

# Řešení problému maximální vážené splnitelnosti booleovské formule (MWSAT) simulovaným ochlazováním

Martin Tománek

8. července 2025

## 1 Introduction

V této práci plníme zadání 2. domácího úkolu předmětu NI-KOP[1], který je vyučován na FIT ČVUT. Řešíme problém MWSAT[2] za pomoci pokročilé heuristiky simulovaného ochlazování.

## 2 White box

### 2.1 Requirements

Naše řešení by mělo zvládat instance MWSAT s počtem proměnných v rozpětí minimálně 20-50 s rozumnou úspěšností (ideálně kolem 90 %) a mělo by se přizpůsobit charakteru instance.

Charakterem instance myslíme její velikost danou počtem proměnných a také těžkost danou Selmannovým kritériem [3]. Tedy cílem je mít efektivní algoritmus a navíc neplýtvat zbytečně časem na malých a lehkých instancích a poskytnout dostatečný čas pro výpočet velkých a těžkých instancí.

### 2.2 Design Parameters

Při aplikování simulovaného ochlazování na problém MWSAT je nutné učinit řadu klíčových rozhodnutí, která ovlivňují jak průběh hledání, tak i kvalitu nalezeného řešení.

- **Definice stavu.**
- **Výběr počátečního stavu.**
- **Výběr souseda** definuje, jakým způsobem generujeme kandidátské stavy v každém kroku.
- **Relaxace** určuje, jak penalizujeme nepřipustné stavy, tedy ohodnocení proměnných, které nesplňuje zadanou formuli.
- **Funkce `howMuchWorse(a, b)`** porovnává aktuální stav s kandidátem. Spolu se současnou teplotou určují pravděpodobnost přijetí zhoršení.
- **Ochlazovací koeficient** určuje rychlost snižování teploty a tím i přechod mezi diverzifikací a intenzifikací hledání.
- **Ekvilibrium** udává počet iterací na konstantní teplotě.
- **Počáteční a konečná teplota** spolu určují rozsah hledání – dostatečně vysoká počáteční teplota umožňuje diverzifikaci hledání, zatímco dostatečně nízká konečná teplota zajišťuje konvergenci k řešení.

Parametry ekvilibria a ochlazovacího koeficientu jsou na sobě dle přednášky závislé, tedy je možné zafixovat jeden na rozumné hodnotě a měnit pouze druhý.

## 2.3 Material

Pro naše potřeby nám budou stačit instance MWSAT poskytnuté na [courses\[4\]](#), které jsou založeny na knihovně SATLIB[5]. Jednotlivé sady jsou popsány v tabulce 1. Každá sada obsahuje 4 podsady, které napříč obsahují stejné instance s ohledem na definici klauzulí, ale s lišící se strategií generování vah. Kategorie M a N mají váhy, které by měly usnadnit nalezení řešení, zatímco sady Q a R mohou být mírně zavádějící.

Některé lehčí (dle Selmannova kritéria) sady neobsahují napočítaná optima. Tato optima dopočítáme později spuštěním řešiče s parametry optimalizovanými pro těžší instance na konci white box fáze. Myšlenka je taková, že pokud s velkou úspěšností budeme schopni nalézt optima pro těžší úlohy, mělo by být minimálně stejně pravděpodobné najít správné optimum u lehčích variant.

Sada	#instancí	#klauzulí	#proměnných	$\frac{\text{\#klauzulí}}{\text{\#proměnných}}$	Známe optimum?
wuf-20-71	4000	71	20	3.55	ano
wuf-20-91	4000	91	20	4.55	ano
wruf-36-122	4000	122	36	3.39	ne
wruf-36-157	4000	157	36	4.36	ano
wuf-50-200	4000	200	50	4.00	ne
wuf-50-218	4000	218	50	4.36	ano
ruf-75-325	400	325	75	4.33	ano

Tabulka 1: Použité sady

## 2.4 Tooling

Řešič je napsaný v jazyce C++ a zkompileovatelný pomocí nástroje `cmake`. Koncepte algoritmu simulovaného ochlazování se drží pseudokódu simulovaného ochlazování, který je na přednášce.

Mimo řešič samotný jsme se rozhodli vytvořit další nástroje v podobě `scala-cli` skriptů, které typicky řešič spouští nebo s jeho výsledky dále pracují. Všechny `scala-cli` skripty jsou nalezitelné v adresáři `scripts/scala`. Rozhraní všech použitých programů je dostupné při spuštění s přepínačem `--help`.

- **Estimátor** odhadne rozvrh ochlazování podle charakteru instance.
- **Vizualizér** nám umožní detailně nahlédnout na průběh výpočtu u jedné instance.
- **Spouštěč** spustí zadané instance vícekrát a vypíše a uloží běhy a shrnutí.
- **Faktorový návrhář** provede na instanci faktorový návrh.

## 2.5 Iterative refinement

Instance použité ve white box fázi jsou první 3 instance ze všech variant (N/M/Q/R) ze všech sad, které mají napočítaná maxima (`wuf20-71`, `wuf20-91`, `wruf36-157`, `wuf50-218`, `wuf75-325`), tedy dohromady 60 instancí.

### 2.5.1 Phase one

Počáteční stav našeho řešiče je následující:

- **Definice stavu** – v této celé práci jsme se rozhodli reprezentovat stav jako ohodnocení proměnných.
- **Výběr počátečního stavu** – je v této celé práci náhodné.
- **Výběr souseda** – je v této celé práci náhodné změnění splněnosti jedné proměnné.
- **Relaxace** – pokud nemáme splněnou formuli, tak postupujeme jako při řešení neváženého MaxSat problému algoritmem `sasat`[6] ze cvičení, tedy porovnáváme počet splněných klauzulí. Pokud máme splněnou formuli, tak porovnáváme váhy. Chceme se tímto přístupem vyhnout zaseknutí v lokálním maximu, které ani nemá splněnou formuli.
- **Funkce** `howMuchWorse(a, b)` – přirozeně z našeho návrhu relaxace vyplývá nutnost vyřešit 3 případy:

- Oba stavy mají splněnou formuli:  $a.weight - b.weight$
- Oba stavy mají nesplněnou formuli:  $a.satisfiedClauses - b.satisfiedClauses$
- Jeden stav má splněnou formuli ( $a$ ) a druhý nemá( $b$ ):  $a.weight - b.weight \cdot \frac{b.satisfiedClauses}{maxClauses}$
- **Ekvilibrrium** – ekvilibrrium a ochlazovací koeficient dle přednášky spolu úzce souvisí, rozhodli jsme se tedy teď zafixovat ekvilibrrium na 200 kroků a v budoucnu měnit pouze ochlazovací koeficient.
- **Ochlazovací koeficient** – na začátek necháme na 0.95, stejně jako na cvičení.
- **Počáteční a konečná teplota** – opět se inspirujeme cvičením a použijeme hodnoty 20 a 1.

S tímto nastavením jsme provedli experiment, ve kterém jsme spustili každou instanci 5x. Výsledky jsou dostupné v tabulce 2.

Instance	Úspěšnost
wruf36-157-M	0.00
wruf36-157-N	0.00
wruf36-157-Q	0.00
wruf36-157-R	0.00
wuf20-71-M	0.93
wuf20-71-N	0.80
wuf20-71-Q	0.07
wuf20-71-R	0.27
wuf20-91-M	0.27
wuf20-91-N	0.67
wuf20-91-Q	0.07
wuf20-91-R	0.07
wuf50-218-M	0.00
wuf50-218-N	0.00
wuf50-218-Q	0.00
wuf50-218-R	0.00
wuf75-325-M	0.00
wuf75-325-N	0.00
wuf75-325-Q	0.00
wuf75-325-R	0.00

Tabulka 2: Výsledek první fáze

### 2.5.2 Phase two

Z výsledků první fáze vidíme, že si algoritmus poradí pouze s nejjednoduššími nezávaděčnými instancemi. Za první změnu provedeme normalizaci funkce `howMuchWorse(a, b)`, aby navracela hodnoty v jednotném rozpětí, které není závislé na počtu klauzulí nebo hodnotách vah.

- Oba stavy mají splněnou formuli:  $\frac{a.weight}{weightTotal} - \frac{b.weight}{weightTotal}$
- Oba stavy mají nesplněnou formuli:  $\frac{a.satisfiedClauses}{clausesTotal} - \frac{b.satisfiedClauses}{clausesTotal}$
- Jeden stav má splněnou formuli ( $a$ ) a druhý nemá( $b$ ):  $\frac{a.weight}{weightTotal} - \frac{b.weight}{weightTotal} \cdot \frac{b.satisfiedClauses}{maxClauses}$

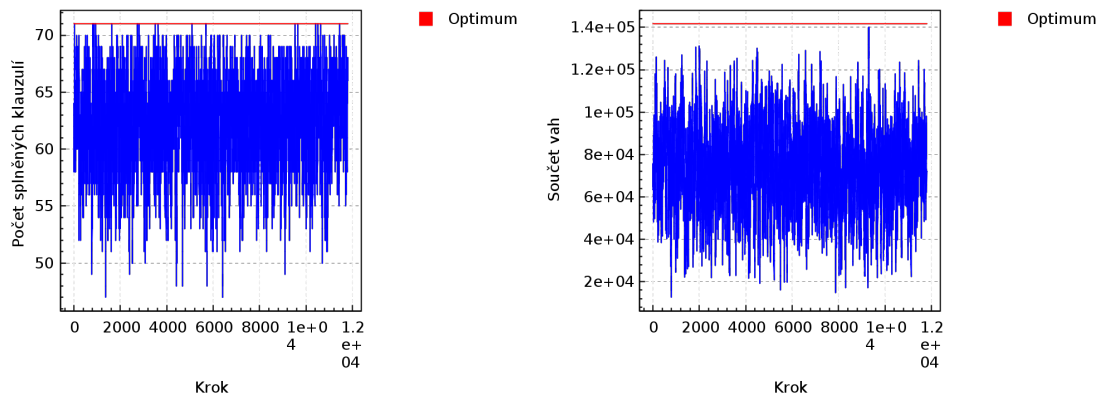
Provedli jsme stejný experiment jako v první fázi s upraveným algoritmem. Výsledky jsou dostupné v tabulce 3.

Instance	Úspěšnost
wruf36-157-M	0.00
wruf36-157-N	0.00
wruf36-157-Q	0.00
wruf36-157-R	0.00
wuf20-71-M	0.07
wuf20-71-N	0.00
wuf20-71-Q	0.00
wuf20-71-R	0.00
wuf20-91-M	0.07
wuf20-91-N	0.00
wuf20-91-Q	0.00
wuf20-91-R	0.00
wuf50-218-M	0.00
wuf50-218-N	0.00
wuf50-218-Q	0.00
wuf50-218-R	0.00
wuf75-325-M	0.00
wuf75-325-N	0.00
wuf75-325-Q	0.00
wuf75-325-R	0.00

Tabulka 3: Výsledek druhé fáze

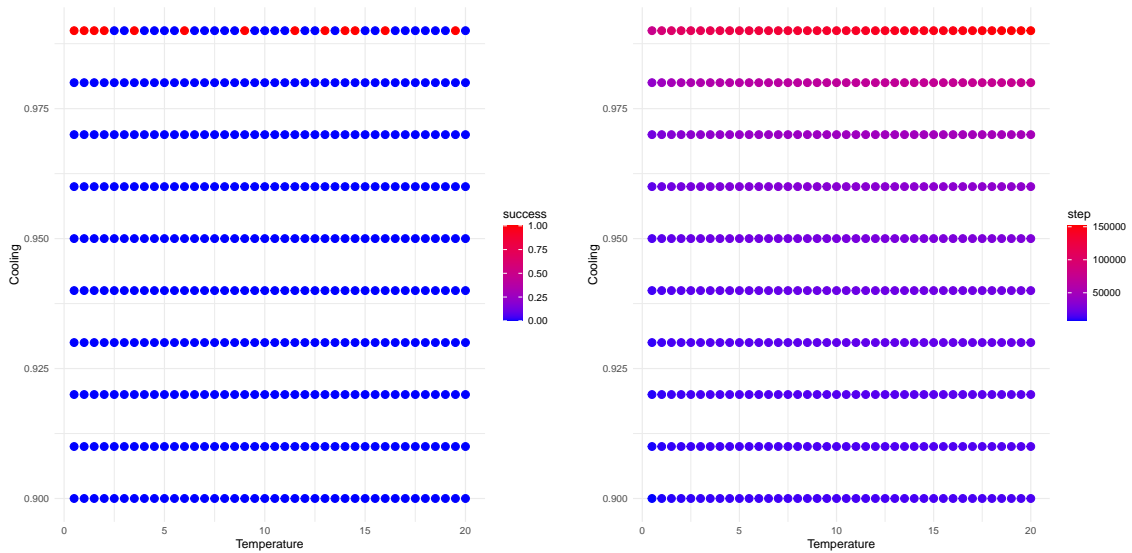
### 2.5.3 Phase Three

Z výsledků druhé fáze vidíme jasné zhoršení. Podíváme-li se ještě na průběh řešení instance `wuf20-71-N/wuf20-01.mwcnf`, který je vyzobrazený na obrázku 1, tak vidíme příčinu – nedochází totiž k žádné intenzifikaci a prakticky vždy se přijímá zhoršení. Tuto myšlenku potvrzují i debugovací výpisy na stejné instanci, přesněji poslední zhoršení ze stavu se splněnou formulí do stavu s nesplněnou formulí (tedy na obrázku zaznamenávající počet klauzulí nejvíce v pravo) měl stav se splněnou formulí váhu 111 706 a stav který ho nahradil měl váhou 100 562 a 68/71 splněných klauzulí s pravděpodobností 90%. To je příliš mnoho, protože toto zhoršení je v době, kdy by měla být teplota již nízká a mělo by docházet k intenzifikaci. Závěr podporuje i fakt, že použité parametry byly doporučené na cvičením s programem `sasat`, který počet splněných klauzulí nenormalizuje.



Obrázek 1: Průběh řešení instance `wuf20-71-N/wuf20-01.mwcnf`

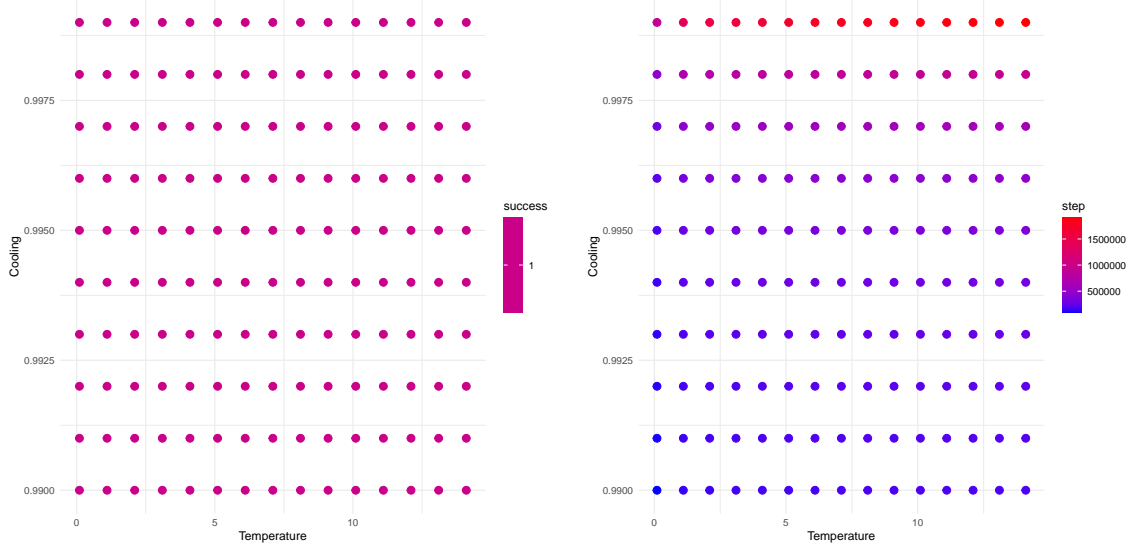
Cílem je teď tedy najít rozumnější parametry. Použijeme na to faktorový návrh na dvou proměnných – **počáteční teplotě** a **koefficientu ochlazení**. Počáteční teplotu nastavíme mezi 20 a 0.5 se skokem 0.5 a koncovou teplotu pevně na 0.01. Koefficient ochlazení nastavíme mezi 0.90 a 0.99 se skokem 0.01. Podíváme se teď na instanci `wuf20-91-N/wuf20-01.mwcnf`. Pro každou konfiguraci jsme spustili danou instanci 5x. Koncovou teplotu jsme nastavili nízko, pokud bychom zjistili, že plýtváme zbytečně časem, tak ji později změníme. Výsledek je dostupný na obrázcích 2.



Obrázek 2: Faktorový návrh na instanci wuf20-91-N/wuf20-01.mwcnf

#### 2.5.4 Phase Four

Faktorový návrh z předešlé sekce nám řekl, že jsme mimo, posuneme tedy faktorový návrh o řád níž na stejné instanci. Koeficient ochlazování nastavíme mezi 0.99 a 0.999 s krokem 0.001 a počáteční teplotu zkusíme mezi 0.1 a 15 s krokem 1. Koncová teplotu nastavíme také o řád níž na 0.001. Návrh jsme spustili na instanci wuf20-91-N/wuf20-01.mwcnf a každou konfiguraci jsme spustili 5x. Výsledek je na obrázcích 3



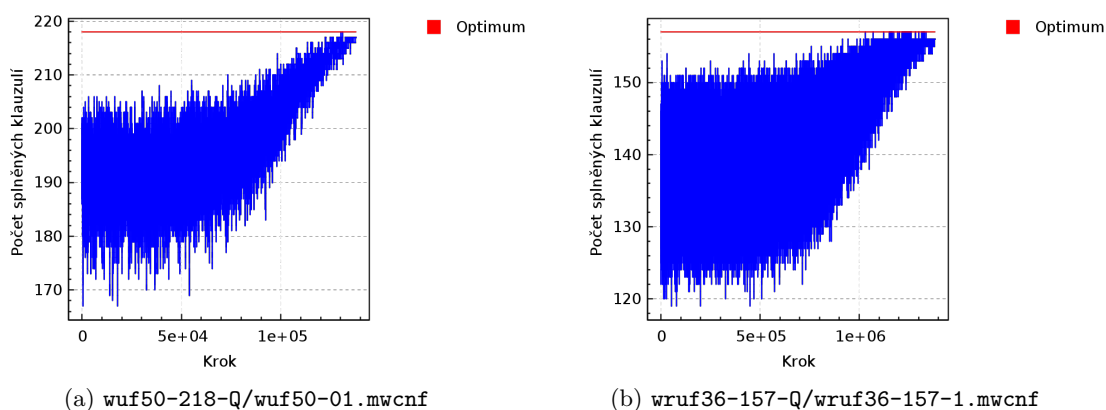
Obrázek 3: Faktorový návrh na instanci wuf20-91-N/wuf20-01.mwcnf

Vidíme, že jsme už na správné cestě, vlastně jsme zvolili příliš lehkou instanci. Zkusíme jestli jedna kombinace těchto parametrů bude fungovat pro těžší instance. Tedy zkusíme chladící koeficient 0.999, počáteční teplotu 1 a koncovou teplotu 0.001 na všech instancích spustit 5x. Výsledky jsou dostupné v tabulce 4.

Instance	Úspěšnost
wruf36-157-M	1.00
wruf36-157-N	1.00
wruf36-157-Q	0.07
wruf36-157-R	0.20
wuf20-71-M	1.00
wuf20-71-N	1.00
wuf20-71-Q	1.00
wuf20-71-R	1.00
wuf20-91-M	1.00
wuf20-91-N	1.00
wuf20-91-Q	0.27
wuf20-91-R	0.33
wuf50-218-M	0.93
wuf50-218-N	1.00
wuf50-218-Q	0.00
wuf50-218-R	0.00

Tabulka 4: Výsledek čtvrté fáze

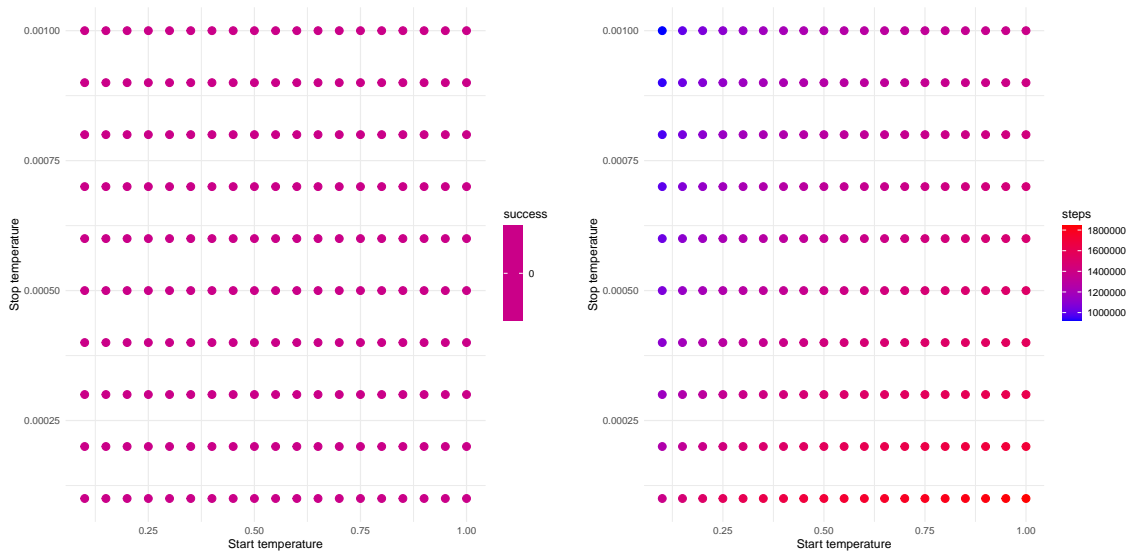
Vidíme, že nezávadějící instance zvládáme, avšak zavádějící nám dělají pořád problémy. Zkusili jsme vizualizovat průběh s těmito parametry na zavádějících instancích `wuf50-218-Q/wuf50-01.mwcnf` a `wruf36-157-Q/wruf36-157-1.mwcnf`. Výsledek je viditelný na obrázku 4.



Obrázek 4: Průběh instancí ve čtvrté fázi

### 2.5.5 Phase Five

Z průběhu zavádějících instancí se zdá, že příliš diverzifikujeme a nemáme pak dostatek času na intenzifikaci – zkusíme tedy prozkoumat jiné počáteční a koncové teploty na základě faktorového návrhu. Počáteční teplotu nastavíme mezi 1 a 0.1 po krocích 0.05 a koncovou teplotu mezi 0.0001 a 0.001 po krocích 0.0001 s koeficientem ochlazování zafixovaným na 0.999. Pro každou konfiguraci jsme spustili instanci `wuf50-218-Q/wuf50-01.mwcnf` 5x. Výsledky jsou dostupné na obrázku 5.

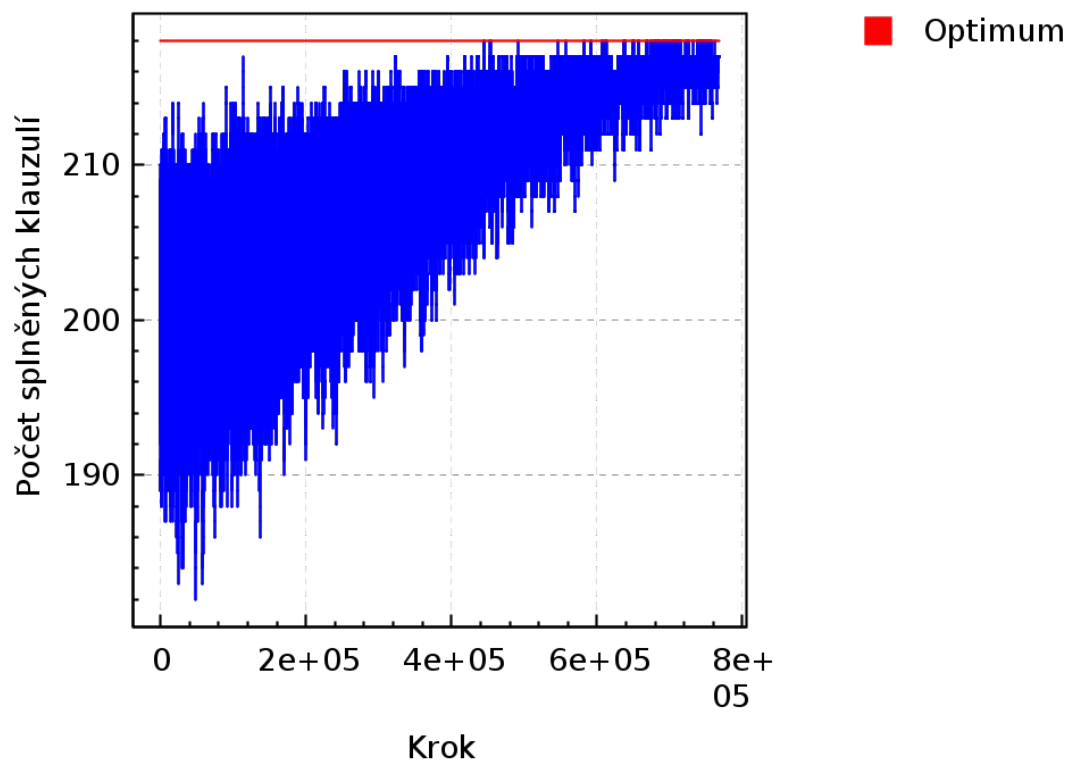


Obrázek 5: Faktorový návrh přes počáteční a koncovou teplotu na instanci wuf50-218-Q/wuf20-01.mwcnf

Vidíme, že mimo počtu kroků se nic nezměnilo, tedy zkusme změnit koeficient ochlazování, možná má algoritmus málo času dojít k optimu. Počáteční teplotu nastavíme na nejmenší z faktorového návrhu 0.1 ať tolik nediverzifikujeme a použijme předešlou konečnou teplotu 0.001, protože fungovala na malé zavádějící instance, koeficient ochlazování posuneme o řád dolů, tedy vyzkoušíme hodnoty mezi 0.999 a 0.9999 po krocích 0.0001. Pro každou konfiguraci jsme spustili instanci wuf50-218-Q/wuf50-01.mwcnf 5x. Výsledky jsou shrnuté v tabulce 5. Vizualizace jednoho běhu na instanci wuf50-218-Q/wuf50-01.mwcnf s koeficientem ochlazování rovnému 0.9994 je viditelná na obrázku 6.

Chladicí koeficient	Úspěšnost
0.999	0.9
0.9991	0.65
0.9992	0.95
0.9993	0.85
0.9994	1.0
0.9995	1.0
0.9996	1.0
0.9997	1.0
0.9998	1.0
0.9999	1.0

Tabulka 5: Faktorový návrh přes koeficient ochlazování na instanci wuf50-218-Q/wuf20-01.mwcnf



Obrázek 6: Běh instance wuf50-218-Q/wuf50-01.mwcnf

Spustíme-li teď řešič s parametry počáteční teploty na 0.1, koncové teploty na 0.001 a koeficientu ochlazování rovnému 0.9994 50x na každou instanci, tak dostaneme výsledky znázorněné v tabulce 6.

Instance	Úspěšnost
wruf36-157-M	1.00
wruf36-157-N	1.00
wruf36-157-Q	1.00
wruf36-157-R	1.00
wuf20-71-M	1.00
wuf20-71-N	1.00
wuf20-71-Q	1.00
wuf20-71-R	1.00
wuf20-91-M	1.00
wuf20-91-N	1.00
wuf20-91-Q	1.00
wuf20-91-R	1.00
wuf50-218-M	1.00
wuf50-218-N	0.93
wuf50-218-Q	0.80
wuf50-218-R	0.87
wuf75-325-M	0.33
wuf75-325-N	0.27
wuf75-325-Q	0.00
wuf75-325-R	0.20

Tabulka 6: Výsledek páté fáze

### 2.5.6 Phase Six

Konečně jsme pokročili. Nalezené parametry se zdají řešit všechny zkoumané instance v rozsahu 20-50 proměnných se zamýšlenou pravděpodobností, což byl náš cíl. Ted' máme za úkol zajistit,



že zbytečně neplýtváme časem na malých instancích. Teplotní parametry se zdají být vyhovující, počet kroků tedy ovlivníme ochlazujícím koeficientem. Vytvoříme proto faktorový návrh na třídách problémů 20–91, 36–155 s cílem najít pro ně nejmenší přípustné chladící koeficienty. Výsledky faktorových návrhů s počátečními teplotami 0.1 a koncovou teplotou 0.001 a proměnným koeficientem ochlazování jsou dostupné v tabulkách 7. Každá hodnota v tabulce je určena na základě 50 běhů.

Ochlazovací koeficient	Úspěšnost
0.9	0.54
0.91	0.8
0.92	0.72
0.93	0.76
0.94	0.78
0.95	0.88
0.96	0.88
0.97	0.9
0.98	0.98
0.99	1.0

(a) Faktorový návrh na instanci `ruf20-91-Q/ruf20-91-1.mwcnf`

Ochlazovací koeficient	Úspěšnost
0.99	0.66
0.991	0.82
0.992	0.9
0.993	0.78
0.994	0.94
0.995	0.96
0.996	0.94
0.997	0.98
0.998	1.0
0.999	1.0

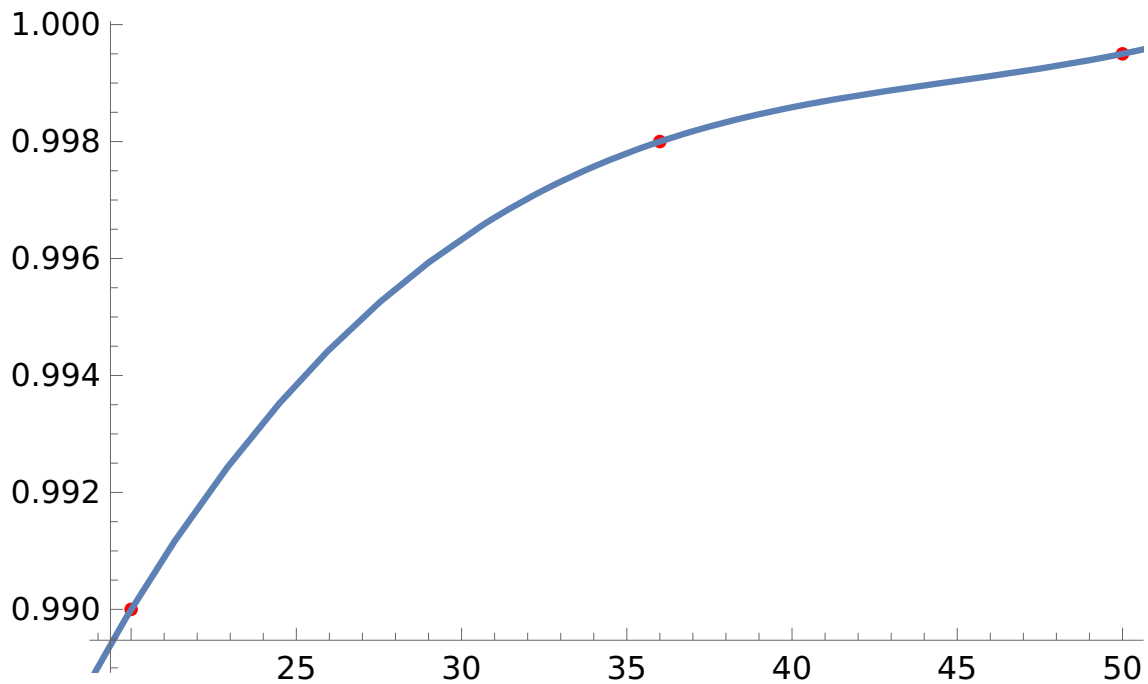
(b) Faktorový návrh na instanci `wruf36-157-Q/wruf36-157-1.mwcnf`

Tabulka 7: Výsledek šesté fáze

### 2.5.7 Phase Seven

Zbývá nám teď jen dopočítat optima lehčích sad instancí pomocí parametrů těžších instancí a najít pro ně ideálnější parametry. Tento krok v této práci vynecháme, jelikož je pro nás osobně neúnosně časově náročné. Nesplníme tím tedy jeden z našich cílů, ale postup by byl stejný jako doposud.

Nakonec ještě definujeme estimátor, aby nastavoval pro všechny instance počáteční teplotu na 0.1, konečnou teplotu na 0.001, ekvilibrium na 200 a ochlazovací koeficient pomocí funkce  $f(n) = 0.95409 + 0.00284489n - 0.000061625n^2 + 4.57828 \cdot 10^{-7}n^3$ , kde  $n$  je počet proměnných zadané instance. Důležité podotknout, že tato funkce dává praktický smysl jen v rozpětí  $n$  20 až 50 – náš řešič není tedy použitelný bez zásahu na instance s počtem proměnných mimo tento rozsah. Funkce byla nalezena pomocí programu *Mathematica* za pomoci funkce *Fit* a bodů (20, 0.99), (36, 0.98), (50, 0.9994). Postup hledání je v notebooku `stat/fit.nb` a průběh funkce je znázorněný na obrázku 7. Estimátor nerozlišuje mezi lehkou a těžkou instancí (dle Selmannova kritéria), jelikož se nám nepodařilo napočítat dodatečná optima lehkých instancí.



Obrázek 7: Funkce estimátoru, červené jsou body, kterými má procházet

## 2.6 Final settings

Finální podoba řešiče je následující:

- **Definice stavu** – ohodnocení proměnných.
- **Výběr počátečního stavu** – náhodný.
- **Výběr souseda** – náhodné změnění splněnosti jedné proměnné.
- **Relaxace** – pokud nemáme splněnou formuli, tak postupujeme jako při řešení neváženého MaxSat problému algoritmem **sasat**[6] ze cvičení, tedy porovnáváme počet splněných klauzulí. Pokud máme splněnou formuli, tak porovnáváme váhy.
- **Funkce howMuchWorse(a, b)**
  - Oba stavy mají splněnou formuli –  $\frac{a.weight}{weightTotal} - \frac{b.weight}{weightTotal}$
  - Oba stavy mají nesplněnou formuli –  $\frac{a.satisfiedClauses}{clausesTotal} - \frac{b.satisfiedClauses}{clausesTotal}$
  - Jeden stav má splněnou formuli (a) a druhý nemá(b) –  $\frac{a.weight}{weightTotal} - \frac{b.weight}{weightTotal} - \frac{b.satisfiedClauses}{maxClauses}$
- **Ekvilibrium** – pevná hodnota 200.
- **Ochlazovací koeficient** – vypočítané na základě funkce  $f(n) = 0.95409 + 0.00284489n - 0.000061625n^2 + 4.57828 * 10^{-7}n^3$ , kde  $n$  je počet proměnných.
- **Počáteční a konečná teplota** – počáteční teplota pevně na 0.1 a konečná teplota na 0.001.

## 3 Black box

*V této části jsme potvrdili správnost našeho předešlého snažení pomocí experimentálního vyhodnocení našeho řešiče problému MWSAT pomocí simulovaného ochlazování. Dosáhli jsme úspěšnosti kolem 90% na většině testovaných instancí v rozsahu 20 – 50 proměnných, čímž jsme splnili náš cíl.*

### 3.1 Introduction

Řešený problém, kontext této práce a řešič samotný byl již popsán ve white box sekci tohoto dokumentu.

### 3.2 Material & Methods

Všechny instance jsou popsány ve white box fázi v tabulce 1. Pro experimentální vyhodnocení jsme se rozhodli použít všechny sady v rozmezí 20-50 proměnných s napočítanými optimy, tedy **wuf-20-71**, **wuf-20-91**, **wruf-36-157** a **wuf-50-200**. Abychom eliminovali varianci generovaných instancí, rozhodli jsme se pro každou variantu (N/M/Q/R) každé sady náhodně vybrat 30 instancí pro experimentální vyhodnocení. Tedy 120 instancí na sadu a 480 instancí dohromady.

Pro vyhodnocení používáme stejný řešič jako ve white box fázi s nastavením popsáním na konci té fáze. Všechny běhy jsou zaznamenány v adresáři **output/black**. Každý běh je uložený ve standardním formátu, popsáním na courses, a má u sebe navíc použitý seed. Pro eliminaci variance algoritmu samotného jsme se rozhodli spustit každou instanci 30x.

### 3.3 Results

Výsledky experimentálního vyhodnocení jsou v tabulce 8. Překvapivá je nižší úspěšnost u zavádějících instancí v sadě a **wuf20-71** než u zavádějících instancí v sadě **wuf20-91**, které by měla být dle Selmannova kritéria těžší, ale přesto mají vyšší úspěšnost než jejich lehčí protějšky. Zároveň úspěšnost zavádějících instancí v sadě **50-218** je nižší než očekávaná z faktorového návrhu a předešlých běhů ve white box fázi.

Instance	Úspěšnost	Počet kroků
wuf20-71-M	1.00	91 800
wuf20-71-N	1.00	91 800
wuf20-71-Q	0.94	91 800
wuf20-71-R	0.92	91 800
wuf20-91-M	1.00	91 800
wuf20-91-N	1.00	91 800
wuf20-91-Q	1.00	91 800
wuf20-91-R	1.00	91 800
wruf36-157-M	0.99	460 200
wruf36-157-N	0.99	460 200
wruf36-157-Q	0.91	460 200
wruf36-157-R	0.93	460 200
wuf50-218-M	0.94	1 843 600
wuf50-218-N	0.98	1 843 600
wuf50-218-Q	0.75	1 843 600
wuf50-218-R	0.79	1 843 600

Tabulka 8: Výsledky experimentálního vyhodnocení

### 3.4 Discussion

Výsledky jsou přijatelné a náš cíl 90% úspěšnosti jsme téměř splnili až na zavádějící instance **wuf50-218**, které ale jsou únosně méně úspěšné. Jejich úspěšnost by se dala zvednout použitím ochlazovacího koeficientu 0.9995 místo 0.9994 a upravením estimátoru, aby tuto volbu respektoval.

Bohužel jsme neoptimalizovali náš řešič pro instance lehké dle Selmannova kritéria, jelikož nám osobně došel čas. Avšak úspěšnost by měla být i pro tyto instance přijatelná, pouze bychom na nich zbytečně plýtvali výpočetním časem, protože jsou lehčí.

Ohledně časové náročnosti, která je vyjádřena počtem kroků, můžeme konstatovat, že je únosná, avšak trend jejího zvyšování dle velikosti instance naznačuje, že již instance velikosti 75 by byly kolem 5 miliónu kroků, což se zdá příliš. Možné zrychlení by se dalo dosáhnout změnění algoritmu – nevyzkoušeli jsme například jiné strategie volby souseda a počátečního stavu než úplně náhodné. Také jiný způsob výpočtu funkce **howMuchWorse(a, b)** by mohl potenciálně urychlit konvergenci, jak je to u algoritmů gSAT a probSAT. Případně větší granularita faktorových návrhů by mohla odhalit optimálnější parametry.

## 4 Obsah příloh

input .....	použité instance
output	
phase $N$ .....	výsledky $N$ -té white box fáze
black .....	výsledky black box fáze
sources .....	zdrojové kódy řešiče
scripts .....	použité skripty
stat .....	obsahuje Mathematica notebook použitý pro definici estimátoru

## Odkazy

1. SCHIMDT, Jan. *Zadání práce / domácího úkolu* [online]. [cit. 2025-01-30]. Dostupné z: <https://courses.fit.cvut.cz/NI-KOP/homeworks/files/task2.html>.
2. *Popis problému MWSAT* [online]. [cit. 2025-02-01]. Dostupné z: <https://courses.fit.cvut.cz/NI-KOP/problems/sat.html#mwsat>.
3. SELMAN, Bart. Stochastic search and phase transitions: AI meets physics. In: *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume 1*. Montreal, Quebec, Canada: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1995, s. 998–1002. IJCAI'95. ISBN 1558603638.
4. *Použité instance z courses* [online]. [cit. 2025-01-30]. Dostupné z: <https://courses.fit.cvut.cz/NI-KOP/download/index.html>.
5. HOOS, Holger H.; STÜTZLE, Thomas. SATLIB: An Online Resource for Research on SAT. In: GENT, Ian P.; MAAREN, Hans van; WALSH, Toby (ed.). *SAT 2000* [online]. IOS Press, 2000, s. 283–292 [cit. 2024-11-05]. SATLIB je dostupný online <http://www.satlib.org>.
6. *Řešič sasat* [online]. [cit. 2025-02-06]. Dostupné z: <https://courses.fit.cvut.cz/NI-KOP/download/files/doc/sasat.html>.