Hermun skautaskála hjá Ísáli

Gunnarr Baldursson & Ragnar Gísli Ólafsson

Apríl 2011

Útdráttur

Ble! Abstract

Efnisyfirlit

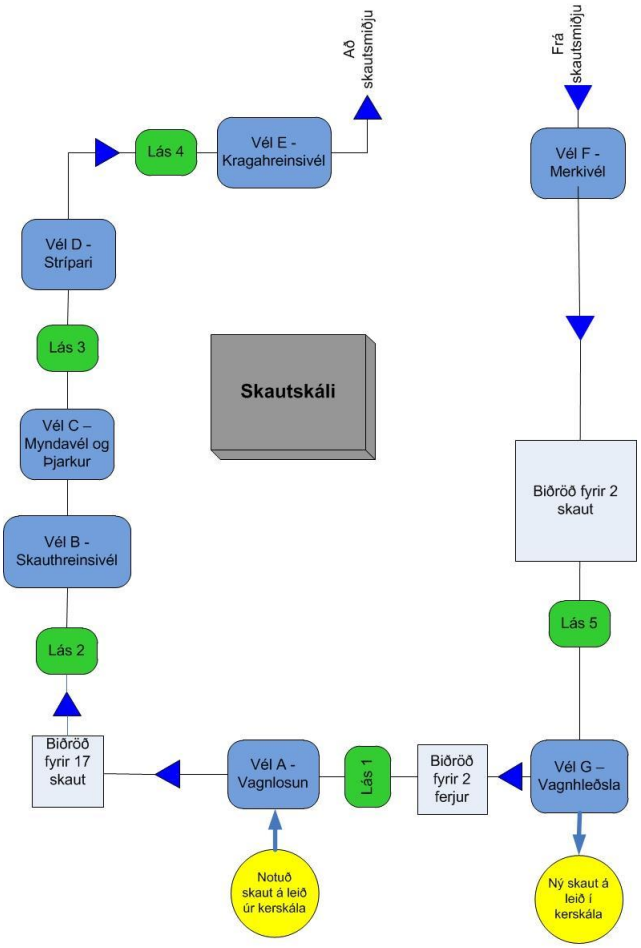
1 Inngangur

Alcan á Íslandi hf., betur þekkt sem Ísál, er hluti af Rio Tinto Alcan, fjölþjóðlegu fyrirtæki sem er stærsti álframleiðandi í heimi. Ísal rekur álverið í Straumsvík sem er ellefta stærsta álverið innan samsteypunnar. Framleiðslugetan er um 185 þúsund tonn og starfsmennirnir eru um 450; vélvirkjar, verkfræðingar, stóriðjugreinar, rafvirkjar, verkafólk, tæknifræðingar, málarar, skrifstofufólk, bifvélavirkjar, viðskiptafræðingar, múrarar, matreiðslumenn, rafeindavirkjar, smiðir o.fl

Ísal rekur þrjá kerskála þar sem að svonefnd skaut eru notuð til rafgreiningar áls. Kerin eru númeruð frá 1001 til 3160 þar sem fyrsta talan stendur fyrir númer skála, og næstu þrjár númer kers í skálanum. Hvert ker hefur 24 skaut sem að slitna með tímanum. Þess vegna þarf að skipta um þau á 26 til 30 daga fresti en það er mismunandi eftir skálum. Skáli 3 hefur stærri skaut og hærri straum, 165 kA og þar endast skaut í 26 daga. Skálar 1 og 2 hafa lægri straum, 133 kA og minni skaut sem að endast í 30 daga. Daglega þarf að skipta út um það bil 404 skautum.

Í kerskála er unnið á þremur vöktum allan sólarhringinn alla daga vikunnar og fer fram skautskipting á hverri vakt. Hver vakt nemur 8 klukkustundum, næturvaktin byrjar á miðnætti, dagvaktin klukkan átta og kvöldvaktin klukkan fjögur. Hver vakt skiptir því um $404/3 = 104$ skaut. Starfsmenn kerskála taka brunnin skaut úr kerum og setja ný skaut í kerin í staðinn. Síðan kemur starfsmaður skautskálans og nær í brunnu skautin sem bíða á vögnum í kerskálanum og flytur þau á sérstakan kæligang. Þar skilur hann þau eftir og nær í staðinn í brunnin skaut sem eru orðin köld og fer með þau í skautskála til hreinsunar. Í hvert skipti sem starfsmaður skautskála sækir brunnin úr kerskála kemur hann með ný skaut. Því er alltaf jafn fjöldi vagna sem fer inn í skautskálann og út úr honum.

Skautin eru flutt á tveimur tengdum vögnum með 12-14 skautum á í einu. Ferðir frá skautskála til kerskála eru aðeins farnar á dagvöktum og kvöldvöktum. Skaut sem þarf að nota á næturna eru því keyrð til kerskála á dag - og kvöldvöktum. Meðaltal fjölda ferða frá skautskala til kerskála eru



Mynd 1: Ferli skautskála

um það bil 30 á sólarhring, eða 15 á vakt. Skautskáli reynir að framleiða þann fjölda skauta sem nemur skautafjölda tveggja vakta hjá kerskála á hverri vakt, og er því tveimur vöktum á undan.

Fræðileg hámarks afkastageta skautskála eru 52 skaut á klukkustund en vegna bilanna er afkastageta á hverri vakt í besta falli um það bil 40 skaut á klukkustund. Skálinn er framleiðslulína sem að samtímis tekur skautleifar af vögnum og hreinsar ásamt því að taka á móti nýjum skautum og setja á vagnanna. Lestun nýrra skauta og losun brunninna skauta er samtengt ferli, ef ekki er hægt að taka brunnin skaut af vagni þá er heldur ekki hægt að setja ný skaut á vagn.

Framleiðsluferli skautskála hefst þegar skautleifar koma á vögnum að vél A, sem að hífir þær af vögnum. Eftir það fara þær í gegnum vélar B til E þar sem að leifarnar eru hreinsaðar þannig að gaffallinn stendur einn eftir. Gaffallinn heldur síðan áfram inn í aðra byggingu sem að nefnist skautsmiðja, þar sem hann er skoðaður, réttur af og sandblásinn áður en hann fer í steypun þar sem að ný kol eru steypt við hann. Þá er hann tilbúinn sem nýtt skaut. Þegar þessu ferli er lokið kemur skautið að vél F þar sem það er merkt og sent til vélar G. Vél G lestar skautið á vagn, sem er síðar keyrður til kerskála. Þetta ferli er lýst á Mynd 1.

Skautið er tekið inn í ferlið þannig að það er hengt á ferju sem að er dregin áfram af keðju, sem að fer í gegnum allan skautskálann og inn í skautsmiðjuna og til baka. Ferlið er raðgengt svo ef vélr er að afgreiða skaut þarf skautið á eftir að bíða þangað til að vélin hefur lokið sér af. Til að stýra þessu flæði eru svokallaðir lásar staðsettir með regulegu millibili á keðjunni og kúpla þeir ferjum út til að stöðva þær. Þannig geta sum skaut verið á hreyfingu á meðan önnur eru kyrrstæð því að keðjan sjálf stöðvar ekki nema slökkt sé á henni handvirkt. Á bak við sumar vélar eru biðraðir en þar bíða skaut eftir afgreiðslu ef að vélin er upptekin. Lása og biðraðir má sjá á Mynd 1. Lásar á undan fullum biðröðum mega ekki sleppa sýnum skautum þangað til að það rúmast til í röðinni. Skaut geta ekki farið framhjá vélum þannig að ef að vél bilar lengi og röð hennar fyllist heldur sá lás sem kemur þar á undan sýnu skauti föstu og þannig koll af kolli. Þannig getur löng bilun stöðvað skautahreinsiferlið

í einhvern tíma þó að keðjan sem ber ferjurnar haldi áfram keyrslu. Hún er þá eins og bílvél með einhvern snúningshraða sem er í hlutlausum gír.

Það er nokkuð slembið hvaða vélar stoppa nema vél F sem að bilar nánast aldrei. Þegar stærri bilanir eiga sér stað þarf að kalla út viðgerðarmenn en í flestum tilfellum tekur það 5 til 30 mínútur að koma bilaðri vél aftur af stað. Skakkt skaut í vél flokkast sem bilun og þá þarf starfsmaður að bakka því út úr vélinni, leiðrétta það og senda inn aftur. Svoleiðis atvik eiga sér stað nokkrum sinnum á sólarhring og er helsta ástæða þess að afköst skautskála nema um það bil 40 skautum á klukkustund. Ef viðgerðartímar eru þeim mun lengri á einhverri vakt þá þarf vaktin sem kemur á eftir að vinna upp framleiðslutapið. Skautskáli keyrir aðeins á dagvöktum og kvöldvöktum.

Framkvæmdir eru hafnar við að auka strauminn í kerum 1 og 2 sem veldur dræmri endingartíma skauta, og koma þau þá til með að endast í 26 til 28 daga eftir straumhækkun. Gerð verður sú nálgun að alltaf sé nóg til af nýjum skautum í skautsmiðju sem koma að vél F. Verkefnið er að herma ferli skautskála með eftirfarandi vangaveltur í huga:

1. Hversu mikið af töfum (í mínútum talið) þolir skautskálinn til að ná lágmarksafköstum?
2. Er það ráðlegt að stækka biðraðir eða bæta við biðröðum?
3. Hve miklu munar það fyrir ferlið ef að starfsmenn koma vélum af stað eins fljótt og þeir geta?
4. Ef tafir eru litlar, hvenær hefur vakt náð lágmarksafköstum?
5. Hversu fljótur er skálinn að vinna upp langar viðgerðatafir?
6. Hvaða áhrif hefur hækkun straums á ferlið?

2 Niðurstöður

3 Forsendur og Líkan

Til að komast að niðurstöðum smíðuðum við líkan sem að hermir eftir ferli skautskála. Í næstu undirgreinum er forsendum líkansins lýst.

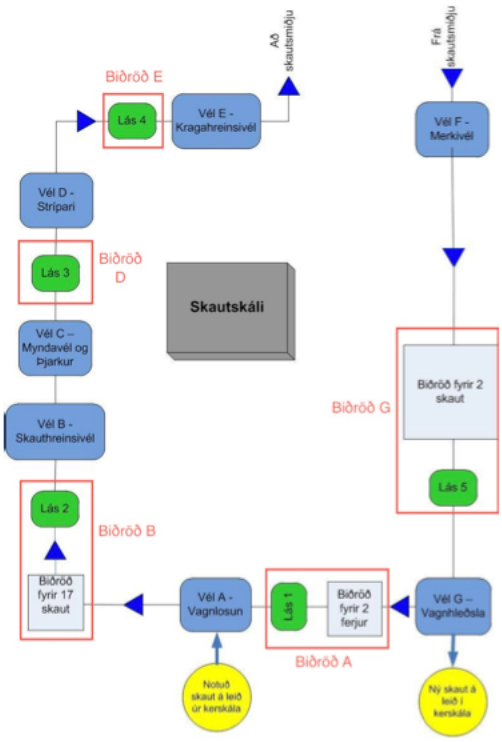
3.1 Umskipting skauta og afköst Skautskála

- Fyrir straumhækkun þá þarf að skipta um skaut í skálum 1 og 2 á 30 daga fresti, og í skála 3 á 26 daga fresti. Það gerir $\frac{24 \cdot 160}{26} + \frac{24 \cdot 160}{30} + \frac{24 \cdot 160}{30} = 403.69$ skaut á dag, þar sem að allir skálar hafa 24 skaut í í hverju keri og 160 ker eru í hverjum skála. Nefnararnir í formúlunni eru endingadagar skauta í viðeigandi kerskála. Sú tala er námunduð upp í 404 skaut á dag og eru það lágmarksafköst skautskála.
- Eftir straumhækkun þarf að skipta um skaut í öllum skálum á 26 daga fresti. Það gerir $\frac{24 \cdot 160}{26} + \frac{24 \cdot 160}{26} + \frac{24 \cdot 160}{26} = 443.07$ skaut á dag. Sú tala er námunduð upp í 444 skaut á dag og er það lágmarks afkastageta skautskála eftir straumhækkun.
- Fræðileg hámarksafköst skála eru 52 skaut á klst, eða $16 \cdot 62 = 832$ skaut á sólarhring (Skautskálinn starfar aðeins í tvær vaktir, eða 16 klukkustundir á sólarhring).
- Raunveruleg hámarksafköst skála eru 40 skaut á klst, eða $16 \cdot 40 = 640$ skaut á sólarhring (Skautskálinn starfar aðeins í tvær vaktir, eða 16 klukkustundir á sólarhring).

3.2 Bilanir

Samkvæmt verkefnislýsingunni [1] er það nokkuð slembið hvaða vélar bila, að vél F undanskilinni, og að bilanir eiga sér stað nokkrum sinnum á vakt. Gildið á tölunni *nokkrum sinnum* er illa skilgreint en höfundar sammæltust um töluna 8. Fyrir flestar bilanir er viðgerðartíminn 5 til 30 mínútur. Í einhverjum tilfellum þarf að ræsa út viðgerðarmann ef um stórar bilanir er að ræða og slíkar bilanir geta varað í nokkrar klukkustundir. Engin önnur gögn liggja fyrir um bilanir eða tíðni þeirra og þar sem að gögnin eru ekki nákvæmari voru eftirfarandi forsendur gefnar:

- Allir viðgerðartímar liggja á bilinu 5 til 30 mínútur.
- Viðgerðartímar eru veldisdreyfðir þannig að mestar líkur eru á viðgerð taki 5 mínútur og minnstar líkur eru á 30 mínútuna viðgerð. Þar sem að bilanir og tafir vegna skakkra skauta í vélum má flokka undir sama hatt þykir höfundum líklegast að um slíkar tafir sé að ræða frekar en vélræna bilun.



Mynd 2: Einingar líkans

- Tímasetningar bilana á sólarhring eru uniform dreifðar.
- Ef að vél A eða G bila eru engar ferðir farnar frá Skautskála til Kerskálanna meðan á viðgerð stendur.

3.3 Einingar og undirkerfi

Þættir skautskála eru dregnar saman í undirkerfi eins og sjá má á eftirfarandi töflu:

Eining	**Þættir**	**Hlutverk**
A	Vél A, 14 skauta biðröð í formi vagna	Vagnlosun
B	Vél B, biðröð og lás sem geyma 17 skaut	Skauthreinsivél
C	Vél C	Myndavél og Þjarkur
D	Vél D, einn lás	Strípari
E	Vél E, einn lás	Kragahreinsivél
F	Vél F, einn lás	Merkivél
G	Vél G, biðröð fyrir 2 skaut	Vagnhleðsla

Þessu er lýst á Mynd 2. Vélar B og C geta unnið tvö skaut í einu. [1]

Þegar Mynd 2 er skoðuð má sjá að hægt er að skipta Skautskála upp í tvo helminga sem hefur hvor sitt inntak og sitt úttak. Inntak í vinstri helming kemur frá vél A, og úttak hans fer frá vél E. Inntak í hægri helming kemur frá vél F, en sú nálgun er gerð að þar sé ávallt nóg af nýjum skautum að taka, og úttak þess helmings er vél G, sem að hleður nýju skautunum á vagna. Við heimsókn í Ísal [3] kom fram að bilanir og tafir megi sjaldnast rekja til hægri helmingsins. Þar eru aðeins tvær vélar meðan vinstri hliðin hefur fimm vélar sem að vinna flóknari verk. Af þeim ástæðum er vél F undanskilin hermun. Vél G getur bilað, og ef það gerist stöðvar lestun og losun skauta um þann tíma sem það tekur að gera við bilunina.

Þegar vagn kemur með skautaleyfar til vélar *A* bíður hann á meðan leyfarnar eru hýfðar af honum. Því næst er hann er hann hlaðinn með nýjum skautum [1]. Gert er ráð fyrir því að fjöldi skautaleyfða sem hýfðar eru af vagni og fjöldi nýrra skauta sem lestuð eru á vagn sé um það bil sá sami.

3.4 Vélar og vinnslutímar

Vinnslutími vélar er sá tími sem líður milli þess að skaut kemur að lausri vél og fer frá vélinni aftur. Færslutími er sá tími sem líður milli þess að skaut fer frá vél og kemur að næstu vél. Þeir eru reiknaðir út samkvæmt gagnaskjali, [2]. Þar sem að vélar B og C geta unnið tvö skaut í einu er vinnslutími þeirra helmingaður.

Vél	**Vinnslutími**	**Færslutími**
A	70	129.83
B	21.798	122.83
C	12.7	18.98
D	67.41	22.74
E	69.75	0

3.5 Atburðir og kjarnavirkni líkans

Líkanið er atburðadrifið: einhver atburður á sér stað sem að getur skrásett annan atburð og þannig koll af kolli þangað til að keyrslu er lokið. Kjarni líkansins er atburðavinnslan sjálf, hvernig það bregðast skal við þeim atburðum sem að skilgreindir eru. Eftirfarandi atburði skal skilgreina:

- Vagn kemur með brunnin skaut að vél A
- Skaut kemur að vél
- Skaut fer frá vél
- Vél bilar
- Vél löguð
- Endir upphitunartíma
- Endir hermunar

Næstu undirgreinar útskýra hvernig bregðast þarf við þessum viðburðum.

Vagn kemur með brunnin skaut

Vagnar sem koma með hrein skaut geta flutt 12 til 14 skaut saman lagt og er það uniform dreifð slembitala. Fyrir hvert skaut þarf að framkalla atburðinn *skaut kemur að vél*, þar sem að vélin er vél *A*. Hver slíkur atburður þarf að innihalda eftirfarandi gögn:

- Tímasetningin þegar atburðurinn á sér stað
- Staðsetning skauts í ferlinu
- Tímasetningin þegar skautið kemur fyrst í kerfið
- Raðnúmer skauts

Loks þarf að skrásetja annan *vagn kemur með brunnin skaut* atburð. Þar sem að vagnar koma á um það bil 32 mínútna fresti að meðaltali á dag, meðan unnið er í Skautskála [1], er eðlilegt að koma þeirra sé uniform slembitala milli 28 og 30. Ef að vélar *A* eða *G* eru bilaðar þarf að fresta komu næsta vagns um þann tíma sem það tekur við að gera við vélarnar af því að vagnlosunin og lestun eru samtengd ferli [1].

Skaut kemur að vél

Þegar skaut kemur að vél þarf að huga að ýmsu.

- **Er vélin upptekin?**
  Ef að vélin er laus skal merkja að skautið hafi fengið þjónustu umsvifalaust. Svo skal skrásetja *Skaut fer frá vél* atburð sem að inniheldur tímasetningu brottfarar og vél sem að farið er frá. Annars skal vista komutíma skauts og setja það í röð þeirrar einingar sem skautið kemur að, ef einhver er.
- **Hefur vélin röð og ef svo er, er röðin full?**
  Ef að vélin hefur enga röð eða röðin er full þarf að fresta komu þessa skauts, lásinn sem að heldur því má í rauninni ekki sleppa því þangað til að það rúmast til í röðinni.
- **Er vélin biluð?**
  Ef að vélin er biluð þarf að fresta þessum atburði um þann tíma sem að samsvarar viðgerðartímanum.

Skaut fer frá vél

Þegar *skaut fer frá vél* atburður er meðhöndlaður hefur vél unnið sitt verk á skautinu.

- Ef að vélin sem skautið fer frá er biluð þarf að fresta atburðinum um þann tíma sem það tekur að gera við vélina.
- Ef að vélin sem skautið fer frá er vél E þarf að hækka teljara sem telur hversu mörg skaut hafa farið frá vél A til E. Sú forsenda var gerð að fjöldi skautaleyfa sem losuð eru af vögnum við A sé um það bil sá sami og fjöldi nýrra skauta sem lestuð eru við G má hækka þennan teljara um tvo. Annars skal skrásetja *Skaut kemur að vél* atburð frá núverandi vél sem á að meðhöndla eftir færslutímann að næstu vél.
- Ef að röð vélarinnar sem farið er frá er ekki tóm þarf að vinna fremsta skautið í vélinni, halda utan um hve lengi skautið þurfti að bíða eftir þjónustu og skrásetja þá *Skaut fer frá vél* atburð eftir vinnslutíma vélarinnar.

Vél bilar

Þegar að vél bilar þarf að merkja hana bilaða, áætla viðgerðartíma fyrir hana og skrásetja *Vél löguð* atburð eftir viðgerðartímann. Sjá undirgrein 3.2 fyrir umfjöllun um bilanir að ofan.

Vél löguð

Þegar að biluð vél er löguð þarf að merkja vélina lagaða, svo að hún valdi ekki lengur töfum í ferlinu.

Endir upphitunartíma

Nú þarf að endurstilla skautateljara og ýmsar tölfræðibreytur sem að halda utan um tafir raða og nýtni véla.

Endir hermunar

Nú þarf að prenta út skýrslu á skjá eða í skjal með niðurstöðum hermunar.

4 Sannreyning Líkans

Heimildir

[1] Starfsmaður Ísal, *HermunIsal_2011_r2.pdf*. 2011.

[2] Starfsmaður Ísal, *Millitimar.xls*. 2011.

[3] *Heimsókn til Ísal*. 21. mars 2011.

5 Viðauki

5.1 Líkanið í forritunarmálinu C

```
1  /*
2   *  isal.c
3   *
4   *
5   *  Created by Gunnarr Baldursson & Ragnar Gisli Olafsson on 4/18/11.
6   *  Copyright 2011 Haskoli Islands. All rights reserved.
7   *
8   */
9
10 #include <stdio.h>
11 #include <string.h>
12 #include <stdlib.h>
13 #include <math.h>
14 #include "simlib/rndlib.h"
15 #include "simlib/simlib.h"
16
```

```
17 // EVENTS
18 #define EVENT_WAGEN_UNLOAD_ARRIVAL  1
19 #define EVENT_WAGEN_UNLOAD_DEPARTURE 2
20 #define EVENT_SKAUT_ARRIVAL 3
21 #define EVENT_SKAUT_DEPARTURE 4
22 #define EVENT_MACHINE_FAILURE 5
23 #define EVENT_MACHINE_FIXED 6
24 #define EVENT_END_SIMULATION 7
25 #define EVENT_END_WARMUP  8
26
27 // STREAMS
28 #define STREAM_WAGEN_ARRIVAL 1
29
30 //Other constants
31 #define NUM_MACHINES 7
32 #define WAGEN_LOAD 14
33 #define MACHINES_ON_THE_LEFT_SIDE 5
34 #define MACHINES_ON_THE_RIGHT_SIDE 2
35 #define OPTIMAL_THROUGHPUT 52
36 #define ACTUAL_THROUGHPUT 40
37 #define TRANSFER_ARRAY_LENGTH 11
38 #define PREP_TIME 20.0
39
40 typedef struct
41 {
42     float failtime;
43     float downtime;
44     int machine_nr;
45 } breakdown;
46
47
48 //#define LOADING_TIME_PER_SKAUT
49
50 // Global variables
51 int number_of_machines, min_productivity, min_no_failures, max_no_failures,
       skaut_throughput;
52 float mean_wagen_arrival, std_wagen_arrival, mean_failures, std_failures,
       min_machine_repair_time, max_machine_repair_time, end_warmup_time,
       end_simulation_time;
53
54
55 int sampst_delays, throughput_time; // variable for queue delays and throughput
       time
56
57 int skaut_id, stream, failure_nr;
58 int queue_size[NUM_MACHINES +1];
59 float machine_broken[NUM_MACHINES +1];
60 breakdown *fail_list;
61 int fail_index;
62
63 int is_machine_busy[NUM_MACHINES +1],
64     queue_size[NUM_MACHINES +1];
65
66 float work_time[NUM_MACHINES + 1],
67     transfer_time[NUM_MACHINES +1]; // +1 is the less preferable simlib
          indexing scheme
68
69
70 float temp_transfer[TRANSFER_ARRAY_LENGTH];
71
72 FILE *infile, *outfile;
73
74 /* Function signatures */
75
76 // Usage: create_machine_fail_events(number_of_failures)
77 // Pre:   init_twister must be called for random number generation
78 // Post:  scheduled events have been created for machines
79 void create_machine_fail_events(int);
80
81
```

```
82 // Usage: push_array();
83 // Pre:   we expect that correct values are in transfer array
84 // Post:  our temp_transfer array now has the values in transfer_array
85 void push_array();
86
87 // Usage: pop_array();
88 // Pre:   we expect that correct values are in transfer_temp array
89 // Post:  our transfer array now has the values in transfer_temp
90 void pop_array();
91
92 // Usage: wagen_arrival();
93 // Pre:   EVENT_WAGEN_UNLOAD_ARRIVAL is the next event to be processed
94 // Post:  14 EVENT_SKAUT_ARRIVAL events are next to be processed on the event
       list.
95 void wagen_unload_arrival();
96
97 // Usage: skaut_arrival();
98 // Pre:   EVENT_SKAUT_ARRIVAL is the next event to be processed
99 // Post:  a skaut has been processed by a machine or put in it's queue.
100 //      subsequent events may have been scheduled
101 void skaut_arrival();
102
103 // Usage: skaut_departure();
104 // Pre:   EVENT_SKAUT_DEPARTURE is the next event to be processed
105 // Post:
106 void skaut_departure(); // do we need an event for departure?
107
108 // Usage: machine_failure();
109 // Pre:   EVENT_MACHINE_FAILURE is the next event to be processed
110 // Post:
111 void machine_failure();
112
113 // Usage: machine_fixed();
114 // Pre:   EVENT_MACHINE_FIXED is the next event to be processed
115 // Post:
116 void machine_fixed();
117
118 // Usage: end_warmup();
119 // Post:  SIMLIB statistical variables have been cleared
120 void end_warmup();
121
122 // Usage: parse_input(input_filename_data,input_filename_time);
123 // Pre:   input_filename_data,input_filename_time of type char[],
124 //      global variables from the input file exist.
125 // Post:  the global variables were assigned values from input_filename,
126 //
127 void parse_input(char[] ,char[]);
128
129 // Usage: x = N(muy, sigma, stream);
130 // Pre:   muy and sigma are of type float
131 //      stream is of type int
132 // Post:  x is a random gaussian distributed variable of type float
133 //      with mean muy and std sigma
134 float N(float muy, float sigma, int stream);
135
136 // Usage: report("the_report.out");
137 // Pre:   the values to be reported have values
138 // Post:  a report on program values and simlib statistics
139 //      have been APPENDED to "the_report.out"
140 void report();
141
142 // Usage: schedule_failures(i);
143 // Pre:   the global variable end_simulation_time has a value, i is of type int
144 // Post:  i failures have been scheduled uniformly on machines
145 //      with ?random? repair times on the interval [min_machine_repair_time,...
       max_machine_repair_time]
146 //      uniformly distributed over the interval 0...end_simulation_time
147 void schedule_failures(int i);
148
149 void queue_is_full();
```

```
150
151 int main()
152 {
153 // load datafiles
154     parse_input("adal_inntak.in","velar_og_bidradir.in");
155
156     // initialize arrays and variables
157     if((fail_list = malloc(sizeof(breakdown)*max_no_failures))==NULL) {
158   printf("Allocation Error\n");
159   exit(1);
160     }
161
162
163
164     int b;
165     int stream = 31415;
166 /*     for (b=1; b <= number_of_machines; b++) {
167   printf("transfer_time[%d] = %f\n", b,transfer_time[b] );
168   printf("busy %d broken %f \n",is_machine_busy[b],machine_broken[b]);
169   }*/
170     // We perform simulation for "a few" failures per day
171
172     for (failure_nr = min_no_failures; failure_nr < max_no_failures; failure_nr
          ++) {
173
174   memset( is_machine_busy,0, NUM_MACHINES +1 );
175   memset( machine_broken,0, NUM_MACHINES +1);
176   memset( fail_list,0, sizeof(breakdown)*max_no_failures);
177   fail_index = 0;
178   skaut_throughput = 0;
179   sampst_delays = number_of_machines +1;
180   throughput_time = number_of_machines +2;
181
182
183   skaut_id = 1;
184   skaut_throughput = 0;
185   stream+=3;
186
187   // Initialize rndlib
188   init_twister();
189
190   // Initialize simlib
191   init_simlib();
192
193   maxatr = 6; // how many attributes do we need?
194
195   /* Schedule machine breakdown time */
196   create_machine_fail_events(failure_nr);
197
198   /* Schedule first wagen arrival */
199   //transfer[3] = 1.0;
200   event_schedule( 10.0, EVENT_WAGEN_UNLOAD_ARRIVAL );
201
202   /* Schedule end of warmup time */
203   event_schedule( end_warmup_time, EVENT_END_WARMUP );
204
205   /* Schedule simulation termination */
206   event_schedule( end_simulation_time, EVENT_END_SIMULATION );
207
208   next_event_type = 0;
209
210
211
212   while (next_event_type != EVENT_END_SIMULATION) {
213
214       timing();
215       /*                    printf("event_type = %d, transfer[3] = %f\n",
          next_event_type, transfer[3]);
216           int k;
217           for (k = 1; k <= number_of_machines; k++)
```

```
218             printf("Items in machines/queues %d:  %d, %d\n", k, list_size[k],
                    list_size[number_of_machines +k]);
219             printf("\n");
220         */
221
222
223         switch (next_event_type) {
224         case EVENT_WAGEN_UNLOAD_ARRIVAL:
225       wagen_unload_arrival();
226       break;
227         case EVENT_SKAUT_ARRIVAL:
228       skaut_arrival();
229       break;
230         case EVENT_SKAUT_DEPARTURE:
231       skaut_departure();
232       break;
233         case EVENT_MACHINE_FAILURE:
234       machine_failure();
235       break;
236         case EVENT_MACHINE_FIXED:
237       machine_fixed();
238       break;
239         case EVENT_END_WARMUP:
240       end_warmup();
241       break;
242         case EVENT_END_SIMULATION:
243       report();
244       break;
245         }
246     }
247       }
248 }
249
250 void wagen_unload_arrival()
251 {
252
253       int i;
254       int current_unit = 0;
255       float wagen_arrival_zeit = unirand((mean_wagen_arrival-std_wagen_arrival)
              *60.0,(mean_wagen_arrival+std_wagen_arrival)*60.0,stream);
256
257       for (i = 1; i<NUM_MACHINES+1; i++) {  //delay unload of skaut by the time
              it takes to repair
258       if (machine_broken[i] > 0.0) {
259         event_schedule(sim_time + machine_broken[i], EVENT_WAGEN_UNLOAD_ARRIVAL);
260         return;
261       }
262       }
263
264       if (list_size[number_of_machines + 1] != 0) { // ef allt er enn fullt Ã¿Ãą
              koma meÃř nÃęsta vagn eftir uÃ¿b hÃąlftÃąma
265     event_schedule(sim_time + wagen_arrival_zeit, EVENT_WAGEN_UNLOAD_ARRIVAL);
266     return;
267       }
268
269       int vagn_magn =  WAGEN_LOAD-((int)unirand(0.0,3.0,stream));  //12 - 14
              skaut Ãą hverjum vagni
270       for (i=1; i <= vagn_magn; i++) {
271
272     transfer[3]=1.0;
273     transfer[4] = sim_time + (i * 0.01); // skaut entering system time
274     transfer[6] = (float) skaut_id++;
275     //printf("tr4 in wagen: %f\n", transfer[4]);
276     event_schedule( sim_time + ( i* 0.01),  EVENT_SKAUT_ARRIVAL);
277       }
278
279       event_schedule(sim_time+wagen_arrival_zeit, EVENT_WAGEN_UNLOAD_ARRIVAL);
280 }
281
282
```

```
283 void skaut_arrival()
284 {
285     push_array();
286     int current_unit = (int)transfer[3];
287     int i;
288
289     for (i = NUM_MACHINES; i>=current_unit; i--) {  //add delay if there is a
            broken machine before current one
290   if (machine_broken[i] > 0.0) {
291       if ((list_size[1+number_of_machines + current_unit] < queue_size[1+
              current_unit])||queue_size[1+current_unit] == 0) {  // if current
              machine is broken then delay it.x
292     event_schedule(sim_time +  machine_broken[i] + work_time[current_unit],
          EVENT_SKAUT_ARRIVAL); //also if next queue is full then delay it.
293     return;
294     }
295   }
296     }
297
298     // check if machine is not busy
299     if (list_size[current_unit] == 0 && machine_broken[current_unit] == 0.0) {
300   sampst(0.0, sampst_delays);
301   sampst(0.0, current_unit);
302
303   list_file(FIRST, current_unit); // last := first here because there are only
        to be 0 or 1 items in machine
304
305   // schedule departure after machine processing time
306   pop_array();
307   event_schedule(PREP_TIME + sim_time + work_time[current_unit],
        EVENT_SKAUT_DEPARTURE);
308     } else {
309
310   if (list_size[number_of_machines + current_unit] == queue_size[current_unit])
          {
311
312       event_schedule(PREP_TIME + sim_time + work_time[current_unit],
            EVENT_SKAUT_ARRIVAL); //also if queue is full then delay it.
313
314   } else {
315       transfer[5] = sim_time;
316       list_file(LAST, number_of_machines + current_unit);
317       //printf("puting skaut in queue: %d\n", current_unit);
318   }
319
320     }
321
322 }
323
324 void skaut_departure()
325 {
326     push_array();
327     int current_unit = (int) transfer[3];
328     int i = 0;
329     for (i = NUM_MACHINES; i>=current_unit; i--) {  //add delay if machine is
            broken or there is a broken machine before current one
330   if (machine_broken[i] > 0.0) {
331       if ((i == current_unit)  || (list_size[1+number_of_machines +
              current_unit] < queue_size[1+current_unit])) {  // if current machine
               is broken then delay it.
332     event_schedule(sim_time + machine_broken[i], EVENT_SKAUT_DEPARTURE); //also
           if next queue is full then delay it.
333     return;
334       }
335 //       printf("Size of next queue %d, limit of next queue %d\n",list_size[1+
      number_of_machines + current_unit], queue_size[1+current_unit]);
336       break;
337   }
338     }
339
```

```
340       if (current_unit == MACHINES_ON_THE_LEFT_SIDE) {
341     skaut_throughput += 2;
342     sampst(sim_time - transfer[4], throughput_time);
343     list_remove(FIRST,current_unit);
344       } else {
345     list_remove(FIRST,current_unit);
346     pop_array();
347     transfer[3]++;
348     event_schedule(PREP_TIME + sim_time + transfer_time[(int)(transfer[3])-1],
            EVENT_SKAUT_ARRIVAL);
349       }
350
351
352       if (list_size[number_of_machines + current_unit] != 0) {
353     pop_array();
354
355     list_file(FIRST,current_unit); // first equals last because size should only
            be 1
356     pop_array();
357
358     list_remove(FIRST, number_of_machines + current_unit);
359     pop_array();
360
361     sampst(sim_time - transfer[5], sampst_delays);
362     sampst(sim_time - transfer[5], current_unit);
363     event_schedule(PREP_TIME + sim_time + work_time[current_unit],
            EVENT_SKAUT_DEPARTURE);
364       }
365 }
366
367
368 void parse_input(char inputfile_data[], char inputfile_time[])
369 {
370
371
372       if ((infile = fopen (inputfile_data, "r")) == NULL) {
373     printf("Could not open file %s\n",inputfile_data);
374       }
375
376       fscanf (infile, "%d %d %d %d %f %f %f %f %f %f", &number_of_machines, &
              min_productivity, &min_no_failures, &max_no_failures, &
              mean_wagen_arrival, &std_wagen_arrival,  &min_machine_repair_time, &
              max_machine_repair_time, &end_warmup_time, &end_simulation_time);
377       fclose(infile);
378
379
380       if ((infile = fopen (inputfile_time, "r")) == NULL) {
381     printf("Could not open file %s\n",inputfile_time);
382       }
383       printf( "%d %d %d %d %f %f %f %f %f %f\n", number_of_machines,
              min_productivity, min_no_failures, max_no_failures, mean_wagen_arrival,
               std_wagen_arrival,  min_machine_repair_time, max_machine_repair_time,
              end_warmup_time, end_simulation_time);
384
385       int counter = 1;
386       while (!feof(infile)) {
387     fscanf(infile, "%f %d %f", &transfer_time[counter], &queue_size[counter], &
            work_time[counter] );
388     printf("%f %d %f\n", transfer_time[counter], queue_size[counter], work_time[
            counter] );
389     counter++;
390       }
391       fclose(infile);
392
393 }
394
395 void end_warmup()
396 {
397       sampst(0.0, 0);
398       timest(0.0, 0);
```

```
399     skaut_throughput = 0;
400 }
401
402 void report()
403 {
404
405     int i;
406     float total_downtime = 0.0;
407     printf("\n**************************************************\n");
408     printf("Report for %d failures per day\n",failure_nr);
409
410     for (i=0; i <fail_index; i++) {
411   printf("--Breakdown nr %d--\n", i+1);
412
413
414   printf("  Machine nr \t Fail time\t Downtime \t\n");
415   printf("\t %d\t", fail_list[i].machine_nr);
416   printf("%.3f\t", fail_list[i].failtime);
417   printf("%.3f sec / %.3f min\t", fail_list[i].downtime,fail_list[i].downtime
          /60.0);
418   printf("\n\n");
419   total_downtime +=fail_list[i].downtime;
420     }
421
422
423
424     printf("Total downtime was %.3lf seconds or %.3lf minutes\n",total_downtime
          , total_downtime/60.0);
425
426     printf("---------------\nMachine load\n---------------\n");
427     for (i=1; i <= number_of_machines; i++) {
428   printf("Machine %d\t", i);
429     }
430     printf("\n");
431     for (i=1; i <= number_of_machines; i++) {
432   printf("%f\t", filest(i) );
433     }
434     printf("\n\n");
435
436     printf("------------------------\nAverage delay in queues\n
          -------------------------\n");
437     for (i=1; i <= number_of_machines; i++) {
438   printf("Queue %d \t", i);
439     }
440
441     printf("\n");
442
443     for (i=1; i <= number_of_machines; i++) {
444   printf("%f\t", sampst(0.0, -i));
445     }
446     printf("\n\n");
447     printf("Average queue delay: %f\n", sampst(0.0, -sampst_delays));
448     printf("System throughput: %d\n", skaut_throughput );
449     printf("Average throughput time: %f\n", sampst(0.0, -throughput_time));
450     printf("Min throughput time: %f\n", transfer[4]);
451
452 }
453
454 void push_array() {
455
456     memcpy(temp_transfer,transfer,TRANSFER_ARRAY_LENGTH*sizeof(float));
457 }
458
459 void pop_array() {
460     memcpy(transfer,temp_transfer,TRANSFER_ARRAY_LENGTH*sizeof(float));
461 }
462
463 void create_machine_fail_events(int n) {
464     int i;
465     float a[20];
```

```
466     memset(a,0,20*sizeof(float));
467     float span = (float)(end_simulation_time - end_warmup_time) / (float) n
            +1.0;  //max time between machine failures
468     float current_span = 0.0;
469     int machine;
470     float repair_time ;
471     float breakdown_time;
472     for (i = 0;i<n;i++) {
473   current_span+=span;
474   machine = (int)unirand(1,number_of_machines+1,stream);
475   breakdown_time = unirand(0.0,current_span,stream);
476   repair_time =(5.0 + expon(log(max_machine_repair_time -
          min_machine_repair_time),stream))*60.0;
477   if (a[machine]<breakdown_time) {  //
478       a[machine] = breakdown_time+repair_time;
479   }
480   else { // if breakdown_time clashes with the same machine then let the
          breakdown happen after the machine goes up again
481       breakdown_time = a[machine] + 1.0;
482       a[machine] = breakdown_time+repair_time;
483   }
484   transfer[3] = repair_time;
485   transfer[4] = (float)machine;
486   fail_list[fail_index].failtime = breakdown_time+end_warmup_time;
487   fail_list[fail_index].downtime = repair_time;
488   fail_list[fail_index].machine_nr = machine;
489   fail_index++;
490   event_schedule(breakdown_time+end_warmup_time, EVENT_MACHINE_FAILURE );
491     }
492 }
493
494 void machine_failure(){
495     float repair_time = transfer[3];
496     int   machine     = (int)transfer[4];
497     machine_broken[machine] = repair_time;
498 //    printf(" Machine %d broke down and it takes %f to repair\n", machine,
      repair_time/60.0);
499
500     event_schedule(sim_time + repair_time, EVENT_MACHINE_FIXED);
501 }
502
503 void machine_fixed(){
504
505     int   machine     = (int)transfer[4];
506     machine_broken[machine] = 0.0;
507 }
```

5.2 Inntaksgögn líkans

```
7 404 3 10  30.0  2.0 5.0 180.0 1000.0  58600.0
num min min max mean  std min max warmup  simulationtime
  prod- no  no  wagen wagen repair  repair
  uction  fail- fail- arrival arrival time  time
    ures  ures
```

```
129.83  14  70.0
122.82  17 21.79
18.98 0 12.70
22.74 1 67.41
0.1 1 69.75
0.1 0 81.85
0.1 2 70.33
```

5.3 Keyrsluskýrslur