žiadosti hráča o nápovedu. Hráč si môže vybrať medzi väčšou alebo menšou nápovedou, pričom menšou nápovedou hráča navádza kde by mal najbližšie číslo hľadať a väčšou hráčovi priamo prezradí kde sa ďalšie číslo nachádza. Akékoľvek nápovedy však nie sú programom vysvetlené, čo oberá hráča o možnosť sa zlepšovať.

Kapitola 4

Programovanie Pomôcok a Algoritmov

V tejto kapitole budeme opisovať program, ktorý je súčasťou tejto práce. Program má hráčovi pomôcť nielen vylúštiť logickú hru sudoku, ale hlavne ho naučiť používať pomôcky na riešenie hry sudoku, postupne od ľahších až po tie náročnejšie.

4.1 Štruktúra programu

Program je napísaný v jazyku C++. V programe boli použité štandardné knižnice na prácu so súbormi rôznych dátových typov. Celková štruktúra programu pozostáva z 5 súborov, kde dva súbory sú *hlavičkové* súbory, k nim ďalšie dva sú *zdrojové* súbory. Ďalej sa tam nachádza ešte jeden *hlavný* zdrojový súbor, kde sa spúšťa celý program. V programe dominujú dve hlavné vytvorené triedy a to s názvom *Grid* a *Game*.

4.1.1 Trieda Grid

Trieda *Grid* obsahuje tri atribúty dátového typu mapa menom: *grid*, *candidates* a *nakedPairs*. Dátový typ mapa vždy predstavuje dvojicu kľúča a hodnoty, kde hodnota je vždy priradená kľúču. V mape sa nikdy nemôžu opakovať kľúče, ale hodnoty áno. V atribúte *grid* sú uložené na pozícií kľúča čísla dátového typu integer (celé čísla), predstavujú tak pozíciu v mriežke hry sudoku postupne po riadkoch zľava doprava očíslované od čísla 0 po číslo 80. Hodnoty v mape *grid* sú opäť čísla dátového typu integer a predstavujú čísla na svojich pozíciách podľa zadania hry.

Na predstavu na obrázku [4.1b](#) v mape *grid* je na pozícii kľúča číslo 1 a k nemu je priradená napríklad hodnota číslo 5. Kľúč predstavuje pozíciu druhého políčka v prvom riadku mriežky a hodnota predstavuje číslo, ktoré sa nachádza na tom políčku v mriežke. Ak sa na nejakom políčku v mriežke nenachádzalo žiadne číslo, v atribúte *grid* na pozícii hodnoty je potom uložené číslo 0.

278	5	6	247	1	49	3	278	278
237	4	237	237	5	8	6	1	279
123	9	123	6	37	3	278	5	4
135	2	137	134	9	6	147	347	137
4	37	9	137	378	2	5	378	6
135	6	137	134	347	134	9	234	123
237	37	5	134	6	134	124	234	123
6	1	37	348	2	34	478	9	5
9	8	4	5	3	7	12	6	123

(a) Príklad zadania

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

(b) Výpis atribútu grid.

Found	all candidates
KEY	ELEMENT
0	2 7 8
1	
2	
3	2 4 7 9
4	
5	4 9
6	
7	2 7 8
8	2 7 8 9
9	2 3 7
10	
11	2 3 7
12	2 3 7 9
13	
14	
15	
16	
17	2 7 9

(c) Výpis atribútu candidates.

Obr. 4.1: Príklad zadania hry v programe.

Veľmi podobne vyzerajú aj atribúty candidates a nakedPairs, avšak na rozdiel od atribútu grid, majú ako hodnoty uložené ako vektor čísel dátového typu integer. Takto môžu byť uložené pre jedno políčko viacerí kandidáti, tak ako to je vidieť na obrázku 4.1c

Vstupné a výstupné súbory

V triede sa taktiež nachádzajú metódy na narábanie so súbormi a to konkrétne so súbormi typu CSV (comma-separated values) a SVG (Scalable Vector Graphics). Každé zadanie má svoj osobitný CSV súbor a do spusteného programu hráč zadáva jeho názov, tak sa zadanie nahrá do programu. Výsledok programu je následne možné vypísať do výstupného súboru typu SVG. Obr 4.2a. Tu treba dbať na to, aby vstupný súbor bol v tom istom priečinku v akom sú aj zdrojové súbory. Keď hráč narába so spusteným programom, každá zmena v mriežke, či už doplnenie čísla do zadania alebo vypísanie všetkých kandidátov, sa mu uloží a zobrazí v jednom a v tom istom súbore SVG. Názov tohto súboru si hráč zvolí na začiatku pri spustení programu a ponechá si ho po celú dobu, až kým sa hra neukončí. Program taktiež umožňuje hráčovi ukončiť hru v akomkoľvek štádiu a uložiť si ju do súboru typu SVG a aj CSV, aby sa mohol neskôr k nej vrátiť a pokračovať.

Metódy triedy Grid

Trieda Grid obsahuje tie najdôležitejšie metódy programu a to metódy, ktoré priamo narábajú s číslami a kandidátmi hry sudoku. Taktiež medzi metódami sú implementované pomôcky na riešenie zadania hry, ale aj pomocné metódy na plynulý chod programu. Jednou z najčastejšie používanou metódou je funkcia, ktorá nájde všetkých kandidátov pre každé voľné políčko v zadání hry. Jej hlavnou myšlienkou je prejsť postupne cez všetky voľné políčka a potom skontrolovať pre každé číslo od 1 po 9 či sa nachádza v danom riadku, stĺpci alebo v 3 x 3 štvorci. Ak sa nenachádza, uloží sa toto číslo do vektora čísel pre dané políčko a tak sa naplní mapa kandidátov pre konkrétne zadanie. Táto metóda sa používa pri hľadaní

	5	6		1		3		
	4			5	8	6	1	
	9		6				5	4
	2			9	6			
4		9			2	5		6
	6					9		
		5		6				
6	1			2			9	5
9	8	4	5		7		6	

(a) Príklad zadania ako .svg súbor

```

1 0,5,6,0,1,0,3,0,0
2 0,4,0,0,5,8,6,1,0
3 0,9,0,6,0,0,0,5,4
4 0,2,0,0,9,6,0,0,0
5 4,0,9,0,0,2,5,0,6
6 0,6,0,0,0,0,9,0,0
7 0,0,5,0,6,0,0,0,0
8 6,1,0,0,2,0,0,9,5
9 9,8,4,5,0,7,0,6,0

```

(b) Príklad zadania ako .csv súbor.

Obr. 4.2: Príklad vstupného a výstupného súboru.

všetkých implementovaných pomôcok v programe. Napríklad pomôcka Jeden kandidát alebo Zjavný pár je tiež implementovaná v programe a za pomocou tejto metódy hľadá jedného kandidáta alebo zjavný pár.

4.1.2 Trieda Game

Na to aby hráč mohol vôbec manipulovať s mriežkou a zadáním hry, program má aj triedu, ktorá mu to umožňuje. Táto trieda má preto ako atribút objekt triedy *Grid*, kde sa uloží zadanie hry podľa voľby hráča a atribút dátového typu integer, kde sa uloží číslo voľby hráča spomedzi možností, ktoré manipulujú s mriežkou.

Okrem konštruktoru, ktorý zabezpečuje aj to aby sa správne načítalo zadanie zo súboru CSV, táto trieda obsahuje aj ďalšiu metódu menom *runGame*, ktorá zaobstará interakciu s hráčom v konzolovom prostredí ako môžeme vidieť na obrázku 4.3a. Program si na začiatku vypýta názov súboru, kde je uložené zadanie hry. Následne si vyžiada od hráča, aby si svoju hru pomenoval. Týmto program zabezpečí, aby akékoľvek zmeny počas hry sa uložili a obnovili vrámci toho istého súboru. Ďalej program vypíše zadanie do konzoly a vytvorí jeho SVG súbor. Potom sa vypíšu do konzoly všetky možnosti, medzi ktorými si hráč môže vybrať. Vrámcí týchto možností sú pridanie a vymazanie čísel alebo kandidátov z mriežky, zobrazenie všetkých možných kandidátov pre dané zadanie ako to ukázané na obrázku 4.3a. Zároveň si hráč môže nechať zadanie skontrolovať, vtedy mu program povie či je zadanie doriešené alebo nie, a ak je, skontroluje či je vyriešené správne. Tiež si hráč môže ukončiť hru alebo ju uložiť do CSV súboru, aby sa mohol neskôr pri ďalšom spustení programu k nemu vrátiť.

Implementácia generácie kandidátov v programe

Ďalšou možnosťou je napríklad výpis všetkých kandidátov pre každý riadok, stĺpec alebo štvorec osobitne alebo celkovo. To záleží od toho či by si hráč chcel nechať zobrazit kandidá-

```

Game started
Enter a filename for sudoku: example2.csv
Name of your game: Sudoku02
Yours grid:
.|5|6|.|1|.|3|.|.
.|4|.|.5|8|6|1|.
.|9|.6|.|.5|4|.
.|2|.|.9|6|.|.
4|.9|.|.2|5|.6|
.|6|.|.|.9|.|.
.|.5|.6|.|.|.
6|1|.|.2|.|.9|5|
9|8|4|5|.7|.6|.

wrting Sudoku02 grid sudoku .svg file done.
Your Game Sudoku02 is not solved yet.
Yours options:
1. Add a number to grid.
2. Remove a number from grid
3. Show candidates for all rows.
4. Show candidates for all columns.
5. Show candidates for all 3x3 boxes.
6. Show all candidates.
7. Add candidate.
8. Remove candidate.
9. Show Naked Pair.
10. Check grid.
11. Save game.
12. End game.
Enter number of your choice: 6

```

(a) Konzolové prostredie na interakciu s hráčom.

278	5	6	247	1	49	3	278	278
237	4	237	237	5	8	6	1	279
123	9	123	6	37	3	278	5	4
135	2	137	134	9	6	147	347	137
4	37	9	137	378	2	5	378	6
135	6	137	134	347	134	9	234	123
237	37	5	134	6	134	124	234	123
6	1	37	348	2	34	478	9	5
9	8	4	5	3	7	12	6	123

(b) Všetci kandidáti pre dané zadanie.

Obr. 4.3: Interakcia v programe

tov iba podľa riadkov, stĺpcov alebo štvorcov, či celkovo podľa troch základných pravidiel. Ak si hráč zvolí napríklad možnosť číslo 6 z obrázka 4.3a, program nájde všetkých kandidátov podľa troch základných pravidiel a uloží ich do výstupného súboru SVG s názvom, ktorý si hráč zvolil na začiatku sám. V rámci tejto voľby si hráč môže vyskúšať a naučiť sa napríklad pomôcku Jeden kandidát.

V programe sa nachádzajú aj možnosti na generovanie kandidátov zvlášť pre všetky riadky, stĺpce a 3 x 3 štvorce. Takto vygenerovaní kandidáti poskytujú hráčovi možnosť si tak precvičiť tri základné pravidlá hry sudoku. Ak si hráč vyberie jednu z týchto troch možností, program vygeneruje kandidátov postupne iba pre riadky, stĺpce lebo štvorce. Hráč si tak môže pozrieť ako tri základné pravidlá zvlášť ovplyvnia zadania.

Implementácia pomôcky Zjavný par v programe

Medzi ďalšou implementovanou pomôckou v programe je jedna z pokročilejších pomôcok a to Zjavný pár (*Naked pair*). Ak si hráč vyberie možnosť 9 z možností v programe 4.3a, ktorá mu ukáže zjavný pár alebo prípadne páry, program si najskôr zavolá metódu z triedy *Grid*, ktorá nájde všetkých kandidátov. Táto metóda postupne prechádza celé zadanie a ukladá si do všetky možnosti pre každé voľne políčko. Program si potom zavolá ďalšiu metódu z tej istej triedy, a to konkrétne metódu, ktorá postupne prechádza atribút *candidates*. Vždy keď túto metódu, ktorá hľadá zjavné páry, program zavolá, postupne prechádza atribút *candidates*, teda všetkých kandidátov pre dané zadanie a hľadá políčka, kde sa nachádzajú len dva kandidáti. Keď nájde takéto políčko, program si ho zapamätá. Konkrétne si zapamätá jeho

pozíciu v zadaní a aký dvaja kandidáti sa tam nachádzajú. Metóda ďalej hľadá takýto pár kandidátov na inom políčku v zadaní vrámci riadku, stĺpca a štvorca. Ak ho program nájde, uloží zjavný pár do atribútu nakedPairs, tak že si oba kľúče pre tieto políčka zapamätá a ako hodnoty k nim uloží dvojicu kandidátov. Akonáhle program nájde všetky zjavné páry, hráčovi ich pri spracovaní do výstupného súboru SVG farebne rozlíši.

4			2	7		6		
7	9	8	1	5	6	2	3	4
	2		8	4				7
2	3	7	4	6	8	9	5	1
8	4	9	5	3	1	7	2	6
5	6	1	7	9	2	8	4	3
	8	2		1	5	4	7	9
	7			2	4	3		
		4		8	7			2

(a) Príklad situácie, v ktorej sa hráč môže nachádzať.

4	15	35	2	7	39	6	189	58
7	9	8	1	5	6	2	3	4
136	2	356	8	4	39	15	19	7
2	3	7	4	6	8	9	5	1
8	4	9	5	3	1	7	2	6
5	6	1	7	9	2	8	4	3
36	8	2	36	1	5	4	7	9
169	7	56	69	2	4	3	168	58
136	15	4	369	8	7	15	16	2

(b) Všetci kandidáti pre danú situáciu.

4	15	35	2	7	39	6	189	58
7	9	8	1	5	6	2	3	4
136	2	356	8	4	39	15	19	7
2	3	7	4	6	8	9	5	1
8	4	9	5	3	1	7	2	6
5	6	1	7	9	2	8	4	3
36	8	2	36	1	5	4	7	9
169	7	56	69	2	4	3	168	58
136	15	4	369	8	7	15	16	2

(c) Všetky zjavné páry farebne odlíšené.

Obr. 4.4: Pomôcka Zjavný pár v programe.

Na obrázku vyššie môžeme vidieť jednotlivé SVG súbory vygenerované programom počas hry postupne ako sa hráč dostal do určitého štádia. Najskôr si dal vygenerovať všetkých kandidátov a následne si nechal medzi nimi nájsť všetky zjavné páry, ktoré môžeme vidieť farebne odlíšené na obrázku 4.4c. Vďaka tejto implementácii pomôcky Zjavný pár program hráčovi uľahčí prácu s hľadaním zjavných párov, ale nechá mu priestor na základe tejto pomôcky nájsť kandidátov na odstránenie v ostatných políčkach. Program teda nepomáha hráčovi riešiť zadanie hry namiesto neho, ale pomáha mu zoznámiť sa a vyskúšať si pomôcku.

4.1.3 Porovnanie s dostupnými programami

Tento program bol navrhnutý tak, aby neriešil zadanie logickej hry sudoku namiesto hráča. Bol navrhnutý tak, aby hráč mohol riešiť zadanie hry sám či už pomocou pomôcok alebo bez nich. V dostupných programoch sa hráč mohol dostať do štádia hry, kedy už si nevedel sám poradiť, ale zároveň nechcel dostať jasnú nápovedu bez vysvetlenia. Vtedy sa hráči rozhodnú medzi hľadaním pomoci inde alebo skúšajú uhádnuť riešenie. Hádanie samotné však by nikdy nemalo patriť medzi kroky hráča akejkoľvek úrovne, aj keď sa môže zdať, že si to situácia vyžaduje. Právě vtedy sa vyskytuje možnosť si vyskúšať akúkoľvek pomôcku z kapitoly 2.

Náš program sa nazarozdiel od dostupných programov nezaoberal riešením logickej hry sudoku, ale skôr sa zameral na to, aby sa hráč zoznámil s hrou a vyskúšal si rôzne pomôcky a naučil sa ich používať sám. V porovnaní s ostatnými dostupnými programami, ktoré sú spomenuté v kapitole 3, náš program neponúka nevysvetlené nápovedy, ale ponúka hráčovi

možnosť voľne postupovať, skúšať si vlastný postup hry a aplikovať rôzne pomôcky podľa uváženia.

Záver

V práca sme sa venovali logickej hre sudoku, jej zadaniam a úrovniam, ale aj pomôckam, pomocou ktorých ju môžeme riešiť. Vysvetlili sme si podmienky na tvorenie zadaní ako aj ich rozdelenie do úrovní, spolu s jednotlivými pomôckami a aj s ich príkladmi. Zároveň sme sa aj venovali vybraným dostupným programom hry sudoku, s ktorými sme sa oboznámili, zhodnotili ich prínos k vysvetleniu a k dostupnosti pomôcok hry. Z vybraných dostupných programov sme zistili, že sa nevenovali detailnejšie pomôckam, ale iba okrajovo ak vôbec. Nechali tak na riešiteľovi si ich naštudovať a vyskúšať samostatne.

Medzi prínosy práce patrí vysvetlenie pomôcok a program, ktorý sa zameral na to, aby si hráč mohol vyskúšať rôzne začiatocnícke či pokročilejšie pomôcky pri samostatnom riešení hry. V práci sme sa preto venovali programovaniu algoritmov, ktoré majú hráčovi práve pomôcť si vyskúšať pomôcky pri riešení zadania. Stanovený cieľ bol naprogramovať program, ktorý by obsahoval dostupné pomôcky a tak umožňoval hráčovi si ich vyskúšať a sa s nimi oboznámiť. V programe boli však implementované iba základné pravidlá hry a pomôcky Jeden kandidát a Zjavný pár. Postup pri programovaní programu sme zvolili tak, aby sme nechali na hráčovi výber úrovne zadania, postupnosť pri riešení a oboznámenia sa s pomôckami postupne podľa úrovne hráča.

Aj keď už teraz je program v práci iný ako dostupné programy, nájde sa tam priestor na zlepšenie. Mohli by sa postupe doplniť všetky pomôcky využívané pri riešení všetkých úrovní alebo by hráč nemusel zadávať konkrétne zadanie hry podľa svojej voľby, ale program by pracoval s databázou zadaní. Tak by si hráč mohol vybrať iba úroveň hry, na základe ktorej by si precvičil pomôcky využívané v danej úrovni.

Bibliografia

1. EASYBRAIN. *Expert Sudoku*. 2018. Dostupné tiež z: <https://sudoku.com/expert/>. Online; zverejnené 2018.
2. FELGENHAUER, B.; JARVIS, F. *Summary of method and results*. 2005. Dostupné tiež z: <http://www.afjarvis.staff.shef.ac.uk/sudoku/ed44.html>. Online; zverejnené 17-jún-2005.
3. FIKES, G. *Sudoku by Grant Fikes*. Ed. PUZZLES, G. 2014. Dostupné tiež z: <https://www.gmpuzzles.com/blog/2014/01/sudoku-grant-fikes/>. Online; zverejnené 13-Január-2014.
4. MALECOVÁ, B. *Pokročilé Sudoku*. Ed. BOOKMEDIA, s. 2020.
5. MCGUIRE, G. *There is no 16-Clue Sudoku: Solving the Sudoku - Minimum Number of Clues Problem*. Ed. UNIVERSITY COLLEGE DUBLIN Dublin, I. 2012. Dostupné tiež z: http://www.math.ie/McGuire_V1.pdf. Online; zverejnené 1-januára-2012.
6. NIXON, D. J. *Sudoku hint*. Ed. PUZZLES, G. 2005. Dostupné tiež z: <https://www.sudokuhints.com/sudoku-large.html>. Online; zverejnené Jún-2005.
7. SHORTZ, W. *A Few Words About Sudoku, Which Has None*. Ed. TIMES, T. N. Y. 2005. Dostupné tiež z: <https://www.nytimes.com/2005/08/28/weekinreview/a-few-words-about-sudoku-which-has-none.html>. Online; zverejnené 28-August-2005.
8. SMITH, D. *So you thought Sudoku came from the Land of the Rising Sun...* Ed. GUARDIAN, T. 2005. Dostupné tiež z: <https://www.theguardian.com/media/2005/may/15/pressandpublishing.usnews>. Online; zverejnené 15-Máj-2005.
9. TECHNOLOGIES, A. *Sudoku Solver*. 2018. Dostupné tiež z: <https://www.sudoku-solutions.com/>. Online; zverejnené 2018.