

Turun Kauppakorkeakoulu

MIS-71 Työryhmän raportti

15.5.1971

**TURUN
KAUPPAKORKEAKOULUN
JULKAISUJA**

SARJA C I - 2 : 1971

**PUBLICATIONS OF THE TURKU
SCHOOL OF ECONOMICS
SERIES**

KUNNOSSAPIDON SIMULOINTIMALLI

Vetäjä:

FM Ilkka Virtanen

Toimeksiantaja:

Kunnossapitotoimikunta

Jäsenet:

Jaakonaho, Mauri

TKKK

Niemenmaa, Ahti

TKKK

Mattila, Leila

TY

Pohjola, Liisa

TY

Ilkka Virtanen - Mauri Jaakonaho - Ahti Niemenmaa -
Leila Mattila - Liisa Pohjola

KUNNOSSAPIDON SIMULOINTIMALLI

Eripainos teoksesta:

MIS-71 SEMINAARITYÖT, OSA III

S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

ESIPUHE

1	JOHDANTO	1
2	KUNNOSSAPITO JA KVANTITATIIVISET MENETELMÄT	2
21	Kunnossapidon rakenne	2
22	Ehkäisevä kunnossapito ja kvantitatiiviset menetelmät	3
23	Häiriötilanteet ja kvantitatiiviset menetelmät	4
3	KUNNOSSAPIDON SIMULOINTIMALLIN YLEISET PUITTEET	5
31	Keskeinen ongelmakenttä	5
32	Lähestymistapa mallin avulla	7
33	Tutkittavan malliyrityksen kuvaus	8
4	SIMULOINTIMALLIN RAKENNE	10
41	Mallin olettamukset ja rajoitukset	10
42	Mallin pääperiaatteet	11
43	Simulaattorin systeemikaaviot	12
44	Simulaattorin ohjelmointi	16
441	Pääohjelma	16
442	Aliohjelmat	16
443	Ohjelmien testaus	18
5	SIMULOINNIN SUORITTAMINEN	20
51	Alkutiedot ja datat	20
52	Korjausmiehistön määrän optimointi	21
53	Välivarastojen koon tutkiminen	22
54	Koneiden käyntiaikojen muutosten tutkiminen	24
55	Koneiden korjausaikojen muutosten tutkiminen	25
56	Kunnossapitopanosten simultaaninen tutkiminen	26
6	LOPPUPÄATELMÄT JA MALLIN EDELLISEN KEHITTÄMINEN	26

LIITTEET

LÄHDELUETTELO

ESIPUHE

Nyt käsillä oleva työ on saanut alkunsa allekirjoittaneen Kunnossapitojohdon neuvottelupäivillä v. 1970 pitämästä esityksestä, jossa käsiteltiin simuloinnin soveltamista kunnossapitotoiminnan ongelmakenttään.¹ Esitys oli lähes häirimmillään pelkistetty ja yksinkertaistettu, sen tarkoituksena oli ainoastaan tutustuttaa kuulijat simulointimenetelmään siten, että jokainen omakohtaisesti suoritti kaikki menetelmään sisältyvät vaiheet aina satunnaislukujen generointia myöten. Esityksen jälkeen kuitenkin todettiin, että aiheen tutkimista on syytä jatkaa; tästä ensimmäisenä tuloksena on nyt valmistunut MIS-ryhmätyö.

Ryhmän työskentely on ollut nimenomaan ryhmätyöskentelyä, suurin osa työtä on tehty yhteisissä palavereissa. Näitä kokouksia on pidetty varsin lukuisasti, alussa noin kerran viikossa, loppupuolella ohjelmien testaus- ja tulosten etsimisvaiheessa jopa päivittäin.

Ryhmä lähti liikkeelle tarkoituksenaan aluksi tutustua alan kirjallisuuteen. Tutkimuksen aiheeseen suoranaisesti liittyvää kirjallisuutta ei onnistuttu jäljittämään, mutta sen sijaan kunnossapitotoimintaa yleensä ja matemaattis-tilastotieteellisten menetelmien soveltamista kunnossapidon ongelmiin käsittelevää kirjallisuutta oli tarjolla; näistä mielenkiintoisimmat on mainittu lähdeluettelossa.

Tämän jälkeen ryhmän ohjelmassa olivat tehdaskäynnit, joita suoritettiin Oy W. Rosenlew Ab:n sulfaatti- ja paperitehtaalle Poriin, Suomen Sokeri Oy:n sokeritehtaalle Porkkalan sekä Rikkihappo Oy:n typpihappo-, fosforihappo-, rikkihappo- ja lannoitetehtaalle Uuteenkaupunkiin. Kussakin yrityksessä tutustuttiin tehtaasiin ja niiden kunnossapitoon kiertokäyntien ja kunnossapidosta vastaavien henkilöiden kanssa käytyjen keskustelujen muodossa.

¹ Malaska - Virtanen - Seppälä: Kunnossapito

Samalla kunnossapitotoiminnan laajetessa tulee oleelliseksi ongelmaksi se, miten yrityksessä kyetään riittävästi suunnittelemaan, mitoittamaan ja ohjaamaan kunnossapitoa optimaalisin kriteerein. Joudutaan laatimaan budjetteja, aikatauluja, työsuunnitelmia eikä vähiten tekemään tieteellisen liikkeenjohdon optimointimenetelmiin perustuvia päätöksiä, jolloin erityisesti metodiikan tuntemus on tietystä määrin tarpeellista. Viimeisessä vaiheessa operaatioanalyysi ja sen mukana tehostetusti tietojenkäsittelytekniikka joudutaan ottamaan liikkeenjohdon apuvälineiksi, entisten johtamistaitoon liittyvien kokemuksen ja intuition lisäksi, ratkottaessa kunnossapitoon liittyviä ongelmia.

2 KUNNOSSAPITO JA KVANTITATIIVISET MENETELMÄT

21 Kunnossapidon rakenne

Eri tuotantolaitoksissa määritellään hieman eri tavalla, mitä kunnossapito on ja mille alueelle sen katsotaan rajoittuvan. Mutta sen sijaan vallinnee yleinen yksimielisyys kunnossapidon jakaantumisesta kahteen oleellisesti erilaiseen osaan: ehkäisevään kunnossapitoon ja häiriötilanteisiin.

Ehkäisevään kunnossapitoon katsotaan kuuluvaksi kaikki ne suunnitellut ja ajoitetut toimenpiteet, joilla ennakkoon pyritään takaamaan tuotantolaitoksen häiriötön toiminta. Ehkäiseviä toimenpiteitä ovat muun muassa

- a) ennakkohuolto, johon kuuluvat mm. voitelut, osien tarkistukset ja niiden vaihto määräjain,
- b) korjaava kunnossapito, joka on suunniteltu suoritettavaksi ajallaan, esimerkiksi heikentyneen putkiston vaihto,
- c) muutostyöt, jotka ovat kunnossapitohenkilöstön suorittamia, prosessiin kohdistuvia pikkuparannuksia, joiden odotetaan lisäävän tuotantolaitoksen toimintavarmuutta.

Toisena kunnossapidon osana ovat häiriötilanteet, jotka ilmaantuvat satunnaisesti ja edellyttävät välittömän korjauksen. Usein häiriön seurauksena on prosessin tehonlasku ja joskus jopa seisokki, josta tavallisesti aiheutuu suuriakin tuotantotappioita. Häiriötilanteet ovat juuri se osa kunnossapidon

kenttää, joka edellyttää kunnossapitotoiminnalta tiettyä toimintavalmiutta ja tehokkuutta. Edelleen häiriötilanteille on ominaista, että juuri ne sekoittavat ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvat suunnitellut ja ajoitetut kunnossapitohenkilöstön toimenpiteet ja sitä kautta entisestäänkin vaikeuttavat kunnossapidon systemaattista valvontaa, suunnittelua ja toteuttamista.

22 Ehkäisevä kunnossapito ja kvantitatiiviset menetelmät

Eriyisesti johdettaessa ja suunniteltaessa ehkäisevän kunnossapidon eri toimintoja liikkeenjohto voi käyttää päätöksenteon tukena erilaisia analyyttisiä menetelmiä, joilla toiminta saadaan optimoiduksi sen eri tavoitteiden suhteen. Ensinnäkin kunnossapitoon liittyvät aikataulut ja työsuunnitelmat sekä työn kulkua koskevat päätökset voidaan tutkia analyyttisillä menetelmillä. Edelleen kustannusten mitoittaminen, dokumentointi ja tarkkailu sekä sitä kautta koko kunnossapidon budjetointi ajallisesti ja paikallisesti eri kohteittain voidaan hoitaa standardisoitujen analyyttisten menetelmien avulla. Siis yleinen kunnossapitotoiminta voidaan kartoittaa ja mitoittaa näillä menetelmillä sekä saada se yleisen valvonnan ja tarkkailun alaiseksi. Mutta sen sijaan ryhdyttäessä tutkimaan kunnossapidon yksittäisiä komponentteja, niiden vaikutuksia ja suhteita kunnossapitotoiminnoissa joudutaan analyyttisten menetelmien lisäksi ottamaan mukaan myös tilastotieteelliset menetelmät: siirrytään operaatioanalyysin alueelle. Tällöin tulevat kysymykseen esimerkiksi lineaarinen ohjelmointi, tavoiteohjelmointi sekä dynaaminen ohjelmointi, jolloin joudutaan rakentamaan erilaisia kunnossapitomalleja.¹ Edelleen on mahdollista ottaa avuksi erilaisia jono- ja verkkoalleja suoritettaessa kunnossapidon suunnittelua ja sen optimaalista toteuttamista.

Lisäksi voidaan operaatioanalyysin ja tavallisten analyyttisten menetelmien avulla tutkia kunnossapidon varaosavarausten

¹ ks. esim. Kunnossapito Suomen teollisuudessa s. 53-84

optimisuuruuksia, osien stokastisia kesto- ja uusimisaikoja, jotka liittyvät osina aggregoituihin kunnossapitomalleihin.¹

23 Häiriötilanteet ja kvantitatiiviset menetelmät

Häiriötilanteiden, kunnossapidon vaikeimmin hallittavan osan, vaikutuksien ja riippuvuussuhteiden mittaaminen muodostaa ehkäisevään kunnossapitoon verrattuna täysin toisentyypin ongelmakentän. Suunnitelmia häiriötilanteiden osalta voidaan tehdä vain siinä määrin, että taataan riittävä toimintavalmius näiden satunnaisten tilanteiden varalle. Analyttisiä menetelmiä voidaan käyttää pelkästään ex post-tarkastelun yhteydessä, jolloin jälkikäteen voidaan todeta häiriön aiheuttamat vaikutukset tuotantotoimintaan, kustannuksiin ja muun kunnossapitojärjestelmän aikataulujen ym. häiriytymiseen. Ainoa mahdollisuus, millä häiriötilanteiden vaikutusta ja etukäteistä suunnittelua voidaan riittävän tarkasti tutkia, on todellisten tilanteiden jäljittely tuotantolaitoksessa. Toisin sanoen pyritään laatimaan tuotantolaitoksesta ja sen kunnossapidon toiminnasta malli, jonka avulla simuloidaan muuttamalla kunnossapitoon vaikuttavia komponentteja niin, että lopuksi voidaan valita optimaalinen tuotantolaitoksen kunnossapitostrategia päätöksenteon tueksi. Periaatteessa simulointi voitaisiin suorittaa käsinkin, mutta ottaen huomioon tuotantolaitosten monitahoiset rakenteelliset ja toiminnalliset ominaisuudet, joihin simuloijien täytyy kyetä liittämään kunnossapidon struktuuri, ei työ onnistu ilman tietokoneita. Tietokoneiden nopeus ja kasvanut kapasiteetti mahdollistavat suurtenkin tietomäärien simuloimisen suhteellisen nopeasti ja pienin kustannuksin. Edelleen nykyisin on olemassa jo erilaisia simulointikieliä, jotka osaltaan lisäävät menetelmän käyttömahdollisuuksia.

Käytännössä on täysin mahdollista laatia tuotantolaitoksien kunnossapidolle simulointimalleja², joilla kyetään tutkimaan

1 ks. esim. Kaufmann s. 195-230 ja s. 428-465

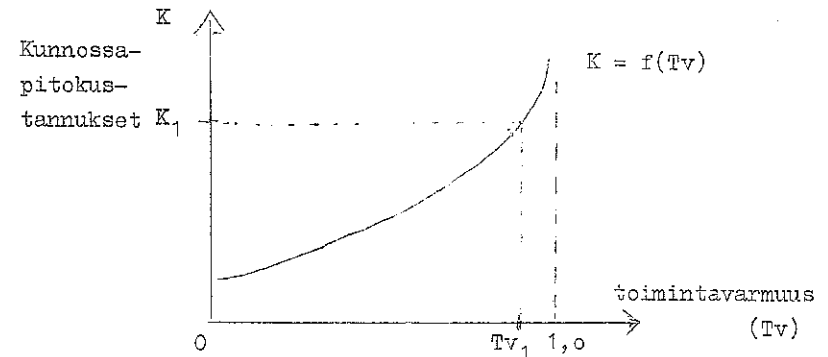
2 ks. esim. Buffa (I) s. 474-491, Buffa (II) s. 353-412

häiriötilanteiden lisäksi myös ehkäisevään kunnossapitoon kuuluvia toimintoja laajassa mitassa. Edellytyksenä on, että yrityksissä suoritetaan ohjattua tilastomateriaalin keräystä ja dokumentointia, joka palvelee simuloimien käyttötarkoituksia suunnitelmien mukaisesti. Perinpohjaisella tutkimustyöllä voidaan saada kunnossapidon käytännön monitahoinen problematiikka riittävästi mukaan teoreettiseen simulointimalliin, jolloin siitä saadaan tervetullutta apua kunnossapitojohdon päätöksenteon tueksi.

3 KUNNOSSAPIDON SIMULOINTIMALLIN YLEISET PUITTEET

31 Keskeinen ongelmakenttä

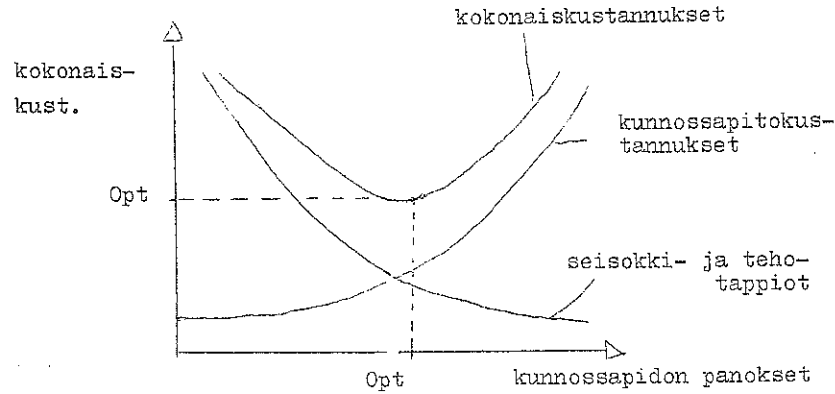
Kunnossapidon määritelmässä esiintyy vastakohta-asettelu mahdollisimman suuren toimintavarmuuden ja kunnossapitokustannusten minimoimisen välillä. Toisin sanoen on pystyttävä löytämään sellainen kunnossapitostrategia, joka toteuttaa tyydyttävällä tavalla nuo molemmat vaatimukset.



Yhteys muuttujien välillä selviää yllä olevasta kuviosta.

Kuitenkin käytännön kunnossapitotoiminnassa on vaikea mitata suoraan sopivin kriteerein toimintavarmuuden ja kustannusten riippuvuutta. Sen sijaan toimintavarmuus otetaan mukaan

tavallaan välillisesti tarkkailemalla kokonaiskustannuksia, jotka muodostuvat kunnossapito- ja seisokkikustannuksista sekä tehotappiosta. Näin muodostuvat kokonaiskustannukset minimoidaan toteuttamalla tiettyä kunnossapidon optimistategiaa.



Kuviossa kunnossapitokustannukset koostuvat korjausmiehistön palkoista, varaosavarastojen kustannuksista, ennakkohuollon kustannuksista jne. On ilmeistä, että mitä enemmän näitä kunnossapidon panoksia ollaan valmiita uhraamaan, sen luotettavammaksi tuotantolaitoksen toiminta tulee. Toisin sanoen sen seurauksena on vähentyvät tuotantotappiot, jolloin kokonaiskustannukset muodostavat funktion, josta on löydettävissä kunnossapitopanosten ja kustannusten suhteen optimitilanne. Mikäli kuvion tilannetta tarkastellaan toimintavarmuuden kannalta, voidaan päätellä seuraavaa:

- a) Jos kysymyksessä on toiminnaltaan kriittinen tuotantolaitos, siis seisokit aiheuttavat välittömiä menetyksiä, joita ei pystytä tiiviin tuotanto-ohjelman vuoksi jälkeenpäin korvaamaan, merkitsee optimitilanne sitä, että myös toimintavarmuus on suuri, koska kunnossapitotoiminnoin on pyrittävä mahdollisimman tarkoin minimoimaan kustannusten kannalta hallitsevat seisokki- ja tehotappiot.

- b) Sen sijaan, jos tuotantolaitos ei ole kriittinen, vaan joustavan tuotanto-ohjelman vuoksi seisokkien aiheuttamat menetykset voidaan myöhemmin helposti ottaa kiinni, saattaa toimintavarmuus olla kovinkin alhainen, koska seisokitappiot näyttelevät merkityksetöntä osaa verrattuna kunnossapidon kustannuksiin, joiden minimointi on enemmän hallitsevana.

Kunnossapidon simulointimallia ajatellen juuri a-kohdan tyyppiset tuotantolaitokset ovat erityisen sopivia menetelmän soveltamiselle. Niissä kriittisyys muodostaa johtamisen ja suunnittelun kannalta ongelmallisen päätöksentekokokentän, jonka kaltaisissa monissa nykyajan automaattisissa tuotantolaitoksissa joudutaan työskentelemään.

32 Lähestymistapa mallin avulla

Kehitettävän simulointimallin keskeisenä osana tulevat olemaan juuri varsin satunnaiset häiriötilanteet sekä niiden vaikutukset, mutta mahdollisuuksien mukaan pyritään ottamaan huomioon myös ehkäisevän kunnossapidon vaikutuksia, jotta malli tulisi tarkemmin todellisuutta vastaavaksi. Edelleen tarkastelutapa noudattaa pääosiltaan edellä esitettyä kokonaiskustannusten tarkkailua ja optimointia penosten suhteen, koska käytännön tarpeita ajatellen se on mielekkäintä. Oleellista on vielä se, että mallin avulla tutkitaan kunnossapitopanosten, kuten korjausmiehistön lukumäärän, välivarastojen, ennakkohuollon jne. muutoksia erikseen yhtä kerrallaan, ja sitä kautta voidaan tehdä yleisiä johtopäätöksiä niiden vaikutuksista.

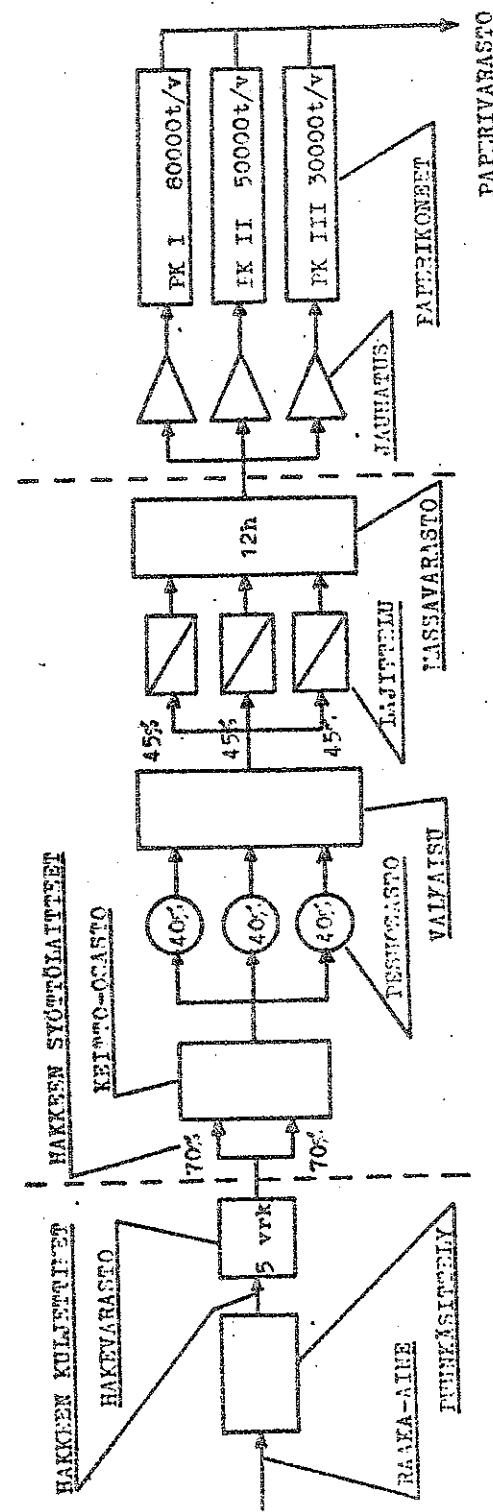
Simulointimallin puitteita luotaessa on päädytty malliyritykseen, joka on tyyppillisen puhtas prosessiteollisuuslaitos, sillä näissä tuotantotoiminta on riippuvainen koko prosessin häiriöttömästä toiminnasta sen eri osastoilla ja linjoilla. Edelleen malliyrityksen prosessi on oletettu hyvin kriittiseksi, jotta simulointimallin kannalta puitteet muodostuisivat mahdollisimman suotuisiksi ja riittävän monitahoisiksi. Tutkittavaa malliyritystä voidaan pitää yleisluontoisena,

sillä periaatteessa kaikki prosessilaitokset noudattavat samoja toiminnallisia piirteitä, eroja on ainoastaan prosessilinjien määrässä ja koostumuksessa, välivarastoissa ja kapasiteetin käyttöasteessa.

33 Tutkittavan malliyrityksen kuvaus

Tutkittavaksi prosessiksi on otettu kuvion 1 esittämä sulfaattipaperitehdas-malli, jossa kunnossapidon simulointia pyritään soveltamaan ja sitä kautta selvittämään menetelmän periaatteita. Prosessi jakaantuu välivarastojen kohdalta tavallaan kolmeen osaan, joista ensimmäinen käsittää puunkäsittelyn, hakkeenkuljettimet ja hakevaraston. Tässä osassa häiriötilanteet tuskin aiheuttavat seisokki- ja tehotappioita johdettua hakevaraston suuresta koosta (5 vrk), vaan vaikuttavat ainoastaan kunnossapitokustannuksiin, siis sitovat erilaisia kunnossapitopanoksia ja toimenpiteitä.

Prosessin toinen osa muodostuu osastoista ja laitteista hakkeensyöttölaitteiden ja massavaraston välillä, jossa häiriöt aiheuttavat kunnossapitokustannusten lisäksi seisokitappioita, mikäli massavarasto (enintään 12 tuntia) pääsee tyhjentymään. Tässä osassa prosessi jakautuu välillä useampaan haaraan, joissa prosenttiluvut osoittavat kunkin haaran tehon verrattuna koko prosessin tuotantokapasiteettiin. Kuten kuvio 1 voi havaita, saatetaan tässä osassa prosessia toimia tarpeen tullen peräti 120 %:n teholla, mikäli osastoilla ei ole lainkaan vikatilanteita. Yliteholla käyttö tulee kysymykseen lähinnä tilanteissa, joissa vajaata massavarastoa joudutaan täyttämään takaisin maksimikapasiteettiinsa 12 tuntia. Kolmannen osan prosessia muodostavat massavaraston jälkeiset kolme linjaa, jotka koostuvat jauhatuslaitteistosta sekä vastaavista paperikoneista. Tässä osassa prosessia kunnossapitokustannusten lisäksi saattaa syntyä tehotappioita, mikäli jokin linjoista on rikki ja peräti seisokitappioita, jos kaikki niistä ovat korjaustyön alaisina. Toinen ja kolmas osa prosessia muodostavat massavaraston välityksellä toisistaan riippuvan kokonaisuuden, jossa massavarasto



Kuvio 1. Esimerkkiyritys kaaviokuvana

toimii häiriötilanteiden sattuessa tuotantotoiminnan tasaajana estäen välittömien seisokkien ja tehonlaskujen syntymisen jokaisen prosessin vikatilanteen aikana.

4 SIMULOINTIMALLIN RAKENNE

41 Mallin olettamukset ja rajoitukset

Rakennetussa simulointimallissa on täytynyt tehdä prosessin eri osastojen ja linjojen suhteen olettamus, että ne kukin käsitetään tavallaan konekokonaisuudeksi, jossa vika aiheuttaa seisokin. Näin olleh keitto-osasto ja valkaisu sekä massa-varasto kokonaisina osastoina muodostuvat prosessin kriittisiksi kohdiksi, joissa vika aiheuttaa koko prosessin pysähtymisen. Sen sijaan muilla osastoilla vika aiheuttaa vain linjassa tehonlaskua prosentoin osoittamalla määrällä ja pahimassa tapauksessa osaston kaikkien osien ollessa rikki koko linjan pysähtymisen, jota myöhemmin nimitetään "nollaviaksi".

Olettamus on jouduttu tekemään ensinnäkin syystä, että käytettävissä ei ole konekohtaista prosessikaaviota ja vielä vähemmän konekohtaista tilastomateriaalia, jotka ovat lisäksi eri teollisuuslaitoksilla prosessikohtaisia ja sisältävät runsaasti yksittäisiä ominaispiirteitä. Toiseksi tarkan mallin laatiminen on laajuudeltaan sitä luokkaa, että käytettävissä olevan ajan ja resurssien puitteissa on katsottu aiheelliseksi rajoittaa mallia, sillä jo nytkin tutkittava yritys malli sisältää kunnossapidon tutkimisen kannalta 1048576 erilaista prosessin asiantilamahdollisuutta häiriöiden suhteen, jotka tulevat huomioon otetuiksi simulointimallissa.

Tuotantolaitoksen oletetaan toimivan kolmessa vuorossa, joissa kussakin työskentelee sama määrä korjausmiehiä. Periaatteessa malli olisi helposti muutettavissa siten, että kussakin vuorossa toimisi oma määrä miehistöä (ilta- ja yövuorossa vähemmän kuin päivällä). Edelleen tällöin voitaisiin laajentamalla mallia tutkia myös ylitöiden vaikutuksia ja problematiikkaa kunnossapidon panoksena ja kustannustekijänä.

42 Mallin pääperiaatteet

Simulointi suoritetaan lähtemällä ajankohdasta nolla, josta edetään vaiheittain, tapahtuma kerrallaan päivittämällä kunkin tapahtuman välillä vallinneet asiantilat. Tapahtumaksi huomioidaan häiriön alkaminen, korjauksen valmistuminen (häiriön päättymisen), välivaraston täyttyminen ja tyhjentyminen, miehistön puuttuminen ja vapautuminen. Suurin osa tapahtumien ajankohdista saadaan simuloinnin keskeisestä operaatiosta satunnaislukujen generoinnista, joka juuri toimii mallissa häiriöiden sattumanvaraisuuden mukaantuojana. Ensinnäkin ajankohdasta nolla generoidaan empiriasta saatavien jakautumien mukaisesti kullekin koneelle ensimmäinen käyntiaika. Sen jälkeen siirrytään lähimpään ajankohtaan, jossa jonkin koneen käyntiaika päättyy, siis ilmaantuu vika, ja tässä ajankohdassa generoidaan koneelle ominaisen jakautuman mukainen viikon korjaus-aika sekä tarvittavien korjausmiesten määrä. Seuraavaksi siirrytään lähinnä seuraavaan tapahtumaan, joka on edellä olevan luettelon mukainen tapahtuma, ja suoritetaan sen ja edellisen tapahtuman ajankohtien välinen päivitys. Simulointi jatkuu edelleen simulaattorissa tapahtuma kerrallaan tietyn ajan, jonka kuluessa satunnaislukugeneraattoria käytetään tarpeen tullen seuraavasti.

- a) Kun vika saadaan korjatuksi, generoidaan uusi käyntiaika.
- b) Kun käyntiaika päättyy (ilmaantuu vika), generoidaan korjaus-aika sekä korjaukseen tarvittavien miesten määrä.

Päivitys kahden tapahtuman välillä käsittää mm. korjausmiesten määrän ja tarpeen päivitykset, prosessissa ennen ja jälkeen massavaraston tapahtuvan toiminnan intensiteetin päivityksen "pullonkaulojen" mukaan, edellisen avulla määrätään massavaraston muutokset ja tilat. Tärkein päivityksen osa on kokonaiskustannusten seuraaminen, jota varten on määriteltävä tapahtumien väliset prosessin tehonlaskusta ja seisokeista aiheutuneet tuotantotappiot sekä miehistön kustannukset.

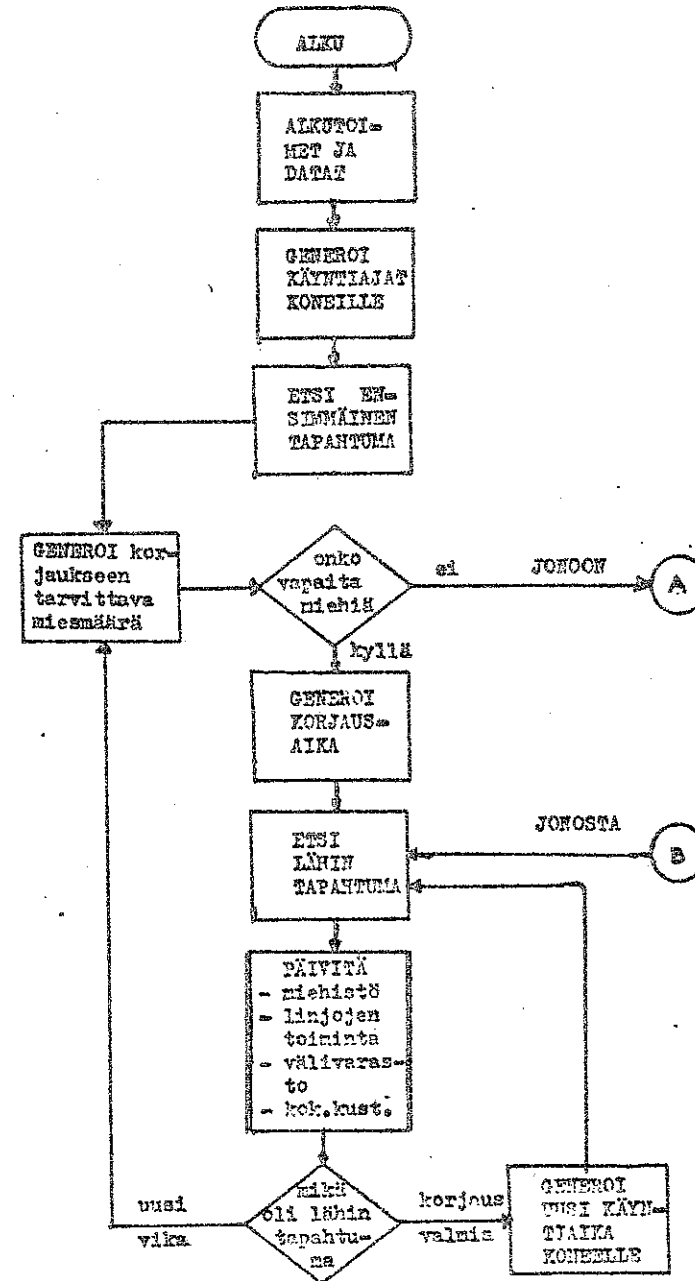
Lisäksi mallin avulla seurataan miehistön käyttöprosenttia, konekohtaisia häiriöiden lukuisuuksia ja kokonaiskestoajoja, kokonaisaika, jolloin korjausmiehistöstä on ollut puutetta, massavaraston täynnä- ja tyhjääoloaikoja sekä kokonaisseisokkiaikoja ennen ja jälkeen massavarastoa olevissa prosessin osissa.

Simuloinnin yhteydessä seurattaessa korjausmiehistön riittävyyttä saattaa ilmaantua tilanne, että miehistöstä on puutetta. Tämä on ratkaistu mallissa jonotussysteemillä seuraavasti: puutteen ilmaantuessa vikatyöt asetetaan suoritettavien töiden jonoon, josta ne puretaan myöhemmin muualta vapautuvan miehistön avulla. Purkamisessa noudatetaan tiettyä prioriteettiperiaatetta; ensin korjataan syntymisjärjestyksessään viat, joiden vuoksi koko prosessi on pysähtynyt ja sen jälkeen viat, jotka aiheuttavat ainoastaan prosessissa tehonlaskua. Jonossa tapahtuvat päivitykset poikkeavat luonnollisesti vain miehistön päivityksen osalta (ks. systeemikaavio kuvio - 3).

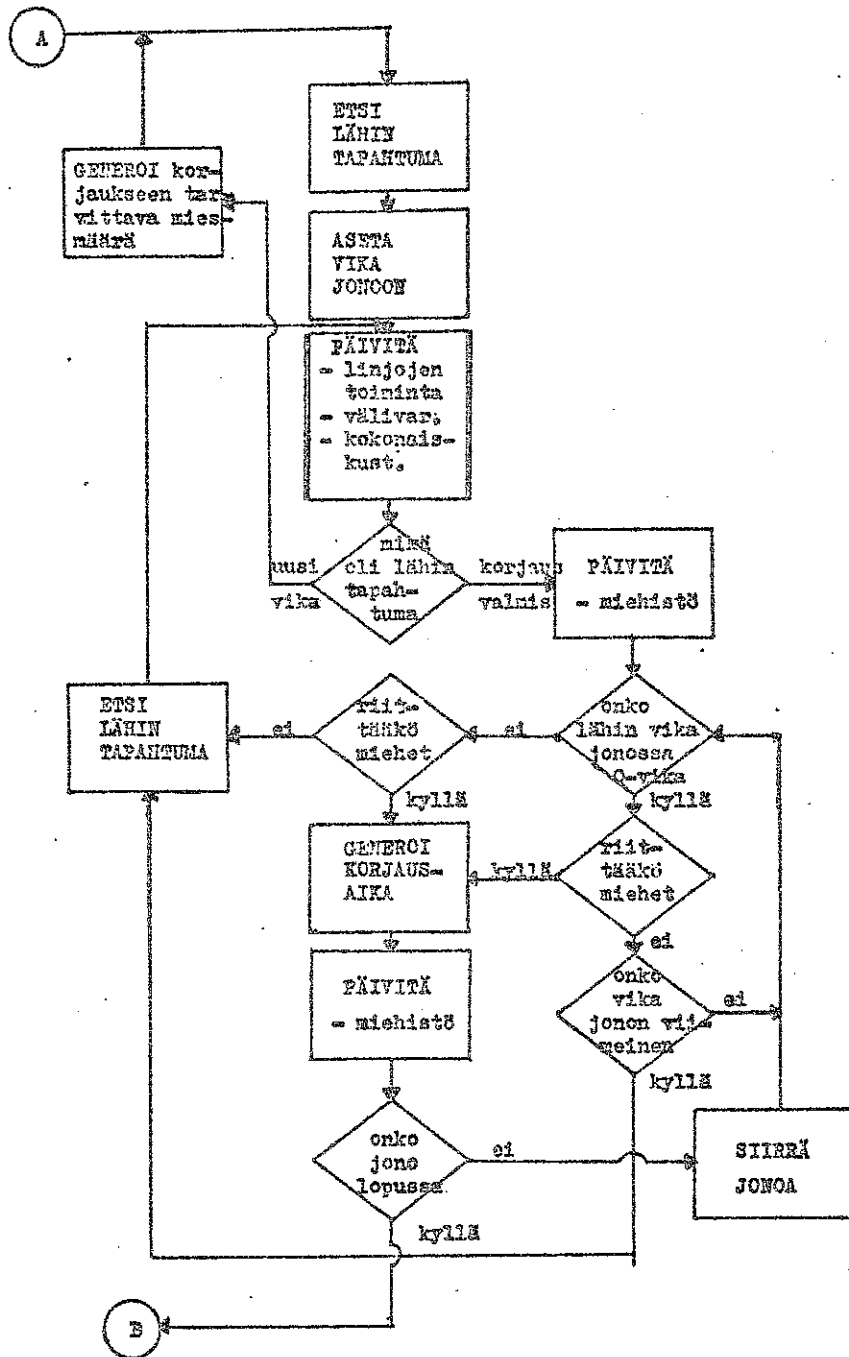
Periaatteessa ko. jonotussysteemiä voitaisiin käyttää hyväksi myös tutkittaessa varaosavaraston ja varaosien vaikutuksia kunnossapitopanoksina. Tällöin esimerkiksi tärkeiden osien puuttuminen aiheuttaisi korjaustyön viivästymisen ja siirtämisen ylläolevan kaltaiseen järjestelmään.

43 Simulaattorin systeemikaaviot

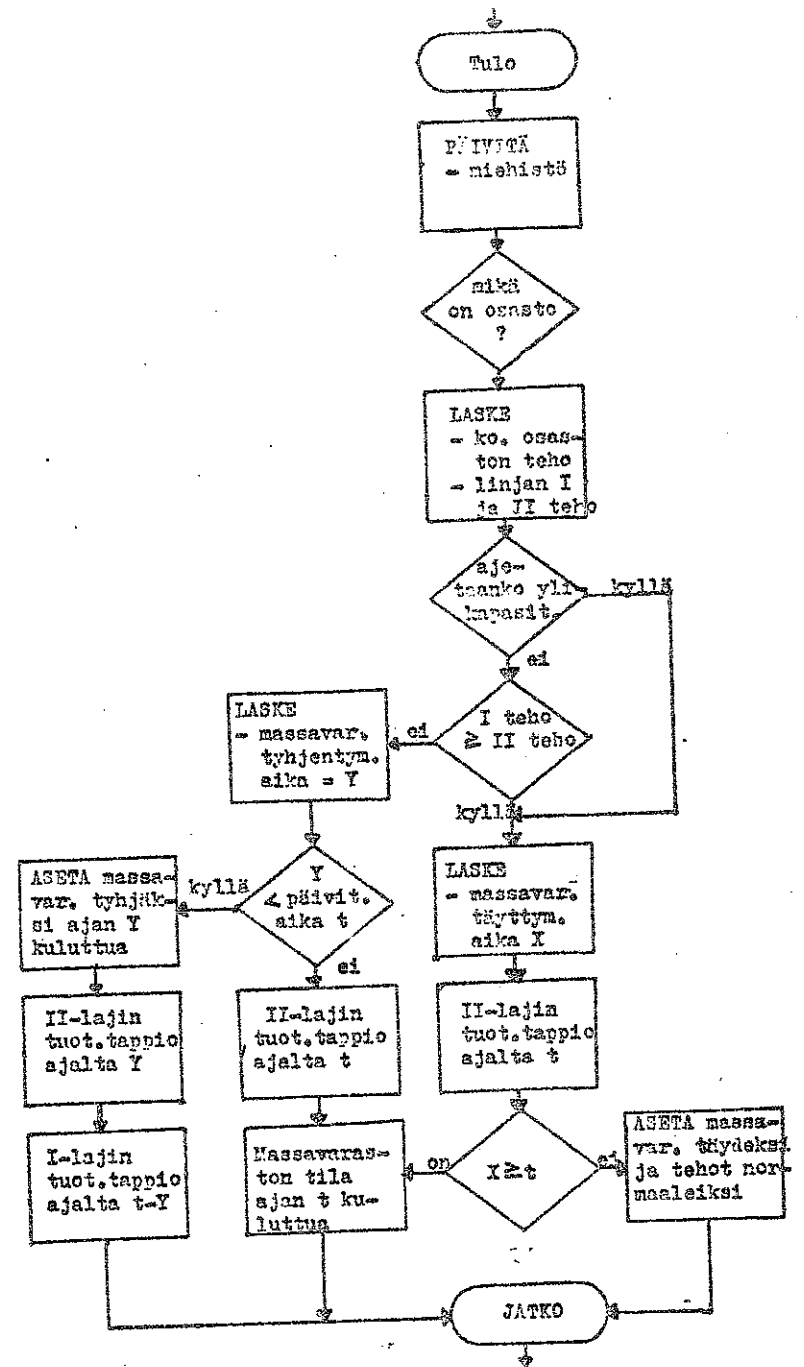
Seuraavissa kuvioissa esitetään yleisluontoiset systeemikaaviot kehitetystä kunnossapidon simulaattorista. Mallin laajuuden vuoksi on varsinaiset ohjelmakaaviot katsottu aiheelliseksi jättää pois.



Kuvio 2. Systeemikaavio mallin rungosta.



Kuvio 3. Systemikaavio jonotuksesta



Kuvio 4. Systemikaavio päivityksestä

44 Simulaattorin ohjelmointi

Nykyisin eri tietojenkäsittelyfirmoilla on käytössä olevissa systeemeissä jo valmiina simulointikieliä, jotka helpottavat ja nopeuttavat simulointimallin ohjelmointi- ja toteutusvaihetta. Esimerkiksi IBM:llä on käytössä yleinen simulointikieli GPSS (General Purpose System Simulator), UNIVACin systeemeissä on mm. erilaisten funktioiden simulointia varten MIMIC-niminen kieli sekä taloudellisiin sovellutuksiin käyvät digitaali-simulointikieliset SIMSCRIPT, GASP II ja SIMULA. Tämä simulaattori on kuitenkin ohjelmoitu ajanpuutteen vuoksi FORTRAN-ohjelmointikielillä, sillä johonkin ylläolevaan kieleen perehtyminen ja sen sovellutuksen hallinnan hankkiminen olisi vienyt huomattavasti enemmän käytettävissä olevaa aikaa. Kun vielä itse ohjelmoidulla simulaattorilla päästään yhtä hyvin tuloksiin kuin ylläolevien erikoismenetelmien avulla, on toimenpide puolustanut paikkaansa. Ohjelmista on esityksen loppuun liitetty listaukset, joista kiinnostunut lukija voi tutkia tarpeen tulleen tarkemmin ohjelmien rakennetta. Seuraavassa esitetään lyhyesti ohjelmiston rakenne ja sisältö.

441 Pääohjelma

Pääohjelma (liite I) antaa simulaattorille mallin alkuarvot, lukee datat ja muodostaa rungon, joka käyttää hyväksi aliohjelmaa muodostaen niiden kanssa yhtenäisen simulointisysteemin. Lisäksi pääohjelma suorittaa simulointitulosten kokoamisen ja listauksen simuloinnin päätyttyä.

442 Aliohjelmat

Aliohjelmisto koostuu kymmenestä eri ohjelmasta, joilla jokaisella on oma tehtävänsä systeemin osana.

1. SUBROUTINE ETMIN

Aliohjelma (Liite II) etsii simuloinnin edistyessä seuraavia tapahtumia aikajärjestyksen mukaisesti. Parametrit ilmenevät ohjelman listauksesta, myös muiden aliohjelmien parametrien suhteen viitataan listauksiin.

2. SUBROUTINE JOMIN

Aliohjelma (Liite II) suorittaa edellisen ohjelman tapaisia toimintoja oltaessa tilanteessa, jolloin korjattavia töitä on jonossa.

3. SUBROUTINE SATU 1

Aliohjelma (Liite II) generoi vian ilmaantuessa tarvittavien korjausmiesten määriä. Saadut satunnaisluvut noudattavat tasajakautumaa.

4. SUBROUTINE SATU 2

Aliohjelmaa (Liite II) käytetään generoitaessa koneille käynti- ja korjausaikoja. Generaattori toimii kongruenssimenetelmällä antaen normaalisti jakautuneita satunnaislukuja annetun, kullekin koneelle ominaisen keskiarvon (AM) ja hajonnan (S) mukaisesti.

5. SUBROUTINE OSTEH

Aliohjelma (Liite III) huolehtii prosessin eri osastojen ja koneiden tehojen määrittelystä niiden muuttuessa.

6. SUBROUTINE TEHOT

Aliohjelma (Liite III) laskee massavarastoa kahden puolen olevien prosessin osien tehot kunkin päivityshetken aikana.

7. SUBROUTINE DATE

Aliohjelma (Liite IV) suorittaa kahden tapahtuman välisen asiantilan rekisteröinnin. Se päivittää korjausmiehistön määriä, varastotilanteita ja laskee tuotantotappiot sekä prosessin poikkioloajat.

Aliohjelmat 5, 6 ja 7 muodostavat systeemikaavioissa esitetyn päivitystapahtumasarjan ohjelmiston. Seuraavat kolme aliohjelmaa yhdessä kuuluvat edellä esitetyn ohjelman - 2 kanssa jonotustilanteiden hallitsemiseen ja valvontaan.

8. SUBROUTINE ZUG

Ohjelma (Liite V) toimii ensinnäkin jonotilanteessa keskeisenä modulina, tavallaan pääohjelman, joka käyttää hyväkseen myös varsinaisen pääohjelman aliohjelmiä.

9. SUBROUTINE QUEUE

Aliohjelma (Liite VI) asettaa korjausmiesten puuttuessa työt jonoon sekä huolehtii jonossa korjaustöiden prioriteetista.

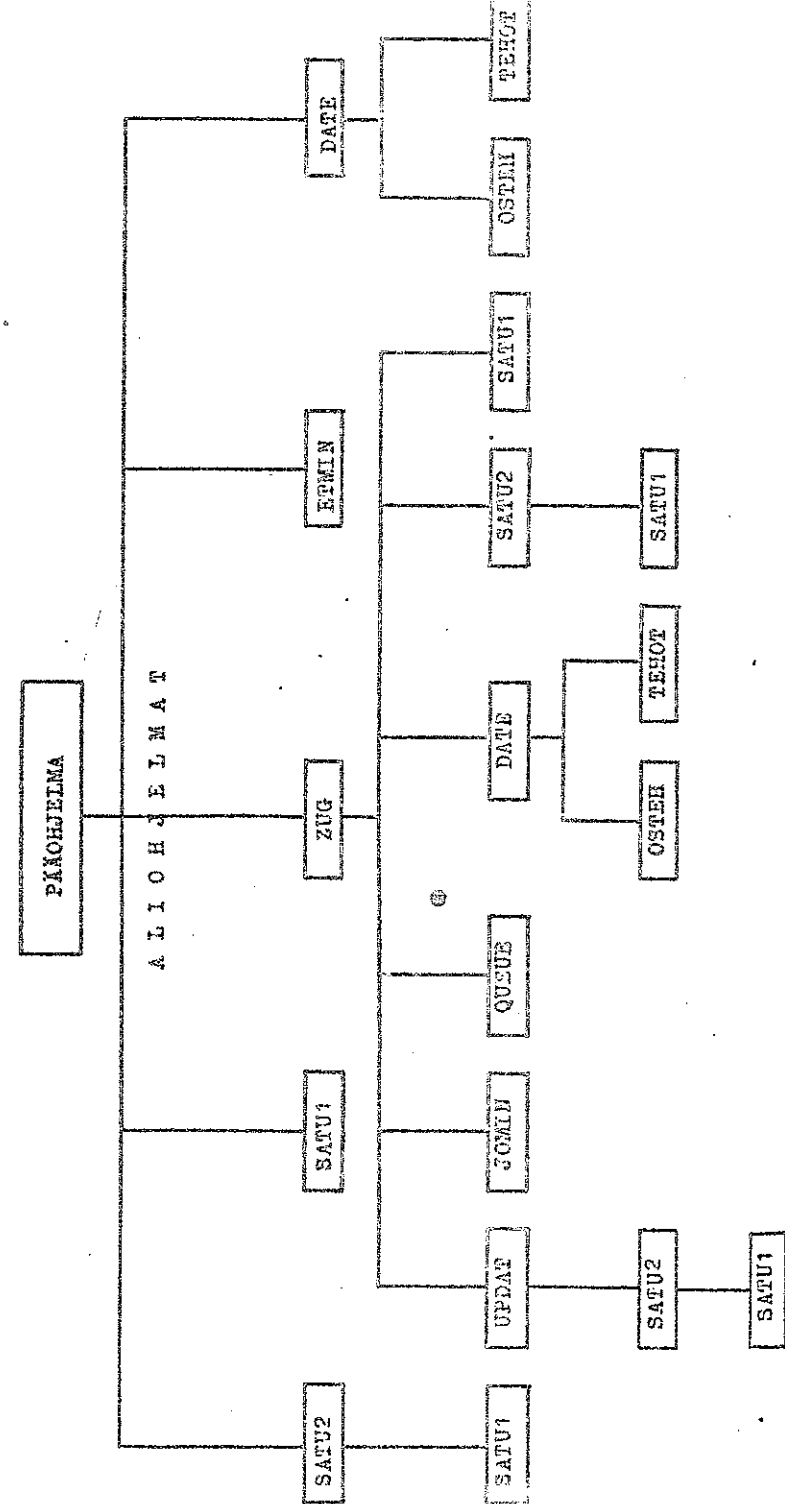
10. SUBROUTINE UPDAT (KODE, IN, I)

Aliohjelma (Liite VII) panee miehistön vapautuessa jonotöiden korjaamisen alulle sekä suorittaa erilaisten tilastotietojen rekisteröintiä.

Kuviossa - 5 on havainnollistettu edellä esitettyjen ohjelmien hierarkkista riippuvuutta, josta selviää myös ohjelmoinnissa käytetty moduliperiaate.

443 Ohjelmien testaus

Ohjelmat on testattu osittain manuaalisesti pöytätestien avulla ja osittain, lähinnä suurten ohjelmien kohdalla, tracing-menetelmällä kukin moduli erikseen. Lopuksi modulien toiminta yhtenäisenä simulointisysteeminä on testattu tietokoneajoina, joissa koneen sisäinen kontrollijärjestelmä on automaattisesti testannut yhteydet eri ohjelmien välillä. Oleellinen osa testauksesta on kohdistettu virheettömien ja sopivien satunnaislukugeneraattorien löytämiseen ja niiden eksatin toiminnan toteamiseen. Kuten tunnettua, simuloinnin järjestelyssä juuri kunnollisten generaattorien löytäminen on vaivalloista, näinpä tämän mallin yhteydessä lopulta päädyttiin omaan generaattoriin tietokoneen sisäisten asemesta.



Kuvio 5. Simulaattorin ohjelmahierarkkia

Testiajat ja myöhemässä vaiheessa myös lopullinen simulointi on suoritettu UNIVAC 1108 MULTIPROCESSOR SYSTEMiin kuuluvalla Turun Kauppakorkeakoulun DCT 2000 etäiseraikäsittelypöytäteel- lä.

5 SIMULOINNIN SUORITTAMINEN

51 Alkutiedot ja datat

Simulaattorin alkutiedoiksi on annettu mm. eri koneiden osasto- tunnuksat ja niiden tehoprocentit normaaliin toiminta-asteeseen verrattuna. Lisäksi jokaisesta koneyksiköstä on annettu niille ominaiset käyntiaikojen keskiarvot ja hajonnat sekä korjausai- kojen keskiarvot ja hajonnat, jotka on aproksimoitu ko. paperi- tehdastyypille ominaisista käytännön tiedoista. Koska täysin tarkat tilastot ja dokumentit puuttuvat, on edellä mainittuja arvoja ja käytännöstä saatavia jakautuma-arvioita hyväksi käyttäen muodostettu kullekin koneelle ominaiseksi käynti- ja korjausajojen jakautumaksi katkaistuista normaaliajakautumista saatavat likiarvot. Saatuja jakautumia voidaan pitää riittävän tarkkoina kehitetyn mallin tuloksien kannalta, sillä tarkemmis- sa tutkimuksissa edellä mainitut jakautumat ovat enimmäkseen yrityskohtaisia erilaisine yksityispiirteineen ja näin ollen tässä yhteydessä niitä voidaan pitää asiaankuulumattomina yk- sityiskohtina. Kustannuksista on annettu seisokkitunnin hin- naksi 14 800 mk, josta edelleen voidaan määritellä tehonlas- kusta aiheutuvat tappiot kulloisenkin tilanteen mukaan. Koh- dassa 41 mainittiin tehdystä rajoituksesta, jonka mukaan kunkin häiriön oletetaan katkaisevan siltä kohdin linjan. Vastaavasti kustannusten puolella pyritään likimääräiseen to- tuuteen pudottamalla seisokkikustannus 20 %:iin todellisista, mikä indikoi sitä, että vain 20 %:ssa häiriötilanteita tuotan- tolinja katkeaa. Korjausmiesten keskimääräiseksi tuntipalkaksi on otettu tuotantolaitoksen kannalta 12 mk/h. Edelleen simuloi- tavan ajan pituudeksi on määriteltä 10 000 tuntia. Ko. tunti- määrällä päästään mallista saatavien tulosten kannalta tiettyyn stabilisuuteen, josta satunnaislukugeneraattorin aiheuttamat heilahtelut voidaan katsoa häviävän pieniksi.

Simuloinnin aikana muutettaviksi alkutiedoiksi on annettu kor- jausmiesten lukumäärä sekä väliavarastona olevan massavaraston suuruus, jota normaalisti pidetään 12 tunnin tarpeeseen riittä- vänä. Osa käytetyistä datoista on esitetty liitteessä VIII. Simuloinnin aikana saatavien tulostusten muoto on esitetty liitteessä IX, josta tiedot tarvittavia johtopäätöksiä varten ovat olleet helposti saatavissa.

52 Korjausmiehistön määrän optimointi

Aluksi tutkittiin kehitetyn simulaattorin avulla häiriötilantei- den varalle tarvittavan korjausmiehistön lukumäärän optimisuu- ruutta. Käyttäen edellä esitettyjä dataja suoritettiin useita simulointikierroksia siten, että joka kerralla muutettiin kor- jausmiesten määrää ja seurattiin samalla kokonaiskustannusten kehittymistä. Muutamien alustavien kokeiluarvojen avulla saa- tettiin havaita haettavan optimin suuruusluokka, jossa edel- leen ryhdyttiin suorittamaan simulointia muuttamalla miehistön määrä pelkästään yhden väleihin kohden optimia. Seuraavassa tau- lukossa on esitetty kustannusten kehittyminen lähellä optimia miehistön eri lukumäärillä.

Miesmäärän muutosten vaikutus

miesten määrä	palkkakus- tannukset (mmk)	tuotanto- tappiot (mmk)	kokonais- kustannukset (mmk)	aika, jolloin miehistä puu- tetta (h)	
10	1,20	11,80	13,00	808,6	
14	1,68	8,70	10,38	133,6	
15	1,80	6,87	8,67	65,6	
16	1,92	6,87	8,79	65,5	
17	2,04	6,11	8,15	7,6	optimi
18	2,16	6,11	8,27	7,2	
19	2,28	6,06	8,34	6,2	
20	2,40	6,13	8,53	7,4	
21	2,52	5,96	8,48	0,0	
22	2,64	5,96	8,60	0,0	

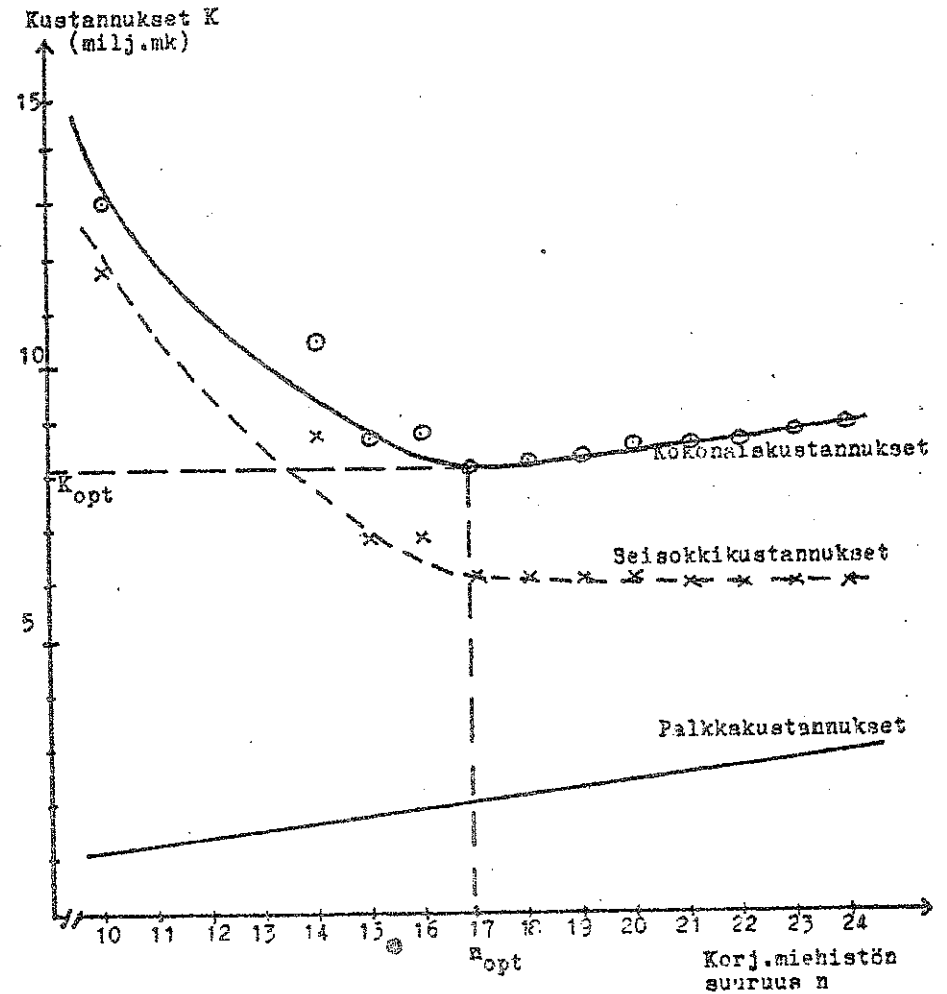
Kuten taulukosta havaitaan, näillä datoilla muodostuu korjausmiehistön optimisuuruudeksi 17 miestä, joka määrä ko. yrittymällä tulisi olla ympäri vuorokauden käytettävissä häiriötilanteiden varalle. Tosin on huomattava, että optimitilanteessa miehistön keskimääräinen käyttöprosentti 10 000 tunnin aikana on vain 19 %. Toisin sanoen miehistö on suurimman osan ajasta toimitettomana tai käytettävissä muihin töihin, mikä onkin ilmeisen yleinen piirre myös käytännön kunnossapitotoiminnassa. Joka tapauksessa ko. häiriökorjausmiesvahvuutta kannattaa pitää yllä, koska kokonaiskustannukset minimoituvat.

Edelleen on havaittavissa, että optimitilanteessa sallitaan myös miehistön puutetta, joka tosin tässä tapauksessa on vähäistä johtuen perin kriittisestä tuotantoprosessista. Miesmäärällä 21 puutetta ei esiinny lainkaan, mutta tässä vaiheessa jo kokonaiskustannukset ovat nousseet lisääntyneiden palkkakustannusten vuoksi yli minimin.

Kuviossa 6 on havainnollistettu saatua tulosta käyrien avulla, jotka noudattavat kutakuinkin teoreettisia muotoja. Tosin joissakin kohdissa saatu piste poikkeaa hiukan varsinaiselta käyrältä johtuen satunnaisuudesta, mikä kuuluu tämän tyypin ongelmien luonteeseen.

53 Välivarastojen koon tutkiminen

Seuraavassa vaiheessa tutkittiin massavaraston koon muutosten vaikutuksia kunnossapitotoiminnan kokonaiskustannuksiin. Simuloinnin aikana pidettiin myös korjausmiesten lukumäärä edellä saadussa optimissa, joka tosin todellisuudessa hakeutuu välivaraston muuttuessa mahdollisesti uuteen optimiin. Mutta nyt on haluttu pelkästään ilmentää varaston koon vaikutusta ja sen selventämiseksi on suoritettu ko. toimenpide.



Kuvio 6. Häiriökorjausmiehistön optimointi

Välivaraston koon vaikutus

Massavarasto tuntia	Palkkakus- tannukset	Tuotanto- tappiot	Kokonaiskus- tannukset
0 h	2,04	9,38	11,42 mmk
6 h	2,04	7,17	9,21 "
12 h	2,04	6,11	8,15 "
24 h	2,04	5,14	7,18 "
36 h	2,04	4,74	6,78 "
48 h	2,04	4,46	6,50 "
72 h	2,04	4,20	6,24 "

Taulukosta on havaittavissa kokonaiskustannusten suuret muutokset varaston muuttuessa. Esimerkiksi jos välivarasto poistettaisiin kokonaan, aiheutuisi siitä kokonaiskustannusten lisäys 3,27 mmk. Toisin sanoen, jos varastonpito maksaisi enemmän kuin tämän määrän 10 000 tuntia kohden, kannattaisi se poistaa prosessista tarpeettomana. Vastaavasti esimerkiksi välivaraston suurentaminen kaksinkertaiseksi kannattaisi, jos toimenpiteestä aiheutuvat kustannukset 10 000 tuntia kohden olisivat pienemmät kuin kustannussäästöt 0,97 mmk, jotka suurempi välivarasto tuottaa vähentyneiden tuotantotappioiden ansiosta.

54 Koneiden käyntiaikojen muutosten tutkiminen

Edellyttäen, että esimerkin tuotantolaitoksessa kyettäisiin tehostetun ennakkohuollon, prosessin parannusten tai jopa uusien investointien avulla lisäämään laitteiston luotettavuutta ja toimintavarmuutta, olisi siitä ilmeisenä seurauksena vastaavasti eri koneiden käyntiaikojen pidentyminen. Esimerkiksi jos juuri prosessin kriittisimmässä osissa, keitto- ja valkaisuosastoissa kyettäisiin edellä mainituilla keinoilla lisäämään näiden osastojen käyntiaikoja 20 %:lla, olisi tuloksena kokonaiskustannusten muuttuminen 8,15 mmk:sta 7,97 mmk:aan. Toisin sanoen osastojen toimintavarmuuden lisääminen kannattaa, jos se tulee kustannuksiltaan 10 000 tunnin aikana

huokeammaksi kuin 0,18 mmk. Tähän saattaa tulla lisäksi vielä palkkamenojen säästöjä, mikäli paremman toiminnan ansiosta korjausmiesten lukumäärää voidaan laskea.

Toisena esimerkkinä on simuloitu tilanne, jossa paperikoneiden toimintavarmuutta on saatu lisätyksi niinkin paljon kuin 20 % edellä mainituilla parannuskeinoilla. Tällöin kokonaiskustannukset laskivat 8,15 mmk:sta peräti 7,04 mmk:aan, siis muutokseen kannattaisi uhrata runsaasti varoja, kunhan ne pysyisivät alle 1,09 mmk:n jokaista 10 000 tuntia kohden.

Simulaattorin avulla olisi mahdollista tutkia prosessista myös muita kombinaatioita sekä yksittäisiä koneita parannettujen käyntiaikojen suhteen, jotka voisivat lisäksi vaihdella eri prosentuaalisissa suuruusluokissa kulloisenkin tarpeen ja tilanteen mukaan.

55 Koneiden korjausaikojen muutosten tutkiminen

Vastaavasti simulaattorilla voidaan tutkia korjausaikojen vaihtuksia, ovathan nekin merkittäviä kunnossapitopanoksia ja osia kunnossapitotoimen toimintavalmiuteen liittyvissä komponenteissa.

Mikäli tuotantolaitoksessa kyetään tehostamaan erilaisten varaosien saantia riittävän varastoinnin avulla, koulutetaan korjausmiehistöä nopeampaan ja varmempaan korjaustyöskentelyyn, huolehditaan miehistön toimintavalmiudesta erilaisia tilanteita varten jne., saadaan todennäköisesti laitteiston korjausaikoja pienennetyksi huomattavasti.

Jos esimerkiksi jollakin edellä mainituista keinoista kyettäisiin malliyrittelyksessämme lyhentämään kriittisten keitto- ja valkaisuosastojen keskimääräisiä häiriökorjausaikoja 20 %:lla, muuttuisivat kustannukset 8,15 mmk:sta 7,99 mmk:aan, siis 0,16 mmk. Tämän kaltaista tutkimusta voitaisiin suorittaa simulaattorin avulla hyvinkin tarkasti prosessin eri osissa käyttämällä eri kombinaatioita.

56 Kunnossapitopanosten simultaaninen tutkiminen

Edellä esitettyjä kunnossapidon osa-alueita voidaan periaatteessa tutkia myös simultaanisesti siten, että etsitään eri mahdollisuuksien joukosta tarvittavia optimituloksia muuttamalla kunnossapidon panoksien vaikutuksia samanaikaisesti. Simulointi etenee eri panoskombinaatioiden avulla vaiheittain kohden optimia, tosin iteraatiokierroksia joudutaan tekemään suhteellisesti enemmän verrattuna yksittäisten panostekijöiden tutkimiseen. Mutta otettaessa huomioon saatavat kustannussäästöt, joihin verrattuna simuloinnista aiheutuvat kustannukset ovat vain murto-osa, kannattaa laajemmankin simuloinnin suorittaminen. Esimerkiksi tällä simulaattorilla simuloitaessa tietokoneen keskusyksikköaika kuluu ainoastaan noin kaksi sekuntia yhden 10 000 tunnin jakson käsittelyyn.

Simultaanisen tutkimuksen avulla saadaan tuotantoprosessista selville, miten muutokset vaikuttavat kustannuksiin, panostekijöiden muutosten suuruuksien ja kustannusten muutosten suuruusluokkien riippuvuussuhteet. Esimerkiksi sitä kautta saataisiin mukaan toimintavarmuuden vaikutusten tutkiminen. Voitaisiin tutkia annetun budjetin puitteissa maksimaaliseen toimintavarmuuteen johtavaa strategiaa tai annetun toimintavarmuuden takaavan strategian etsimistä minimoimalla kustannukset. Toisin sanoen mallin avulla kyetään antamaan kunnossapitojohdolle informaatiota eri panostekijöiden vaikutuksista, joita hyväksi käyttäen se kykenee suuntaamaan kunnossapitostrategiansa alueille, jossa saavutetaan kokonaisuutta ajatellen parhaat tulokset.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT JA MALLIN EDELLEEN KEHITTÄMINEN

Kehitettyä kunnossapidon simulointimallia tarkasteltaessa voidaan todeta, että jo tässä muodossa se on käyttökelpoinen jonkin yksityisen tuotantolaitoksen kunnossapidon tutkimukseen, mikäli käytettävissä olisi tarkempia käytännöstä saatavia lukuarvoja. Edellä tutkitun malliyrityksen yhteydessä

ilmenneet lukuarvot ovat pelkästään suuruusluokkansa ja -suhteittensa puolesta todellisia arvoja vastaavia ja olleet ainoastaan kriteereinä kehiteltävän mallin arvostelussa.

Tärkein tavoite, menetelmän toteuttaminen ja edelleen kehittäminen käytännön päätöksenteon tueksi, voidaan katsoa saavutetun. Ennen kaikkea tutkimuksen yhteydessä on saatu tuoduksi esille se problematiikka ja ne vaikeudet, joita itse menetelmän toteutus ja käyttö tuovat tullessaan yhdessä sen ongelmakentän kanssa, jota kunnossapito sinänsä jo sisällyttää itseensä. Tässä yhteydessä on korostettava erityisesti sitä, että saatu malli ei ole kaikkisältävä "taikasauva" ongelmien ratkaisuun, vaan päätöksenteon apuväline, joka pystyy kartoittamaan ja suuntaamaan liikkeenjohdon päätöksiä MIS-periaatteiden mukaisesti kohden tieteellisen liikkeenjohdon alueita. Samalla suoritettaessa mallin kehittämistä yrityskohtaisiin tarkoituksiin tuotantolaitoksen kunnossapito tulee muutoinkin tarkoin tutkituksi, sen puutteet rakenteessa, organisaatiossa ja toiminnassa tulevat huomatuiksi. Mikä tärkeintä, niiden ohella kunnossapidon informaation kulku saadaan kanavoiduksi ja tehostetusti palvelemaan koko tuotantolaitokselle tärkeää toimintakenttää.

Simulointimallin edelleenkehittämisessä voitaisiin jo tältäkin pohjalta edetä liittämällä mukaan muutoksia, jotka ottaisivat huomioon kunnossapidon panoksina myös ylitöiden ja alihankintojen vaikutukset. Edelleen ennakkohuollon, varaosavarausten vaikutusten ja mitoittamisen sekä kone- ja osastokohtaisten moduulien tarkastelu voitaisiin ottaa mukaan mallin puitteissa. Tämä kuitenkin edellyttää laajaa yrityskohtaista tutkimustyötä, ensinnäkin tilastoimien, dokumentoinnin ja informaation kulun kohdalla sekä toiseksi sopivien kriteerien ja mittareiden kehittämistä eri kunnossapitopanosten mitoittamiseksi niin, että ne soveltuvat sisällytettäväksi itse malliin. Samalla tehokas työskentely varsinaisella käytännön kentällä luo yleiset puitteet integroidun kunnossapidon simulointimallin rakentamiselle ja laajamittaiselle käyttöönotolle. Integroitu simulointimalli

sisältäisi mahdollisesti kaikki eri kunnossapidon osa-alueet ennakkohuollosta häiriötilanteisiin yhdessä kunnossapitoa avustavien toimintojen kanssa muodostaen yhtenäisen systeemin, jossa myös koulutuksen sekä työ- ja aikatutkimusten vai- kutuksia voitaisiin simuloida.

Ottaen huomioon projektin laajuuden ja kauaskantoisuuden edellyttää työn jatkaminen entistä syvempää kanssakäymistä käytännön toimintaa edustavien liikkeenjohdon ja henkilökun- nan sekä operaatioanalyysistä kiinnostuneiden tutkijoiden ja soveltajien välillä, niin että ongelman lähestymistapa ja ratkaisu sekä siitä saatavat tutkimustyön aikana syntyneet ja lopulliset tulokset palvelisivat suoraan käytännön päätök- sentekoa.

```

C** PAAHJELMA
C** SUORITAA ALKUAARVOJEN ANNOT TOIKKI KATKIEEN ALIOMJELMIEN YHTIEN-
C** MONHOJANA. LOPUKSI ONJELMA KIRJOITTA SIMULOINNIN AIKANA SAADUT
C** TULOKSET.
DIMENSION AIKA(11)
COMMON /MIESN,CLOCK,KYAP, KONE(3,20),ZKONE(3,20),DEPAR(11),KSEP,
1 VARA,VAMAX,TANTE,COST,TAPPI,TAPP2,ELISA,ALISA,MPIT,IMAX,MIEST,ILM
2 JONG(3,20),TLINI,TLINZ,IL,JK
NCH = 5
NUR = 5
JONG(1) = 1
QUATH = 0.
M = 1
MDEP = 1
CLOCK = 0.00
ELISA = 0.00
VAMAX = 0.00
VARE = 0.00
VARI = 0.00
LAINA = 0.00
KAINA = 0.00
TAPPI = 0.00
TAPP2 = 0.00
ALISA = 0.10
MPIT = 20.10
USEMI = 0.0
KMPVTY = 0.00
VFULL = 0.00
TLINI = 0.00
TLINZ = 0.00
DO 510 K=1,20
  YILKON(K) = 0.00
  MILOSKON(K) = 0.00
510 DO 511 K=1,11
  TILOSKON(K) = 0.00
  MILOSKON(K) = 0.
511 READ(INC,2) MIESN
  FORNAT(110)
  MIEST = MIESN
  READ(INC,3) IMAX
  FORNAT(110,2)
  READ(INC,4) VAMAX
  READ(INC,5) COST
  READ(INC,200) KONE
  FORNAT(40,12,20,12)
  READ(INC,201) ZKONE
  FORNAT(112,11,15,6,2/1,4,6,2)
  DO 202 L=1,11
  DEPAR(L) = 1.00
  DO 203 K=1,20
C** GENEROIDAAN KONEILLE KAYNTIAJAT
KMEAN = ZKONE(1,K)
KSTDEV = ZKONE(2,K)
CALL SAVM2(1,K,STDEV,KMEAN,AIKA(1))
ZKONE(7,K) = AIKA(1)
IF(AIKA(1) > 1998.1998.101
  YFI(AIKA(1)) = G.101205,205.205
AIKAC(1) = 0.0
ZKONE(15,K) = AIKA(1)
C** ETSITAAN ENSIMMAINEN TAPAHTUMA
CALL EYHIN(ZKONE,MPIT,ALISA,KSEUR, YSEUR)
CLOCK = YSEUR
KYAP = KSEUR
CALL SAVM2(1,K,K)
IF(K-D.70) 310,311,311
IF(K-D.500) 312,313,313
KMUUT = 3
GOTO 315
312 KMUT = 0
GOTO 315
313 KMUT = 0
315 KONE(12,KYAP) = KMUT
C** ONKO TARPEEKSI KORJAUSMIENIA VAPAANA
IF(MIESN-KMUUT) 210,211,211
C** EI OLE. JOUDUTAAN ASETTAMAAN TYO JONOON
210 CALL ZUG

```


Liite I (jatkoa)

```

MMUUT = 0
IF (CLOCK-TMAX) 230,7000,7000

C** GENEROIDAAN KORJAUSATKA
211 XMEAN = ZKONE(5,KYAP)
STDEV = ZKONE(6,KTAP)
1997 CALL SATU2(IK,STDEV,XMEAN,AIKA(1))
ZKONE(18,KTAP) = AIKA(1)
IF (AIKA(1)) 1997,1997,303
303 IF (AIKA(1)-0.10) 212,212,213
212 KAIKA = 0
KSEUR = KTAP
GO TO 220
213 ZKONE(11,KTAP) = CLOCK+AIKA(1)
KONE(1,KTAP) = 0
MILKO(KTAP) = MILKO(KTAP)+1
TILKO(KTAP) = TILKO(KTAP)+AIKA(1)
J = KONE(13,KTAP)
MILOS(J) = MILOS(J)+1
TILOS(J) = TILOS(J)+AIKA(1)
IF (LAIKA) 243,244,243
244 MMUUT = 0
LAIKA = 1
GO TO 230
243 MMUUT = 0-MMUUT
230 CALL ETMIN(ZKONE,MPIT,RLISA,KSEUR,TSEUR)

C** LASKETAAN PAIVIYETTAVA AIKAVALI
TINYE = TSEUR-CLOCK
CALL DATE(MMUUT)
CLOCK = TSEUR
IF (CLOCK-TMAX) 222,7000,7000
222 IF (KONE(1,KSEUR)) 221,220,221

C** GENEROIDAAN UUSI KAYNTIAIKA KORJATULLE KONEELLE
220 XMEAN = ZKONE(13,KSEUR)
STDEV = ZKONE(14,KSEUR)
1996 CALL SATU2(IK,STDEV,XMEAN,AIKA(1))
ZKONE(17,KSEUR) = AIKA(1)
IF (AIKA(1)) 1996,1996,306
224 IF (AIKA(1)-0.10) 224,224,225
224 LAIKA = 0
GO TO 221
225 ZKONE(11,KSEUR) = CLOCK+AIKA(1)
KONE(11,KSEUR) = 1
IF (KAIKA) 240,241,240
241 MMUUT = 0
KAIKA = 1
KTAP = KSEUR
GO TO 230
240 MMUUT = KONE(12,KSEUR)
KTAP = KSEUR
GO TO 230

C** SIMULOINTI LOPPUNUT. HIRJOITETAAN TULOKSET
7000 TMIES = MIES
USE = (USEMI/(TMAX+TMIES))*100.
WRITE (NWR,7001) MIES, USE
7001 FORMAT (//, 'MIESTEN LUKUM=:',IS,' MIEMIST',N,KYI,'PROS',F6.0)
ZKORJ = 12*TMAX*MIES
ZKOKO = ZKORJ+TAPP1+TAPP2
WRITE (NWR,7002) YAPP1,YAPP2,ZKORJ,ZKOKO
7002 FORMAT (//, 'LINJAN 1 SEISOAKIATAPPIO',F15.2,'MK',//, 'LINJAN 2 SEISOAKIATAPPIO',F15.2,'MK',//, 'KORJAUSMIE SKUSTANNUKSET',F15.2,'MK',//, 'KUSTANNUKSET YHTEENSA',F15.2,'MK')
WRITE (NWR,7003) VAMAX,EMPTY,TFULL,CLOCK
7003 FORMAT (//, 'VARASTON MAXKAPAS',F6.1//, 'VARASTO TYHJN=',F7.1,' H',//, 'VARASTO IYNNN=',F7.1,' H',//, 'SIMULOINTIAIKA',F8.0,' H',//)
WRITE (NWR,601)
601 FORMAT (//,3X,'KONE',2X,' RIKKI TUNTIA',2X,'VIKOJA KPL')
DO 7004 KL = 1,20
7004 WRITE (NWR,7005) KL, TILKO(KL), MILKO(KL)
7005 FORMAT (16, F12.1, I12)
WRITE (NWR,7006)
7006 FORMAT (//, 'OSASTO',2X,' RIKKI TUNTIA VIKOJA KPL')
DO 7006 KL = 1,11
7006 WRITE (NWR,7005) KL, TILOS(KL), MILOS(KL)
WRITE (NWR,7010) GUAIM
7010 FORMAT (//, 'AIKA, JOLLOIN MIEHISTE PUUTETTA',F7.1)
WRITE (NWR,7011) TLIN1, TLIN2
7011 FORMAT (//, 'LINJA 1 POIKKI',F7.1,' H',//, 'LINJA 2 POIKKI',F7.1,' H')
STOP

```

Liite II

```

SUBROUTINE ETMIN(ZKONE, MPIT, RLISA, KSEUR, TSEUR)
C** ALIHOJELMA ETSII SEURAAVAN TAPAHTUMAN
DIMENSION ZKONE(18,20)
IETMI = 1
TSEUR = ZKONE(1,1)
KSEUR = 1
1 IF (IETMI-MPIT) 2,5,5
2 IETMI = IETMI+1
3 IF (TSEUR-ZKONE(1,IETMI)) 1,4,3
4 KSEUR = IETMI
TSEUR = ZKONE(1,IETMI)
GO TO 1
5 ZKONE(1,IETMI) = ZKONE(1,IETMI)+RLISA
GO TO 1
RETURN
END

SUBROUTINE JOMIN(ZKONE,MPIT,RLISA,KSEUR,TSEUR,CLOCK,KTAP)
C** ALIHOJELMA ETSII SEURAAVAN TAPAHTUMAN JONOSTILANTEESSA OL-
C** TAESSA
DIMENSION ZKONE(18,20)
IETMI = 1
TSEUR = CLOCK + 10000.
IF (ZKONE(1,IETMI)-CLOCK) 1,2,3
2 IF (KTAP-IETMI) 4,1,4
3 ZKONE(1,IETMI) = ZKONE(1,IETMI)+RLISA
GO TO 10
4 IF (TSEUR-ZKONE(1,IETMI)) 1,6,10
5 ZKONE(1,IETMI) = ZKONE(1,IETMI)+RLISA
GO TO 1
10 TSEUR = ZKONE(1,IETMI)
KSEUR = IETMI
IETMI = IETMI+1
IF (IETMI-MPIT) 5,5,100
100 RETURN
END

SUBROUTINE SATU2(IK,VFL)
C** ALIHOJELMA KAYTETAAN GENEROITUAAN TARVITTAVIEN KORJAUSMIEHISTEN
C** LUKUVAARAA
II=34359738367
IV = IX+65839
IF (IV) 5,6,6
5 IV=IV+II+1
VFL = IV
6 VFL = VFL+C.2910383E-10
IX=IV
RETURN
END

SUBROUTINE SATU2(IX,S,AM,V)
C** ALIHOJELMALLA GENEROIDAAN KONEILLE KORJAUS- JA KAYNTIAJAT
A = 0.
DO 50 I=1,12
CALL SATU2(IX,Y)
A = A+Y
V = (A-S)*S+AM
RETURN
END
50

```

SUBROUTINE OSTEHIJ

C** OHJELMA LASKEE OSASTOJEN TEMOT, KUN KONEIDEN TEMOT TUNNETAAN

```

COMMON MIESN,CLOCK,KTAP,KONE(3,20),ZKONE(8,20),DEPAR(11)
IF(J-4) 1,2,1
IF(J-5) 3,4,3
IF(J-8) 5,4,5
IF(J-10) 6,4,6
IF(J-11) 7,4,7
IF(KONE(1,KTAP)) 8,9,8
IF(J-2) 8,8,10
IF(J-3) 15,8,15
IF(J-9) 9,8,9
DEPAR(J) = 0.
RETURN
DEPAR(J) = 1.
RETURN
DEPAR(J)=0.
IF(KONE(3,KTAP-1) -J) 14,12,14
L = -1
GO TO 13
L = 1
KTAPU = KTAP + L
IF(KONE(1,KTAPU)) 16,17,16
DEPAR(J) = DEPAR(J) + ZKONE(2,KTAPU)
IF(L) 17,20,17
IF(KONE(1,KTAP)) 18,19,18
L = 0
GO TO 16
IF(DEPAR(J) - 1.) 19,19,8
RETURN
IF(KONE(3,KTAP-2) - J) 23,24,23
IF(KONE(3,KTAP-1)-J) 25,26,25
KENS = KTAP-2
KTOIN = KTAP-1
GO TO 30
KENS = KTAP -1
KTOIN = KTAP+1
GO TO 30
KENS = KTAP + 1
KTOIN = KTAP + 2
DEPAR(J) = 0.
IF(KONE(1,KENS)) 31,32,31
DEPAR(J) = DEPAR(J) + ZKONE(2,KENS)
IF(KONE(1,KTOIN)) 33,34,33
DEPAR(J) = DEPAR(J) + ZKONE(2,KTOIN)
IF(KONE(1,KTAP)) 35,20,35
DEPAR(J) = DEPAR(J) + ZKONE(2,KTAP)
GO TO 20
END

```

SUBROUTINE TEMOT(TEHO1, TEHO2)

C** TAMA OHJELMA LASKEE LINJOJEN TEMOT

```

COMMON MIESN,CLOCK,KTAP,KONE(3,20),ZKONE(8,20),DEPAR(11) .NDP
M1 = 9
L = 1
TEHO1 = DEPAR(L)
L = L + 1
IF(L-1) 1, 1, 10
IF(DEPAR(L)-TEHO1) 2,3,3
TEHO2 = DEPAR(L)
L = L+1
IF(L-NDP) 4, 4, 5
IF(DEPAR(L)-TEHO2) 10, 7, 7
RETURN
END

```

SUBROUTINE DATE(MUUT)

C** ALIONJELMA PAIVITTAÄ KORJAUSMIESTILANNETTA, VARASTON MAARAA JA LASKEE TUOTANTOTAPPIOITA JA LINJOJEN POIKKIOLOAIROJA

```

COMMON MIESN,CLOCK,KTAP, KONE(3,20),ZKONE(8,20),DEPAR(11),NDP,
1VARA,VANAK,TINTE,COST,TAPP1,TAPP2,ELISA,RLISA,MPIT,THAX,MIEST,TILK
20(20),MILKO(20),TTLOS(11),MILOSI(11),QUAIX,USEMI,EMPTY,TFULL
3,JOND(320), TLIN1,TLIN2
MIESN = MIESN+MMUUT
XN = MIEST-MIESN
USEMI = USEMI+XN+TINTE
J = KONE(3,KTAP)
CALL OSTEHIJ
CALL TEMOT(TEHO1,TEHO2)
IF(TEHO1)90,91,90
TLIN1=TLIN1+TINTE
IF(TEHO2)92,93,92
TLIN2 = TLIN2+TINTE
IF(KONE(1,16))96,95,96
TEHO1 = 0.00
IF(TEHO1-1.00) 100,101,100
IF(VANAK-VARA)102,100,103
TEHO1 = ELISA
IF(TEHO1-TEHO2)104,106,105
TIMEY = (VANAK-VARA)/(TEHO1-TEHO2)
TAPP2 = TAPP2+(1.00-TEHO2)*COST)+TINTE
IF(TIMEY-TINTE) 107,108,108
IF(TEHO1-1.00)109,109,110
TEHO1 = 1.00
VARA = VANAK
TFULL = TFULL + (TINTE-TIMEY)
GO TO 130
VARA = VARA+(TEHO1-TEHO2)*TINTE
IF(VARA) 130,121,130
EMPTY=EMPTY+TINTE
GO TO 130
TIMEY=VARA/(TEHO2-TEHO1)
IF(TIMEY-TINTE)112,113,113
TAPP2=TAPP2+TIMEY*(1.00-TEHO2)*COST)
VARA=VARA+(TEHO1-TEHO2)*TINTE
GO TO 130
VARA=0.0
EMPTY=EMPTY+(TINTE-TIMEY)
TAPP2=TAPP2+TIMEY*(1.00-TEHO2)*COST)
TAPP1=TAPP1+(TINTE-TIMEY)*(1.00-TEHO1)*COST)
130 RETURN
END

```

Liite V

```

SUBROUTINE ZUG
C** ALIHOJELMASYSTEMIN TULLAAN, KUN EI OLE TARPEEKSI HIEHIA SUO-
C** RIITTAMAAN ILMENNYYTIA HATRIKORJAUSTA
DIMENSION AIKA(1)
COMMON MIESN,CLOCK,INDEX,KONE(3,20),ZKONE(8,20),DEPAR(11),NDEP,
20(20),MILKO(20),TYLOS(11),MILOS(11),QUAIK,USPFI,EMPTY,TFULL
3,JONO(320),TLIN1,TLIN2,IX,IK
TIME = CLOCK
KONE(1,INDEX) = 0
N = 1
MINDX = 0
RMIMI = 0
MIFI = 20
RMILT = 0.1
KODE = 0
C** SEURAAVAN TAPAHTUMAN ETSIMINEN
1 CALL JOMINIZKONE,MIFI,RMILT,MINDX,RMIMI,CLOCK,INDEX)
CLOCK = ZKONE(1,INDEX)
TF(CLOCK-TMAX)99,100,100
C** ASETETAAN TYO JONOON
99 CALL QUEUE
MILKO(INDEX) = MILKO(INDEX)+1
INOS = KONE(3,INDEX)
MILOS(INOS) = MILOS(INOS)+1
KMUUT = 0
TIME = RMIMI-CLOCK
C** PAIVITYS
CALL DATE(KMUUT)
CLOCK = ZKONE(1,MINDX)
IF(CLOCK - TMAX) 7,100,100
7 IF(KONE(1,MINDX)) 9,10,9
9 KONE(1,MINDX) = 0
INDEX = MINDX
GO TO 1
10 KONE(1,MINDX) = 1
C** KAYNTIAJAN GENEROINTI
XMEAN = ZKONE(3,MINDX)
STDEV = ZKONE(4,MINDX)
1999 CALL SATU(IK,STDEV,XMEAN,AIKA(1))
200 IF(AIKA(1)) 1999,1999,200
ZKONE(7,MINDX) = AIKA(1)
IF(AIKA(1)-0.10) 101,101,102
101 AIKA(1) = 3.0
102 ZKONE(1,MINDX) = AIKA(1)+CLOCK
C** KORJAUSMIESLUUVUN PAIVITYS
MIESN = MIESN+KONE(2,MINDX)
I = 1
15 IF(JONO(2-I)) 20,20,20
20 IF(I-1) 30,30,25
C** SEURAAVA TAPAHTUMA, PAIVITYS
25 CALL JOMINIZKONE,MIFI,RMILT,MINDX,RMIMI,CLOCK,INDEX)
TIME = RMIMI-CLOCK
KMUUT = 0
CALL DATE(KMUUT)
CLOCK = ZKONE(1,MINDX)
IF(CLOCK-TMAX) 30,100,100
30 IN = JONO(2*I+1)
CALL SATU(IX,X)
IF(IX-0.70) 310,311,311
IF(IX-0.90) 312,313,313
310 KMUUT = 2
GO TO 315
312 KMUUT = 4
GO TO 315
313 KMUUT = 9
315 KONE(2,IN) = KMUUT

```

Liite V (jatkoa)

```

C** TUTKITAAN, RIITTAKO MIEHIA SUOITTAMAAN JONOSSA OLEVAA TYOTA
C** JOS RIITTAA, KUTUTATAAN UPDAT-OHOJELMAA
35 IF(KMUUT-MIESN) 35,35,25
CALL UPDAT(KODE,IN,I)
40 IF(KODE) 100,100,40
I = 1
GO TO 15
50 IN = JONO(2*I+1)
CALL SATU(IX,X)
IF(IX-0.70) 510,511,511
IF(IX-0.90) 512,513,513
511 KMUUT = 2
510 GO TO 515
512 KMUUT = 4
513 GO TO 515
515 KMUUT = 9
KONE(2,IN) = KMUUT
C** TUTKITAAN, RIITTAKO MIEHIA JONOSSA OLEVAN KIIRTELLISEN TYON
C** SUOITTAMISELLE, JOS EI RIITTA, TUTKITAAN MUUT MAHDOLLISET KIIRTEL-
C** ITSET TYOT VASTAANVASTI
55 IF(KMUUT-MIESN) 55,55,60
CALL UPDAT(KODE,IN,I)
60 IF(KODE) 100,100,15
65 IF(JONO(2*I+2)+1) 65,25,65
I = I+1
GO TO 15
C** JONON KAIKKI TYOT PANTU ALULLE, LASKETAAN JONOSSAVIIPYMISAIKA
100 QUAIK = QUAIK+TIME+CLOCK
RETURN
END

```

Häiriöttömän käyntiajan ja korjausajan jakautumien keskiarvot ja hajonnat koneyksiköittäin (osastoittain)

```

SUBROUTINE QUEUE
C** ALTOHJELMA ASETTAA JONOON TYON, JOITA EI VOIDA KORJAUSMIESTEN
C** PUUTTUUNSEN VUOKKI SUORITTAAN, KIIREEFFILINEN ELI O-TYO TULEE JONOON
C** ALKKUUN MUIDEN O-TYOIDEN JALKEEN
C** TYO ON O-TYO, JOS OSASTOSSA ON VAIN YKSI KON TAI JOS OSASTON
C** KAIKKI KONEET OVAT RIKKI
C** ONKO KYSYMYKSESSA O-TYO
COMMON MIESN,CLOCK,INDX,KONE(3,20),ZKONE(9,20),DEPAR(11),NDFP,
1VARA,VAMAX,TINTE,COST,TAP01,TAP2,ELISA,RLISA,HPIT,INAY,MIEST,TILK
20(20),MILKO(20),TIL0S(11),MIL0S(11),GUAIK,USEMI,EMPTY,TFULL
3,JONO(320),ILIN,ILIN2
IF(ZKONE(2,INDEX)) 2,10,2
2 NINDY = INDEX -1
IF(KONE(3,INDEX)-KONE(3,NINDY)) 6,3,6
3 IF(KONE(1,NINDY)) 120,4,20
4 NINDX = NINDY-1
IF(KONE(3,INDEX)-KONE(3,NINDX)) 6,5,6
5 IF(KONE(1,NINDX)) 70,10,20
6 NINDX = INDEX+1
7 IF(KONE(3,INDEX)-KONE(3,NINDX)) 10,7,10
8 IF(KONE(1,NINDX)) 120,8,20
9 NINDX = NINDX+1
IF(KONE(3,INDEX)-KONE(3,NINDX)) 10,9,10
IF(KONE(1,NINDX)) 20,10,20
C** EI OLLUT O-TYO
10 IN = 2
11 IF(JONO(IN)) 13,12,3
12 IN = IN+2
13 GO TO 11
131 IF(JONO(1)-1) 131,131,130
JONO(1) = 4
JONO(2) = 0
JONO(3) = INDEX
JONO(4) = -1
RETURN
130 NINDY = JONO(1)
14 IF(NINDX-IN) 16,15,15
15 JONO(NINDX+2) = JONO(NINDX)
NINDEX = NINDX-1
16 GO TO 14
JONO(1) = JONO(1)+2
JONO(IN) = 0
JONO(IN+1) = INDEX
RETURN
C** OLI O-TYO
20 IF(JONO(1)-1) 22,22,21
21 IN = JONO(1)
JONO(IN) = 1
JONO(IN+1) = INDEX
JONO(IN+2) = -1
JONO(1) = JONO(1)+2
RETURN
22 JONO(1) = 4
JONO(2) = 1
JONO(3) = INDEX
JONO(4) = -1
RETURN
END
    
```

Osasto	Käyntiaika (h)		Korjausaika (h)	
	K-arvo	Hajonta	K-arvo	Hajonta
Puunkäsittely	43.2	50.6	12.0	16.0
Hakkeen kuljettimet	864.0	325.7	9.0	3.4
Hakevarasto	288.0	151.2	8.0	4.2
Hakkeen syöttölaitteet	345.6	459.6	11.0	14.3
Keitto-osasto	61.7	65.5	6.0	6.5
Pesuosasto	259.2	346.3	8.0	10.7
Valkaisuosasto	78.5	110.5	11.0	14.9
Lajittamo	341.1	302.0	9.0	13.5
Massavarasto	576.0	495.0	6.0	8.6
Jauhatusosasto	996.0	750.0	12.0	19.0
Paperikoneet	259.2	209.9	25.0	23.5

Simulointiaikana on ollut 10 000 h.

Miestytunnin hinnaksi on oletettu 12.00 mk.

Seisokitappioksi on laskettu 14 800 mk/h.

Liite IX.

MALLITULOSTUS

SIMULOINTIATKA 10000 H
 MIESTEN LUKUVAAPA 17
 MIEHISTÖN KÄYTTÖPROS. 19
 MIEHISTÄ PUUTETTA 7.6 H

TUOTANTOTAPPIO ENNEN MASSAVARASTOA 3014825 MK
 TUOTANTOTAPPIO MASSAVARASTON JALKEEN 3095759 MK
 KORJAUSMIEHISKUSTANNUKSET 2040000 MK
 KUSTANNUKSET YHTEENSÄ 8150584 MK

MASSAVARASTON SUURUUS 12 H
 VARASTO TYÖJÄNÄ 1438 H
 VARASTO TÄYNNÄ 2310 H

YKSIKKO RIKKI TUNTIA VIKOJA KPL

YKSIKKO	RIKKI TUNTIA	VIKOJA KPL
1	2288.1	129
2	100.4	12
3	215.2	28
4	221.4	13
5	325.8	19
6	963.2	108
7	278.7	26
8	492.1	31
9	339.3	28
10	993.5	54
11	346.6	25
12	392.4	21
13	285.4	23
14	99.4	12
15	122.5	7
16	151.4	7
17	158.6	9
18	1039.0	35
19	989.0	31
20	809.5	24

OSASTO RIKKI TUNTIA VIKOJA KPL

OSASTO	RIKKI TUNTIA	VIKOJA KPL
1	2288.1	129
2	100.4	12
3	215.2	28
4	547.2	32
5	963.2	108
6	1109.1	83
7	943.5	64
8	1024.4	69
9	99.4	12
10	432.5	23
11	7837.4	90

LÄHDELUETTELO

Buffa, E.S. (I) Modern Production Management
 John Wiley & Sons, Inc.
 New York, 1961 (s. 474-491)

Buffa, E.S. (II) Operations Management Problems and
 Models
 John Wiley & Sons, Inc.
 New York 1963 (s. 353-412)

Goldman, A.S. - Maintainability: A Major Element of
 Slattery, T.B. System Effectiveness
 John Wiley & Sons, Inc.
 New York 1964

Kaufmann, A. Methods and Models of Operations
 Research
 Prentice-Hall, Inc.
 New York 1963

Kunnossapitotoimi- Kunnossapito Suomen teollisuudessa,
 kunta 1971

Lewis, B.T. - Management Guide for Preventive
 Pearson, W.W. Maintenance
 John F. Rider Publisher, Inc.
 New York 1960

Malaska, P. - Kunnossapito
 Virtanen, I. - Turun Kauppakorkeakoulun julkaisuja
 Seppälä, J. Sarja A I - 4: 1970

Haastattelut

Oy W. Rosenlew Ab, Porin sulfaatti- ja paperitehdas

Tehdaspalveluosaston johtaja	J. Sjöblom
Työnsuunnittelupäällikkö	E. Merilampi
Kunnossapitoinsinööri	K. Tattari

Suomen Sokeri Oy, Kantvikin tehdas

Kunnossapitopäällikkö	A. Hirvonen
Kantvikin tehtaiden kunnossapitopäällikkö	E. Lindqvist

Rikkihappo Oy, Uudenkaupungin tehtaas

Tehdaspalvelupäällikkö	V. Perkkiö
Suunnittelupäällikkö	R. Siivola