

Evolutionär algoritm för schemaläggning av kontinuerligt skiftarbete

Schemaläggning med ergonomiska riktlinjer

Simon Yngve

Evolutionär algoritm för schemaläggning av kontinuerligt skiftarbete

Examensrapport inlämnad av Simon Yngve till Högskolan i Skövde, för Kandidatexamen (B.Sc.) vid Institutionen för kommunikation och information. Arbetet har handletts av Thomas Fischer.

2010-06-09

Härmed intygas att allt material i denna rapport, vilket inte är mitt eget, har blivit tydligt identifierat och att inget material är inkluderat som tidigare använts för erhållande av annan examen.

Signerat: _____

Evolutionär algoritm för schemaläggning av kontinuerligt skiftarbete

Simon Yngve

Sammanfattning

Många organisationer har ett behov av bemanning hela dygnet alla dagar i veckan. Personal vid sådana organisationer organiseras i arbetslag som enligt ett arbetsschema löser av varandra under dygnets gång. Beroende på hur dessa arbetsscheman utformas kan de få en negativ inverkan på personalens hälsa. Den här rapporten handlar om utvecklandet av en algoritm som genererar arbetsscheman med ergonomiska riktlinjer, det vill säga arbetsscheman som utformats på ett sådant sätt att negativa effekter på personalens hälsa undviks. Algoritmen som utvecklas baseras på optimeringsalgoritmen Squeaky Wheel Optimization. Resultatet av arbetet visar att arbetsscheman som genererats av algoritmen är av sådan hög kvalitet att de skulle kunna appliceras praktiskt hos en organisation som har ett bemanningsbehov hela dygnet alla dagar i veckan. Tack vare algoritmens generella karaktär kan algoritmen användas som ett verktyg för schemagenerering hos en stor mängd företag.

Nyckelord: Schemaläggning, Evolution, Ergonomi

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	I
1 Introduktion	1
2 Bakgrund	2
2.1 Roterande skiftarbete	2
2.1.1 Schemaläggning av roterande skift	4
2.2 Ergonomi	5
2.3 Evolutionära algoritmer	7
2.3.1 Squeaky Wheel Optimization.....	7
3 Problemformulering	10
3.1 Problemdefinition	10
3.2 Metodbeskrivning.....	11
3.2.1 Delmål 1: Implementation.....	11
3.2.2 Delmål 2: Tillämpning	12
3.2.3 Delmål 3: Utvärdering.....	12
4 Genomförande	13
4.1 Den producerade algoritmen.....	13
4.1.1 Representation av ett schema	13
4.1.2 Stegvis beskrivning av algoritmen	14
4.1.3 Justeringsmöjligheter	15
4.1.4 Strategi för avbrytning	16
4.1.5 Testing av den producerade algoritmen	17
4.2 Genomförda mätningar	18
4.2.1 Mätningens fokus	18
4.2.2 Generering av scheman för mätning	19
4.2.3 Mätningen.....	19
4.3 Analys av mätningar	20
4.3.1 Förutsättning V.....	22
4.3.2 Förutsättning VI 1	23
4.3.3 Förutsättning VI 2	24
4.3.4 Förutsättning IX	25
4.3.5 Förutsättning XIV	26
4.4 Sammanfattning av mätningsanalys	26
5 Slutsatser	29

5.1	Resultatsammanfattning	29
5.2	Diskussion.....	29
5.3	Framtida arbete	30
	Referenser.....	32
	Bilaga 1 – Omdöme från polisen i Skövde.....	1

1 Introduktion

Den här rapporten handlar om utvecklandet av en evolutionär algoritm som schemalägger roterande skift, utifrån ergonomiska riktlinjer, för en organisation som är verksam alla dagar året runt.

Många organisationer har ett behov av att vara verksamma alla dagar året runt. Exempel på sådana organisationer är polisen, sjukvården och brandförsvaret. För att kunna hålla en sådan verksamhetsnivå organiseras personalen i arbetslag som löser av varandra under dygnets gång. Det är vanligt att ett roterande schema används för att schemalägga arbetet vilket innebär att arbetsschemat repeteras efter en viss period. Problemet med skiftarbete är att det i längden har en negativ inverkan på personalens hälsa. Enligt Knutsson (2003) finns det starka bevis för kopplingen mellan skiftarbete och hjärtkärlsjukdomar. Magsår har också visat sig vara vanligare inom yrken där skiftarbete förekommer. För att reducera de negativa effekterna av skiftarbete finns det ergonomiska riktlinjer och rekommendationer att följa (Knauth (1996) och Åkerstedt (1998)). Problemet med att skapa ett roterande arbetsschema ligger i att det är många kriterier som ska uppfyllas samtidigt och att det finns väldigt många sätt att bygga ett sådant schema på.

En evolutionär algoritm är ett lämpligt sätt att lösa schemalägningsproblem på eftersom en sådan algoritm inte behöver känna till, eller räkna igenom, alla tänkbara lösningar. En evolutionär algoritm kan finna en tillräckligt bra lösning utan att behöva söka genom den stora problemrymden som schemalägningsproblem ofta har. Evolutionära algoritmer är ett samlingsnamn för algoritmer som försöker imitera naturlig evolution genom att använda sig av selektion, reproducering/överkorsning och mutering för att finna en lösning på ett problem (Ashlock, 2006).

En specifik algoritm som används till schemaläggning är Squeaky Wheel Optimization (Joslin & Clements, 1999). Squeaky Wheel Optimization är en optimeringsmetod som försöker hitta ett optimum genom att identifiera det mest problematiska elementet i problemrymden och se till att det elementet behandlas tidigt vid ett lösningsförsök. Squeaky Wheel Optimization har förbättrats av Aickelin, Burke och Li (2006) till en evolutionär algoritm som kallas Improved Squeaky Wheel Optimization.

Denna rapport är indelad i fem sektioner följt av en referenslista samt en bilaga. I den här sektionen gavs en introducerande beskrivning av rapportens innehåll och disposition. Sektion två, Bakgrund, tar upp tre ämnen som är relevanta för problemet och dess lösning: Roterande skiftarbete, Ergonomi och Evolutionära algoritmer. Bakgrunden beskriver vad roterande skiftarbete innebär, vilken roll ergonomin har och hur evolutionära algoritmer fungerar i allmänhet. I sektion tre, Problemformulering, beskrivs problemet mer i detalj och en metod för att lösa problemet presenteras. Sektion fyra, Genomförande, beskriver implementering av algoritmen som utvecklats för att lösa problemet samt en beskrivning och analys av mätningen som genomförts. Slutligen i sektion fem, Slutsatser, sammanfattas resultaten av arbetet. Sektion fem innehåller även en diskussion samt en rubrik som handlar om framtida arbete.

2 Bakgrund

Denna sektion består av en introducerande text följt av tre rubriker. Den första rubriken beskriver hur roterande skiftarbete fungerar, den andra rubriken beskriver ergonomiaspekten av skiftarbete och den tredje rubriken beskriver evolutionära algoritmer i allmänhet och en specifik evolutionär algoritm, Improved Squeaky Wheel Optimisation, i synnerhet.

Många organisationer och industrier måste ha bemanning 24 timmar om dygnet året runt för att kunna leva upp till de krav och förväntningar som ställs på dem (en sådan organisation eller industri kallas hädanefter för en 24/7-organisation). Sveriges sjukvårdsorganisation (Hälso- och sjukvårdslag (1982:763)) och polisväsende (Polislag (1984:387)) är exempel på 24/7-organisationer eftersom de enligt lag måste ha förmågan att tillhandahålla sina tjänster till allmänheten alla dagar året runt.

För att täcka personalbehovet hos en 24/7-organisation organiseras personalen i arbetslag som löser av varandra. Schemaläggning av en 24/7-organisation har NP-komplexitet (Hoong, 1996) på grund av mängden kriterier som ska uppfyllas samt att kriterierna i vissa fall motarbetar varandra. Det är med andra ord svårt att hitta bra lösningar då många kriterier ska stämma överens med varandra (Ernst, Jiang, Krishnamoorthy, & Sier, 2004).

2.1 Roterande skiftarbete

Skiftarbete innebär att personalen vid en organisation delas in i arbetsgrupper/arbetslag, där varje arbetslag består av en eller flera individer som har tillräckligt med kompetens för att lösa de uppgifter som ska utföras. Dessa arbetslag schemaläggs i skift som löser av varandra under dygnets gång. För att täcka ett helt dygn brukar tre olika typer av skift användas: Dag (D), Eftermiddag (E) och Natt (N) (Laporte, 1999), ibland används ytterligare en skifttyp vilken brukar kallas morgonskift (M). Dagar som är lediga betecknas med ett stort kryss (X). Beroende på organisationens behov kan fler än ett morgon- och/eller dags- och/eller eftermiddags- och/eller nattskift användas samtidigt.

Roterande skiftarbete innebär att arbetsschemat designas på ett sätt som gör att det repeteras efter en viss period. Tabell 1 visar ett exempel på ett roterande schema av Laporte (1999) där personalen delats in i fem arbetslag vilket lett till ett arbetsschema som repeteras efter fem veckor. All personal använder sig alltså av samma arbetsschema men startar på olika veckor. När en vecka är slutförd flyttar alla ner ett steg på arbetsschemat inför nästa vecka, undantaget är de som är på vecka fem som flyttar upp till vecka ett.

Vecka	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
1	X	X	X	D	D	D	D
2	X	X	E	E	E	X	X
3	D	D	D	X	X	E	E
4	E	E	X	X	N	N	N
5	N	N	N	N	X	X	X

Tabell 1. Exempel på roterande scheman för fem arbetslag.

Tabell 1 visar ett exempel på ett arbetsschema där behovet av personal är uniformt, det vill säga arbetsbelastningen är lika under alla tider och alla dagar i veckan. Detta är inte alltid fallet eftersom vissa 24/7-organisationer har ett större personalbehov vid vissa tider på dygnet och/eller vissa dagar i veckan. Laporte (1999) använder sig av en arbetsbelastningsmatris för att modellera personalbehovet, i form av skifttyper, för dagar och tider med olika behov. Tabell 2 visar ett exempel på en arbetsbelastningsmatris av Laporte (1999) där personalbehovet inte är uniformt.

Skift	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
Dag (D)	2	2	2	2	2	1	1
Eftermiddag (E)	2	2	2	2	2	1	1
Natt (N)	1	1	1	1	1	1	1
Ledig (X)	2	2	2	2	2	4	4

Tabell 2. Exempel på en arbetsbelastningsmatris med ett icke-uniformt personalbehov.

Med hjälp av formler från Laporte (1999) kan arbetsbelastningsmatrisen användas till att beräkna arbetsschemats cykel samt den genomsnittliga arbetstiden för personalen vilka är början till ett färdigt arbetsschema. Cykelns längd (c), i veckor, beräknas genom formeln:

$$d_i + e_i + n_i + x_i = c \quad i \in \{1, 2, \dots, 7\}$$

där d_i , e_i , n_i och x_i är antalet dags-, eftermiddags- och nattskift respektive lediga skift under dagen med indexet i . Indexet i indikerar alltså vilken dag som avses vid adderingen, t.ex. om $i = 1$ avses de olika skifttyperna under måndagen. Om c får olika värden för olika i räknas maxvärdet som värdet för c . Arbetsbelastningsmatrisen i Tabell 2 ger $c = 7$ för alla index i , cykeln blir sju veckor eftersom summan av de olika skifttyperna för varje enskild dag blir sju.

Den genomsnittliga arbetstiden för personalen (w), i timmar, beräknas genom formeln:

$$w = h \sum_{i=1}^7 (d_i + e_i + n_i) / c$$

där h är den genomsnittliga arbetstiden per skift vilket är 8 timmar om tre skift används, mer om en överlappning av skiften är aktuell. Arbetsbelastningsmatrisen i Tabell 2 ger en genomsnittlig arbetstid på 35,43 timmar.

Tabell 3 visar ett arbetsschema som motsvarar personalbehovet från arbetsbelastningsmatrisen i Tabell 2. Personalbehovet som arbetsbelastningsmatrisen visar anses vara uppfyllt eftersom det för varje dag (varje kolumn) är schemalagt rätt antal och rätt typ av skift som arbetsbelastningsmatrisen visar ett behov av. Arbetsschemat i Tabell 3 uppfyller visserligen personalbehovet men kan ändå inte betraktas som ett tillfredställande arbetsschema eftersom det bryter mot ergonomiska riktlinjer. Ett exempel är vecka sex som består av sju nattskift i följd vilket inte är rekommenderat.

Vecka	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
1	X	X	D	D	D	D	X
2	D	X	X	X	D	X	D
3	D	D	D	X	X	X	E
4	E	E	E	E	X	X	X
5	E	E	E	E	E	E	X
6	N	N	N	N	N	N	N
7	X	D	X	D	E	X	X

Tabell 3. Arbetschema som svarar mot arbetsbelastningsmatrisen i Tabell 2.

2.1.1 Schemaläggning av roterande skift

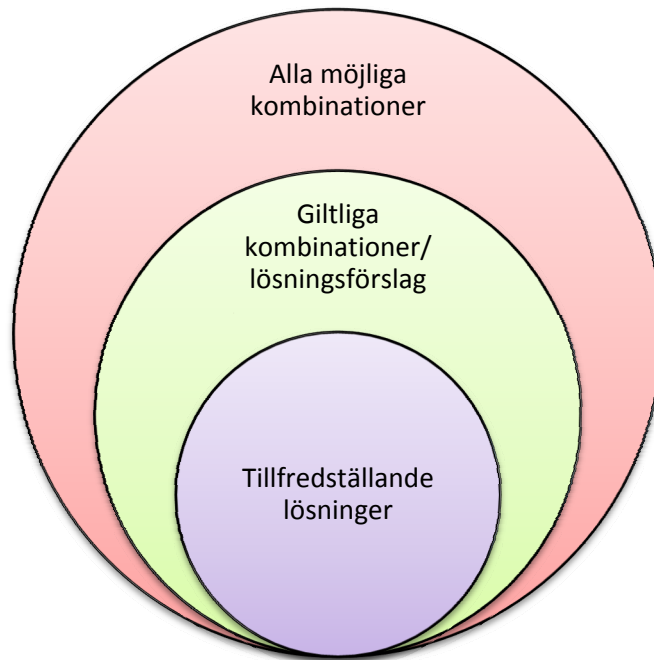
Hela schemalägningsprocessen, från modellering av personalbehovet till ett färdigt arbetschema, är ett mycket omfattande problem och delas därför in i mindre delproblem eller steg. Ernst m.fl. (2004) presenterar ett övergripande ramverk som delar in schemalägningsprocessen i sex moduler där varje modul svarar mot ett steg i processen som är tillräckligt stort för att behöva en egen lösning.

För att minska komplexiteten vid skapandet av ett arbetschema, där många kriterier är inblandade, kan kriterierna delas in i hårda och mjuka kriterier (Burke, Petrovic, & Qu, 2006). Hårda kriterier måste uppfyllas utan undantag medan mjuka kriterier behandlas som önskvärda mål att sträva mot men som inte till fullo måste uppfyllas. Detta kan användas av evolutionära algoritmer där de hårda kraven avgör huruvida en lösning är giltig och de mjuka kraven används som kriterier för att beräkna fitnessvärde. Ett alternativ är att både hårda och mjuka kriterier används för att beräkna fitnessvärden men att brott mot de hårda kraven bestraffas avsevärt hårdare än brott mot de mjuka kraven.

Muslin, Gärtner och Slany (2002) presenterar i sin artikel en metod som kan användas till att lösa problemet med schemaläggning av arbetskraft. Muslin, Gärtner och Slany behandlar inte hela processen på samma sätt som Ernst m.fl. (2004) utan riktar istället in sig på själva schemaläggningen. Metoden som presenteras består av fyra steg:

1. Fastställ längder på arbetsblock
2. Fastställ fördelningen av arbetsblock och lediga dagar med syfte att optimera ledighet över helger
3. Generera tillåtna sekvenser av skift för varje arbetsblock
4. Tilldela sekvenser av skift till arbetsblock på ett sätt som gör att kravet på personalbehovet uppfylls

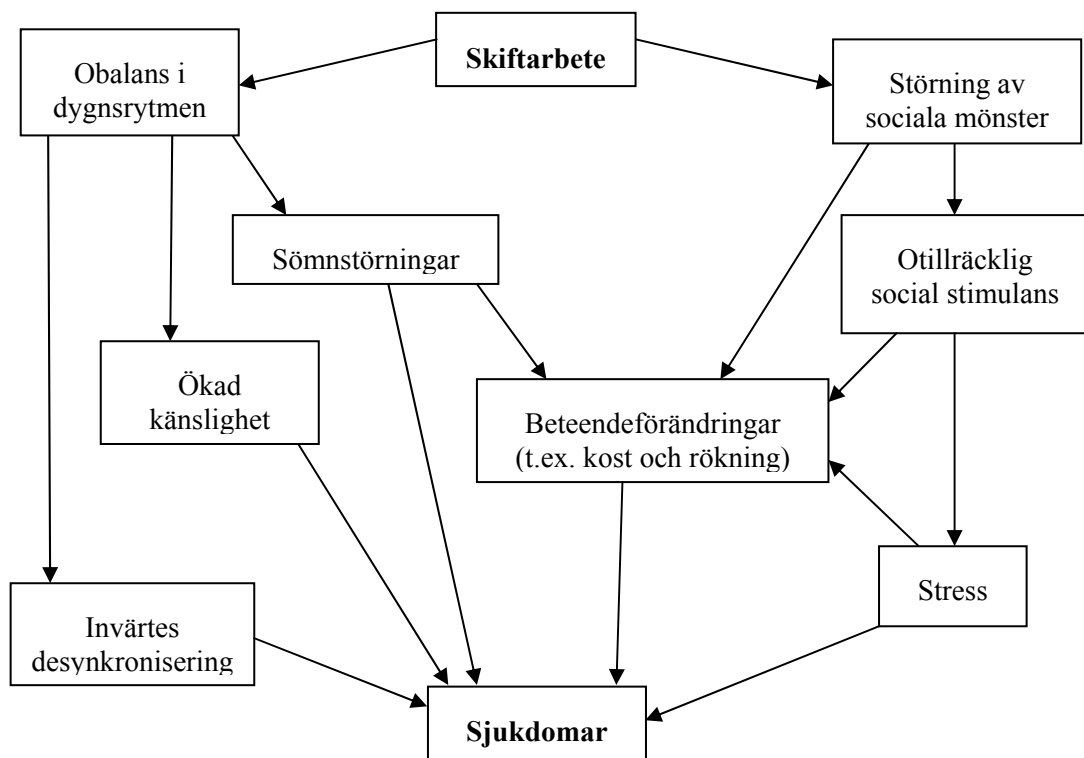
Muslin m.fl. (2002) löser alltså problemet genom att hantera giltiga sekvenser av skift istället för enskilda skift. På så sätt minskas problemrymden eftersom ingen hänsyn behöver tas till kombinationer av skift som inte är giltiga, istället kan fokus läggas på kombinationer i den giltiga lösningsrymden. Figur 1 visar ett venndiagram som illustrerar detta. Målet är att nå den gröna/minsta mängden, genom att modellera skiften i sekvenser blir utgångspunkten den röda/mellersta mängden i stället för från den blåa/största som hade varit fallet om enskilda skift hade använts.



Figur 1. Venn diagram över problemrymden.

2.2 Ergonomi

Skiftarbete har en negativ inverkan på en individs sömn (Åkerstedt, 1998), hälsa (Knutsson, 2003) och sociala liv (Costa, 2003). Figur 2 beskriver hur Knutsson kopplar samman skiftarbete med sjukdomar. Han menar att de negativa effekterna av skiftarbete kan delas in i två huvudgrupper; obalans i dygnsrytmen och störning av sociala mönster. Dessa huvudgrupper leder i sig till andra negativa effekter som direkt eller indirekt leder till sjukdom av något slag.



Figur 2. Kopplingen mellan skiftarbete och sjukdomar.

Åkerstedt menar att de negativa effekterna av skiftarbete inte helt kan elimineras, men de kan reduceras genom att följa vissa riktlinjer. Han presenterar dessa sju rekommendationer som syftar till att motverka de negativa effekterna av skiftarbete:

1. Undvik nattarbete och morgonarbete
2. Använd ett snabbroterande schema (2-3 dagar per skift)
3. Nattskift bör placeras i slutet av en skiftcykel
4. Skiftroteringen bör vara medsols men är en flexibel rekommendation
5. 12-timmars skift är endast acceptabla om arbetsbelastningen är måttlig och det endast gäller få skift i följd
6. Ledig tid mellan skift bör överstiga 11 timmar, vilket också är ett direktiv från Europeiska Unionen (Europaparlamentet, 2003)
7. Arbetscheman bör, så långt det är möjligt, undvika kvällar och helger eftersom dessa tider präglas av socialt umgänge/aktivitet.

Knauth (1996) har gjort en studie i vilken arbetare från olika industrier bytte till ett nytt arbetschema medan en kontrollgrupp fick behålla sitt gamla schema. Efter en försökstid på sex till tolv månader svarade grupperna på ett frågeformulär, kontrollgruppen som inte bytte schema svarade på samma frågeformulär två gånger parallellt med experimentgrupperna. Studien resulterade i fem rekommendationer som kan användas vid design av arbetschema för att motverka de negativa effekterna av skiftarbete:

1. Nattarbete bör reduceras så mycket som möjligt, om det inte är möjligt så är snabbroterande schema att föredra framför långsamma. Permanent nattarbete är inte rekommenderat.
2. Förlängda arbetsdagar (9-12 timmar) bör bara planeras om:
 - a. det naturliga arbetet och arbetsbelastningen är lämplig för det långa arbetspasset.
 - b. skiftschemat är designat för att minimera den ackumulerade tröttheten
 - c. det finns tillräckliga resurser för att täcka frånvaro.
 - d. övertid inte blir aktuell.
 - e. exponeringen för gifter är begränsade.
 - f. det är troligt att en fullständig återhämtning efter arbetet är möjlig, och att en hög acceptans av arbetstiderna finns hos personalen.
3. En tidig start för morgonskiftet bör undvikas.
4. Snabba övergångar (t.ex. från nattskift till eftermiddagsskift på samma dag) bör undvikas. Antalet sammanhängande arbetsdagar bör begränsas till mellan fem och sju dagar. Varje skiftsystem bör inkludera lediga helger.
5. Medsols rotation av skift är att föredra.

Rekommendationerna från Åkerstedt (1998) och Knauth (1996) överensstämmer i stor grad med varandra. I stora drag rekommenderar de båda att nattskift, arbete på helger och långa arbetspass bör undvikas eftersom de påverkar individens sömn, hälsa och sociala liv. Dessa riktlinjer överensstämmer även med nio principer som Miller (2008) beskriver i sin artikel. Miller anser att det är högst osannolikt för ett schema att uppfylla samtliga ergonomiska riktlinjer, schemaläggaren måste därför avgöra vilka aspekter som är viktigast under arbetet med ett schema. För att lättare kunna avgöra vilka aspekter som är viktigast bör de arbetare som ska använda schemat vara delaktiga under designstadiet av arbetet med schemat.

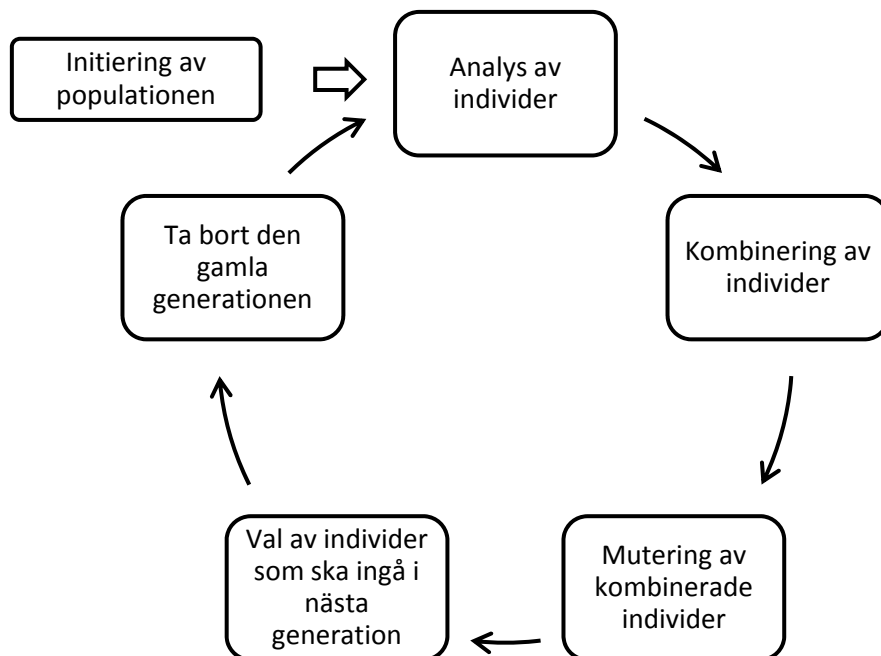
2.3 Evolutionära algoritmer

En evolutionär algoritm är en algoritm som försöker lösa ett problem genom att efterlikna naturlig evolution (Ashlock, 2006). Den evolutionära algoritmen skapar en population av individer där varje individ representerar ett lösningsförslag på problemet som ska lösas. För att åstadkomma naturlig evolution tillämpar evolutionära algoritmer följande begrepp som är centrala inom evolutionslära: Selektion, Reproducering/Överkorsning och Mutering (Ashlock, 2006).

Selektion innebär att individer från populationen väljs ut för att reproduceras och skapa en ny generation. För att kunna avgöra vilka individer som ska väljas analyseras alla individer ur populationen utifrån ett antal kriterier. Analysen tilldelar varje individ ett värde som representerar hur väl individen löser problemet. Detta värde kallas för fitnessvärde eftersom det representerar individens lämplighet (eng. fitness) som lösning.

Reproducering innebär vanligtvis att två individer kombineras för att skapa en eller flera nya individer. Det vill säga att två lösningsförslag överkorsas för att förhoppningsvis resultera i ett bättre lösningsförslag. Det finns många olika metoder att överkorsa individer på, exempel på sådana metoder är "Single-Point Crossover", "Two-Point Crossover" och "Multi-Point Crossover" (Buckland, 2002).

Mutering sker efter reproduceringen och innebär att en del av lösningsförslaget förändras på ett slumpmässigt sätt. Anledningen till att mutering används är att den tekniken gör att lokala optimum undviks. Ashlock (2006) menar att alla algoritmer som använder sig av stegen som Figur 3 visar kan kallas för evolutionära algoritmer.

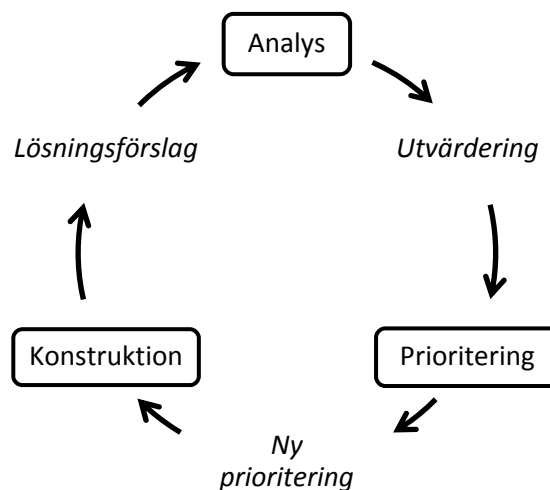


Figur 3. Fundamental struktur för evolutionära algoritmer.

2.3.1 Squeaky Wheel Optimization

Squeaky Wheel Optimization (SWO) är en optimeringsmetod som presenteras av Joslin och Clements ("Squeaky Wheel" Optimization, 1999) men har sitt ursprung från ett arbete av Clements, Crawford, Nemhauser, Puttlitz och Savelsbergh (1997). Kärnan i SWO, som Figur 4 visar, består av tre steg: Konstruktion, Analys och

Prioritering. Dessa steg itereras genom tills ett stoppvillkor har uppnåtts. Elementen (t.ex. skift) som på något sätt kan kombineras och bilda ett lösningsförslag placeras i en kö baserat på dess prioritering, initialt är denna prioritering lika för alla element. Det första steget i SWO, konstruktion, använder sig av en girig algoritmen som, i tur och ordning, tar varje element från kön med de prioriterade elementen och bygger ett lösningsförslag. En girig algoritmen är en algoritmen som baserar sitt beslut på vad som är bäst för ögonblicket, den tar med andra ord inte hänsyn till vilka konsekvenser ett beslut kan få för lösningen som helhet längre fram (Weiss, 2006). Resultatet från konstruktionssteget är ett lösningsförslag som i nästa steg, analyssteget, analyseras utifrån vedertagna kriterier. Syftet med analysen är att identifiera de element som hamnat mest fel och/eller skapar problem i det befintliga lösningsförslaget. I det sista steget, prioritering, placeras elementen tillbaka i kön men med de problemskapande elementen längre fram vilket gör att den giriga algoritmen i konstruktionssteget hanterar dessa element innan andra element som är lättare att placera.



Figur 4. Arbetscykeln för Squeaky Wheel Optimization

Enligt Aickelin, Burke och Li (2006) har SWO två begränsningar, den ena är dålig skalbarhet eftersom algoritmen i sitt konstruktionssteg gör om hela lösningen för varje iteration. Den andra är dess konvergens mot en lösning eftersom den inte har förmågan att göra finjusteringar i lösningensrymden.

För att förebygga begränsningarna som SWO har läggs två moment till i iterationen: Selektion och Mutering. Med detta tillägg kallas algoritmen för "Improved Squeaky Wheel Optimization" (ISWO) Aicklin m.fl. (2006), eller "Evolutionary Squeaky Wheel Optimization" (ESWO) eftersom de två tillagda stegen gör att algoritmen simulerar en evolutionär process på ett enda lösningsförslag. I selektionssteget tas vissa element bort från lösningsförslaget, sannolikheten för att ett element tas bort baseras på resultatet från analyssteget. Ju större problem ett element skapar desto större är sannolikheten att elementet tas bort. Muteringssteget kan, med en viss sannolikhet, ta bort vilket element som helst från lösningen, även de som inte bedöms som problematiska. Anledningen till detta är att undvika lokala optimum.

Efter att dessa (nya) steg genomförts har lösningsförslaget minskats till ett partiellt lösningsförslag eftersom vissa element har tagits bort. Innan lösningen repareras används prioriteringssteget för att placeras de borttagna elementen i en ny kö baserat på resultatet från analysen. De mest problemskapande elementen hamnar längst fram i

kön. Slutligen repareras det partiella lösningsförslaget i konstruktionssteget genom att de borttagna elementen återinförs via en girig algoritm.

På så sätt undviks problemet med skalbarhet eftersom lösningen behålls mellan iterationerna vilket innebär att konstruktionssteget inte behöver skapa en lösning från början varje iteration. Förändringen innebär också att problemet med konvergens undviks eftersom graden av finjustering ökar i takt med att lösningsförslaget förbättras.

Aickelin, Burke och Li (2009) har utfört experiment där de tillämpat den evolutionära varianten av SWO, ESWO, på två väl dokumenterade schemalägningsproblem; schemaläggning av lastbilsförare och sjuksköterskor. Resultaten från experimenten av de båda problemen visade att ESWO är en effektiv metod som lämpar sig väl till att lösa den här typen av problem. Enligt Aickelin m.fl. (2009) var ESWO bättre än de metoder som jämfördes i deras artikel, vilket innefattade TRACS II som är en kommersiell ILP-applikation (Integer Linear Programme), SAA (Self Adjusting Algorithm) och SWO (Squeaky Wheel Optimization).

3 Problemformulering

Den här sektionen är indelad i en introducerande text följt av två rubriker. I den första rubriken formuleras och motiveras problemet. Den andra rubriken beskriver vilka metoder som används för att nå en lösning på de presenterade problemen.

3.1 Problemdefinition

Problemet som mitt arbete ämnar lösa är att utifrån en arbetsbelastningsmatris skapa ergonomiska arbetsscheman för en 24/7-organisation. Både personalbehovet, som arbetsbelastningsmatrisen visar, och de ergonomiska aspekterna ska vara uppfyllda innan ett arbetsschema betraktas som tillfredställande ur algoritmens perspektiv. Mitt arbete förutsätter att personalbehovet är fastställt och att personalen delats in i skift som har start- och sluttider. Arbetet tar inte hänsyn till ekonomiska aspekter av schemaläggning vilket innebär att arbetet inte syftar till att minimera eller optimera kostnaden för en organisation.

Mitt arbete är intressant därför att det syftar till att automatisera en del av arbetet med att skapa roterande arbetsscheman. Automatiseringen gör det möjligt att skapa många tillfredställande förslag på arbetsscheman vilket skulle vara ett tidskrävande och komplicerat arbete att göra för hand. En annan intressant aspekt med mitt arbete är att det fokuserar på ergonomi och därmed syftar till att skapa arbetsscheman som ger en välmående personal.

Arbetet genomförs i samarbete med polisen i Skövde vilket innebär att arbetet baseras på de faktiska förutsättningar (personalbehov, arbetstider osv.) som polisen i Skövde har. Eftersom algoritmen utvecklas i en miljö där den potentiellt kan användas ökar sannolikheten för att slutprodukten blir något användbart för 24/7-organisationer i allmänhet och för polisen i Skövde i synnerhet. När ett arbetsschema omarbetas hos polisen i Skövde skapas initialt ett eller flera utkast för hand. Dessa utkast används sedan som utgångspunkt vid skapandet av ett nytt arbetsschema. Eftersom dessa utkast görs för hand finns det en risk att potentiellt bra lösningsförslag förbises. Mitt arbete kan minska den risken genom att automatiskt generera utkast som tillfredställer såväl personalbehov som ergonomi.

Det övergripande målet är att skapa en algoritm som utifrån en arbetsbelastningsmatris skapar ett roterande arbetsschema som, i så stor grad som möjligt, följer de ergonomiska riktlinjerna. Vägen till målet delas in i följande tre delmål:

Delmål 1 Implementering: Det första delmålet handlar om implementering och syftar till att designa och implementera en algoritm som utifrån en arbetsbelastningsmatris skapar ett roterande arbetsschema.

Delmål 2 Tillämpning: Det andra delmålet handlar om tillämpning och syftar till att använda den implementerade algoritmen till att skapa förslag på alternativ till arbetsscheman som används av polisen i Skövde.

Delmål 3 Utvärdering: Det tredje delmålet handlar om utvärdering och syftar till att en kunnig person hos polisen i Skövde analyserar och betygsätter de producerade schemaförslagen.

3.2 Metodbeskrivning

3.2.1 Delmål 1: Implementation

Algoritmen ska använda sig av tekniken från ESWO (Aickelin, Burke, & Li, 2009) för att schemalägga skift. Lösningförslag/scheman ska bestå av en sekvens med skifttyper (t.ex. D, E, N och X). Funktionen som beräknar fitnessvärden kommer att traversera denna sekvens för att identifiera mönster som den kan belöna eller bestraffa hos lösningförslaget. Beräkningen av fitnessvärde, som baseras på rekommendationerna från Knauth (1996) och Åkerstedt (1998), består av de sju kriterier som beskrivs nedan. Kriterierna beskrivs genom fyra punkter: Kort beskrivning av kriteriet, vad som belönas (+), vad som bestraffas (-) och formeln som beskriver värdet om kriteriet behandlar intern fitness..

Kriterium 1 Antalet dagar (n) i följd med nattskift

- + 3 eller 4 dagar i följd
- Övriga värden i förhållande till avvikelsen

$$f(n) = \begin{cases} n - 3 & \text{Om } 1 \leq n \leq 2 \\ n & \text{Om } 3 \leq n \leq 4 \\ 4 - n & \text{Om } n \geq 5 \end{cases}$$

Kriterium 2 Antalet dagar (d) i följd med dags- eller eftermiddagsskift

- + Intervallet $3 \leq d \leq 7$
- Övriga värden i förhållande till avvikelsen

$$f(d) = \begin{cases} d - 3 & \text{Om } 1 \leq d \leq 2 \\ d & \text{Om } 3 \leq d \leq 5 \\ 10 - d & \text{Om } 6 \leq d \leq 7 \\ 7 - d & \text{Om } d > 7 \end{cases}$$

Kriterium 3 Antalet lediga dagar (d) i följd

- + Intervallet $2 \leq d \leq 3$
- + Lediga dagar som sammanfaller med lördag eller söndag belönas med 1
- Övriga värden i förhållande till avvikelsen

$$f(d) = \begin{cases} -1 & \text{Om } d = 1 \\ d & \text{Om } 2 \leq d \leq 3 \\ 3 - d & \text{Om } d > 3 \end{cases}$$

Kriterium 4 Kvoten (k) mellan antalet dagar från två på varandra följande sekvenser där den första sekvensen består av arbetsdagar och den andra sekvensen består av lediga dagar

- + $0,0 \leq k \leq 2,5$
- Övriga värden i förhållande till avvikelsen

$$f(k) = \begin{cases} k & \text{Om } 0 \leq k \leq 2,5 \\ 2,5 - k & \text{Om } k > 2,5 \end{cases}$$

Kriterium 5 Riktning av skiftbyten

- + Medsols
- Motsols

Kriterium 6 Vilodagar (d) mellan skiftbyte medsols

- + Intervallet: $1 \leq d < \infty$
- $d = 0$

Kriterium 7 Vilodagar (d) mellan skiftbyte motsols

- + Intervallet: $2 \leq d < \infty$

- Intervall: $0 \leq d < 2$

3.2.2 Delmål 2: Tillämpning

Tillämpningen innebär att algoritmen använder fem förutsättningar (arbetsbelastningsmatriser), som baseras på polisens personalbehov, för att generera tio schemaförslag per förutsättning. Totalt ska således 50 schemaförslag genereras av algoritmen.

3.2.3 Delmål 3: Utvärdering

Utvärdering innebär att fem schemaförslag av de tio genererade per förutsättning väljs ut för att ingå i en mätning. Syftet med urvalet är att det ska vara så stor spridning som möjligt i fitnessvärde inom varje förutsättning. Schemaförslagen analyseras sedan av en kunnig person hos polisen i Skövde som tilldelar varje schemaförslag ett sifferbetyg, en placering samt en kort motivering. Sifferbetyget består av en femgradig skala, från 1 till 5, där 1 är det högsta betyget och 5 är det lägsta. Algoritmens användbarhet utvärderas sedan genom att sammanfatta betygsättningen samt analysera huruvida lösningar med högre fitnessvärde fick bättre betyg än lösningar med lägre fitnessvärde.

4 Genomförande

Den här sektionen beskriver genomförandet av de tre delmål som presenterades under rubriken *Problemdefinition* på sidan 10. Sektionen innehåller även en beskrivning och analys av den mätning som gjorts på algoritmen för att utvärdera hur väl algoritmen löser det ställda problemet. Den första rubriken, 4.1, svarar mot det första delmålet och syftar till att beskriva den producerade algoritmen. Den andra rubriken, 4.2, svarar mot det andra delmålet där ett antal scheman har skapats för att genomföra en mätning av algoritmen. Slutligen under den tredje rubriken, 4.3, analyseras den genomförda mätningen vilket svarar mot delmål tre.

4.1 Den producerade algoritmen

Denna rubrik svarar mot det första delmålet som presenterades under rubriken *Problemdefinition* på sidan 10 och beskriver den algoritm som producerats. Algoritmen implementerades med språket C++ i Microsoft Visual Studio 2005. Algoritmen är implementerad på ett sådant sätt att den i stor grad använder tekniken som beskrivs av Aickelin, Burke och Li (2009).

Nedan beskrivs algoritmen ur olika aspekter uppdelat i fem rubriker. Den första rubriken beskriver hur ett schema representeras vilket är nödvändigt att känna till för att förstå hur algoritmen hanterar dessa. Den andra rubriken beskriver stegen som algoritmen genomgår för att skapa ett schema utifrån en arbetsbelastningsmatris. Den tredje rubriken presenterar de olika justeringsmöjligheter som finns samt vilka effekter dessa justeringar ger. Den fjärde rubriken beskriver hur algoritmen avgör när den ska avbryta evolutionen. Slutligen under den femte rubriken valideras det första delmålet genom att algoritmen testas.

4.1.1 Representation av ett schema

Grundstenen i ett schema utgörs av ett skift som t.ex. kan vara dagskift, eftermiddagsskift, nattskift eller ledigt skift. Skiften som utgör ett schema grupperas till block av skift där det finns två olika typer av block; arbetsblock och ledighetsblock. Det som skiljer dessa blocktyper åt är att arbetsblocken inte får innehålla några lediga skift och ledighetsblocken får på motsvarande sätt inte innehålla några arbetsskift. Ett arbetsblock kan innehålla en blandning av de olika typer av arbetsskift som är aktuellt för schemat. Exempel på arbetsblock, ledighetsblock och skift ur ett schema visas i Figur 5.

Vecka	Ledighetsblock				Arbetsblock		
	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
1	X	X	X	D	D	D	D
2	X	X	E	E	E	X	X
3	D	D	D	X	X	E	E
4	E	E	X	X	N	N	N
5	N	N	N	N	X	X	X

Arbetsskift (eftermiddag) Ledigt skift

Figur 5. Exempel på skift, arbetsblock och ledighetsblock.

4.1.2 Stegvis beskrivning av algoritmen

Figur 6 visar ett flödesdiagram som stegvis beskriver hur algoritmen exekverar. Algoritmen får som indata en arbetsbelastningsmatris som dikterar förutsättningen för schemat som ska genereras.

Initieringssteget innebär att algoritmen, utifrån den givna arbetsbelastningsmatrisen, slumpmässigt skapar ett schema. För att säkerställa att schemat är godkänt ur arbetsbelastningsmatrisens perspektiv skapas schemat genom att skiften väljs slumpmässigt kolumnvis. Detta innebär att algoritmen för varje dag (kolumn) läser av arbetsbelastningsmatrisen för att avgöra vilka skift som ska läggas in just den dagen och lägger sedan in de designerade skiften slumpmässigt. Schemat kommer således att vara godkänt ur arbetsbelastningsmatrisens perspektiv men sannolikt inte godkänt ur ett ergonomiskt perspektiv. Syftet med initieringssteget är att skapa en utgångspunkt för den stegvisa förbättring av schemat som algoritmen ska utföra.

Analyssteget innebär att algoritmen analyserar alla skiftblock som schemat består av. Schemat analyseras ur ett internt och ett kontextuellt perspektiv. Med internt menas att skiftblocken i sig analyseras och med kontextuellt menas hur väl ett skiftblock passar in tillsammans med de intilliggande skiftblocken i schemat. Till exempel kommer det inringade ledighets- och arbetsblocket från Figur 5 att få 2 respektive 3 i internt fitnessvärde baserat på kriterierna 3 och 2 från rubriken *Delmål 1: Implementation* på sidan 11. Exempel på ett kontextuellt fitnessvärde är kriterium 4 som skulle ge det inringade arbetsblocket ett kontextuellt fitnessvärde på 1,5 eftersom det inringade arbetsblocket är tre dagar långt och efterföljande ledighet är två dagar långt. Resultaten från den interna och kontextuella analysen lagras hos det aktuella skiftblocket. Det interna värdet kommer att vara aktuellt tills en förändring av själva skiftblocket görs medan det kontextuella värdet kommer att vara aktuellt tills de omkringliggande skiftblocken förändras. Fitnessvärdet för hela schemat beräknas genom att summera fitnessvärdena för de skiftblock som schemat består av. Syftet med analyssteget är att varje skiftblock ska tilldelas ett fitnessvärde som representerar dess kvalitet i det befintliga schemat, samt att ge schemat som helhet ett fitnessvärde.

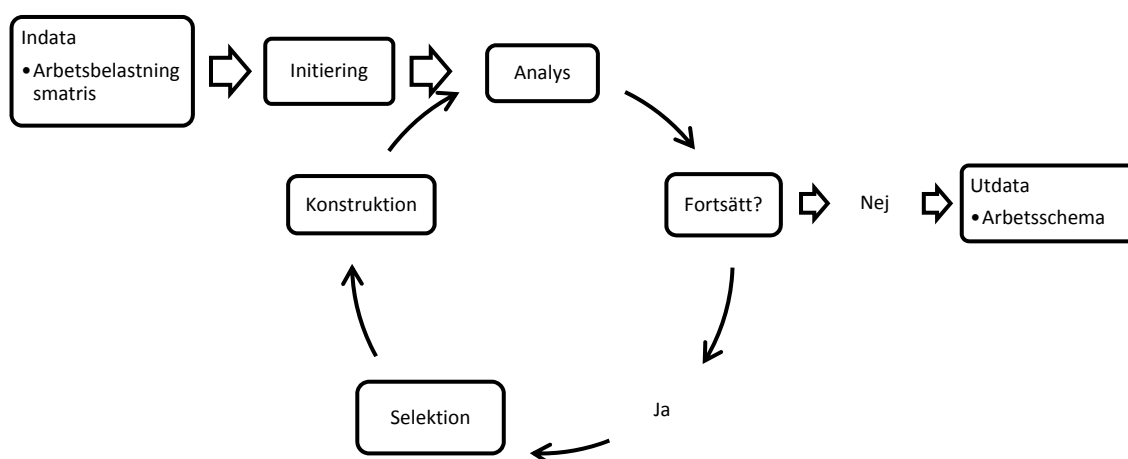
I nästa steg beslutar algoritmen huruvida evolutionen ska fortsätta eller inte. Exakt hur det beslutet fattas beskrivs under rubriken *4.1.4 Strategi för avbrytning* nedan. Om

algoritmen väljer att avbryta evolutionen kommer algoritmen returnera det framarbetade schemat, annars fortsätter exekveringen med nästa steg.

Selektionssteget innebär att skiftblock väljs genom två metoder. Den första metoden väljer skiftblock baserat på dess fitnessvärde, ju lägre fitnessvärde desto större är sannolikheten att skiftblocket blir utvalt. Den andra metoden väljer skiftblock helt slumpmässigt vilket innebär att även skiftblock med höga fitnessvärden kan bli utvalda. Att skiftblock väljs helt slumpmässigt är ett sätt för algoritmen att undvika lokala optima. Syftet med selektionssteget är att tillfälligt ta bort dåliga och slumpvis valda skiftblock från det befintliga schemat.

Konstruktionssteget innebär att de borttagna skiften från selektionssteget återinsätts på ett sätt som resulterar i ett bättre schema än det föregående. I konstruktionssteget testas slumpmässigt olika sätt att komplettera det inkompleta schemat på, efter ett antal tester väljs den kombination/lösningförslag som resulterade i bäst fitnessvärde för schemat. Konstruktionssteget är algoritmens flaskhals eftersom det tar tid att först skapa ett lösningförslag och sedan analysera lösningförslaget. Det är i storleksordning hundratals lösningförslag som testas varje konstruktionssteget.

Efter konstruktionssteget är en ESWO-cykel slutförd och algoritmen återgår till analyssteget för att påbörja nästa cykel.



Figur 6. Beskrivning av algoritmen.

4.1.3 Justeringsmöjligheter

Totalt finns det 13 olika parametrar som kan justeras. Dessa 13 justeringsmöjligheter delas in i två grupper eftersom de påverkar algoritmen på olika sätt. Den första gruppen parametrar påverkar resultatets kvalitet medan den andra gruppen påverkar vägen till ett resultat. Tabell 4 sammanfattar översiktligt de 13 justeringsparametrarna.

Den första gruppen innefattar sju justerbara parametrar och används för att justera beräkningen av fitnessvärde. Algoritmen i sin grundläggande form kan visserligen generera ett schema givet en arbetsbelastningsmatris men det är inte troligt att det genererade schemat följer de givna rekommendationerna för ergonomi. För att öka sannolikheten att de ergonomiska rekommendationerna följs har algoritmen implementerats på ett sådant sätt att det är möjligt att lägga olika vikt på de sju kriterier som presenterades under rubriken 3.2.1 *Delmål 1: Implementation* på sidan 11. Genom dessa sju justeringsmöjligheter är det alltså möjligt att öka eller minska den inverkan ett kriterium har på beräkningen av fitnessvärde och därmed ges

möjlighet till att styra resultaten mot scheman som, i så stor grad som möjligt, följer de ergonomiska rekommendationerna.

Den andra gruppen innefattar sex justerbara parametrar som påverkar evolutionen och hur länge den ska fortsätta. Två av dessa sex parametrar används för att justera sannolikheten för de båda selektionsmetoderna i selektionssteget. De övriga fyra parametrarna används för att avgöra när evolutionen ska avbrytas och beskrivs i sitt sammanhang under rubriken nedan.

Grupp	Parameternamn	Beskrivning
Första gruppen Analys	K1	Justerar graden av inverkan som respektive kriterium har på beräkningen av fitnessvärde.
	K2	
	K3	
	K4	
	K5	
	K6	
	K7	
Andra gruppen Strategi	Selektion	Ett trimningsvärde för sannolikheten att ett skiftblock väljs via selektion. Kan variera från 0 till 1, ju högre desto färre skiftblock väljs.
	Muteringsselektion	Ett trimningsvärde för sannolikheten att ett skiftblock väljs via mutering. Kan variera från 0 till 1, ju högre desto färre skiftblock väljs
	Normal period	Antal ESWO-cykler som behövs innan utvecklingen kan beskrivas som "Uppåt" eller "Nedåt".
	Lång period	Antal ESWO-cykler som behövs innan utvecklingen kan bedömas som "Starkt Uppåt" eller "Starkt Nedåt".
	Avvakta	Antal "Egala" ESWO-cykler innan en omstart genomförs.
	Omstart	Antal omstarter innan algoritmen avbryter och returnerar ett lösningsförslag.

Tabell 4. Justeringsparametrar.

4.1.4 Strategi för avbrytning

Efter en ESWO-cykel bör ett schema ha förändrats och förändringen bör innebära en ökning av fitnessvärdet jämfört med den föregående cykeln. När detta inte gäller, dvs. när schemat inte längre förbättras, har schemat sannolikt nått ett lokalt eller globalt optimum. När en sådan situation inträffar, det vill säga att ingen förbättring sker mellan cyklerna, lönar det sig sannolikt inte att genomföra ytterligare cykler;

evolutionen ska med andra ord avbrytas och algoritmen ska returnera det framarbetade schemat.

För att kunna avgöra när evolutionen ska avbrytas används en strategi som genom att jämföra fitnessvärden från tidigare cykler identifierar fem olika situationer. Dessa fem situationer är:

- Starkt Uppåt
- Starkt Nedåt
- Uppåt
- Nedåt
- Egal

Situationerna starkt uppåt och starkt nedåt innebär att varje cykel i sig visar på en förbättring, respektive försämring, av fitnessvärdet de senaste cyklerna. Situationerna uppåt och nedåt innebär att det totalt sett skett en förbättring, respektive försämring, av fitnessvärdet de senaste cyklerna. Hur många cykler som ska användas vid jämförelsen bestäms via två av de fyra parametrar som påverkar evolutionen och som introducerades under rubriken ovan.

Situationen egal innebär att ingen förändring har skett de senaste cyklerna, utvecklingen har med andra ord stagnerat. Efter ett visst antal cykler utan någon förändring kommer algoritmen i ett läge där den antingen avbryter eller omstartar evolutionen. En omstart innebär att parametrarna som styr sannolikheten för selektion ökas drastiskt för att expandera sökrymden och därmed öka sannolikheten att en bättre lösning hittas. Hur många cykler som algoritmen ska avvakta innan den fattar beslut om att avbryta eller omstarta, samt hur många gånger som en omstart görs, bestäms via de sista två av de fyra parametrarna som påverkat evolutionen som introducerades under rubriken ovan.

4.1.5 Testing av den producerade algoritmen

För att validera att det första delmålet, som presenterades under rubriken *Problemdefinition* på sidan 10, har uppnåtts konstruerades fem olika testfall. Varje testfall består av en arbetsbelastningsmatris som algoritmen, enligt delmålsbeskrivningen, ska skapa ett schema från. För att få ett medeltal som beskriver utvecklingen av fitnessvärde för de scheman som genereras körs varje testfall/arbetsbelastningsmatris tio gånger. Diagram 1 visar en graf som beskriver den genomsnittliga utvecklingen av fitnessvärde för samtliga 50 testkörningar. Alla fitnessvärden har normaliserats för att kunna presenteras i samma diagram. Med normaliserats menas att fitnessvärdet har dividerats med schemats cykellängd.

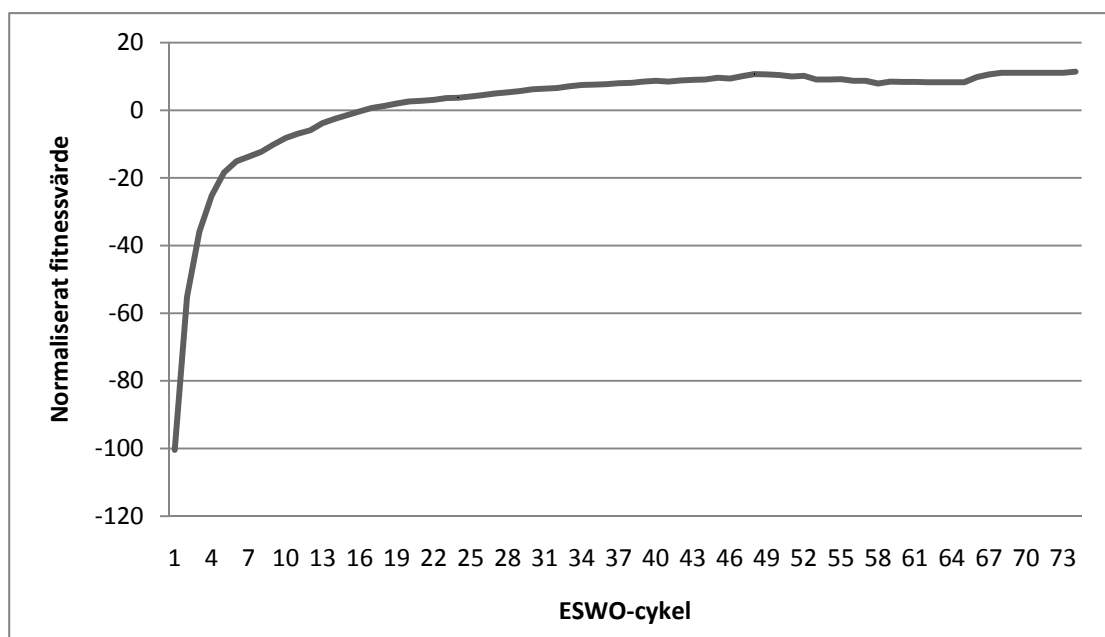


Diagram 1. Genomsnittlig utveckling av normaliserat fitnessvärde för testfall.

Det första delmålet är uppfyllt eftersom algoritmen utifrån en arbetsbelastningsmatrix lyckas generera ett roterande arbetsschema. Algoritmen har även framgångsrikt implementerats enligt den metod som beskrivits under rubriken 3.2.1 *Delmål 1: Implementation* vilket den uppåtgående trenden i Diagram 1 demonstrerar.

4.2 Genomförda mätningar

Denna rubrik svarar mot det andra delmålet som presenterades under rubriken *Problemdefinition* på sidan 10 och beskriver hur mätningen av algoritmen har genomförts. Mätningen genomfördes i samarbete med Polisen i Skövde som bistod med förutsättningar för scheman samt analys av genererade scheman.

Nedan beskrivs metoden kring mätningen uppdelat i tre rubriker. Den första rubriken syftar till att belysa mätningens fokus. Den andra rubriken beskriver hur de schemaförslag som ingår i mätningen har genererats och valts ut. Slutligen under rubrik tre beskrivs hur mätningen har genomförts.

4.2.1 Mätningens fokus

Eftersom lämpligheten som lösning för ett schema representeras av dess fitnessvärde är det intressant att använda detta värde vid mätning av algoritmen. Antagandet är att ett ökat fitnessvärde är analogt med ett mer ergonomiskt schema. Detta antagande baseras på de sju kriterier som används för att beräkna fitnessvärde. De sju kriterierna, som grundar sig på Knauth (1996) och Åkerstedt (1998), är designade på ett sådant sätt att de belönar rekommenderade intervall och bestraffar intervall som inte är rekommenderade vilket borde resultera i att ett högre fitnessvärde blir analogt med ett mer ergonomiskt schema.

Fitnessvärde är att betrakta som ett ordinalt mätvärde vilket innebär att scheman kan rangordnas sinsemellan. Scheman med längre cykel kommer sannolikt att nå högre fitnessvärden än scheman med kortare cykel. En normalisering av fitnessvärde behövs för att kunna jämföra fitnessvärden från scheman med olika cykellängder. För att normalisera ett fitnessvärde divideras fitnessvärdet med cykellängden på schemat, den resulterande kvoten blir då ett normaliserat värde som kan användas för att jämföra

scheman med olika cykellängder. Eftersom fitnessvärdet anses ordinalt, och därmed saknar ekvidistans, är det inte möjligt att använda värdet till att dra några slutsatser om proportionella antaganden. De går med andra ord inte att fastställa att schema A är två gånger bättre än schema B eftersom det är intetsägande på en skala som saknar ekvidistans.

Mätningen fokuserar sammanfattningsvis på fitnessvärde och syftar till att visa huruvida ett ökat fitnessvärde är analogt med ett mer ergonomiskt schema.

4.2.2 Generering av scheman för mätning

För att generera schemaförslagen till mätningen identifieras fem förutsättningar från polisen där varje förutsättning resulterade i en arbetsbelastningsmatris. De fem förutsättningarna identifieras med en romersk siffra vilken även representerar schemaförslagens cykel. De fem förutsättningarna benämns: V, VI 1, VI 2, IX och XIV. De fem förutsättningarna har följaktligen en cykel på 5, 6, 6, 9, respektive 14 veckor. För var och en av dessa fem förutsättningar genereras fem schemaförslag som ska ingå i mätningen, de fem schemaförslagen identifieras med de fem första bokstäverna i det grekiska alfabetet. Notera att det inte finns något explicit strukturerat samband mellan schemaförslagens fitnessvärden och identifieringen med den grekiska bokstaven, denna tilldelning är gjord på ett slumpmässigt sätt.

Eftersom det sannolikt är svårt att utse det bästa av två schemaförslag med liten differens i fitnessvärde genererades från början tio schemaförslag, för varje förutsättning, ur vilka fem valdes att ingå i mätningen. De fem valdes på ett sådant sätt att det blev så stor spridning som möjligt i fitnessvärde mellan de utvalda schemana. Tabell 5 visar fitnessvärden för samtliga genererade schemaförslag. Schemaförslagen från kolumn 1, 3, 5 eller 6, 8 och 10 valdes att ingå i mätningen. Valet mellan schemaförslag från kolumn 5 eller 6 gjordes på ett sådant sätt att differensen i genomsnittligt fitnessvärde för de fem utvalda schemaförslagen och de tio genererade schemaförslagen minimerades. De som valdes ur kolumn 5 eller 6 har markerats med fet text i tabellen.

Mätningen består sammanfattningsvis av fem grupper med fem scheman i varje grupp; totalt 25 scheman.

Förutsättning	Genererade schemaförslag									
	Sorterade kolumnvis med avseende på fitnessvärde									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V	96,7	90,0	87,3	84,7	82,0	76,7	74,0	68,7	68,0	58,7
VI 1	108,7	102,7	101,3	95,3	91,0	84,7	84,0	82,7	81,3	78,6
VI 2	99,3	92,7	78,0	70,0	60,7	52,0	50,0	43,3	-5,3	-6,0
IX	99,0	97,0	76,3	55,0	47,0	46,3	40,0	23,0	16,3	7,7
XIV	160,0	150,3	143,0	137,7	119,0	92,3	89,0	69,7	42,9	-28,3

Tabell 5. Samtliga genererade schemaförslag till mätning.

4.2.3 Mätningen

För att kunna dra några slutsatser om sambandet mellan fitnessvärde och nivån på ergonomi genomfördes en mätning. Mätningen utfördes av en Polisinspektör från

polisen i Skövde (hädanefters även kallad bedömaren) som arbetar med planering av personal. Polisinspektören kände inte till schemaförslagets fitnessvärden utan kunde bara basera sin bedömning på hur schemaförslaget är designat av algoritmen.

Mätningen resulterar i två betyg samt ett kort skriftligt omdöme för varje schemaförslag. Det första betyget ges genom att de fem schemaförslag som genererats för varje förutsättning rankas sinsemellan, vilket innebär att schemaförslagen placeras på en lista där det bästa schemat hamnar på första plats, det näst bästa på andra plats och så vidare. Det andra betyget är ett betyg mellan 1 till 5 (där 1 är bäst och 5 är sämst) som ska spegla schemaförslagets lämplighet som lösning. Det första betyget används för att hitta ett samband mellan fitnessvärde och ergonomi. Det andra betyget används för att avgöra hur väl algoritmen löst problemet som helhet. Det skriftliga omdömet ska användas till att finna förslag till förbättring och/eller justering av algoritmen.

4.3 Analys av mätningar

Denna rubrik svarar mot det tredje delmålet som presenterades under rubriken *Problemdefinition* på sidan 10 och syftar till att presentera och analysera resultaten av mätningen som genomförts. Analysen fokuserar på två saker:

- Exakt överensstämmande placering
- Relativ överensstämmande placering

Med exakt överensstämmande placering menas att bedömaren har placerat schemaförslagen på ett sätt som exakt överensstämmer med schemaförslagets fitnessvärde, det vill säga att bedömaren har placerat schemaförslaget med högst fitnessvärde på första plats, schemaförslaget med näst högst fitnessvärde på andra plats och så vidare.

Med relativ överensstämmande placering menas att bedömaren har placerat schemaförslag på ett sätt som relativt överensstämmer med andra schemaförslag. Den här analysen undersöker således hur varje schemaförslag har placerats i förhållande till andra schemaförslag. Tabell 6 visar ett exempel på relativ överensstämmande placering. Tabellen visar att inget schemaförslag har fått exakt överensstämmande placering men schemaförslagen Beta, Gamma, Delta och Epsilon har ändå placerats på ett relativt överensstämmande sätt. Eftersom varje schema har fyra relationer blir det totalt 20 relationer som analyseras. En analys av relativt överensstämmande placeringar på Tabell 6 ger ett resultat på 60 % (12 av 20). En fiktiv bedömare har tilldelat första placering till schemaförslag Beta vilket inte överensstämmer med fitnessvärdet för Beta. Trots detta är placeringen överensstämmande i förhållande till Gamma, Delta och Epsilon vilka tilldelats placeringarna 2, 3 respektive 4. Beta har således tre av fyra scheman som är relativt överensstämmande i förhållande till sig vilket även är sant för de övriga schemana förutom Alfa som inte är relativt överensstämmande med något annat schema. Resultatet blir alltså: $\alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon = 0 + 3 + 3 + 3 + 3 = 12$.

Schemaförslag	Fitnessvärde	Bedömd placering
Alfa	20	5
Beta	15	1
Gamma	10	2

Delta	5	3
Epsilon	1	4

Tabell 6. Exempeltabell

Nedan beskrivs analysen uppdelat i sex rubriker. De första fem rubrikerna svarar mot de fem förutsättningarna och innehåller en presentation och analys av mätresultatet. Den sjätte rubriken analyserar de fem förutsättningarna som en helhet och sammanfattar analysen av hela mätningen.

4.3.1 Förutsättning V

Tabell 7 beskriver resultatet från mätningen av förutsättning V och visar att 60 % av schemaförslagen är placerade på exakt överensstämmande plats och 90 % är placerade på relativt överensstämmande plats. Medelbetyget för förutsättning V är 3. Mätningen visar att bedömarens betyg och placering till stor grad överensstämmer med schemaförslagets fitnessvärden. Den enda skillnaden är att bedömarens anser att förslag Gamma är bättre än förslag Delta vilket inte överensstämmer med fitnessvärdet för dessa förslag.

Schemaförslag	Algoritmen	Bedömarens		
	Fitnessvärde	Betyg	Placering	Omdöme
Epsilon	96,7	1	1	Finns inget att påpeka, skulle fungera i detta utförande.
Delta	87,3	3	3	Bättre utläggning av passen (än Alfa, författarens anmärkning) men fortfarande ingen fridag efter natt.
Gamma	82	3	2	Bättre utläggning av passen (än Alfa, författarens anmärkning) men fortfarande ingen fridag efter natt.
Beta	68,7	4	4	För många eftermiddagspass i följd, ingen fridag efter natt.
Alfa	58,7	4	5	För många eftermiddagspass i följd, ingen fridag efter natt. Se Tabell 8. Det finns visserligen en ledig dag efter natt men den räknas som återhämtnings-/sovdag, inte som fridag (författarens kommentar)

Tabell 7. Mätningresultat för förutsättning V.

Vecka	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
1	N	X	E	E	E	E	E
2	E	E	X	X	X	N	X
3	X	N	X	D	D	D	X
4	X	X	N	N	N	X	D
5	D	D	D	X	X	X	N

Tabell 8. Schemaförslag V – Alfa

4.3.2 Förutsättning VI 1

Tabell 9 beskriver resultatet från mätningen av förutsättning VI 1 och visar att 100 % av schemaförslagen är placerad på exakt överensstämmande plats och 100 % är placerade på relativt överensstämmande plats. Medelbetyget för förutsättning VI 1 är 2,2. Mätningen visar att bedömarens betyg och placering fullständigt överensstämmer med schemaförslagets fitnessvärden.

Schemaförslag	Algoritmen	Bedömaren		
	Fitnessvärde	Betyg	Placering	Omdöme
Beta	108,7	2	1	Bra utläggning av passen
Epsilon	101,3	2	2	Skulle fungera, möjligen en viss växling av eftermiddag och dagpass.
Gamma	84,7	2	3	Skulle fungera, möjligen en viss växling av eftermiddag och dagpass.
Delta	82,7	2	4	Skulle fungera, möjligen en viss växling av eftermiddag och dagpass.
Alfa	78,6	3	5	För många dagpass i följd. Se Tabell 10.

Tabell 9. Mätningresultat för förutsättning VI 1.

Vecka	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
1	N	N	X	X	E	E	X
2	D	D	D	X	X	D	D
3	D	D	D	D	D	X	X
4	X	X	X	D	D	X	E
5	E	X	N	N	N	N	X
6	X	E	E	E	X	X	N

Tabell 10. Schemaförslag VI 1 – Alfa

4.3.3 Förutsättning VI 2

Tabell 11 beskriver resultatet från mätningen av förutsättning VI 2 och visar att 25 % av schemaförslagen är placerad på exakt överensstämmande plats och 80 % är placerade på relativt överensstämmande plats. Medelbetyget för förutsättning VI 2 är 2,8. Tabellen visar att bedömarens betyg och placering i viss grad överensstämmer med schemaförslagets fitnessvärden.

Schemaförslag	Algoritmen	Bedömaren		
	Fitnessvärde	Betyg	Placering	Omdöme
Gamma	99,3	2	2	Bra förslag, dock ingen fridag efter natt
Epsilon	78,0	2	1	Viss förändring av nattpassens förläggning skulle göra förslaget riktigt bra.
Beta	52,0	3	4	Fungerar ej, dag efter natt., i övrigt ett bra förslag.
Alfa	43,3	3	3	Utläggning av "bryggpassen" bör ligga torsdag-lördag.
Delta	-6,0	4	5	För många nätter i följd. Se Tabell 12.

Tabell 11. Mätningresultat för förutsättning VI 2.

Vecka	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
1	E	E	E	E	X	D	D
2	X	D	D	B	B	B	X
3	X	X	B	X	D	E	X
4	D	X	E	E	X	E	X
5	N	N	N	N	N	N	N
6	X	X	X	D	E	X	E

Tabell 12. Schemaförslag VI 2 – Delta

4.3.4 Förutsättning IX

Tabell 13 beskriver resultatet från mätningen av förutsättning IX och visar att 100 % av schemaförslagen är placerad på exakt överensstämmande plats och 100 % är placerade på relativt överensstämmande plats. Medelbetyget för förutsättning IX är 3,2. Tabellen visar att bedömarens betyg och placering fullständigt överensstämmer med schemaförslagets fitnessvärden.

Schemaförslag	Algoritmen	Bedömarens		
	Fitnessvärde	Betyg	Placering	Omdöme
Delta	99,0	3	1	Ingen bra förläggning, många nattpass i följd, ingen fridag efter natt.
Gamma	76,3	3	2	Ingen bra förläggning, många nattpass i följd, ingen fridag efter natt.
Epsilon	47,0	3	3	Finns ingen helledig helg. Se Tabell 14.
Beta	23,0	3	4	Ingen bra förläggning, många nattpass i följd, ingen fridag efter natt.
Alfa	7,7	4	5	Ingen bra förläggning, många nattpass i följd, ingen fridag efter natt.

Tabell 13. Mätningresultat för förutsättning IX.

Vecka	Mån	Tis	Ons	Tors	Fre	Lör	Sön
1	X	D	D	E	X	X	N
2	N	X	D	D	D	D	X
3	D	D	X	N	N	N	N
4	X	N	X	D	D	X	D
5	D	X	N	N	X	D	D
6	E	E	X	X	E	E	E
7	E	E	E	X	B	B	X
8	N	X	E	E	E	E	E
9	X	N	N	X	N	N	X

Tabell 14. Schemaförslag IX - Epsilon.

4.3.5 Förutsättning XIV

Tabell 15 beskriver resultatet från mätningen för förutsättning XIV och visar att 0 % av schemaförslagen är placerad på exakt överensstämmande plats och 40 % är placerade på relativt överensstämmande plats. Medelbetyget för förutsättning XIV är 4,2. Tabellen visar att bedömarens betyg och placering i liten grad överensstämmer med schemaförslagets fitnessvärde.

Schemaförslag	Algoritmen	Bedömaren		
	Fitnessvärde	Betyg	Placering	Omdöme
Beta	160,0	5	3	För lite ledigt på helger.
Alfa	143,0	5	5	För lite ledigt på helger.
Delta	119,0	4	2	För lite ledigt på helger.
Epsilon	69,7	2	1	Skulle fungera, enda minus är dag efter natt.
Gamma	-28,3	5	4	För lite ledigt på helger.

Tabell 15. Mätningresultat för förutsättning XIV.

4.4 Sammanfattning av mätninganalys

Sammantaget visar de fem mätningarna att det finns ett samband mellan ett schemas fitnessvärde och graden av ergonomi. Antagandet som gjordes under rubriken *Mätningens fokus* på sidan 18 bekräftas i stor grad av bedömarens utvärdering vilken visar att ett ökat fitnessvärde generellt sett är analogt med ett mer ergonomiskt schema.

Analysen fokuserade på två saker, vilka nämnts ovan:

- Exakt överensstämmande placering
- Relativt överensstämmande placering

Diagrammet till vänster i Diagram 2 visar en sammanfattning av exakt överensstämmande placeringar för de fem mätningarna. Diagrammet visar att majoriteten (56 %) av bedömarens placeringar helt överensstämmer med fitnessvärdet från algoritmen. Majoriteten av de 44 % som inte är helt överensstämmande har en förskjutning på ± 1 vilket tyder på ett samband mellan fitnessvärde och grad av ergonomi.

Diagrammet till höger i Diagram 2 visar en sammanfattning av relativt överensstämmande placeringar för de fem mätningarna. Diagrammet visar att majoriteten (82 %) av bedömarens placeringar överensstämmer relativt med varandra. Trots att bedömaren inte placerat ett schema på exakt överensstämmande plats så har bedömaren, i 82 % av fallen, placerat ett bättre schemaförslag över respektive ett sämre schemaförslag under schemaförslaget som inte placerats på exakt överensstämmande placering. Även detta tyder på att det finns ett samband mellan fitnessvärde och grad av ergonomi.

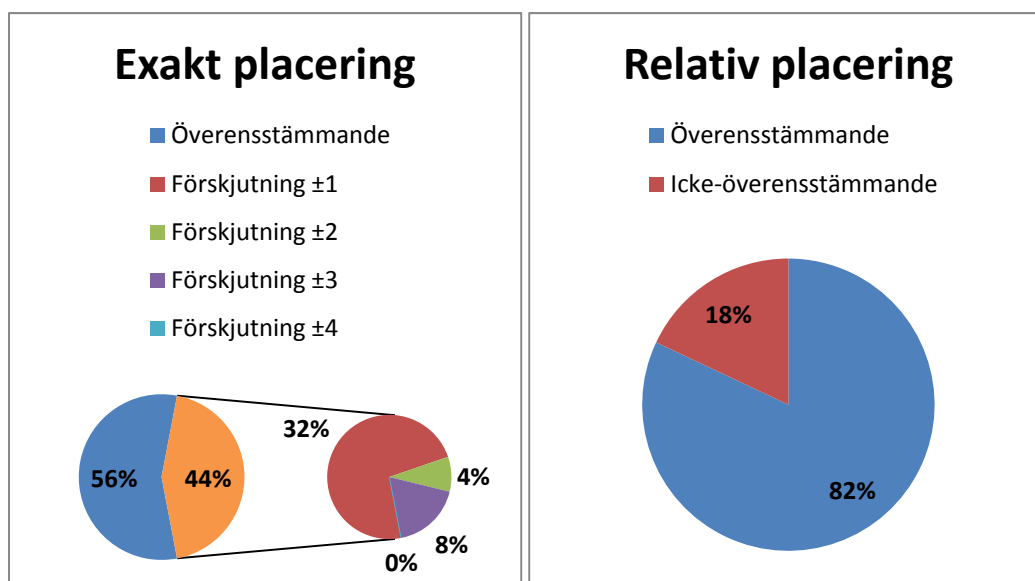


Diagram 2. Sammanfattning av mätningen

Mätningen visar även att algoritmen producerar sämre resultat ju längre cykeln är för schemat som genereras. Detta visas via två indikatorer, den första visas i Diagram 3 där medelbetygen för respektive förutsättning presenteras. Diagrammet visar här på en nedåtgående trend i förhållande till schemats cykellängd. Den andra indikatorn på att längre schemacyklar ger sämre resultat visas av de scheman som genererades till mätningen som är beskrivet under rubrik *Generering av scheman för mätning* på sidan 19. Diagram 4 visar hur många generationer varje schema genomgick (x-led) samt vilka fitnessvärden det resulterade i (y-led). För att kunna jämföra fitnessvärden från schemaförslag med olika förutsättningar har de normaliserats. Varje unikt schema representeras av en cirkel i den färg som representerar förutsättningen. Kvadraterna representerar medelvärden för de fem förutsättningarna. En placering högt upp till vänster i diagrammet är att föredra eftersom det är analogt med ett schema som genereras snabbt och med högt fitnessvärde. Det motsatta, det vill säga en placering lågt till höger i diagrammet är analogt med ett schema som tar lång tid att generera och som resulterat i ett lågt fitnessvärde. Noterat att endast olika färger, inte former, används för att skilja de olika förutsättningarna åt vilket leder till att diagrammet blir oläsbart utan färg.

Diagram 4 visar att de scheman med längre cykel generellt sätt är placerade nedåt och till höger om de schemana med kortare cykel. Beräkningar visar också att spridningen av resultaten från de genererade schemana är större ju längre cykel ett schema har vilket sannolikt beror på att lösningsrymden är större eftersom mängden kombinationer ökar ju längre cykel ett schema har.

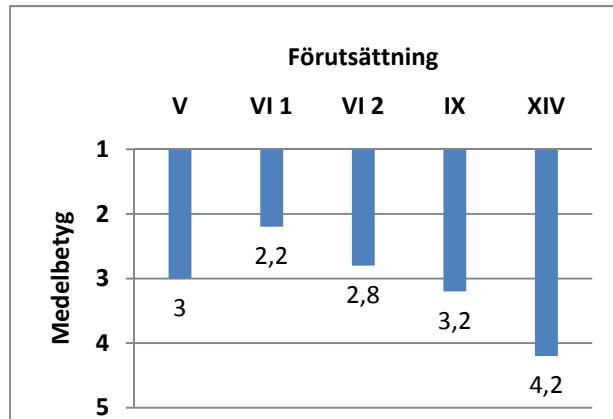


Diagram 3. Medelbetyg för de fem förutsättningarna.

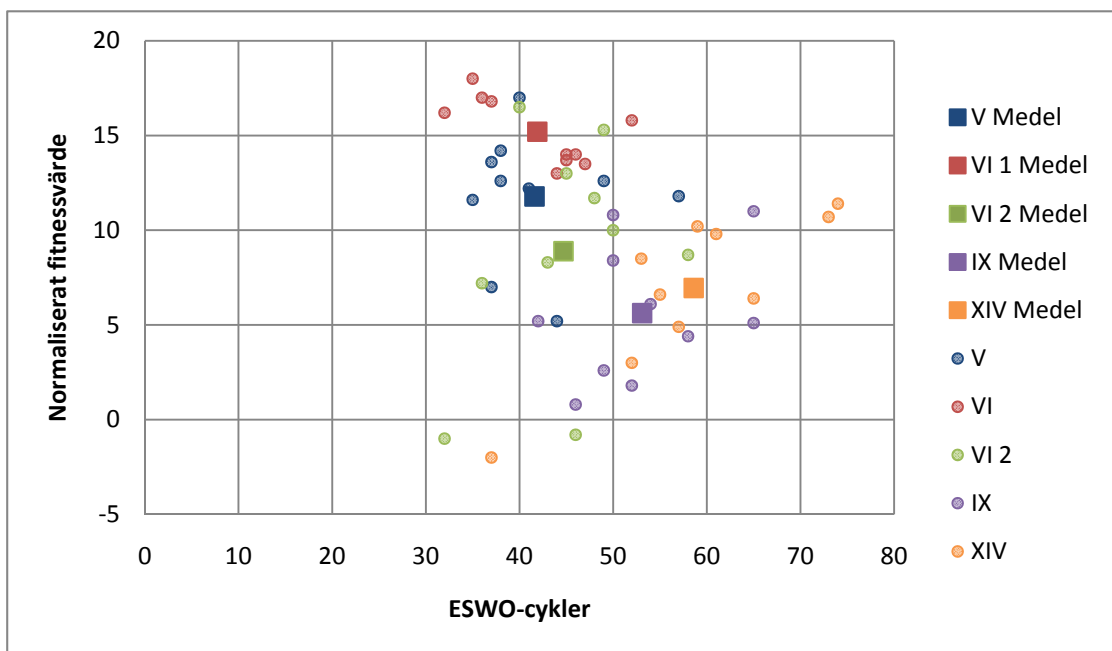


Diagram 4. Värden för samtliga genererade scheman.

5 Slutsatser

Den här sektionen består av tre rubriker som sammanfattar arbetet och presenterar de slutsatser som kan dras. Den första rubriken sammanfattar den producerade algoritmen samt resultaten av mätningen som genomförts. Den andra rubriken beskriver arbetet utanför problemformuleringen för att beskriva användningsområden med ett vidare spektra. Den tredje rubriken beskriver slutligen vilka framtida arbeten som är intressanta med utgångspunkt i det aktuella arbetet.

5.1 Resultatsammanfattning

Rapporten har beskrivit utvecklandet av en evolutionär schemalägningsalgoritm som fokuserar på ergonomi, det vill säga en algoritm som syftar till att generera arbetsscheman som gynnar personal genom förbättrad schemaläggning ur ett ergonomiskt perspektiv. Algoritmen som producerats är ett mycket flexibelt verktyg för schemaläggning som kan användas av en godtycklig 24/7-organisation. Anledningen till algoritmens generalitet ligger i att utgångspunkten för algoritmen är en arbetsbelastningsmatris som kan utformas till att representera personalbehovet hos en godtycklig 24/7-organisation. Scheman som algoritmen genererat visar också på att algoritmen till stor grad följer ergonomiska riktlinjer som t.ex. antal nattskift i följd, antal dagskift i följd samt återhämtning mellan arbetsblock.

Lämpligheten hos scheman som genereras av algoritmen representeras av ett fitnessvärde. Algoritmen strävar efter att genererar scheman med så höga fitnessvärden som möjligt. Mätningen som genomförts för att verifiera algoritmens duglighet som schemalägningsverktyg undersökte huruvida ett ökat fitness värde var analogt med ett mer ergonomiskt schema. Till mätningen genererades 25 schemaförslag till Polisen i Skövde vilka sedan bedömdes av en Polisinspektör ansvarig för planering. Resultatet från mätningen visar på ett tydligt samband mellan ökat fitnessvärde och ökad ergonomi. Eftersom algoritmen strävar efter att generera scheman med så höga fitnessvärden som möjligt blir det, i och med mätningens resultat, analogt med att algoritmen strävar efter att generera så ergonomiska scheman som möjligt.

Mätningen visade att arbetsscheman som genererats av algoritmen i stor grad kan anses som tillräckligt ergonomiska för att kunna appliceras praktiskt på en arbetsplats. Detta yrkande stöds av ett utlåtande från Polisinspektören som analyserat schemaförslagen. Utlåtandet lyder ”Min bedömning är att det borde gå att utveckla detta till fullt fungerande system för olika yrkeskategorier.”. Hela bedömningen från Polisinspektören finns att läsa i Bilaga 1.

Ytterligare en slutsats som går att dra från mätningen är att kvalitén på scheman som genereras av algoritmen i allmänhet blir sämre ju längre cykeln är på det genererade schemat. Denna slutsats stöds av fitnessvärden från algoritmen samt betygen från Polisinspektören.

5.2 Diskussion

Den stora styrkan hos algoritmen ligger i dess flexibilitet och förmåga att kunna användas som ett schemalägningsverktyg hos en godtycklig 24/7-organisation. Algoritmens flexibilitet gör att den inte bara är applicerbar på 24/7-organisationer utan även på affärer/butiker som inte har ett personalbehov dygnet runt. Algoritmens bidrag till schemalägningsprocessen hos en organisation kan vara att ta fram en mängd schemaförslag som används som utgångspunkter vid förhandling av

arbetsschema mellan företag och personal. Schemaförslagen kan med fördel genereras med olika arbetsbelastningsmatriser, som samtliga täcker det aktuella personalbehovet, för att på så sätt få ytterligare en ökad mångfald av schemaförslag att utgå från.

En av algoritmens svagheter ligger i strategin som styr hur evolutionen utvecklas och som även avgör när algoritmen ska avbryta. Strategin spelar en avgörande roll för algoritmens förmåga att nå höga fitnessvärden snabbt. En ineffektiv strategi kan göra att algoritmen inte når upp till sin potential vad det gäller fitnessvärden medan en effektiv och genomtänkt strategi kan göra att algoritmen inte bara når upp till sin potential utan även gör det snabbt.

En annan svaghet hos algoritmen är konstruktionssteget där ett inkomplett schema kompletteras till ett komplett och förbättrat schema. I nuvarande lösning kompletteras scheman genom att borttagna skift slumpmässigt sätts in, sedan analyseras schemat för att avgöra huruvida återinsättningen lett till ett förbättrat schema. Detta repeteras ett antal gånger varefter det bästa resultatet väljs. Detta är ett mycket tidskrävande steg eftersom schemat kompletteras och analyseras upp till 1000 gånger varje ESWO-cykel. En förbättrad metod för konstruktionssteget skulle sannolikt leda till att algoritmen blir effektivare tidsmässigt samt att scheman med längre cykel når högre fitnessvärden jämfört med den nuvarande lösningen.

5.3 Framtida arbete

För att testa algoritmens flexibilitet kan ett framtida arbete vara att algoritmen appliceras på en organisation som inte är verksam 24/7. Syftet med ett sådant arbete skulle vara att visa hur väl algoritmen lämpar sig till att generera arbetsscheman för en icke 24/7-organisation. Undersökningen behöver först fastställa hur väl en arbetsbelastningsmatris kan representera personalbehovet för en sådan organisation och sedan undersöka kvalitén på arbetsscheman som algoritmen genererar. Resultatet av det här framtida arbetet är mycket intressant eftersom det kan bekräfta, eller dementera, algoritmens flexibilitet och förmåga att appliceras på organisationer den inte från början var designad för.

För att åtgärda algoritmens evolutionsstrategiska svaghet behöver ett omfattande arbete genomföras. Anledningen till att arbetat sannolikt blir omfattande beror på antalet parametrar och därmed även antalet kombinationer av parametrar som behöver undersökas för att få fram ett intressant resultat. Ett arbete som fokuserar på strategin för evolutionen avgränsas dock till att endast innefatta de parametrar som direkt påverkar evolutionsstrategin, vilket inte innefattar alla justerbara parametrar.

Ett framtida arbete kan, till skillnad från arbetet med evolutionsstrategin, fokusera på de övriga parametrarna. Det vill säga de parametrar som används för att beräkna fitnessvärde. I den nuvarande lösningen har parametrarna tagits fram empiriskt för passa polisen i Skövde. Om algoritmens flexibilitet ska kunna utnyttjas till fullo behöver en metod utarbetas som beskriver hur nya parametrar kan tas fram på ett effektivt sätt för att anpassas till en godtycklig organisations unika förutsättningar och krav vad det gäller personalbehov och krav på arbetstider.

Ett annat framtida arbete kan syfta till att förbättra konstruktionssteget som är algoritmens nuvarande falkhals. En väl genomförd förbättring av det här steget kan resultera i en generell förbättring av algoritmens förmåga att generera scheman med höga fitnessvärden snabbt. En sätt att angripa problemet kan vara att återbygga det inkompleta schemat med hjälp av kända sekvenser av skift som är av bra kvalitet.

Genom att återbygga det inkompleta schemat med grupper av skift istället för enstaka skift är det möjligt att undvika kombinationer som inte är giltiga samtidigt som bra resultat nås snabbare eftersom kvalitén av de skiftgrupperna som används för återbyggnad är kända. För att kunna implementera en sådan lösning måste först en mängd skiftgrupper av hög kvalitet, med olika längder och olika skift, genereras för att ha något att bygga med. Sedan måste en metod skapas som kan identifiera mönster och avgöra var de fögenererade skiftgrupperna kan användas/placeras.

Ett ytterligare framtida arbete kan syfta till att vidareutveckla den producerade algoritmen genom att ytterligare specialisera den till polisen i Skövde. Ett sådant arbete skulle innebära att kriterierna som påverkar beräkningen av fitnessvärde justeras enligt den respons som Polisinspektören gett. En sådan justering skulle sannolikt resultera i en generell förbättring av framtida genererade schemaförslag för polisen i Skövde.

TACKSÄGELSE

Författaren vill tacka Polisinspektör Lennart Hultman vid Polisenheten Östra Skaraborg för att ha bidragit med sin tid och expertis till detta examensarbete.

Referenser

- Aickelin, U., Burke, E. K., & Li, J. (2009). An Evolutionary Squeaky Wheel Optimisation Approach to Personnel Scheduling. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation* , 13 (2), 433-443.
- Aickelin, U., Burke, E. K., & Li, J. (2006). Improved Aqueaky Wheel Optimisation for Driver Scheduling. i *Parallel Problem Solving from Nature (PPSN IX)* (Vol. 4193/2006, ss. 182-191). Heidelberg: Springer Berlin.
- Ashlock, D. (2006). *Evolutionary Computation for Modeling and Optimization*. Springer New York.
- Buckland, M. (2002). *AI Techniques For Game Programming*. Cincinnati: Premier Press.
- Burke, E. K., Petrovic, S., & Qu, R. (2006). Case-based heuristic selection for timetabling problems. *Journal of Scheduling* , 9 (2), 115-132.
- Clements, D. P., Crawford, J. M., Joslin, D. E., Nemhauser, G. L., Puttlitz, M. E., & Savelsbergh, M. W. (1997). Heuristic optimization: A hybrid AI/OR approach. *Proceedings of the Workshop on Industrial Constraint-Directed Scheduling* .
- Costa, G. (2003). Shift work and occupational medicien: an overview. *Occupational Medicine* , 53 (2), 83-88.
- Ernst, A. T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., & Sier, D. (2004). Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research* , 153 (1), 3-27.
- Europaparlamentet. (den 18 11 2003). Europaparlamentets och rådets direktiv 2003/88/EG. *Europeiska unionens officiella tidning* (L 299), ss. 0009-0019.
- Hoong, C. L. (1996). On the complexity of manpower shift scheduling. *Computers & Operations Research* , 23 (1), 93-102.
- Hälso- och sjukvårdslag (1982:763). i *Svea Rikes Lag*.
- Joslin, D. E., & Clements, D. P. (1999). "Squeaky Wheel" Optimization. *Journal of Artificial Intellegens Research* , 10, 353-373.
- Knauth, P. (1996). Designing better shift systems. *Applied Ergonomics* , 27 (1), 39-44.
- Knutsson, A. (2003). Health disorders of shift workers. *Occupational Medicine* , 53 (2), 103-108.
- Laporte, G. (1999). The art and science of designing rotating schedules. *Journal of the Operational Research Society* , 50 (10), 1011-1017.
- Miller, J. C. (2008). Fundamentals of Shiftwork Scheduling. *Ergonomics in Design* , 16 (3), 13-17.
- Musliu, N., Gärtner, J., & Slany, W. (2002). Efficient generation of rotating workforce schedules. *Discrete Applied Mathematics* , 118 (1-2), 85-98.
- Polislag (1984:387). i *Svea Rikes Lag*.
- Relish Games. (2007). *hge 1.8*. Hämtat från hge.relishgames.com

Weiss, M. A. (2006). *Data Structures and Algorithm Analysis in C++* (Third Edition appl.). Boston: Pearson Addison-Wesley.

Åkerstedt, T. (1998). Shift work and disturbed sleep/wakefulness. *Sleep Medicine Reviews*, 2 (2), 117-128.

Bilaga 1 – Omdöme från polisen i Skövde

Samtliga scheman är genomgångna och bedömde ut ifrån ett polisiärt sätt att se på tjänstgöringslistor.

Flera av förslagen skulle med vissa små förändringar vara var möjlig att använda vid upprättande av tjänstgöringslistor.

Det vi utgår ifrån när vi gör listor är hur man lägger ut tiden över dygnet, fridagar minst 104 /år, varav 45 skyddade fridagar som ska ligga fredag-måndag.

Veckovila om 36 timmar samt 11 timmar mellan passen.

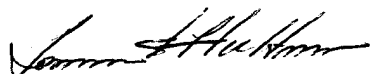
Inga pass längre än 9 timmar, kan få ske vid några enstaka tillfällen.

Samt en av de viktigaste delarna är ledighet på helger.

Uppdraget att få följa detta specialarbete har varit intressant eftersom det är ett nytt sätt att upprätta arbetsscheman.

Min bedömning är att det borde gå att utveckla detta till fullt fungerande system för olika yrkeskategorier.

Skövde 2010-05-04



Lennart Hultman

Polisinspektör/planerare

Polisenheten Östra Skaraborg.