

Ilkka Virtanen

KUNNOSSAPIDON SIMULOINTIMALLI

Tehdaspalveluyhdistys ry

Turku, lokakuu 1972

Tilastotieteen laudatur-tutkielma
Turun kauppakorkeakoulu

S I S Ä L L Y S L U E T T E L O

1.	JOHDANTO	Sivu			
		1			
2.	OPERAATIO TUTKIMUS PÄÄTÖKSENTEON TUKENA	4			
	2.1. Yleistä	4			
	2.2. Malli operaatiotutkimuksen työvälineenä	4			
	2.3. Mallityypeistä	6			
	2.3.1. Simuloinnin määrittelmä	7			
	2.3.2. Miksi simulointimalli?	9			
3.	KUNNOSSAPITOMALLIN YLEISET PUITTEET	11			
	3.1. Kunnossapito teollisuusyrityksessä	11			
	3.2. Optimaalinen kunnossapitopolitiikka	12			
	3.2.1. Kunnossapidon rakenteesta	12			
	3.2.2. Kunnossapitostrategia ja -politiikka	12			
	3.2.3. Optiminkriteereistä	14			
	3.3. Esimerkkiyrityksen kuvaus	15			
4.	MALLIN RAKENNE JA TOIMINTA	18			
	4.1. Kunnossapitomalleista yleensä	18			
	4.2. Mallin oletukset ja rajoitukset	19			
	4.3. Luotettavuuskaaviot	21			
	4.3.1. Konepaikkakaavio	22			
	4.3.2. Konelinjakaavio	22			
	4.3.3. Osastokaavio	24			
	4.4. Luotettavuuskaavioiden komponentteihin liittyvät datat	26			
	4.5. Kunnossapidon toimintaperiaatteet mallissa	27			
	4.6. Mallin systeemikaaviot	29			
	4.6.1. Tapahtumat	29			
	4.6.2. Simulaattorin runko	30			
	4.6.3. Lähtötilanteen generointi	32			
	4.6.4. Vian ilmestyminen. Korjauksen alkaminen ja päättyminen	34			
	4.6.5. Vuoron vaihtuminen	37			
	4.6.6. Säiliön tyhjeneminen ja täyttyminen	38			
			4.7. Ohjelmointi	38	
			4.7.1. Kielen valinta	38	
			4.7.2. Ohjelmisto	42	
			4.7.3. Ohjelmien testaus	46	
			5. SIMULOINNIN SUORITTAMINEN JA TULOKSET	47	
			5.1. Datatiedosto	47	
			5.2. Simulointiajoista yleensä	47	
			5.3. Kunnossapitomiehistön koko ja jakaantuminen eri vuorojen kesken	49	
			5.4. Ylityöt	54	
			5.5. Ennakkohuolto	57	
			5.6. Parantava kunnossapito	59	
			6. OPTIMINJÄLKEINEN TARKASTELU	61	
			6.1. Yleistä herkkyyssanalyysistä	61	
			6.2. Kunnossapitonäkökohtien huomioon ottaminen investointien suunnittelussa	63	
			6.2.1. Pullonkaulat ja varalaitteet	63	
			6.2.2. Laittevertailut	64	
			6.2.3. Välisäiliöiden mitoitus	66	
			7. LOPUKSI	71	
			VIITATTU KIRJALLISUUS	73	
			LIITTEET		

1. JOHDANTO

Teollisuuslaitosten viimeaikaisen kehityksen silmiinpistävimpiä piirteitä on ollut automaation voimakas lisääntyminen. Tämän eräänä seurauksena kunnossapidon merkitys teollisuuslaitoksen yhtenä osatoimintona on voimakkaasti kasvanut. Syitä voidaan löytää useampiakin:¹⁾

1. Kun koneiden lisääntymisen myötä käyttöhenkilökunnan määrä on vähentynyt ja kunnossapitotehtäviä suorittavien lukumäärä pyrkinyt kasvamaan, on seurauksena ollut, että yrityksen palkka-, sosiaali- ym. näihin liittyvistä kustannuksista yhä suurempi osa on kunnossapidon aiheuttamia.
2. Kone- ja laitetekniikan kehitys on johtanut yhä monimutkaisempiin konstruktioihin; vikojen diagnosointi on vaikeutunut ja varaosat tulleet kalliimmiksi.
3. Automatisoituun tuotantolaitokseen liittyvät korkeat pääomakustannukset ovat tehneet välttämättömäksi tuotantovälineiden mahdollisimman tehokkaan - usein keskeytyksettömän - ja pitkäaikaisen käytön; tämän aikaansaaminen asettaa korkeat vaatimukset myös kunnossapidolle.

1) Parkes, s. 3

Kunnossapidon suunnittelulle ja toteuttamiselle on varsin pitkään ollut ominaista turvautuminen yksinomaan ammattinsa taitavan kunnossapidon vastuuhenkilöstön kokemukseen ja harkintaan päätöksiä tehtäessä. Useilla tuotannon aloilla ja varsinkin pienemmissä yrityksissä käytäntö on edelleen sama. Yhtenä, eikä varmasti vähäisimpänä syynä tähän on alan teoreettisen koulutuksen lähes täydellinen puuttuminen niin opisto- kuin korkeakoulutasoisistakin oppilaitoksista.

Tämän rinnalla on kuitenkin herännyt halu systemaattiseen, myös tieteen tarjoamia menetelmiä hyväkseen käyttävään kunnossapidon alaan kuuluvien asioiden tutkimiseen ja selvittämiseen. Näissä merkeissä liikkeelle lähtö meillä Suomessa tapahtui suunnilleen samoihin aikoihin kuin muualla maailmassa. Kun esimerkiksi Englannissa¹⁾ alan ensimmäinen ammattilehti alkoi ilmestyä v. 1957 ja ensimmäinen kunnossapitokongressi pidettiin v. 1961, perustivat maamme suurimmat insinöörijärjestöt v. 1959 Kunnossapitotoimikunnan, jonka eräänä päätavoitteena on ollut paikata maamme kunnossapitoalan koulutuksessa ja tutkimuksessa vallinnutta aukkoa.

Tämän tavoitteen saavuttamiseksi käytetyistä toimintakeinoista harjoitetun tutkimustoiminnan²⁾ ja julkaistun alan perusoppi-kirjan³⁾ lisäksi mainittakoon vuotuiset koulutus- ja neuvottelupäivät, joita on järjestetty usean eri tasoisena kunnossapidon perusteista kunnossapitojohdon neuvottelupäiviin. Näistä tilaisuuksista varsinkin kunnossapitojohdon neuvottelupäivillä⁴⁾ ovat keskeisen aiheryhmän aina muodostaneet menetelmät, joilla on pyritty sekä kvantitatiivisesti mittaamaan eri yritysten kunnossapidon tasoa että löytämään viitteitä kunnossapidon kehityssuunnista. Näissä merkeissä on saanut alkunsa myös seuraavassa esitettävä työ.

1) Parkes, s. 1

2) Kunnossapito Suomen teollisuudessa

3) Kunnossapitotekniikka teollisissa yrityksissä

4) Kunnossapitojohdon neuvottelupäivät 1969-1972

Työssä luodaan ensin lyhyt yleiskatsaus operaatioanalyysiin ja sen menetelmiin yleensä, erityisesti simulointiin perustuviin malleihin. Tämän jälkeen esitetään empiiriseen aineistoon pohjautuvan simulointimallin laadinta vaiheittain: probleeman asettelu, mallin formulointi ja toteutus sekä mallin käyttö käydään yksityiskohtaisesti läpi. Lopuksi esitetään saavutetut tulokset sekä suoritetaan tulosten lähempi tarkastelu.

2. OPERAATIO TUTKIMUS PÄÄTÖKSENTEON TUKENA

2.1. Yleistä

Täsmällistä ja yleisesti hyväksyttyä määritelmää siitä, mitä operaatiotutkimus on, on ilmeisesti mahdoton antaa. Olennaisesti se kuitenkin liittyy päätöksentekoon sekä sen valmisteluun ja suunnitteluun ja pyrkii siinä tieteellisyteen epätieteellisen sijasta.

Näistä näkökohdista lähtee Beerin¹⁾ operaatiotutkimuksen määritelmä, jota "lennokkuudestaan" huolimatta voidaan pitää varsin käyttökelpoisena: Operaatiotutkimus on modernin tieteen hyökkäys monimutkaisten ongelmien kimppuun, joita esiintyy ihmisten, koneitten, materiaalin ja rahan suuntaamisessa ja johtamisessa teollisuuden, liike-elämän, julkisen elämän ja puolustuslaitoksen suurissa järjestelmissä. Sen erityinen pyrkimys on kehittää järjestelmälle tieteellinen malli, joka perustuu vaikuttavien tekijöiden, kuten riskin ja sattuman, mittaamiseen ja jolla voidaan ennustaa eri päätös-, strategia- tai ohjausvaihtoehtojen antamia tuloksia ja verrata vaihtoehtoja toisiinsa.

Leimaa antavana piirteenä operaatiotutkimukselle on poikkitieteellisyys,²⁾ operaatiotutkimus sisältää aineksia mm. tilastotieteestä, matematiikasta, päätösteoriasta ja tietojenkäsittelyopista. Tämä on seurausta operaatiotutkimuksen kohteen erityisluonteesta, tutkimuksen kohteena ovat operaatiot, niiden valintoja koskevat säännöt ja koko se johtamis- ja päätöstilanne, jossa valinnat tehdään.

2.2. Malli operaatiotutkimuksen työvälineenä

Edellä esitetyssä määritelmässä mainittiin operaatiotutkimuksen pyrkimyksenä olevan tieteellisen menetelmän hyväksikäyttö. Tässä

1) Beer, s. 47

2) Malaska, s. 10

valossa tarkasteltuna taloudellisessa systeemissä päätöksiä tekevällä on kolme vaihtoehtoa käytettävissään vertaillessaan eri toimintapolitiikkoja ja niiden tuottamia tuloksia.¹⁾

Kontrolloidun kokeen suorittaminen itse reaalisysteemissä

Kokeellista tutkimusta, milloin sitä on mahdollista suorittaa, pidetään usein ihanteellisena taloudellisten systeemien tutkimuksessa. Kokeen suorittaminen ei ole tällaisessa ympäristössä kuitenkaan aina mahdollista. Kokeeseen sisältyy usein riski, jonka suuruutta ei ennalta pystytä edes arvioimaan ja joka seurauksiltaan voi muodostua kohtalokkaaksi. Yleiset lait tai yrityksen toimintaa koskevat sääökset saattavat asettaa rajoituksia kokeiden suorittamiselle. Huomioon on myös otettava kokeiden mahdollinen negatiivinen vaikutus toisaalta yrityksen ja sen palveluksessa olevien henkilökunnan ja toisaalta yrityksen ja sen ulkomaailman välisiin suhteisiin.

Kerättyjen tietojen pohjalta suoritettu ex post-tarkastelu

Mikäli systeemin käyttäytymisestä on tietyltä ajanjaksolta olemassa sopivia tietoja, voi olla mahdollista eri toimintavaihtoehtojen vertailemiseksi suorittaa eräänlainen ex post-koe. Kysymykseen tulevat sekä samanaikaisesti toteutettujen eri toimintavaihtoehtojen tulosten että toimintapolitiikan muutosten vaikutusten tutkimiset.

Menetelmän hankaluutena ovat käytettävissä olevissa tiedoissa usein esiintyvät puutteet. Vaikka tietoja olisikin halutulta ajalta ja tarvittavista tekijöistä, tietojen luotettavuus voi olla kyseenalainen, koska ne eivät ole syntyneet kontrolloitua koetta vastaavissa olosuhteissa. Tällaisen menetelmän ulottumattomissa ovat luonnollisesti kaikki uudet, ennen soveltamattomat toimintavaihtoehdot, mikä monesti asettaa esteitä täysipainoiselle suunnittelu- ja kehitystyölle.

1) Naylor, s. 1

Mallin käyttö

Kun kokeen suorittaminen reaalisysteemissä on mahdotonta tai epäkäytännöllistä ja ex post-tarkastelu ei tunnu riittävältä, on kolmantena vaihtoehtona tarjolla mallin käyttö. Esitetyn määritelmänkin mukaan operaatioanalyysin pyrkimys on juuri tieteelliseen malliin, joka antaa keinon ennustaa ja pohtia eri toimenpiteitten vaikutuksia.

2.3. Mallityypeistä

Operaatiotutkimuksen mallit ovat usein kertakäyttöhyödykkeitä, ne on tarkoitettu palvelemaan vain tiettyä päätöksentekotilannetta. Kokemus on kuitenkin osoittanut tietyn tyyppisillä malleilla olevan sovellutusmahdollisuuksia hyvinkin erilaisissa päätöstilanteissa, ja näiden mallien konstruoimisperiaatteilla on osoittautunut olevan tiettyjä pysyviä ominaisuuksia. Nämä mallit voidaan luokitella monellakin eri tavalla. Eräs perusjako on¹⁾:

1. Optimoivat päätösmallit
 - optimiin päätyvät algoritmit
 - heuristiset algoritmit
2. Simuloivat kuvausmallit

Optimoivien mallien yleinen esitysmuoto on: Etsittävä sellainen päätösmuuttujien X_i arvojen joukko, jolla kun kontrollin ulkopuolelle jäävät parametrit saavat arvot Y_j , päätöksentekijän valinnan hyvyttä kuvaava mitta, päätösfunktio $V(X_i, Y_j)$, saa optimiarvon; päätösmuuttujien arvojen valinta on lisäksi suoritettava niin, että tietyt tavoitteet tai rajoitukset niiden avulla tulevat täytetyiksi.

Tällaisen mallin ratkaisu voidaan useissa tapauksissa löytää algoritmin, laskusääntökokoelman, avulla. Lineaarinen ohjelmointi on ehkä tunnetuin algoritmien joukko; Simplex-algoritmi, kuljetus-algoritmi jne. eräitä tämän joukon yksityisiä algoritmeja.

1) Malaska, s. 28

Aina ei mallille löydetä ehdottomasti optimin antavaa ratkaisua tai ratkaisun löytämiseksi tarvittava työmäärä muodostuu kohtuuttomaksi. Ratkaisun etsiminen voi tapahtua tällöin heurististen sääntöjen, käytännön miesten "peukalosääntöjen" kaltaisten valintasääntöjen avulla. Heuristiset menetelmät¹⁾ tuottavat yleensä entistä paremman ratkaisun ja nopeasti, ratkaisun optimaalisuudesta ei kuitenkaan voida olla varmoja.

Simuloivat kuvausmallit pyrkivät kvantitatiivisessa muodossa kuvaamaan tutkittavan tilanteen luonteenomaisia piirteitä ja mahdollistavat eri toimenpiteitten vaikutusten tutkimista mallilla. Simulointia operaatioanalyysin tutkimusmenetelmänä tarkastellaan tarkemmin seuraavissa kappaleissa.

2.3.1. Simuloinnin määritelmä

Vaikka simulointia onkin pidettävä varsin monimerkityksisenä käsitteenä, joka esim. uusien lentokonetyyppien ja kuumatkojen ennakkoharjoittelun yhteydessä on tunkeutunut myös yleiskieleen, voidaan simuloinnin määritelmäksi operaatioanalyysin näkökulmasta katsottuna ottaa seuraava Naylor'in²⁾ suhteellisen kapea-alainen määritelmä:

Simulointi on numeerinen menetelmä tietokoneella suoritettavien, usein aikaulottuvuutta omaavien kokeiden tekemiseksi tietyn reaalisysteemin käyttäytymistä kuvaavissa matemaattisissa mallissa.

Täsmennykseksi edellä esitetylle määritelmälle tarkastellaan seuraavassa eräitä sen avainkohtia.

Lähtökohtana simuloinnin suorittamiselle on siis tutkittavaa reaalisysteemiä kuvaava malli, joka ennen kokeiden tekemistä on muuttujineen, parametreineen ja näiden välisine riippuvuussuhteineen formuloitava.

1) Heuristisista menetelmistä kts. esim. MIS-70 ryhmätyöraportit

2) Naylor, s. 2

Toiseksi, simulointi on eräänlaista kokeiden suorittamista, joskin selvä ero simuloinnin ja varsinaisen kokeellisen tutkimuksen välillä on syytä tehdä.¹⁾ Reaalimaailmassa suoritettujen kokeiden sijasta kokeet tehdään nyt mallissa. Stokastisia aineksia sisältävän, empiirisiin datoihin perustuvan simulointimallin yhteydessä on kuitenkin esim. koesuunnittelun ja tulosten analysoinnin yhteydessä otettava huomioon samat näkökohdat kuin varsinaisessa kokeellisessä tutkimuksessa.

Kolmanneksi, simulointi on numeerinen menetelmä. Mallien luokittelun yhteydessä jo todettiin, että simulointimallit eivät kuulu optimoihin malleihin, vaan ne antavat numeerisen vastauksen "mitä tapahtuu, jos teemme näin" -tyyppisiin kysymyksiin. Abstraktion taso saadaan simulointimalleissa näin verraten alhaiseksi, joka takaa läheisen yhteyden reaali maailman olosuhteisiin.

Neljänneksi, simulointimalli on yleensä tietokone malli. Vaikka simulointi ei periaatteessa vaadikaan tietokoneen käyttöä, tulevat välttämättä kaikki mallit, joilla käytännössä on jotain merkitystä, niin monimutkaisiksi, että laskutoimitusten suorittaminen ilman tietokonetta on sula mahdottomuus.

Viidenneksi, simulointimalli on useimmiten stokastinen malli. Malliin sisältyy suureita, joiden käyttäytyminen tunnetaan ainoastaan jakautuman tarkkuudella. Stokastisesta simuloinnista käytetään usein nimitystä Monte Carlo-tekniikka. Deterministinen simulointi, jossa kunkin suureen käyttäytyminen kullakin yksityisellä simulointikerralla on täysin määrätty, on luonnollisesti stokastisen simuloinnin yksityistapaus.

Lopuksi, simulointi voi olla tiettyyn ajanhetkeen rajoittuvaa, staattista, tai aikaulottuvuutta omaavaa, dynaamista. Edellisessä tapauksessa simuloinnit suoritetaan tiettyinä hetkenä vallitsevien erilaisien olosuhteiden vertailemiseksi, jälkimmäisessä tapauksessa tarkastellaan ajan vaikutusta, niin että kullakin suorituskerralla olosuhteet pysyvät muuttumattomina koko tarkasteluajanjakson.

1) Reinikainen, s. 2

2.3.2. Miksi simulointimalli?

Simulointimalliin yleensä päädytään, kun analyttisin menetelmien käsiteltävät mallit osoittautuvat mahdottomiksi toteuttaa. Tällainen tilanne voi syntyä, kun

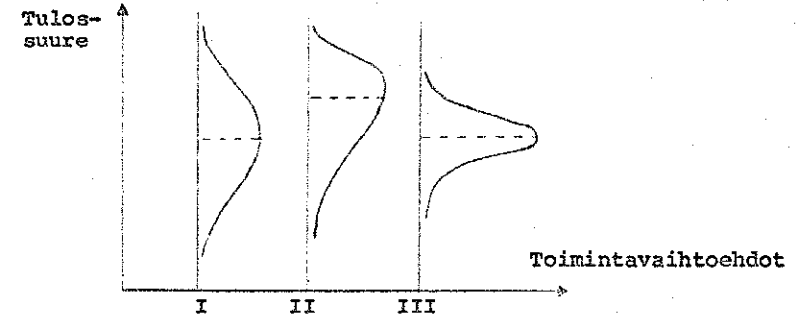
- tutkittavan tilanteen monimutkaisuuden johdosta analyttistä mallia ei saada aikaan tai
- malli on riittävän mallin ja todellisen tilanteen välisen vastaavuuden säilyttämiseksi tehtävä niin monimutkaiseksi, että sen ratkaisu ei ole mahdollista; näin on varsinkin silloin, kun malliin sisältyy paljon satunnaissuureita, tai
- analyttinen malli tosin saadaan aikaan ja sen ratkaisualgoritmitkin on olemassa, mutta algoritmin käyttö ei ole esim. taloudellisesti mahdollista.

Päätökseen simuloinnin valitsemiseksi tutkimusmenetelmäksi ovat kussakin tapauksessa luonnollisesti ratkaisevasti vaikuttamassa tarkasteltavan ongelman erityispiirteet. On kuitenkin löydettävissä joitakin yhteisiä ominaisuuksia, joita voidaan pitää simuloinnin käyttäjälleen tarjoamina yleisinä etuina. Seuraavassa käydään läpi näistä tärkeimmät.

Simulointi mahdollistaa kokeilujen suorittamisen. Koska kokeet nyt tapahtuvat mallissa, ovat kaikki ne esteet, jotka mahdollisesti estävät vastaavien kokeiden suorittamisen reaali maailmassa, poissa. Näin voidaan saada tietoa myös sellaisten toimenpiteiden vaikutuksista, jotka ovat uusia ja ennen soveltamattomia.

Mikäli malliin sisältyy paljon satunnaissuureita, saadaan tulosten informaatioarvoa huomattavasti lisätyksi, kun useaan kertaan suoritettuna simuloinnin avulla yksityisen tuloksen sijasta on mahdollista saada selville tuloksen koko jakautuma (vrt. kuva 1).

Kuten jo edellä on todettu, simulointi on tehokas keino alhaisen abstraktiotason ja näin todellisuutta lähentelevien olosuhteiden saavuttamiseksi. Tämä luonnollisesti helpottaa mallin ymmärrettävyyttä, myöskin malleja syvällisemmin tuntemattomien osalta.



Kuva 1. Eri toimintavaihtoehtoihin liittyvät tulossuureen jakautumat

Paljastamalla tarkasteltavassa systeemissä vallitsevat pullonkaulat ja optimiratkaisua rajoittavat tekijät antaa simulointi paitsi optimiratkaisun, myös viitteitä siitä, mitä olisi tehtävä, jotta vallitsevien olosuhteiden mukaista optimia voitaisiin rajoittavia tekijöitä poistamalla mahdollisesti vielä parantaa.

3. KUNNOSSAPITOMALLIN YLEISET PUITTEET

3.1. Kunnossapito teollisuusyrityksessä

Kun seuraavassa käsitellään kunnossapitoa, suoritetaan tarkastelut lähinnä tietyt tuotannollisia tarkoituksia toteuttavan teollisuuslaitoksen näkökulmasta. Näin ollen esim. sairaalat ja erilaiset hallinnolliset laitokset, joiden kohdalla tuotannon käsite on usein vaikea määritellä, jäävät tämän tarkastelun ulkopuolelle. "Kunnossapito on organisoitua, tarkoitushakuista toimintaa ja toimintavalmiutta, joka kohdistuu tuotantolaitoksen konsisiin ja laitteisiin, rakennuksiin ja rakennelmiin, ja jonka päämääränä on niiden suunnitellun käytön tekeminen mahdollisimman luotettavaksi ja mahdollisimman vähin panoksin itse tähän toimintaan".¹⁾

Kunnossapidon tehtävänä on siis huolehtia yrityksen päämäärien mukaisen tuotannollisen toiminnan takaavista investoinneista niin, että ne käyttöaikanaan pystyisivät täyttämään niille asetetut tehtävät ja niihin kohdistuvat odotukset ja vaatimukset. Mutta tätä toimintaa toteutettaessa nousee esiin määritelmässä mainittu erisuuntaisten tavoitteiden ristiriitaisuus: toisaalta päämääränä on saattaa tuotantolaitoksen toiminta niin luotettavaksi kuin mahdollista ja sen lisäksi ylläpitää sellaista toimintavalmiutta, millä kaikesta huolimatta esiintyvien häiriötilanteiden vaikutus saadaan mahdollisimman vähäiseksi; toisaalta päämääränä on minimoida tästä toiminnasta aiheutuvat kustannukset. Kunnossapito on näin ollen eräs yrityksen funktio, jossa alinomaan syntyy aitoja päätöksentekotilanteita. Päätöksenteon puitteet muodostuvat mainituista ristiriitaisista tavoitteista.

1) Malaska, teoksessa Kunnossapito Suomen teollisuudessa, s. 87 Saman kaltainen määritelmä esiintyy englantilaisissa standardeissa Glossary of General Terms Used in Maintenance Organization: "Maintenance - work undertaken in order to keep or restore every facility, i.e. every part of a site, building and contents, to an acceptable standard. Planned maintenance - work (as above) organized and carried out with forethought, control and records".

3.2. Optimaalinen kunnossapitopolitiikka

3.2.1. Kunnossapidon rakenteesta

Määritelmässä mainitun toiminnan ja toimintavalmiuden kunnossapidosta vastuussa oleva organisaatio saa aikaan

- (a) varaamalla ja asettamalla käytettäväksi tarvittavat resurssit ja
- (b) järjestämällä näiden resurssien tarkoituksenmukaisen käytön.

Resurssien mitoituksen ja varauksen tärkeimpiä kohteita ovat kunnossapitomiehistö, kunnossapidon koneet ja laitteet, työskentelytilat, varaosavarasto, sisäiset kuljetukset sekä mahdollinen ulkopuolisten alihankkijoiden käytön järjestäminen. Mitoitusta laadittaessa on otettava huomioon sekä säännöllisesti toistuvat tai muuten ennustettavissa olevat kunnossapitotyöt että yllättävät, ennalta havistamattomat häiriötilanteet.

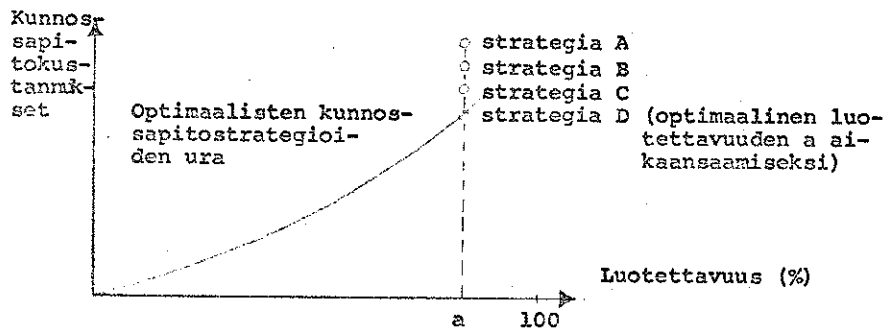
Järjestäessään varattujen resurssien käytön kunnossapito-organisaatio voi vaikuttaa toiminnan tuloksellisuuteen mm. miehistön jaolla eri vuorojen kesken, tehdyillä ylittöiden määrillä, harjoitetulla varastopolitiikalla sekä ennen kaikkea ilmenevien tehtävien suoritusstrategialla. Tässä nousee esiin kysymys eri kunnossapitotyöläjien keskinäisestä suhteesta: korjataanko vika välittömästi ennenkuin se aiheuttaa lisävaurioita vai otetaanko riski työn siirtämisestä seuraavaan tuotannon kannalta otolliseen ajankohtaan; korjataanko laite ennalleen vai tehdäänkö siihen samalla joitakin muutoksia, jotka vastaisuudessa estäisivät samantyyppisten vikojen ilmenemisen; vai otetaanko käyttöön jokin ennakkohuolto ja -tarkastusohjelma, jolla ylipäänsä vikoja voidaan ennakoida ja estää jne.

3.2.2. Kunnossapitostrategia ja -politiikka

Käyttäessään keinoja, joihin edellä on yleisesti viitattu, kunnossapito-organisaatio saa tuotantolaitoksessa aikaan tietyn luotettavuuden (= häiriöttömien käyntiaikojen osuus kokonais-

käyntiajasta), yleensä sitä suuremman, mitä enemmän panoksia on uhrattu toimintaan. Kunnossapitostrategiaksi¹⁾ voidaan nyt sanoa sellaista niiden keinojen ja toimintojen joukkoa, joilla yrityksen yleisessä kunnossapitopolitiikassa annettu luotettavuusvaatimus voidaan saavuttaa. Tietty luotettavuuden taso a (vrt. kuva 2) voidaan yleensä saavuttaa useallakin eri kunnossapitostrategialla, optimaalinen on se strategia, jolla tuo taso saavutetaan minimikustannuksin itse kunnossapidossa.

Tiettyyn luotettavuustasoon tyytyminen merkitsee samalla tietyn asteisen luotettavuuden puutteen hyväksymistä. Tämä luotettavuuden puute ilmenee mm. seisokkeina ja tuotantotöiden laskuina ja näistä aiheutuvin tuotannon menetyksinä. Todellista kunnossapito-optimia etsittäessä nämä "puutekustannukset" onkin otettava täysipainoisina huomioon varsinaisten kunnossapitokustannusten rinnalla. Optimaalinen kunnossapitopolitiikka²⁾ yrityksessä on näin sellainen luotettavuuden ja kunnossapidon optimistrategian yhdistelmä, jolla luotettavuuden puuttumisesta aiheutuvien kustannusten ja varsinaisten kunnossapitokustannusten summa saavuttaa yrityksen päämäärien mukaisten kriteerien perusteella määrätyn optimin.



Kuva 2. Kunnossapitostrategiat, optimistrategia

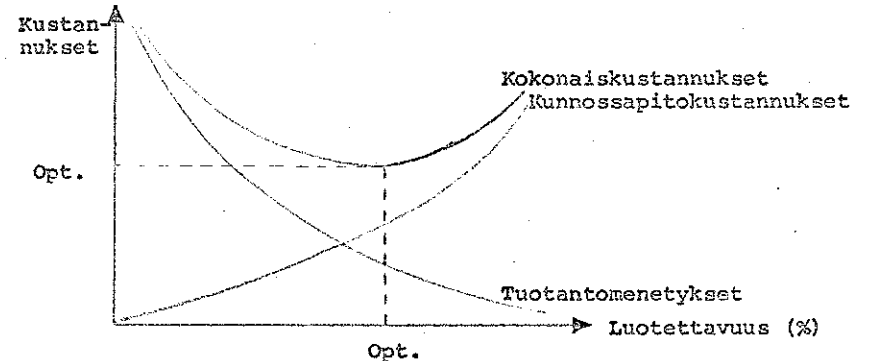
1) Malaska teoksessa Kunnossapito Suomen teollisuudessa, s. 87

2) sama

3.2.3. Optiminkriteereistä

Kriteerit, joiden perusteella kunnossapidon optimipolitiikka määräytyy, ovat suuressa määrin riippuvaiset kysymyksessä olevasta yrityksestä. Yksityiskohdissaan vaihtelevista eroista huolimatta yritykset voidaan tässä suhteessa kuitenkin jakaa seuraaviin kolmeen päätyyppiin.

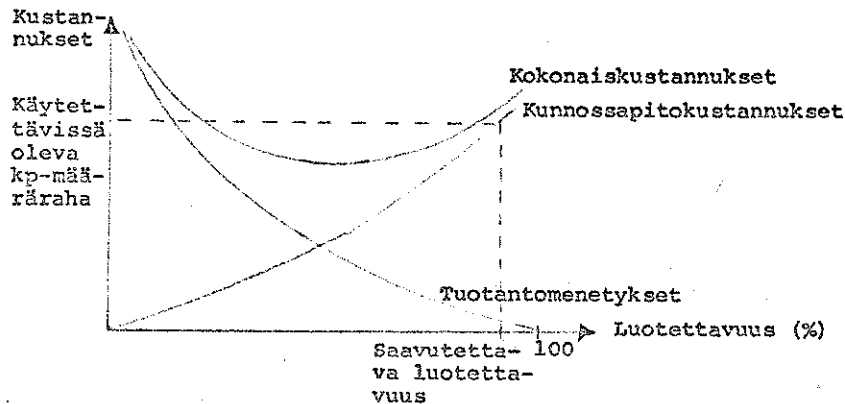
(a) Yritykset, joissa luotettavuuden puutteen aiheuttamien häiriöiden vaikutukset (tuotannon laskusta aiheutuneet myynnin menetykset tms.) ovat mitattavissa suoraan rahassa. Tällöin luonnollisena kriteerinä on kunnossapitokustannusten ja luotettavuuden puutteen aiheuttamien kustannusten yhteismäärän minimointi (kuva 3).



Kuva 3. Kokonaiskustannusten minimi optiminkriteerinä

(b) Edellisen kohdan kaltaiset yritykset, joissa kuitenkin tuotantovaatimusten takia tietyn tason luotettavuus on taattava. Tämä merkitsee rajoitusten vallitessa tapahtuvan minimin hakua (rajoittavana tekijänä juuri tuo vaadittu vähimmäislouettavuus) ja usein samalla myös kustannusten nousua rajoittamattomaan optimiin verrattuna.

(c) Yritykset, joissa alentuneen luotettavuuden seuraukset voivat muodostua niin kohtalokkaiksi, että luotettavuuden maksimointi on ainoa mahdollinen kriteeri. Rajoittavana tekijänä on kuitenkin se, että kunnossapitokustannusten on pyrittävä tietyissä rajoissa (kuva 4).



Kuva 4. Luotettavuuden maksimi optiminkriteerinä

Esimerkkejä tämän tyyppisistä yrityksistä ovat sähkövoimalaitokset sekä laitokset, joissa häiriö voi aiheuttaa ihmishenkien joutumisen uhatuksi.

3.3. Esimerkkiyrityksen kuvaus

Tutkimuksen kohteeksi valittu yritys¹⁾ on prosessiteollisuuden piiriin kuuluva, kemiallista puunjalostusteollisuutta edustava sulfaattiselluloosa-paperitehdas yhdistelmä.

Tehtaan toimintaa kuvaava kaavio on varsinaisen kuitulinjan osalta esitetty liitteessä 1. Kaaviota seuraamalla todetaan puun valmistumisen paperiksi tapahtuvan seuraavien päivävaiheitten kautta.

Pääasiassa maanteitse paikalle tuodut paperipuut kuoritaan ja johdetaan hakkuun, josta seulonnan jälkeen sopivan karkeusasteen omaava hake puhalletaan ulos hakevarastoon. Kuoret ja syntyvä puru johdetaan lämmitystarkoituksiin viereiseen höyryvoimalaitokseen. Haketta syntyy myöskin lähellä sijaitsevan sahan sivutuotteena. Hakevarastosta hake johdetaan kuljettimien avulla hakesiiloon, täältä edelleen jatkuvatoimiseen Kamyrr-keittimeen. Syntynyt ruskea massa pestään suodatinpesureissa ja johdetaan pestyn massan kyyppeihin. Lajittamossa tapahtuu oksien ja muiden epäkelpojen aineiden erotus. Lajiteltu massa saostetaan ja johdetaan suuriin massakyyppeihin. Tässä vaiheessa on myös mahdol-

1) Oy W. Rosenlew Ab, Porin sulfaattiselluloosa- ja paperitehdas

lisuus massan laajamittaiseen välivarastointiin, välivarastona toimii ylipaineella varustettu massatelletti. Tämän jälkeen tuotantolinja jakaantuu neljään osaan, kussakin linjassa esijauhatuksen, jauhatuksen ja välillä olevien massakyyppien kautta päädytään paperikoneisiin, joissa lopullinen tuote, ruskea voimapaperi syntyy. Paperikoneiden vuosituotanto on suuruusluokkaa 65000 tn, josta PK I:n osuus on n. 7 %, PK II:n 14 %, PK III:n 27 % ja PK IV:n 52 %. Tutkimuksen sijoittumiseen juuri tällaiseen ympäristöön olivat vaikuttamassa lähinnä seuraavat kaksi tekijää.

Ensiksikin, vaikka malli onkin tehty tiettyä tuotantolaitosta lähtökohtana pitäen, sen haluttiin kuitenkin samalla omaavan tiettyjä yleisempiä piirteitä. Tämän yleisluonteisuuden takeena ovat maassamme sijaitsevat kymmenet selluloosa- ja paperitehtaat, jotka eivät perusratkaisuiltaan kovinkaan paljon poikkea toisistaan. Tärkeimmät erot ilmenevät tuotantolinjojen lukumäärissä sekä tiettyjä osatoimintoja (kuten massan valkaisu ja väliylösoitto, jotka esimerkkiyrityksestä puuttuvat) suoritettavien osastojen mukanaolona tai puuttumisena. Kunnossapidon kannalta myös muut kemiallisen prosessiteollisuuden laitokset ovat suurelta osin rinnastettavissa kemiallisen puunjalostusteollisuuden laitoksiin: putket, säiliöt ja koneet muistuttavat toisiaan, vain niissä virtaavat aineet vaihtelevat.

Toisena ratkaisevana tekijänä on ollut prosessiteollisuuslaitoksen sopivuus kunnossapitoa koskevaan tutkimukseen. Prosessitehtaassa, jossa jokaisen yksityisen koneen ja laitteen toiminta vaikuttaa joko suoraan tai välillisesti muiden laitteiden toimintaan, kunnossapidon ongelmat ovat erityisen suuret. Tämän ratkaisevan laitteen joutuminen toimintakyvyttömäksi saattaa pahimmassa tapauksessa pysäyttää koko tehtaan ja aiheuttaa näin arvaamattomia tuotantomenetyksiä. Tämän johdosta prosessiteollisuuslaitoksissa on yleensä kunnossapidon merkitys tuloksellisen tuotantotoiminnan yhtenä osatekijänä selvimmän tiedostettu ja sen systemaattisessa kehittämisessä ollaan näissä laitoksissa pisimmällä. Näin ovat myös mallin rakentamisen välttämättömät edellytykset parhaiten täällä toteutuneet.

Normaalin markkinatilanteen vallitessa kuvattu tuotantolaitos toimii jatkuvassa kolmivuorossa ja täydellä kapasiteetin käytöstäasteella. Tämä aikaansaa sen, että esim. häiriöiden aiheuttamien seisokkien ja tuotantotehon laskujen vuoksi tuottamatta jääneitä eriä ei voida myöhemmin "ajaa kiinni", vaan ne merkitsevät menetettyä myyntiä. Kunnossapidon optimin kriteeriksi voidaan tällaisessa tuotantolaitoksessa ottaa edellä esitetyn vaihtoehdon a mukainen tapaus. Tuotantolaitoksen prosessitehdasluonne johtaa samalla kuitenkin siihen, että optimipolitiikka ei kovin paljon salli kalliita seisokkitunteja, joten suhteellisen korkea luotettavuus on taattu. Näin tulevat yleensä myöskin vaihtoehdon b mukaisen optiminkriteerin ehdot täytetyiksi.

4. MALLIN RAKENNE JA TOIMINTA

4.1. Kunnossapitomalleista yleensä

Kunnossapitoa koskevalle tutkimukselle on ollut ominaista keskittyminen mikrotarkasteluun, ts. tarkasteluun, jonka tarkoituksena on ollut optimaalisen kunnossapitostrategian löytäminen yksityiselle tuotantovälineelle tai ryhmälle samaa tyyppiä olevia tuotantovälineitä. Lisäksi suurin osa tämän alan tutkimuksista on rajoittunut kunnossapidon tiettyihin osaongelmiin, kuten esim. laitteen tai sen osan vaihto-ongelmaan¹⁾ tai ehkäisevän kunnossapidon kannattavuusongelmaan.²⁾

Makrotarkasteluun perustuvia tutkimuksia, joissa kunnossapitoa tarkastellaan kokonaisuudessaan, ottaen huomioon kaikki kunnossapidon kohteena olevat tuotantovälineet ja kaikki kunnossapidon käytettävissä olevan toimintakeinot, saa sen sijaan etsiä. Tästä näkökulmasta asioita tarkastelevina mainittakoon Bodnarchuk'in ja Burling'in työt. Edellinen käsittelee lentokonelaivueen moottoreiden kunnossapidon järjestämistä ja jälkimmäisessä tarkastellaan elektronisia komponentteja tuottavien koneiden kunnossapitoa.

Ryhdyttäessä tutkimaan kyseessä olevan sulfaattipaperitehtaan kunnossapitoa on makrotarkastelun valinta tarkastelun lähtökohdaksi luonnollinen. Yksityisen tuotantovälineen optimaalisella kunnossapitostrategialla on merkitystä vain, kun tätä tuotantovälinettä tarkastellaan siinä ympäristössä, josta se on osa. Makrotarkastelun omaksuminen puolestaan johtaa yhtä luonnollisesti simulointiin; analyttisten menetelmien tarjoamat keinot näin laajan ja satunnaisia tekijöitä varsin runsaasti sisältävän ongelman yhteydessä olisivat tuskin riittävät.

1) Kts. esim. Ebert, Eilon, Jardine, Jorgenson ja Taylor

2) Kts. esim. Morse ja Watson

4.2. Mallin olettamukset ja rajoitukset

Kun mallin laadinta kesällä 1971 lähti käyntiin, oli ensimmäisenä vaiheena perusteellinen tutustuminen tehtaaseen, sen toimintaan yleensä ja erityisesti sen kunnossapitoon. Jo työn alkuvaiheessa oli lähtökohtana, että mallin tarvitsemat tiedot kootaan olemassaolevista tuotantolaitoksen toimintaa ja sen kunnossapitoa kuvaavista dokumenteista ja että mihinkään lisäyksiin tai muutoksiin tietojenkeruujärjestelmässä ei tässä vaiheessa ryhdytä. Suurimpana syynä tähän oli se, että tarkasteltavassa yrityksessä kunnossapito ei vielä sanottavasti käyttä ATK:n palveluksia hyväkseen. Näin ollen järjestelyt olisivat olleet hankalasti toteutettavissa ja hidasliikkeisiä. Myöskään osittaisten muutosten tekeminen ei olisi paikallaan vaiheessa, jolloin kunnossapidon tietojenkeruun ja -käsittelyn kokonaisjärjestelyt ovat suunnitteilla.

Tyytyminen pelkästään olemassaolevasta aineistosta johdettavissa oleviin tietoihin on johtanut mallin kannalta eräisiin rajoituksiin ja yksinkertaistaviin olettamuksiin.

Kuten jo tehtaan toiminnan kuvauksen yhteydessä kävi selville, tarkastelu on rajattu käsittämään varsinaisen päälinjan, ts. koneet ja laitteet, jotka suoranaisesti ovat käsiteltävän raaka-aineen (puu, hake, massa) kanssa kosketuksissa. Höyryn, veden, kemikaalien yms. käsittelystä huolehtivat apulinjat on tarkastelussa eliminoitu. Näiden yhteydessä olisi tarvittu tietoa paitsi niiden omasta itsenäisestä toiminnasta (mikä oli saatavissa), myös apulinjojen laitteiden toimintahäiriöiden vaikutuksista varsinaiseen päälinjaan.

Toinen tehty rajoitus on vain mekaanisen kunnossapidon sisällyttäminen kunnossapidon toimialaan. Mekaaninen kunnossapito käsittää lähinnä konekorjauksen sekä eri osastoille sijoitettujen kunnossapitomiesten ja vuorokorjausmiesten suorittaman toiminnan. Muiden ammattiryhmien mukaanotto malliin sujuisi täysin mekaanisen kunnossapidon mukaisesti kunhan asiaan liittyvät tiedot olisivat käytettävissä. Yhden "miesvaraston" (= mekaanisen kunnossapitomiehistön suuruus) sijasta mallissa olisivat "varastot" kutakin ammattiryhmää varten.

Kunnossapidon kustannuksiin voidaan vaikuttaa myös sillä politiikalla, jolla varaosavarastoa hoidetaan. Mallissa varastopidon tarkastelu on kuitenkin sivuutettu. Tehty rajoitus ei liene kovin oleellinen, sillä ainekustannuksista valtaosa koostuu varaosien käytöstä ja kulutuksesta ja tähänhän voidaan katsoa olevan harjoitetusta varastopitopolitiikasta riippumattoman. Kunnossapidon kokonaiskustannuksista varastopitokustannusten osuus on luonnollisesti vielä vähäisempi.

Kun tuotantovälineessä ilmennyt vika on korjattava, niin työtöiläuksen vastaanottanut työnjohtaja tai työnsuunnittelutoimisto päättää, montako miestä sitä lähetetään korjaamaan. Kunnossapitoryhmän suuruuden jakautumasta, vielä vähemmän sen riippuvuudesta vian luonteesta, ei kuitenkaan ole pidetty tilastoja. Mallissa on tässä kohtaa turvauduttu työnjohtajien arviointeihin, joiden mukaan 20 % vioista korjaa 1 mies, 50 %:ssa vioista käytetään kahta miestä ja loput 30 % tarvitsevat useampia miehiä, keskimäärin 4 miestä.

Kullekin prosessin koneelle ja laitteelle ominaisia vikatiheyden ja korjausajan jakautumia muodostettaessa tärkeimpänä tietolähteenä on ollut konekortisto. Kullakin tuotantovälineellä on kortistossa varattuna oma korttinsa, johon on merkitty tiedot jokaisen työnsuunnittelun kautta kulkeneen kunnossapitotyön suoritusajankohdasta, kestoajasta ja kustannuksista. Kortiston perusteella on yllä mainitut laitekohtaiset jakautumat voitu muodostaa. Tämän lisäksi on kuitenkin työnsuunnittelun ohii suoritettuja ns. pientöitä, joista ainoastaan lukumäärä ja kokonaiskestoajasta ja -kustannukset on tilastoitu. Näiden töiden esiintymistiheyden jakautumasta samoin kuin niiden jakaantumisesta eri laitteille ei ollut mahdollista jälkikäteen saada selvyyttä. Suoritetun otantatutkimuksen perusteella voitiin kuitenkin muodostaa niiden kestoajan jakautuma. Koska näiden pientöiden osuus kaikista kunnossapitotöistä on varsin merkittävä (n. 55 %), oli nämä työt saatava malliin mukaan. Laitteille ominaisten jakautumien sekä pientöiden ja kortistoitujen töiden välisen oikean suhteen säilyttämiseksi meneteltiin seuraavasti.

Vikojen on ajateltu syntyvän kahden eri "viantuottoprosessin" seurauksena. Toinen on aiheuttanut kortistossa esiintyvät viat. Näiden esiintymistiheyden ja korjausajan jakautumat ovat kullekin laitteelle ominaiset. Toinen prosessi on aiheuttanut pientöinä korjatut viat. Nämä jakaantuvat eri laitteille niin, että pienkorjauksia tulee laitteiden kesken samassa suhteessa kuin edellisiä töitä. Näiden vikojen korjausajan jakautuma on oletettu laitteesta riippumattomaksi, suoritettun otannan tulosten mukaiseksi.

Seisokkitunnin hinta on prosessitentaassa yleensä varsin vaikeasti määriteltävissä. Se riippuu mm. vallitsevasta markkinatilanteesta. Mallissa seisokkitunnin hinta on oletettu kiinteäksi, suotuisan markkinatilanteen ja siis kapasiteetin täyden käyttöasteen mukaiseksi. Jokaiselle laitteelle ominaisen seisokkitunnin hinnan määrittelystä on vältytty sillä, että kukin seisokki redusoidaan aina lopputuotannon menetykseksi, jolloin tuotantotappiot voidaan laskea yhden perusteen mukaisesti.

4.3. Luotettavuuskaaviot

Niinkuin jo mallien yleisesityksen yhteydessä todettiin, simuloitavimallin periaatteena on luoda mahdollisimman totuudenmukainen kuva kuvaamastaan reaali maailman systeemistä. Nyt tarkasteltavan mallin lähtökohtana ovat lähinnä olleet: laitosta kuvaava toimintakaavio, toimintakaavion komponentteihin liittyvät sekä tuotantotekniset että kunnossapidolliset datat ja säännöt, joita laitoksen toiminnan, erityisesti sen kunnossapidon, toteutuksessa käytetään.

Mallin perustaksi laadittua toimintakaaviota kutsutaan seuraavassa luotettavuuskaavioksi. Sillä ymmärretään tässä yhteydessä tapaa kunnossapidon näkökulmasta tarkastella tuotantolaitosta ja sen toimintaa. Mallia varten tämä kaavio on laadittu kolmen eri "tasoiseksi"; näitä eri tason kaavioita kutsutaan seuraavassa konepaikkakaavioksi, konelinjakaavioksi ja osastokaa-
vioksi.

4.3.1. Konepaikkakaavio

Konepaikkakaavio on laitoksen rakenteen ja toiminnan kuva sillä tarkkuudella kuin prosessikaaviot ja esim. konekortisto on muodostettu. Kaavioon on jo aiemmin viitattu ja se on esitetty liitteessä 1. Komponentteina tässä kaaviossa esiintyvät mm. koneet (Jordan mylly, suodatinpesuri), koneen osat (keittokattilan yläruuvi, keittokattilan pohjakaavari), erilaiset laitteet (kuljettimet, puhaltimet), putkistot (puskuputkisto) ja säiliöt (hakesiilo, massakyyppit), ts. sellaiset prosessin osat, joita toiminnallisesti voidaan pitää itsenäisinä kokonaisuuksina.

Kaavion yksittäistä komponenttia, konepaikkaa, tarkasteltaessa sen katsotaan olevan joko normaalissa toimintakunnossa tai täysin toimintakyvyttömän, osittaisen toimintakyvyn mahdollisuutta malliin ei ole sisällytetty. Eräät prosessin laitteet (esim. ruuvipuristin, Rauma-Repola pesuri) eivät ole tuotannon jatkumiselle niin tärkeitä, että niiden joutuminen toimintahäiriön alaiseksi pysäyttäisi prosessin tältä kohdilta, vaan laite voidaan häiriön keston ajan ohittaa. Tällaiset mahdollisuudet on mallissa huomioitu.

4.3.2. Konelinjakaavio

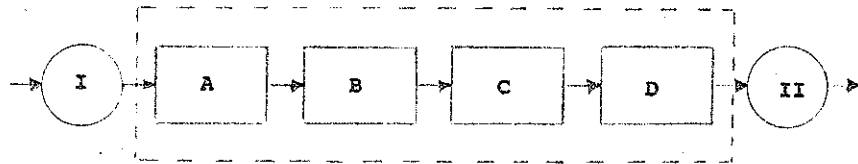
Prosessin tilan ja siinä tapahtuvien muutosten vaikutusten tarkkailun kannalta on hankalaa, että seurattavia komponentteja on niin paljon kuin niitä konepaikkakaavion mukaan on. Tämän johdosta kaaviosta on etsitty sellaiset laajemmat osa-alueet, jotka toiminnallisesti voidaan vielä käsittää kukin omaksi kokonaisuudekseen. Näin on päädytty tuotantolaitoksen konelinjakaavioon, joka on esitetty liitteessä 2.

Konelinjakaavio on luotettavuuskaavion näkökulmasta katsottuna konepaikkakaaviota huomattavasti selkeämpi. Siinä korostuu erityisesti viiveellisten¹⁾ välisäiliöiden merkitys. Näitä säiliöitä yhdistävät konelinjat tai niiden yhdistelmät.

1) Säiliön viiveellä tarkoitetaan tässä sitä aikaa, joka säiliön täyttymiseen (tyhjenemiseen) normaalilla tuotantovauhdilla kuluu, kun vain säiliötä edeltävä (sen jälk.) prosessin osa on käynnissä.

Säiliöiden ensisijainen merkitys on tuotantotekninen, niitä käytetään mm. raaka-aineen laadun parantamiseen ja tasaamiseen. Kunnossapito voi kuitenkin käyttää niitä hyväkseen omassa toiminnassaan, nimittäin häiriöiden eliminointiin tai rajaamiseen tiettyyn prosessin osaan. Prosessi voi viiveen ilmoittamissa rajoissa toimia, vaikka säiliön eri puolilla olevat osaprosessit eivät molemmat toimisikaan.

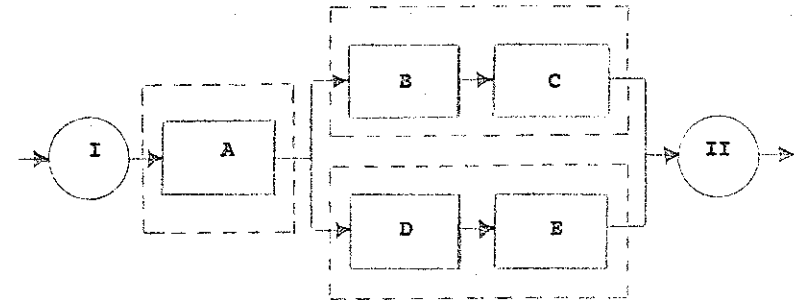
Kaavion konelinjat on laadittu periaatteella, että konelinja on suurin mahdollinen kokonaisuus konepaikkoja, mikä kahden säiliön väliltä on löydettävissä prosessin tällä välillä haarautumatta useampaan osaan. Tämä havaitaan tarkoituksenmukaiseksi, sillä esimerkiksi kuvan 5 esittämässä tapauksessa konepaikkoja A-D voidaan tarkastella yhtenä kokonaisuutena, sillä minkä tahansa niistä toimintakyvyttömyys tekee säiliöiden I-II välisestä prosessin osasta toimintakyvyttömän. Konelinjajaaon muodostumista tapauksessa, jolloin prosessi säiliöiden välillä hajosa rinnakkaisiin linjoihin, esittää kuva 6. Tällaisessa tapauksessa esimerkiksi konepaikan B särkyminen ei kokonaan pysäytä prosessia, vaan sallii sen jatkumisen tietyllä, tosin alentuneella toiminta-asteella (konepaikkojen A, D, E kautta).



Kuva 5. Yksi konelinja kahden säiliön välillä

Edellä esitetystä konelinjojen muodostamisperiaatteesta on yksi poikkeus: puunkäsittelylaitos (laitteet ennen hakevarastoa) on kaaviossa yhtenä konelinjana. Tämä on mahdollista hakevaraston suuruuden (useiden viikkojen haketarve varastossa) ja sahalta

tulevan hakkeen johdosta. Näin ollen puunkäsittelylaitoksella esiintyvä vaikeakaan häiriötilanne ei pääse ulottamaan vaikutuksiaan muualle prosessiin. Puunkäsittelylaitos ei siis aiheuta tuotantomenetyksiä, kunnossapidon resursseja ja toimintoja se sen sijaan käyttää tavalliseen tapaan.



Kuva 6. Useita konelinjoja kahden säiliön välillä

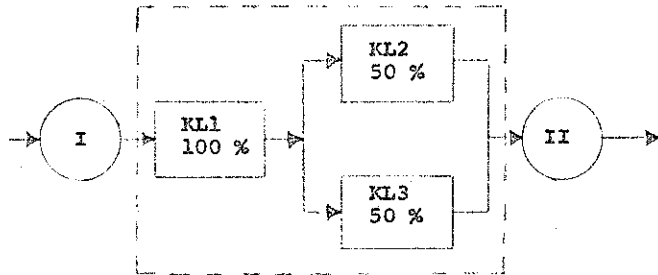
Sulfaatti- ja paperitehtaan sellaiset konepaikat, jotka eivät suoranaisesti ole prosessin osia, on yhdistetty omiksi konelinjoiksi (konelinjat n:o 46 ja 47). Tähän ryhmään kuuluvat mm. erilaiset nosturit ja paperin jälkikäsitteilylaitteet. Näidenkään laitteiden ei oleteta aiheuttavan tuotantokatkoja, ne ainoastaan tarvitsevat kunnossapidon palveluksia.

4.3.3. Osastokaavio

Luotettavuuskaavion kolmantena tasona on liitteessä 3 esitetty osastokaavio, joka on muodostettu konelinjakaaviosta yhdistämällä

kahden säiliön välissä olevat konelinjat. Näin muodostuneet "osastot" vastaavat useissa tapauksissa tuotantolaitoksessa määriteltyjä osastoja (esim. keitto- ja pesuosastot), joissakin tapauksissa kaaviossa esiintyvä osasto on huomattavasti suppeampi, käsittäen vain jopa 1-2 konelinjaa.

Esitystapa on mallin kannalta kuitenkin tarkoituksenmukainen, sillä näin voidaan kuva prosessin tilasta ja sen vaikutuksesta esim. säiliöiden täyttöasteisiin pitää jatkuvasti selkeänä. Esimerkiksi kuvassa 6 esitetty tilanne on osaston muodostumisen kannalta kuvan 7 mukainen.



Kuva 7. Osaston muodostuminen konelinjoista

Jos nyt kuvan 6 tapauksessa konepaikka B särkyy, aikaansaase konelinjan KL2 toimintakyvyttömyyden. Tämä puolestaan merkitsee, että säiliöiden I ja II välinen osasto toimii vain 50 %:n teholla normaalituotantoon verrattuna. Näin säiliötä II joudutaan käyttämään puskurivarastona ja mikäli sen kapasiteetti ei riitä, joudutaan tuotantomenetyksiin.

Konelinjakaavioon verrattuna osastokaavioon on tullut neljä säiliötä lisää, nimittäin kunkin paperikoneen ja sitä edeltävän jauhatusosaston väliin. Tämä on tehty siksi, että paperikoneet oman erityisluonteensa vuoksi on haluttu säilyttää omina osastoinaan. Mitään vääristymiä todellisuuteen verrattuna ei tästä kuitenkaan aiheudu, sillä mallissa nämä säiliöt on asetettu viiveettömiksi, jolloin ne jäävät puhtaasti fiktiivisiksi ja prosessin kulku etenee aivan samoin kuin ilman säiliöitäkin.

4.4. Luotettavuuskaavioiden komponentteihin liittyvät datat

Edellä esitettyjen luotettavuuskaavioiden antama kuva tuotantolaitoksesta voi olla täydellinen vasta, kun kaavioiden komponentteihin on liitetty niiden kapasiteettia ja toimintaa ilmaisevat datat. Kapasiteettitiedot on saatu osaksi tuotantolaitoksen rakenneselosteista, osaksi on jouduttu turvautumaan tehtaan toiminnasta vastaavien henkilöiden suorittamiin arviointeihin. Toimintatiedot on kerätty vuosilta 1967-1971. Lisäksi on kohdassa 4.2. esitetyistä syistä ja siinä esitettyllä tavalla jouduttu turvautumaan joihinkin olettamuksiin.

Säiliöiden kapasiteetit on ilmoitettu viiveinä, siis aikayksiköissä. Tällöin on lähtökohtana ollut normaali tuotantovauhti "keskimääräisellä" tuotannon laadulla. Massan kulutus tosin vaihtelee huomattavasti valmistettavasta paperilaadusta riippuen, mutta massan kokonaiskulutuksen suhteen pyritään tasaisuuteen esimerkiksi niin, että yhden paperikoneen valmistaessa huomattavan ohutta paperia, jollakin toisella koneella ajetaan vastaavasti paksumpaa. Tunteina lausutut viiveet on liitetty konelinjakaavioon yhteyteen.

Tuotantolinjan ollessa jakaantuneena kahteen tai useampaan rinnakkaiseen haaraan yhden haaran suorituskyky yleensä ylittää sen osuuden, mikä sille normaalitilanteessa kuuluu. Niinpä kahdesta rinnakkaislinjasta toisen pettäessä koko linjan teho laskee vain esim. 30 %:lla ja kolmesta linjasta kahden toimintakuntoisuus saattaa taata tuotannon jatkumisen ainakin jonkin aikaa normaaliteholla. Rinnakkaislinjojen itsenäiset suorituskyvyt on myös liitetty konelinjakaavioon.

Laitteiden toimintaa kuvaamaan käytetyt konepaikkakohtaiset vika-tiheyden ja korjausajan jakautumien muodostamisperiaatteet on esitetty jo kohdassa 4.2. Jakautumien esitysmuodoksi on valittu empiirinen jakautuma. Toinen vaihtoehto, jakautumien sovittaminen tunnettuihin teoreettisiin jakautumiin, ei osoittautunut käyttökelpoiseksi. Syynä oli suoritettujen kunnossapitotöiden harvalukuisuus useiden laitteiden kohdalla. Jakautumatyypin luotettavaan testaukseen, vielä vähemmän jakautuman parametrien estimointiin ei näin olisi kaikissa tapauksissa ollut mahdollisuuksia. Jakau-

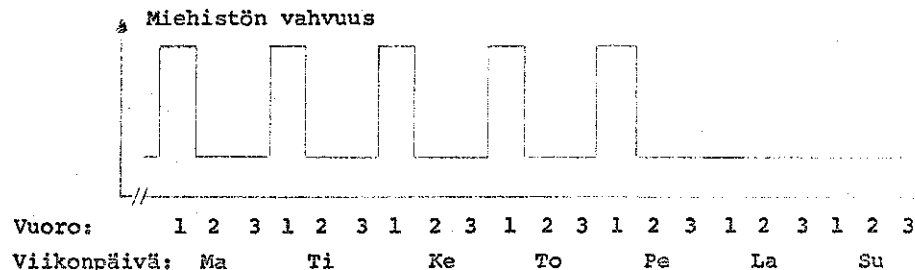
tumat on esitetty kertymäfunktioidensa avulla niin, että kustakin jakautumasta on etsitty minimiarvo, 25 %:n fraktiili, mediaani, 75 %:n fraktiili ja maksimiarvo. Jakautumat on taulukoitu liitteessä 4.

Vian ilmaantuessa on ratkaisevaa, onko se luonteeltaan häiriön aiheuttava vai ei. Tilastoista tämä käy selville suoritettun kunnossapitotyön luokitukselta. Tarkasteltavassa yrityksessä työt on luokiteltu: ennakkohuolto, korjaava kunnossapito, häiriökorjaukset, muutostyöt ja muut työt. Töiden jakaantuminen eri työlaajien kesken vaihtelee osastolta toiselle, yleensä prosessin loppupäässä ennakkohuollon, korjaavan kunnossapidon ja muutostöitten osuus on suurempi ja vastaavasti häiriökorjauksen osuus pienempi kuin prosessin alussa. Tilastoista löydetään seuraava kolmijako: puunkäsittelylaitos, sulfaattiselluloosa-tehdas ja paperitehdas. Työlaajajakautumat näissä on esitetty liitteessä 5.

4.5. Kunnossapidon toimintaperiaatteet mallissa

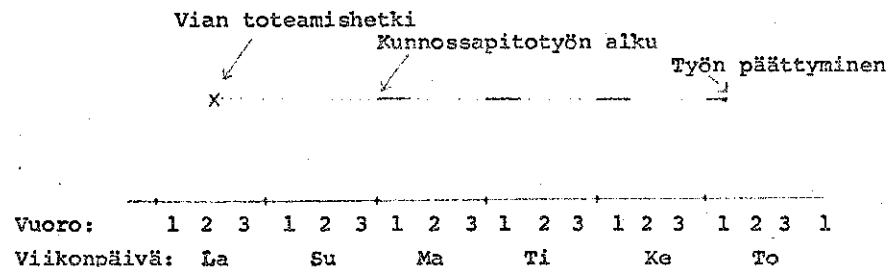
Luotettavuuskaavioiden ja niiden komponentteihin liittyvien datojen avulla on saatu kuva tuotantolaitoksesta ja sen toiminnasta. Kunnossapitomallia varten tarvitaan vielä ne periaatteet, joilla kunnossapidon toiminnot on järjestetty. Seuraavassa luodaan katsaus näihin mallissa käytettyihin yleisperiaatteisiin.

Koska tehdas on luonteeltaan jatkuvassa kolmivuorossa toimiva prosessitehdas, tarvitaan myös kunnossapitomiehiä kaikkina viikoppäivinä ja vuorokauden aikoina. Ilta- ja yövuoroissa sekä viikonloppuina suoritetaan kuitenkin vain kiireelliset ja välttämättömät työt niin, että miehistön suuruus tällöin on huomattavasti päivävuoroa pienempi käsittäen vain ns. vuoromiehet. Miehistön koko voi vaihdella esimerkiksi kuvan 8 mukaisesti. Mallissa ilta- ja yövuorojen vuoromiesten lukumäärä on sama.



Kuva 8. Kunnossapitomiehistön koon vaihtelut vuorottain ja viikonpäivittäin

Kun jossakin laitteessa ilmenee vika, tutkitaan ensiksi sen laatu: salliiko se laitteen toiminnan jatkumisen toistaiseksi vai aiheuttaako se välittömän toimintakyvyttömyyden. Jälkimmäisessä tapauksessa korjaus aloitetaan välittömästi, mikäli vain tarpeellinen määrä miehiä on käytettävissä ja korjauksen jatketaan keskeytyksettä, kunnes laite on jälleen toimintakunnossa. Muunkinlaatuisten vienojen korjaaminen aloitetaan heti, mikäli on kyseessä tavallinen arkipäivävuoro, muuten kunnossapitotyön alku siirretään seuraavaan arki-aamuun (tämä kaikki tietenkin edellyttäen, että miehiä on riittävästi). Aloitettu korjaus suoritetaan loppuun, kuitenkin niin, että työt keskeytetään ilta- ja yövuorojen ajaksi. Siten esimerkiksi lauantai-iltana ilmeneen, häiriötä aiheuttamattoman 27 tunnin työsuorituksen vaativan vieno korjaus tapahtuu kuvan 9 mukaisesti



Kuva 9. Kunnossapitotyön suoritus tapauksessa, jolloin häiriötilannetta ei ole syntynyt

Toisinaan saattaa syntyä tilanne, jolloin tarpeellista määrää kunnossapitomiehiä ei ole saatavilla, työt joutuvat odottamaan. Odottamaan joutuvat työt asetetaan työjonoon, häiriökorjaukset omaansa ja muut työt omaansa. Työjonoja purettaessa häiriökorjaukset ovat etusijalla, niiden mahdollisimman pikainen suoritus on toiminnan jatkumisen kannalta tärkeitä. Tilanteita, joissa miehiä vapautuu jonossa olevien töiden aloittamiseksi, ovat jonkin muun korjauksen päättymisen ja päivävuoron alkaminen.

Osa kunnossapitotöiden suorittamiseksi tarvittavasta kapasiteetista voidaan aikaansaada ylitöiden muodossa. Kunnossapitopolitiikan määrittelyn yhteydessä onkin sallittu ylityötuntien osuus kiinnitettävä. Ylitöihin turvaututaan tilanteissa, jolloin kunnossapitotyötarpeen ilmaantuessa tarvittavaa määrää kunnossapitomiehiä ei ole käytettävissä. Ylitöitä tehtäessä on pysyttävä kunnossapitopolitiikan määräämissä rajoissa, tämän lisäksi on otettava huomioon ne työehtosopimusten määräykset, jotka rajoittavat tehtyjä ylityötuntien määriä.

Kun prosessin jokin laite (mallissa konepaikka) joutuu epäkuntoon, aiheuttaa se tietyn konelinjan toimintakyvyttömyyden. Tämä taas merkitsee yleensä tuotantotehon laskua sillä osastolla, jonka osana konelinja on. Jotta ei heti jouduttaisi tuotantomenetyksiin, käytetään osaston jälkeistä säiliötä puskurivarastona. Tämän puskurivaran loputtuakin on mahdollisuus turvautua välivarastona toimivaan massateltaan, mikäli teltan jälkeinen prosessin osa on toimintakunnossa. Teltankin kapasiteetin ollessa riittämättömän joudutaan väistämättä tuotantomenetyksiin. Häiriötilanteiden aikana tällä tavalla vajaanutuneita säiliöitä on mahdollisuus normaalitilanteen vallitessa puolestaan täyttää.

4.6. Mallin systeemikaaviot

4.6.1. Tapahtumat

Vaikka tarkasteltava systeemi, prosessiteollisuuslaitos toimintoinen, on luonteeltaan jatkuva, voidaan simulointimalli kuitenkin rakentaa diskreettinä systeeminä, koska tarkkailtavat

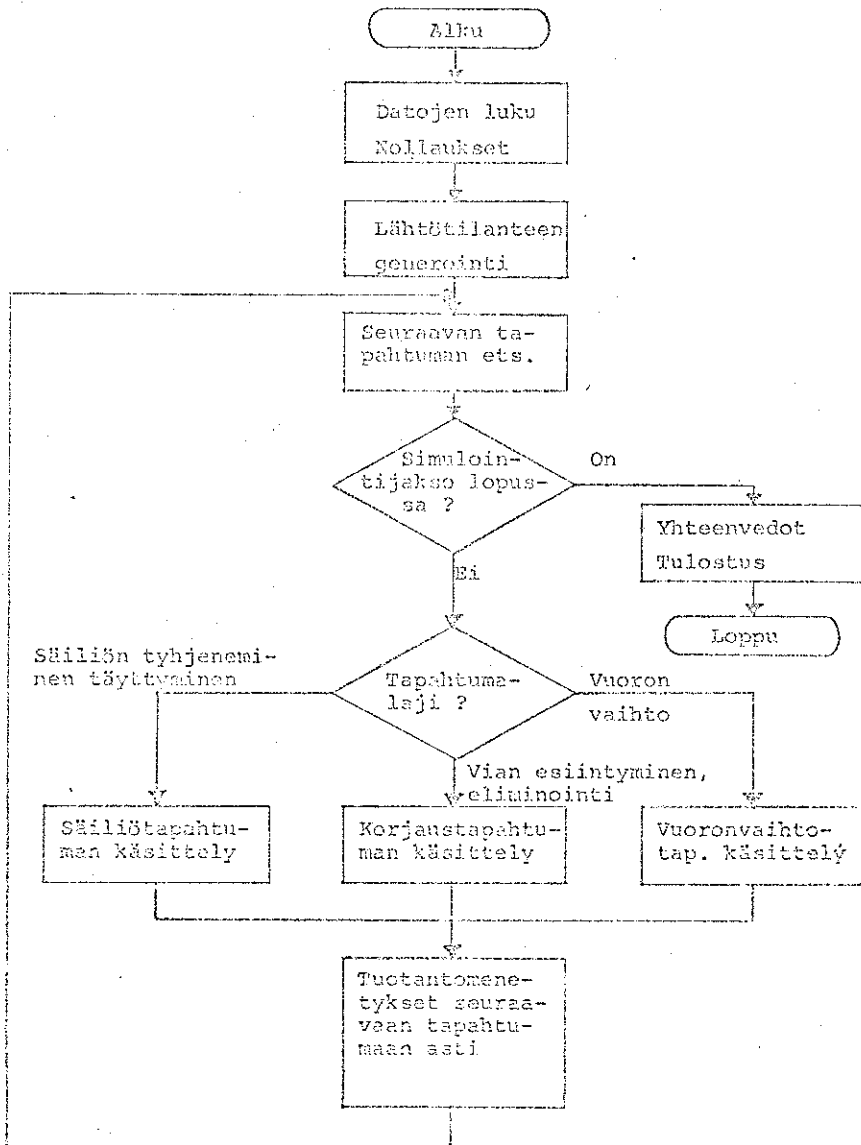
suureet riippuvat luonteeltaan diskreeteistä ilmiöistä, tapahtumista. Tapahtumia syntyy joko deterministisesti, kuten vuoron vaihto aina kahdeksan tunnin välein, stokastisesti annettujen jakautumien mukaan (vian esiintyminen, korjauksen päättymisen) tai edellä mainittujen tapahtumatyyppien yhteisvaikutuksen seurauksena (odotustilanteen alku ja loppu, säiliön tyhjeneminen ja täyttyminen). Tapahtuman syntyminen aiheuttaa muutoksia vallitseviin olosuhteisiin, tapahtumien välillä olosuhteet säilyvät ennallaan.

Tapahtumien keskinäisestä järjestyksestä ajan suhteen huolehtii mallin sisäinen kello, joka ilmoittaa kunkin tapahtuman esiintymisajankohdan. Simulointi etenee tapahtuma kerrallaan kunnes valittu loppuajankohta on saavutettu. Tapahtuman esiintyminen aiheuttaa sen luonteen analysoinnin ja tarpeellisten muutosten tekemisen vallitseviin olosuhteisiin. Simuloinnin edetessä seurataan tapahtumien lukumääriä samoin kuin tarkkailtavaksi valittuja suureita, joista simuloinnin loputtua voidaan laatia yhteenvetoja ja tilastoja.

4.6.2. Simulaattorin runko

Mallin rakenne ja toiminta on esitetty karkean tason systeemi-kaavion muodossa kuvassa 10. Mallin ensimmäisenä keskeisenä vaiheena on jakautumien ja vakioiden arvojen määrittelyn jälkeen lähtötilanteen generointi. Lähtöhetkellä vallitseviksi oletetut olosuhteet ulottavat vaikutuksensa ajassa varsin kauas, joten niiden valintaan on syytä kiinnittää huomiota. Jo kauan aikaa toimineen laitoksen kyseessä ollessa tarkoituksenmukaisin on menettely, jonka mukaan mallin alkulosuhteet asetetaan vastaamaan käynnissä olevalle tehtaalle tyypillistä toimintavaihetta ja -kuntoa. Tämä saavutetaan satunnaisella tarkastelun alkuketken valinnalla.

Kun lähtötilanne on luotu, voidaan etsiä ensimmäinen tapahtuma, joka aiheuttaa muutoksia vallitseviin olosuhteisiin. Tapahtumat jaetaan mallissa kolmeen eri luokkaan aiheuttajansa mukaan:



Kuva 10. Simulaattorin runko

- (a) "korjaustapahtumat", jotka merkitsevät vian ilmituloa jossakin laitteessa, kunnossapitotyön (joko välittömästi vian ilmestyttyä alkaneen tai odottamaan joutuneen) alkua tai tällaisen työn päättymistä,
- (b) "vuorovaihto tapahtumat", joita syntyy säännöllisesti kahdeksan tunnin välein työvuorojen vaihtuessa ja
- (c) "säiliötapahtumat", jotka merkitsevät häiriötilanteen vallitessa puskurivarastona käytetyn välisäiliön tyhjenemistä tai tällaisen säiliön täyttymistä.

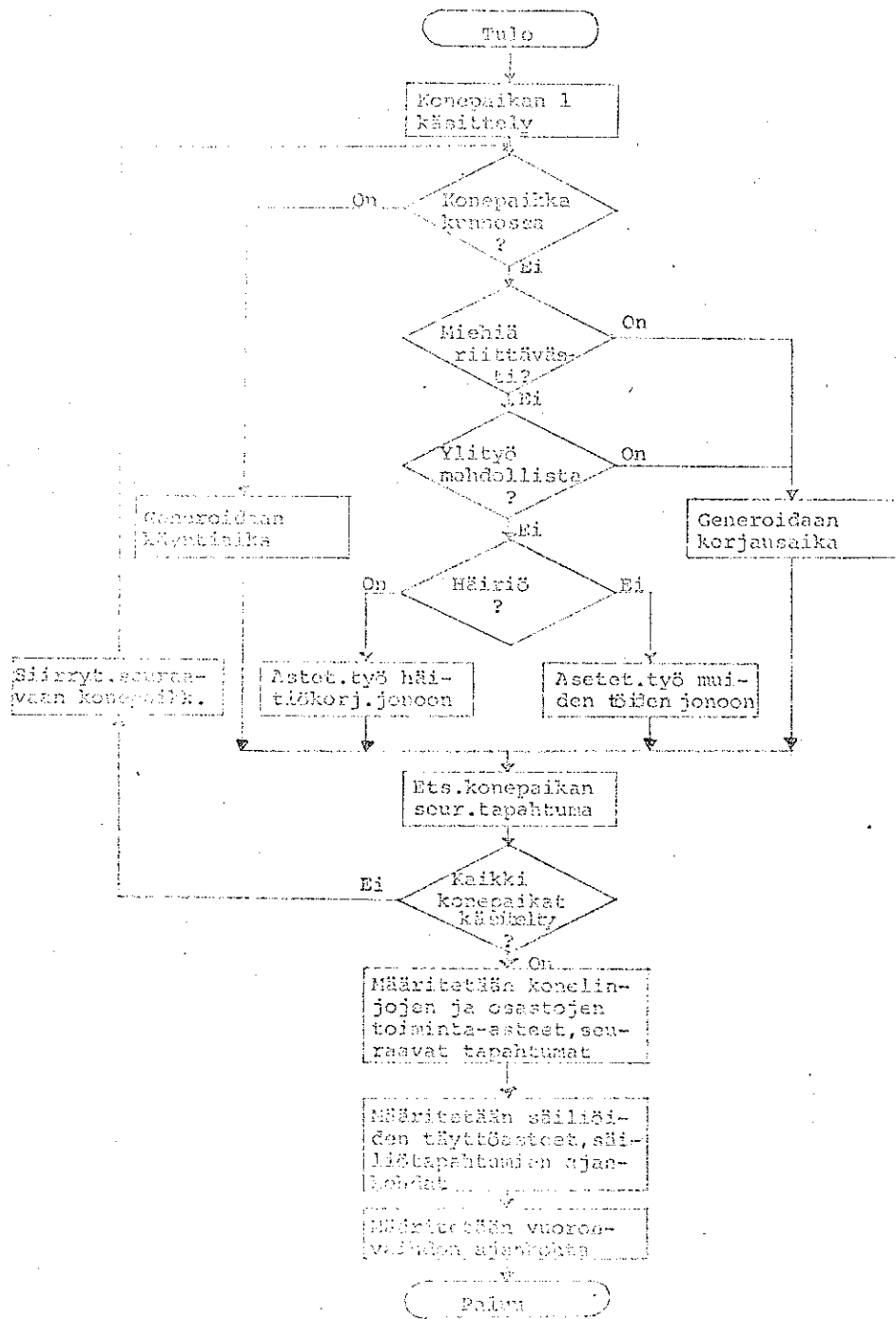
Kullakin tapahtumatyyppillä on omat käsittelysääntönsä, yhteisinä piirteinä ovat tapahtuman vaikutusten huomioon ottaminen työssä ja vapaana olevien miesten lukumääriin, konepaikkojen, konelinjojen ja osastojen toiminta-asteisiin, säiliöiden täyttöasteisiin, mahdollisiin tuotantomenettyksiin jne.

Näiden em. seikkojen tultua selvitettyksi etsitään aika, jonka nämä uudet olosuhteet vallitsevat, rekisteröidään seuraava tapahtuma ja jatketaan, kunnes valittu simulointijakso on lopussa. Simuloinnin loputtua on jäljellä haluttujen toimintaa ja sen tuloksellisuutta kuvaavien tulosten esittäminen.

4.6.3. Lähtötilanteen generointi

Simuloinnin alkuhetkellä vallitsevien olosuhteiden generoinnin päävaiheet on esitetty kuvan 11 kaaviossa. Koneiden ja laitteiden (konepaikkojen) alkutilanteen toimintakuntoisuudet määritetään niin, että kukin konepaikka on sille ominaisten jakautumien mukaan joko normaalissa toimintakunnossa, viallinen mutta toimintakuntoinen tai toimintakyvytön. Kunnossa olevalle konepaikalle etsitään samalla ensimmäinen käyntiaika, ts. ensimmäisen vian esiintymisajankohta, vialliselle vastaavasti kunnossapitotyöhön kuuluva aika. Joillekin töille saattaa tulla myös miehistön puutteesta johtuvaa odotusaikaa.

Konelinjan toiminta-aste määräytyy siihen kuuluvien konepaikkojen toiminta-asteiden perusteella niin, että jo yhden konepaikan toimintakyvyttömyys saattaa koko konelinjan toimintakyvyttömäksi. Konelinjan lähin tapahtuma on luonnollisesti konepaikkojen tapahtumista ensimmäinen.



Osaston toiminta-aste voi rinnakkaisista konelinjoista johtuen olla myös jotakin 0:n (= toimintakyvytön) ja 1:n (= täysin toimintakuntoinen) välillä. Tämä saadaan selville osaston konelinjojen toiminta-asteiden ja rinnakkaislinjojen haarakapasiteettien avulla. Osastolla syntyvä ensimmäinen tapahtuma on osaston konelinjojen tapahtumista ensimmäinen.

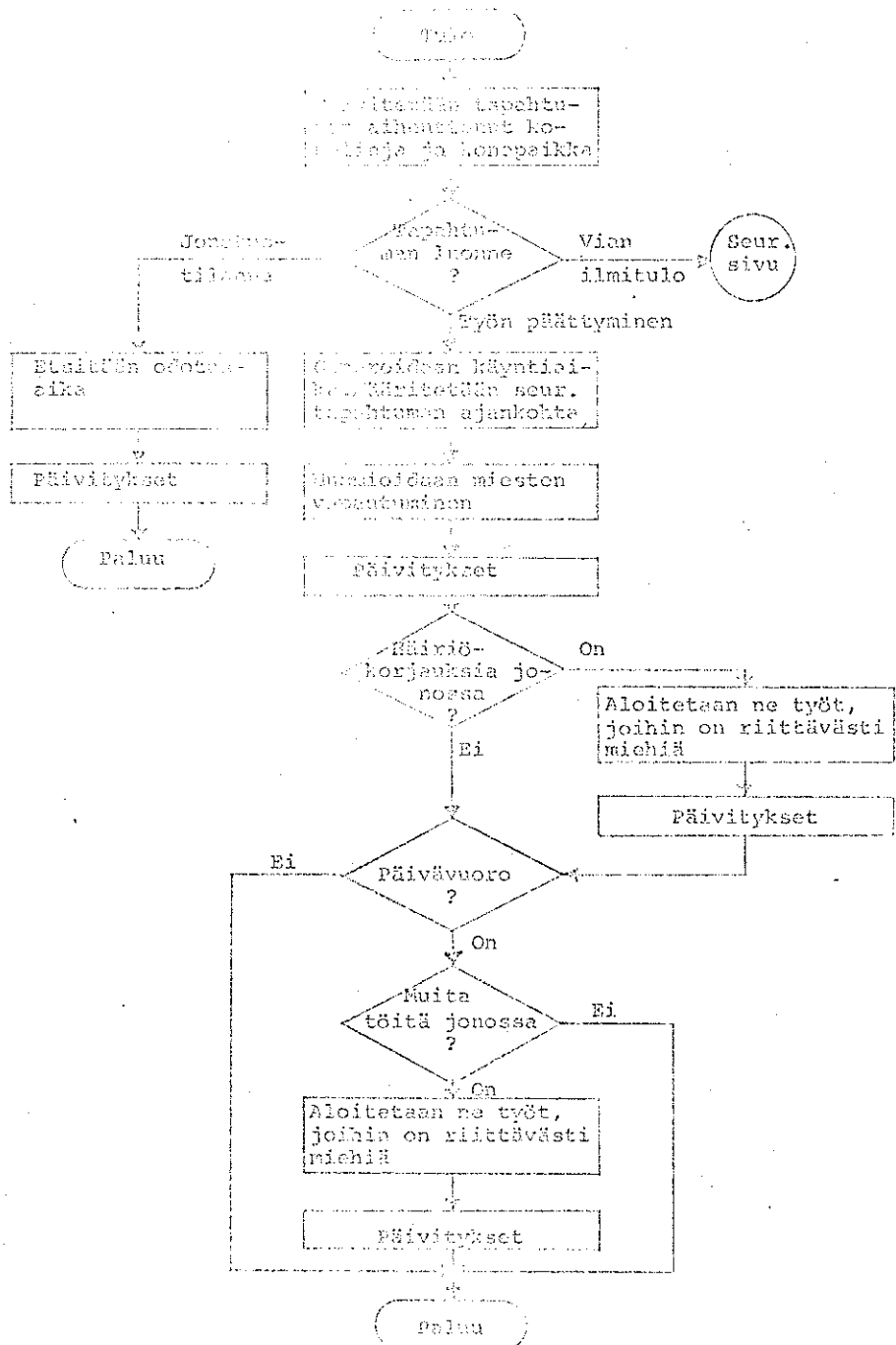
Säiliöiden täyttöasteet alkuhetkellä valitaan täysin satunnaisesti täyden ja tyhjän säiliön väliltä, kunkin säiliön kohdalla erikseen. Mikäli jollakin osastolla poikkeustilanne jatkuu riittävän kauan, saattaa siihen liittyvä säiliö tyhjetä tai täyttyä, jolloin syntyy säiliötapahtuma. Tällaiset mahdollisuudet tutkitaan kunkin säiliön osalta.

Viimeisenä vaiheena on vuorovaihtotapahtuman määrittäminen. Kun mallin käynnistyshetkeksi on valittu maanantain päivävuoron alku, on ensimmäinen vuorovaihtotapahtuma kahdeksan tunnin kuluttua, jolloin päivävuoro vaihtuu iltavuoroksi.

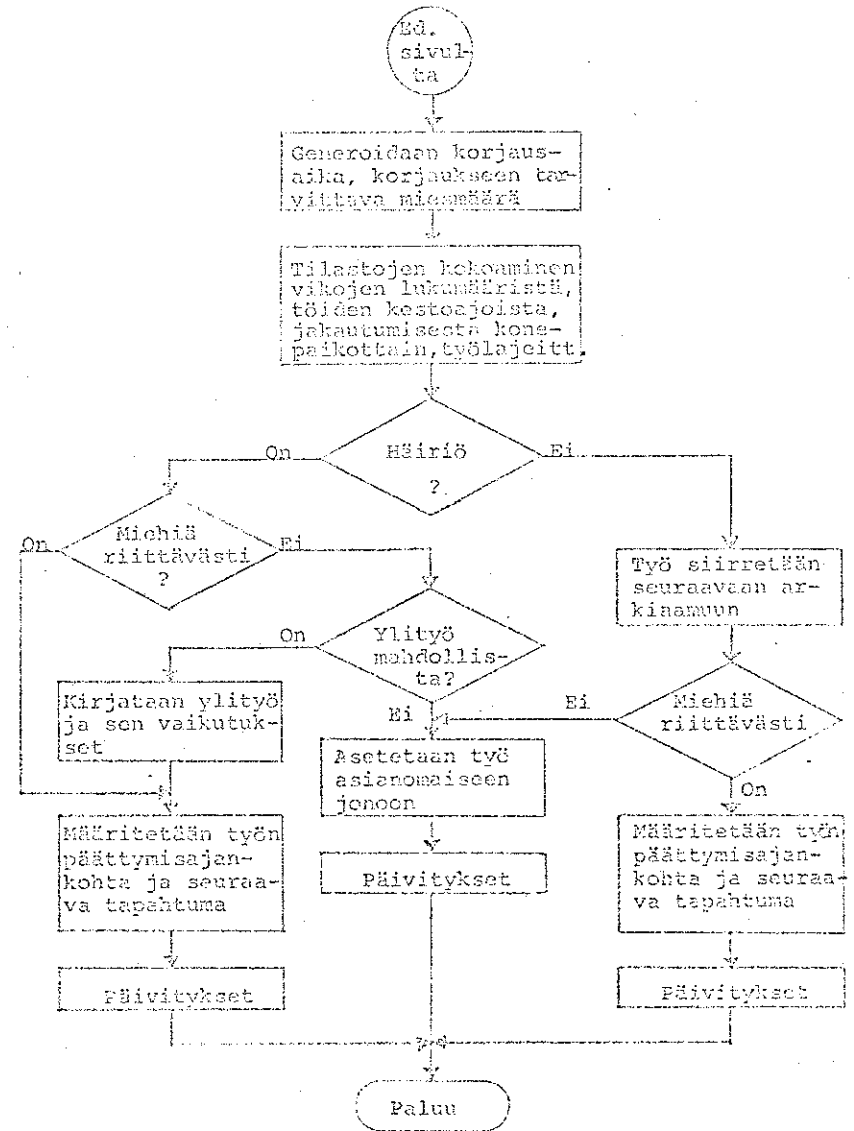
4.6.4. Vian ilmestyminen. Korjauksen alkaminen ja päättymisen

Valtaosa simuloinnin edetessä syntyvistä tapahtumista on peräisin osastoilta, ne ovat ilmenneitä vikoja, aloitettuja tai loppuun saatettuja kunnossapitotöitä. Tällaisen korjaustapahtuman käsittely muodostaa mallissa näin ollen varsin keskeisen osan. Käsittelyn päävaiheet on esitetty kuvan 12 kaaviossa.

Mallin päälölkossa, jossa käsittelyn kohteeksi joutunut tapahtuma todettiin korjaustapahtumaksi, tarkastelun tasona oli osastotaso. Nyt siirrytään konepaikkatasolle selvittämällä aluksi konelinja ja konepaikka, josta tapahtuma on peräisin. Tarkastelut jatkuvatkin tällä tasolla, kunnes ennen päälölkoon paluuta todetaan tapahtuman vaikutukset ympäristölleen. Tämä tapahtuu kunkin haaran "päivitykset"-osassa. Päivitystoimenpiteet vaihtelevat haarasta riippuen, tehtävänä on kuitenkin todeta käsitellyn tapahtuman vaikutukset kulloinkin kysymyksessä olevan konelinjan ja osaston toiminta-asteisiin ja näiden lähimpiin tapahtumiin sekä etsiä mahdolliset uudet säiliötapahtumat.



Kuva 12. Korjaustapahtuman käsittely (jatkuu)



Kuva 12 (jatkoa). Korjaustapahtuman käsittely

Työn aloittamisen ja sen jatkumisen kannalta häiriökorjaustyöt ja muut työt poikkeavat toisistaan. Häiriökorjaustyöt aloitetaan välittömästi, jos suinkin mahdollista, ja niitä jatketaan keskeytyksettä. Muitten töitten kohdalla, sen jälkeen kun työ on todettu ei-kiireelliseksi, suoritukset tapahtuvat arkipäivien päivävuoron aikana. Korjaustyön päättymisen tarjoaa erään mahdollisuuden odottamassa olevien töiden jonon purkamiselle. Etusijalle tässä asetetaan häiriökorjaustyöt. Jonosta otetun ja aloitetun työn jatkuminen noudattaa samoja periaatteita kuin muunkin työn suoritus. Lisäksi on huomattava jonosta poistetun työn vaikutukset jonon koostumukseen.

4.6.5. Vuoron vaihtuminen

Edellisessä kappaleessa tarkastellut tapahtumat syntyivät satunnaisesti, tiettyjä jakautumia noudattavina. Vuoronvaihtotapahtumien syntymisprosessi sen sijaan on täysin deterministinen, ennalta määrätty. Kunnossapitomiehistö vaihtuu aina kahdeksan tunnin välein niin, että arkipäivien päivävuoroissa on täysi miehitys ja ilta- ja yövuoroissa sekä viikonlopun aikana vain nk. vuoromiehistö päivystystehtävissä ja välttämättömiä töitä varten.

Päivävuoron päättymisen merkitsee muiden kuin häiriökorjausten keskeytymistä seuraavan arkipäivävuoron alkuun asti. Myös joidenkin häiriökorjaustöiden suoritus voi keskeytyä, mikäli vuoromiehistön kapasiteetti ei riitä ja harjoitetun kunnossapitopolitiikan mukainen ylityökiintiö on jo täynnä.

Päivävuoron alkaminen puolestaan merkitsee keskeytyksissä olevien töiden jatkumista. Samalla on mahdollisuus aloittaa uusien, odottamassa olevien töiden suoritus, mikäli edellisen päivävuoron päättymisen jälkeen on vapautunut miehiä loppuun saatetuista muista töistä. Töitä valittaessa ovat häiriökorjaustyöt taas muita edellä.

Päivitystoinenpiteet käsittävät tässäkin suoritettavan korjaustyön vaikutusten huomioon ottamisen kohteena olevaan konepaikkaan liittyvän konelinjan, osaston ja säiliön toiminnassa.

4.6.6. Säiliön tyhjeneminen ja täytyminen

Säiliötapahtumien (säiliön tyhjeneminen ja täytyminen) syntymismekanismi on osittain stokastinen, osittain deterministinen. Ne syntyvät stokastisten korjaustapahtumien seurannaisina, kuitenkin niin, että niiden ajankohta on tarkasti määritettävissä sen jälkeen kun korjaustapahtumien ajankohdat tunnetaan. Säiliötapahtuman ajankohdan määräävät säiliöön liittyvien osastojen toiminta-asteet, säiliön kapasiteetti ja senhetkinen täyttöaste. Malliin on otettu lineaarinen riippuvuus tyhjenemis- (täyttymis-) nopeuden ja säiliöön liittyvien osastojen toiminta-aste-erojen välille.

Tuotantomenetysten laskemisen kannalta prosessi ajatellaan jaetuksi kahteen osaan, erillisenä välivarastona toimivaa massatallettaa edeltävään ja sen jälkeiseen prosessiin osaan. Prosessin jälkiosassa ilmennyt osaston toiminta-asteen lasku merkitsee aina, sen jälkeen kun osastoon liittyvän säiliön puskurivara on käytetty, menetettyä tuotantoa. Prosessin alkuosasta aiheutuvia tuotantometyksiä syntyy vasta, kun sekä osaston oma puskurivara että massatalletan kapasiteetti on loppuun käytetty.

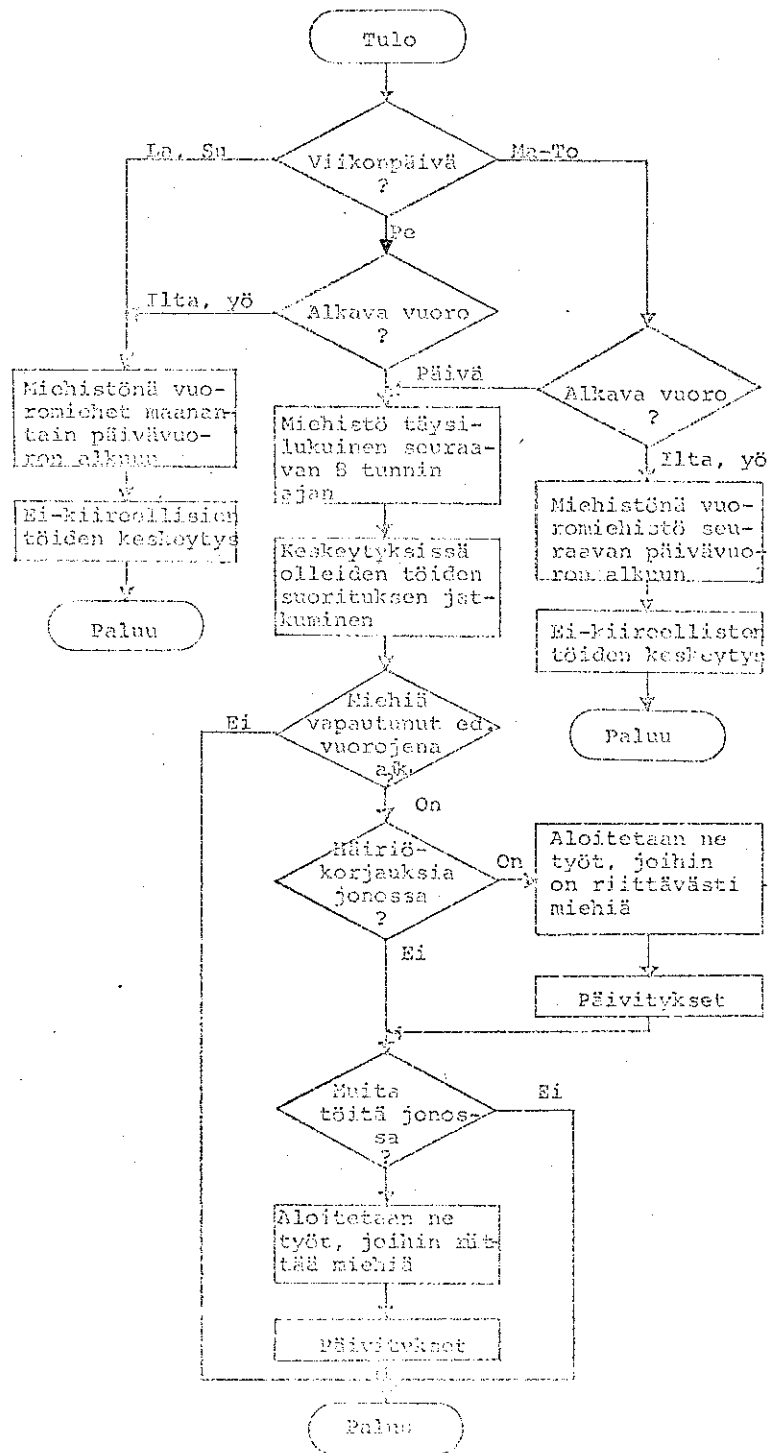
Mikäli useammat osastot joutuvat samanaikaisesti toimimaan alentuneella tuotantoteholla, menetyksiä laskettaessa huomioidaan luonnollisesti vain yhden aiheuttamat, nimittäin sen, jonka tuotantoteho on alhaisin.

4.7. Ohjelmointi

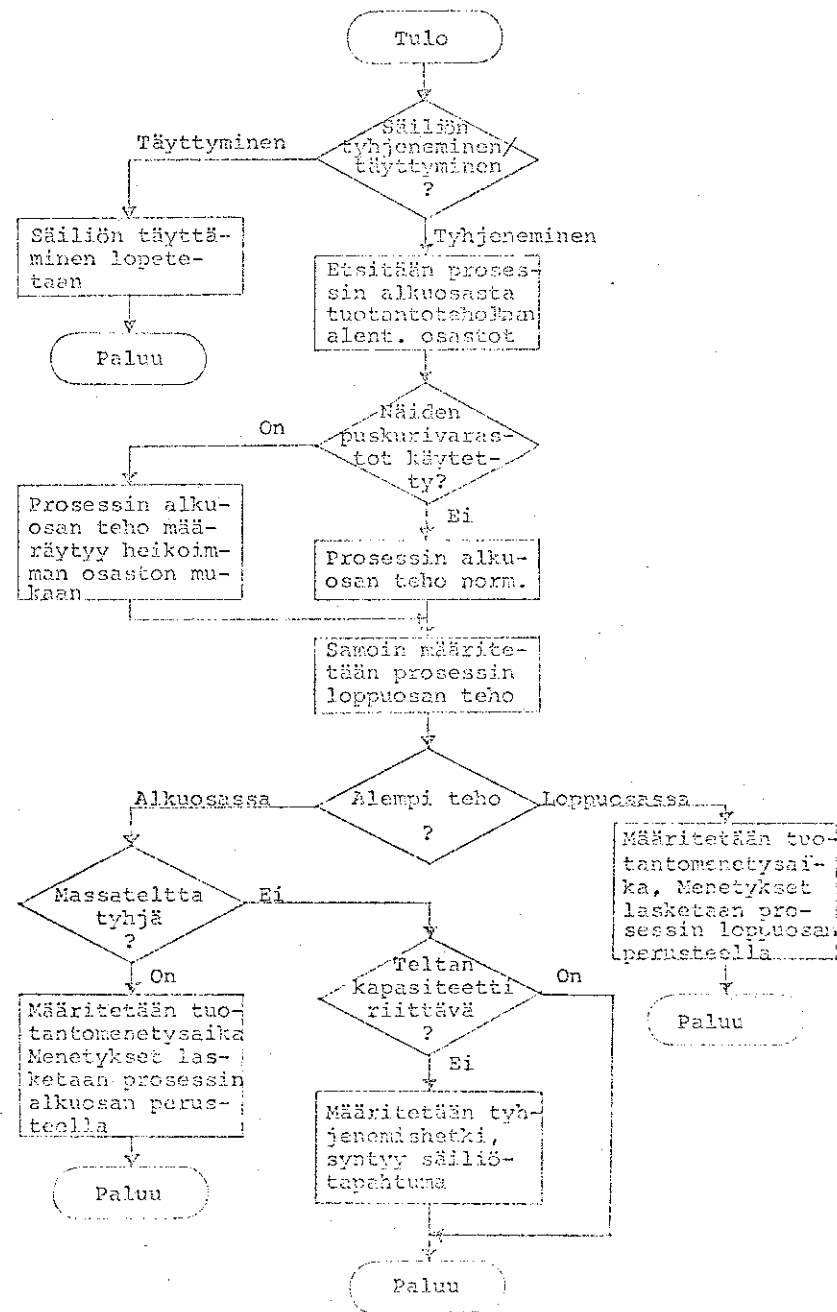
4.7.1. Kielen valinta

Viimeistään siinä vaiheessa, kun mallin logiikka on selkiintynyt systeemikaavioiden tasolle saakka, mutta mieluummin jo mallin laadintaan ryhtyessä tekijän on tehtävä ratkaisu käytettävästä ohjelmointikielystä. Valittavana on kaksi olennaisesti erilaista vaihtoehtoa. Ohjelmointikielenä voi olla

- (a) jokin tarkoitukseen sopiva yleiskieli kuten FORTRAN, ALGOL, PL/I tai
- (b) erityinen simulointia varten laadittu kieli, kuten GPSS, SIMSCRIPT, SIMULA.



Kuva 13. Vuorovaikto



Kuva 14. Säiliötapahtuman käsittely

Valinnan suhteen ei ilmeisesti ole olemassa mitään yleispätevää ohjetta, vaan ratkaisu on tehtävä kulloinkin vallitsevien olosuhteiden mukaisesti. Tärkeimpinä näkökohtina kieltä valittaessa voidaan mainita

- käytettävissä oleva tietokonelaitteisto
- käyttäjän perehtyneisyys eri kieliin ja
- tehtävän luonne.

Nyt käsillä olevassa työssä on päädytty FORTRAN'iin. Sen voidaan katsoa varsin hyvin soveltuvan tarkasteltavan kaltaisen, diskreettejä tapahtumia synnyttävän ja niiden vaikutuksia seuraavan mallin saattamiseen tietokoneelle sopivaan muotoon. Yleisesti onkin todettava että FORTRAN takaa sellaisen mahdollisuuden seurata mallin logiikkaa, että enää ohjelmointivaiheen aikana ei malliin jouduta tekemään rajoituksia tai olettamuksia.

Ohjelmisto on laadittu moduliperiaatteelle, joka suo tarpeellisen joustavuuden. Näin on mm. säilytetty mahdollisuus myöhemmille muutoksille tai lisäyksille.

FORTRAN'in käytön varjopuolena on ollut sen vaatima varsin runsas työväkärä. Ohjelmia on tarvittu suuri määrä (20 kpl), monet niistä ovat vielä melko laajoja. Kysymyksessä on kuitenkin ollut käyttäjälle tuttu kieli, niin että itse kielen oppimiseen kuluva aika on jäänyt pois.

Samanaikaisesti tämän työn kanssa on laadittu, tosin suppeammissa ja pelkistetyimmässä puitteissa, myös kunnossapitoa käsittelevä simulointimalli^{1,2)}, jonka eräänä tehtävänä oli selvittää GPSS:n soveltuvuutta tämänkaltaiseen simulointiin. Saatujen kokemusten mukaan kielen käyttö oli täysin mahdollista, joskaan mitään selvää paremmuutta esim. FORTRAN'iin nähden oli vaikea havaita. Simulointiajat mm. muodostuvat GPSS-kieltä käytettäessä huomattavasti pitemmiksi FORTRAN'iin verrattuna. Käytettävissä olevan koneajan ollessa rajoitetun tämäkin näkökohta on otettava huomioon.

1) MIS-72 työryhmien raportit

2) Elomaa

4.7.2. Ohjelmisto

Mallin rakenteen ja toiminnan pääpiirteistä on jo luotu kuva systeemikaavioiden muodossa. Useat mallin yksityiskohtien ratkaisut saivat kuitenkin lopullisen muotonsa vasta ohjelmointivaiheessa, joten perusteellinen tutustuminen malliin edellyttää näin ohjelmastolla ulottuvaa tarkastelua. Ohjelmakohtaisia kaavioita ei ole kuitenkaan niiden monilukuisuudesta aiheutuvan runsaan tilantarpeen takia liitetty työhön. Ohjelmien listauksista ja ohjelmissa käytetyistä symboleista selitykseen on laadittu erillinen nide, jonka avulla on mahdollisuus yksityiskohtaisemmin tutustua malliin. Seuraavassa on esitetty lyhyet selvitykset käytetyistä ohjelmista ja niiden suorittamista tehtävistä.

1. MAIN

Ohjelma on systeemin pääohjelma, joka tässä ominaisuudessa huolehtii mm. tapahtumien oikea-aikaisesta käsittelystä, niiden laadun analysoinnista ja ohjaamisesta oikeaan lohkoon käsittelyä varten. Edelleen ohjelma suorittaa simulaattorin käynnistykseen lukemalla datat, antamalla mallin alkuarvot sekä suorittamalla alkuhetkellä vallitsevien olosuhteiden generoinnin. Ohjelma huolehtii myös simuloinnin päättymisestä sovitun ajan kuluttua ja tulostuksen alkamisesta.

2. DEPT

Ohjelma muodostaa korjaustapahtumaksi todetun tapahtuman käsittelyn rungon. Ohjelma kutsuu aliohjelminaan lähes kaikkia muita systeemin ohjelmia ja on näin varsin keskeisessä asemassa. Ohjelman toiminta etenee varsin tarkkaan kuvassa 12 esitetyn kaavion mukaisesti.

3. SHIFT

Ohjelma huolehtii vuoron vaihtumisesta ajallaan ja vuoron vaihtuessa ajankohtaisten toimenpiteitten suorittamisesta. Ohjelman toiminnan pääpiirteet ovat kuvan 13 mukaiset.

4. LOSSES

Ohjelma rekisteröi säiliöiden täyttymiset ja tyhjenemiset, huolehtii massateltan kulloisestakin täyttösesteesta. Hakevaraston tarkkailu sivuutetaan sen pullonkaulaksi joutumattomuuden takia.

5. LOSDAT

Ohjelma huolehtii tuotantomenetyksten seuraamisesta. Nämä lasketaan menetettyinä tunteina, lopputuotannon määrään redusoituna. Ohjelmaa kutsutaan jokaisen käsitellyn tapahtuman jälkeen, jotta voidaan todeta tapahtuman aiheuttamat mahdolliset muutokset prosessin tilaan ja tätä kautta tuotantomenetyksiin.

6. WRFOUT

Ohjelma laatii simuloinnin kuluessa kerätyistä tiedoista halutut loppuyhteenvedot, huolehtii tulostustoimenpiteistä sekä päättää simulointiajan.

7. OSTER

Ohjelma seuraa osastojen tuotantotehoja, ja tietyn osaston jonkin konepaikan ja sen seurauksena vastaavan konelinjan toiminta-asteen muuttuessa huomioi tämän ko. osaston tuotantotehossa. Edelleen ohjelma pitää kirjaa osastojen seuraavista tapahtumista sekä konelinjoista ja konepaikoista, jotka ovat niiden aiheuttajia.

8. BUFDAT

Jokaisen tapahtuman yhteydessä on myös tarkistettava sen mahdollisesti aiheuttamat muutokset säiliöiden täyttymisasteisiin. Ohjelma BUFDAT etsii ne säiliöt, joihin kulloisellakin tapahtumalla saattaa olla vaikutuksensa.

9. BUFFER

Ohjelma on edellisen ohjelman aliohjelma, se suorittaa kohteeksi todetun säiliön osalta tilanteen tarkistuksen ja määrittää ko.

säiliön kohdalle tulevan säiliötapahtuman ajankohdan, mikäli tällainen tapahtuma on edessä.

10. FSATU

Ohjelma huolehtii simuloinnin kuluessa tarvittavien satunnaislukujen generoinnista. Ohjelman antamat luvut ovat tasaisesti välille (0,1) jakautuneita, mutta sopivia muunnoksia käyttäen saadaan minkä tahansa jakautuman mukaan jakautuneita satunnaislukuja. Eri simulointiajoissa voidaan saada eri satunnaislukusarjat valitsemalla ohjelmaan sisältyvän alirutiinin SATUIN avulla mielivaltainen lähtökohta. Muista ohjelmista poiketen FSATU on laadittu ASSEMBLER-kielellä

11. GENERW

Ohjelman tehtävänä on käyntiaikojen generointi konepaikoille. Ohjelma kutsuu FSATUa aliohjelmanaan ja muodostaa tämän antaman satunnaisluvun ja tarkasteltavalle konepaikalle ominaisen vika-tiheyden jakautuman perusteella kyseessä olevan konepaikan yksityisen häiriöttömän käyntiajan.

12. GENERR

Edellisen ohjelman tapaan GENERR vastaa konepaikkakohtaisten korjausaikojen generoinnista.

13. WTYPE

Kun johonkin konepaikkaan on ilmaantunut vika, tarvitaan tieto sen luonteesta. Ohjelman WTYPE tuloksena on tieto käytettävästä kunnossapitotyön laadusta. Työlaji etsitään FSATUN ja konepaikkakohtaisten työlajijakautumien perusteella.

14. MIEHET

Ohjelma määrittää kulloisenkin kunnossapitotyön suorittamiseksi tarvittavan työryhmän koon. Työryhmän koon määrittämisessä noudetaan kohdassa 4.2. esitettyjä periaatteita.

15. MINIMI

Ohjelma etsii annetusta lukujoukosta pienimmän ja tämän järjestyksnumeron. Ohjelmaa tarvitaan mm. lähimpien tapahtumien ja toiminta-asteeltaan alhaisimpien prosessin osien etsimiseksi.

16. CALEND

Simulointisysteemin kello mittaa kulunutta aikaa alkuhetkestä lähtien. Ohjelma CALEND muuntaa tämän ajan normaalin kalenterin mukaiseksi ilmoittamalla kulumassa olevan viikonpäivän ja työvuoron.

17. NEXT

Kun konepaikan osalle tulee uusi tapahtuma, ohjelma NEXT selvittää konelinjan ja osaston, jota tämä tapahtuma myös koskee. Mikäli tapahtuma aiheuttaa muutoksia konelinjan ja osaston lähimpiin tapahtumiin, ne toimeenpannaan.

18. NEXTA

Ohjelma etsii annetun konelinjan osalle tulevan seuraavan tapahtuman sekä konepaikan, joka sen aiheuttaa.

19. QUEUE1

Kun odottamassa ollutta työtä päästään alkamaan, huolehtii ohjelma QUEUE1 tarvittavien muutosten tekemisestä työjonoon ja käytettävissä olevien miesten tilastoon.

20. QUEUE2

Ohjelma suorittaa samat toimenpiteet kuin ohjelma QUEUE1, olosuhteet ovat vain hieman toiset.

4.7.3. Ohjelmien testaus

Ohjelmien testausvaiheessa tarvittut tietokoneajot samoin kuin myöhemmin varsinaiset simulointiajot on suoritettu SITRAN korkeakoulujen käyttöön asettamaan UNIVAC 1103-systeemiin kuuluvalla, Turun Kauppakorkeakoulun hallinnassa olevalla DCT 2000 etäisyräkäsitteypäätteellä.

Ohjelmien toiminnan testauksessa on käytetty kahta erilaista, ohjelman laadusta riippuvaa menetelmää. Pienehköt ja selvän oman kokonaisuuden muodostavat ohjelmat on testattu manuaalisesti "pöytätestien" avulla suorittamalla ohjelman mukaiset toimitukset laskukoneella ja toteamalla tulosten yhtäpitävyys. Suurten ja tiiviisti toisiinsa kytkeytyvien ohjelmien testaus on suoritettu tracing-menetelmällä seuraamalla ohjelman etenemistä tiheään asetettujen tilapäisten välitulostusten avulla. Yksi keskeisimmistä ohjelmista, satunnaislukugeneraattori FSATU on saatu valmiina, se on peräisin Turun Yliopiston tietojenkäsittelyopin laitoksen kokoelmista.

5. SIMULOINNIN SUORITTAMINEN JA TULOKSET

5.1. Datatiedosto

Käytettävissä olleen erittäin suuren kapasiteetin omaavan ja tehokkaan tietokonelaitteiston ansiosta mallin vaatimien data-tietojen käsittely muodostui hyvin joustavaksi. Simulointi-ajoja varten perustettiin tiedosto, jonka lukeminen oli kunkin simulointikerran ensimmäisenä vaiheena. Tiedosto käsitti sekä kappaleessa 4.4. mainitut tuotantolaitoksen toimintaa että kappaleessa 4.5. esitetyt harjoitettavaa kunnossapitopolitiikkaa kuvaavat tiedot, siis mallin riippumattomien muuttujien arvot.

Kunnossapitopolitiikan muutos merkitsee mallissa muutosta jonkin tai joidenkin muuttujien arvoihin. Tällainen muutos (esim. kunnossapitomiehistön koostumukseen) oli helposti aikaan saatavissa simulointikertojen välillä tiedostorakenteen yksinkertaisuuden johdosta. Tiedosto oli reikäkortteille perustetun tiedoston muistiin siirretty kuva. Tiedostossa olevia dataja oli mahdollisuus muuttaa vaikka reikäkortti kerrallaan, niin että esim. vain yhden muuttujan arvon muuttaminen vaati tiedoston päivitystä ainoastaan ko. tietueen osalta.

5.2. Simulointiajoista yleensä

Koska malliin sisältyy varsin runsaasti satunnaismuuttujia ja näistä monilla on vielä suuri hajonta, oli myös tuloksissa odotettavissa suurta hajontaa. Tietyn stabiilisuuden aikaan saamiseksi valittiin simuloitava ajanjakso siksi verraten pitkäksi, nimittäin 4 vuoden toimintaa vastaavaksi. Kaikki jäljempänä esitettävät tulokset koskevat näin tätä neljän vuoden pituista ajanjaksoa.

Satunnaislukugeneraattori FSATU on rakennettu niin, että sillä voidaan tuottaa eri kerroilla eri satunnaislukusarjoja. Näin esimerkiksi simulointi tiettyä kunnossapitopolitiikkaa vastavilla muuttujan arvoilla voidaan toistaa useaan eri kertaan ja

siten voidaan paitsi saada selville politiikan tuottamat keskimääräiset tulokset myös mitata tulokseen sisältyvän satunnaisvaihtelun voimakkuus. Toistamalla simulointi samoissa olosuhteissa riittävän moneen kertaan voidaan tulos esittää jopa muodossa: harjoitettaessa kunnossapitopolitiikkaa A ovat syntyvät kokonaiskustannukset 95 %:n varmuudella $K_0 \pm \Delta K$ mk, missä K_0 esittää keskimääräisiä odotettavissa olevia kustannuksia ja ΔK sitä määrää, jonka kustannukset enintään voivat (annetulla varmuudella) poiketa summasta K.

Tässä työssä ei ole kuitenkaan kaikissa kohdin voitu mennä näin pitkälle, sillä simulointikertojen määrä olisi noussut tällöin useihin satoihin. Esitetyt tulokset ovat edellä mainittuja keskimääräisiä arvoja, yhteen politiikkaan liittyvät arvot on saatu yleensä 3-5 simulointikerran perusteella. Joihinkin tärkeimpiin tuloksiin on lisäksi liitetty em. mitta tuloksen vaihtelumahdollisuuksista.

Kunnossapitokustannuksia laskettaessa on keskimääräiseksi normaalin aikana suoritettun miestyötunnin hinnaksi otettu 12 mk/h, ylitöinä suoritettuihin työtunteihin on laskettu ylityölisät. Päivävuorossa toimivan kunnossapitomiehistön koon muuttaminen yhdellä miehellä muuttaa näin nelivuotiskauden paikkakustannuksia 0.10 Mmk:lla (= 4 v x 52 vkk/v x 5 vuoroa/vkk x 8 h/vuoro x 12 mk/h = 0.10 Mmk). Muissa vuoroissa toimivien miehistöjen kohdalla vastaava muutos on 0.32 Mmk (= 4 v x 52 vkk/v x 16 vuoroa/vkk x 8 h/vuoro x 12 mk/h).

Häiriöiden aiheuttamia tuotantomenetyksiä seurataan niin, että selvitetään kunkin häiriön vaikutus lopputuotantoon: simuloinnin yhtenä tuloksena saadaan aika, muunnettuna normaalin tuotantovauhdin mukaiseksi täyστεhoiseksi ajaksi, jolta menetyksiä on aiheutunut. Tällaisen seisokkitunnin hinnaksi on otettu 2500 mk/h.

Yhden simulointikerran suorittaminen on vaatinut UNIVAC 1108 tietokoneen keskusyksikköaika noin 1 minuutin tai enemmän. Minuutin suuruusluokkaa ovat olleet ajot, joissa töitä ei ole kovin runsaasti joutunut jonoon odottamaan kunnossapitotyön alkua. Jonotamaan joutuvien töiden lukumäärän voimakkaasti kasvaessa myös simulointiaika pitenee, jopa useiden minuuttien pituiseksi.

Tulostuksesta huolehtivaa modulia WRTOU ei ole laadittu mitenkään "yleispäteväksi", vaan kussakin vaiheessa on tulostettu ainoastaan ne tiedot, jotka ovat siinä vaiheessa olennaisia. Tämän on tehnyt mahdolliseksi juuri joustava moduulirakenne, joka takaa ohjelmiston osien helpon muutettavuuden. Simuloinnin edetessä kerätyt tiedot ovat joka tapauksessa niin runsaat, että mahdollisuus jopa konepaikkakohtaisten häiriö-, kunnossapitotyö-, jonotus- ym. tietojen tulostukseen on olemassa. Asia on hoidettavissa muutamilla tulostuskäskyillä.

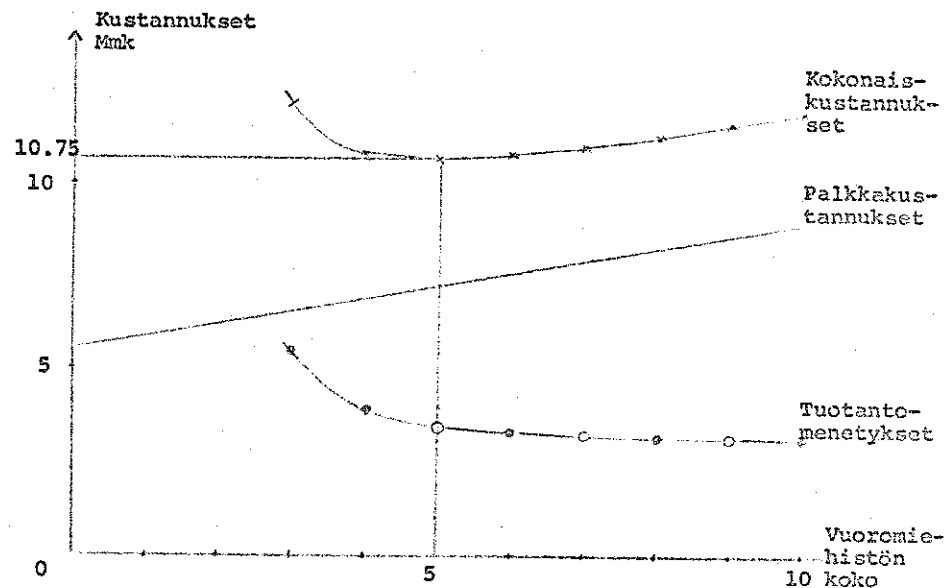
5.3. Kunnossapitomiehistön koko ja jakaantuminen eri vuorojen kesken

Ehkä tärkeimpänä kohteena päätettäessä harjoitettavasta kunnossapitopolitiikasta on kunnossapitomiehistön kokonaisvahvuus ja sen jakaantuminen eri työvuorojen kesken. Niinpä ensimmäisen vaiheen simulointiajojen tarkoituksena olikin optimaalisen miehistöratkaisun etsiminen. Simulointimenetelmän luonteen mukaisesti suoritettiin kokeita useilla eri miehistökokoonpanoilla; kulloinkin saadut tulokset osoittivat suunnan, johon oli edettävä uusia miehistövaihtoehtoja tutkimuksen kohteeksi asettaessa. Seuraavassa kuvataan lyhyesti menetelmät, joilla kunkin miehistöratkaisuun liittyvät kustannustiedot on saatu.

Vuoromiesten, siis ilta-, yö- ja viikonvaihteen vuoroissa työskentelevien kunnossapitomiesten lukumäärän vaikutusta kunnossapitokustannuksiin voitiin seurata, kun suoritettiin simulointeja vuoromiesten määrää vaihdellen ja päivävuorossa työskentelevän miehistön kokoa vakiona pitäen. Kuvassa 15 on esitetty päivävuorovahvuuteen 56 miestä liittyvät tulokset.

Kuviossa esitettyjen tulosten suhteen voidaan esittää seuraavat huomautukset:

1. Tuotantomienetyksiä kuvaavan käyrän pisteet ovat keskimääräisiä arvoja, yksityisillä simulointikerroilla tulokset vaihtelevat näiden molemmiin puolin. Palkkakustannuksia kuvaavaan käyrään ei luonnollisesti sisälly vaihtelumahdollisuutta, sen sijaan kahden edellä mainitun käyrän summakäyrä, kokonaiskustannukset, taas esittää keskimääräisiä arvoja.



Kuva 15. Vuoromiesthistön koon vaikutus kunnossapidon kokonaiskustannuksiin

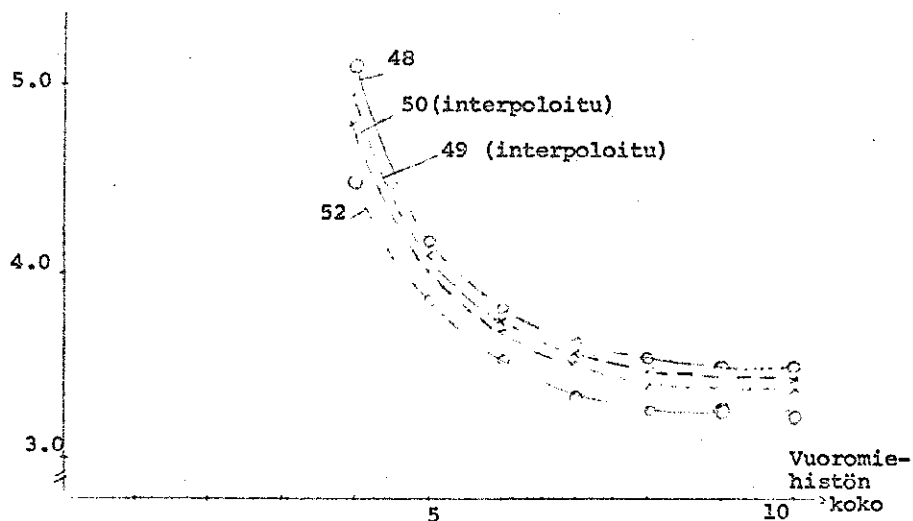
2. Tuotantomienetyksikäyrää etsittäessä simulointeja ei ole suoritettu kaikilla eri vuoromiesten lukumäärillä vaan pisteitä on etsitty niin paljon, että käyrän kulusta on saatu selvä kuva. Tummennetut ympyrät kuvassa 15 esittävät simuloimalla etsittyjä pisteitä, muut pisteet on saatu käyrän yleisen kulun määrittämisen jälkeen.
3. Kokonaiskustannuksista puuttuvat ainekustannukset. Ainekustannusten voidaan kuitenkin katsoa olevan miehistökoosta riippumattomat, joten niiden mukaan ottaminen ei muuttaisi kokonaiskustannuskäyrän muotoa, ainoastaan siirtäisi sitä ylöspäin. Näin ollen käyrän minimikohdan etsimisen kannalta voidaan yhtä hyvin tarkastella pelkästään palkkakustannusten ja tuotantomienetyksien ("puutekustannusten") summaa.

Kuvassa 15 esitetyn periaatteen mukaisesti etsittiin kustannuksia kuvaavat käyrät nyt eri päivävuoron miehistökoille. Jotta

simulointikertojen lukumäärä ei olisi paisunut kohtuuttoman suureksi, ei puutekustannuskäyrää etsitty jokaiselle miehistökoolle, vaan tätä vaihdettiin tietyin välein ja välillä olevat arvot saatiin interpoloimalla (vrt. kuva 16). Tulosten tarkkuuden kannalta tästä ei ole ollut haittaa, koska esitetyt arvot ovat keskimääräisiä arvoja ja yksityisiin arvoihin joka tapauksessa liittyy verraten suuri hajonta.

Taulukossa 1 on esitetty edellä kuvattujen periaatteiden mukaisesti etsityt eri miehistöratkaisuja vastaavat kustannustiedot: palkkakustannukset, tuotantomenetykset ja näiden summa. Taulukosta puuttuvat lähes kokonaan vuoromiehistön kokoa 3 vastaavat tiedot. Tämä johtuu siitä, että näihin arvoihin liittyvät simulointiajot olisivat muodostuneet varsin pitkiksi (3-5 min) runsaista jonotustilanteista johtuen. Mutta näiden tulosten puuttuminen ei aiheuta ongelmia, sillä jo miehistöratkaisun 56-3 tuloksesta huomataan, että kyseiset kokoonpanot eivät tule optimia etsittäessä kysymykseen niihin liittyvistä suurista tuotantomenetyksistä johtuen. Seuraavassa suoritetaan lähempi taulukon 1 tulosten tarkastelu ja kiinnitetään huomio joihinkin tärkeimpiin näkökohtiin.

Tuotantomenetykset (Mmk)



Kuva 16. Esimerkki tuotantomenetykskäyrien interpoloinnista

Päivävuo- ron suu- ruus ↓	Tuotantomenetykset/Palkkakustannukset/Kokonaiskust. (Mmk)							
	3	4	5	6	7	8	9	10
40		7.55 5.28 12.83	5.75 5.60 11.35	5.10 5.92 11.02	4.85 6.24 11.09	4.75 6.56 11.31	4.75 6.88 11.63	4.75 7.20 11.95
42		6.65 5.48 12.13	5.18 5.80 10.98	4.78 6.12 10.90	4.58 6.44 11.02	4.50 6.76 11.26	4.50 7.08 11.58	4.50 7.40 11.90
43		6.25 5.58 11.83	4.90 5.90 10.80	4.55 6.22 10.77	4.38 6.54 10.92	4.33 6.86 11.19	4.33 7.18 11.51	4.33 7.50 11.83
44		5.88 5.68 11.56	4.65 6.00 10.65	4.30 6.32 10.62	4.18 6.64 10.82	4.15 6.96 11.11	4.13 7.28 11.41	4.13 7.60 11.73
45		5.68 5.78 11.46	4.52 6.10 10.62	4.18 6.42 10.60	4.03 6.74 10.77	4.00 7.06 11.06	3.98 7.38 11.36	3.95 7.70 11.65
46		5.47 5.88 11.35	4.40 6.20 10.60	4.05 6.52 10.57	3.90 6.84 10.74	3.85 7.16 11.01	3.83 7.48 11.31	3.80 7.80 11.60
47		5.30 5.98 11.28	4.30 6.30 10.60	3.93 6.62 10.55	3.75 6.94 10.69	3.70 7.26 10.96	3.68 7.58 11.26	3.65 7.90 11.55
48		5.10 6.08 11.18	4.17 6.40 10.57	3.80 6.72 10.52	3.63 7.04 10.67	3.55 7.36 10.91	3.53 7.68 11.21	3.50 8.00 11.50
49		4.95 6.18 11.13	4.10 6.50 10.60	3.75 6.82 10.57	3.58 7.14 10.72	3.50 7.46 10.96	3.45 7.78 11.23	3.45 8.10 11.55
50		4.80 6.28 11.08	4.02 6.60 10.62	3.68 6.92 10.60	3.50 7.24 10.74	3.43 7.56 10.99	3.40 7.88 11.28	3.38 8.20 11.58
52		4.50 6.48 10.98	3.85 6.80 10.65	3.55 7.12 10.67	3.38 7.44 10.82	3.30 7.76 11.06	3.28 8.08 11.36	3.25 8.40 11.65
56	5.50 6.56 12.06	3.88 6.88 10.76	3.55 7.20 10.75	3.33 7.52 10.85	3.15 7.84 10.97	3.10 8.16 11.26	3.10 8.48 11.58	3.10 8.80 11.90
60	4.63 6.96 11.59	3.50 7.28 10.78	3.25 7.60 10.85	3.15 7.92 11.07	3.10 8.24 11.34	3.10 8.56 11.66	3.10 8.88 11.98	3.10 9.20 12.30

Taulukko 1. Kustannusten riippuvuus kunnossapitomiehistön rakerakenteesta

Kokonaiskustannusten minimi on saavutettu kunnossapitomiehistön kokoonpanolla 48-6. Tätä kokoonpanoa vastaavat kokonaiskustannukset ovat (4 v ajanjaksolta) 10.52 Mmk koostuen 6.72 Mmk:n palkkakustannuksista ja 3.80 Mmk:n puutekustannuksista. Nämä puutekustannukset vastaavat 1520 h:n (380 h/v) seisokkiaikaa, mikä puolestaan merkitsee n. 95.7 % luotettavuutta tehtaan toiminnalle. Kuvan saamiseksi yksityiseen tulokseen liittyvän satunnaisvaihtelun voimakkuudesta suoritettiin optimaalisella miehistökokoonpanolla 48-6 tämän jälkeen viisi simulointiajtoa, joiden tulokset olivat:

	Tuotantomenetykset (Mmk)	Kokonaiskustannukset (Mmk)
Keskiarvo	3.68	10.40
Variaatioväli	3.08-4.62	9.80-11.34
Keskihajonta	0.73	0.73
Keskiarvon hajonta	0.33	0.33

Taulukko 2. Miehistökokoonpanoon 48-6 liittyviä tuloksia

Tulosten hajonnan huomataan olevan verrattain voimakkaan, keskihajonta on n. 20 % keskiarvosta. Hyvä yhteensopivuus taulukon 1 tulosten kanssa on todettavissa, saatu keskiarvo ja taulukon 1 tulos ovat selvästi alle keskiarvon hajonnan päässä toisistaan.

Taulukon 1 tuloksia edelleen tarkasteltaessa voidaan todeta kokonaiskustannusten olevan verraten epäherkän miehistökoon vaihteluille. Niinpä esim. kustannuksiin, jotka ylittävät optimiarvon korkeintaan 1 %:lla (0.1 Mmk:lla), voidaan päästä hyvinkin monella eri miehistöratkaisulla. Kun nyt lisäksi otetaan huomioon tuloksiin sisältyvä satunnaisvaihtelu, onkin yhden yksittäisen optimiratkaisun sijasta ehkä oikeutetumpaa puhua "optimialueesta", ts. niiden ratkaisujen joukosta, jotka johtavat tällaiseen lähellä optimia olevaan tulokseen. Näistä kokonaiskustannusten kannalta tasavertaisista ratkaisuista lopullista optimia valittaessa voidaan tällöin vielä harkita, mille tekijöille asetetaan pääpaino; onko tarkoituksenmukaisinta selvittää mahdollisimman pienellä miehistöllä vai halutaanko nimenomaan vuoromiesten määrä mahdollisimman alhaiseksi vai valitaanko optimialueesta se ratkaisu, joka takaa mahdollisimman suuren luotettavuuden tms.

Saaduista tuloksista käy edelleen selville, että tuotantomenetykset laskevat aluksi varsin jyrkästi vuoromiehistön koon kasvassa, kunnes ne kuitenkin melko pian vakiintuvat tietylle tasolle. Tämän vakiintumisen huomataan tapahtuvan pienillä päivämiehistön kooilla lukumääristä 6-7 ja suurilla lukumääristä 4-5 alkaen. Sen jälkeen kun vuoromiehistö kasvaa vielä tästä, ei saavuteta enää mainittavaa laskua tuotantomenetyksissä, palkkakustannukset vain kasvavat. Suuret tuotantomenetykset vuoromiehistön koolla 3 puolestaan johtuvat siitä, että tällöin mm. kaikki yöllä ja viikonlopun aikana ilmenneet 4 miestä vaativat kunnossapitotyöt joutuvat välttämättä odottamaan seuraavaan arkiamuun.

5.4. Ylityöt

Kappaleessa 5.3. esitetyt tulokset oli saatu olosuhteissa, joissa ylityön mahdollisuutta ei oltu otettu huomioon. Nyt on kuitenkin odotettavissa, että ylityötä hyväksi käyttämällä miehistökokoa voidaan pienentää, sillä hetkellisestikin vallinneet poikkeuksellisen suuret kunnossapitoresurssien tarpeet ovat edellä olleet kasvattamassa miehistökokoa. Ylityöiden määrää ovat kuitenkin rajoittamassa toisaalta puhtaasti kannattavuusnäkökohdat, ovathan ylityöinä suoritettut tunnit tavallisia tunteja huomattavasti kalliimmat, toisaalta ylityöihin liittyvät säästösk-set ja sopimukset. Seuraavassa esitetään mallissa suoritettut ylityöihin liittyvät tarkastelut.

Edellisessä kappaleessa saatiin optimaaliseksi miehistörakenteeksi ilman ylityötä toimittaessa ratkaisu 48-6. Tällä kokoonpanolla keskimääräiset tuotantomenetykset olivat (vrt. taulukko 1) 3.80 Mmk, josta 0.70 Mmk on luettavissa jonotustilanteiden aiheuttamaksi (tuotantomenetykset 3.10 Mmk, kun jonotustilanteita ei esiinny). Ensimmäiset tarkastelut suoritettiin nyt kokoonpanolla 48-6 sallittua ylityöastetta vaihdellen. Tulokset on esitetty taulukossa 3.

Niinkuin oli odotettavissa, vähäisenkin ylityömahdollisuuden mukaan ottaminen pystyi olennaisesti poistamaan odotustilanteita. Tämän seurauksena tuotantomenetykset laskivat huomattavasti

Ylitöiden sallittu osuus kokonaistyöajasta (%)	Tuotantomenetykset (Mmk)	Palkat (Mmk)	Ylityöpal- kat (Mmk)	Yhteensä (Mmk)
0	3.80	6.72	0.00	10.52
1	3.47	6.72	0.02	10.21
2	3.31	6.72	0.03	10.06
4	3.24	6.72	0.04	10.00
5	3.10	6.72	0.04	9.86

Taulukko 3. Kustannusten riippuvuus ylityöasteesta (miehistökoonpano 48-6)

nopeammin kuin mitä ylitöiden aiheuttamat palkkakustannukset nousivat. Jo 5 %:n ylityöasteella kaikki jonotustilanteet olivat jääneet pois ja kokonaiskustannukset laskeneet 9.86 Mmk:aan. Miehistökoonpanoa 48-6 on pidettävä melko suurena; tästä antaa viitteitä mm. edellisen tarkastelun tulos, jonka mukaan jonotustilanteet ovat vältettävissä verraten alhaisella 5 %:n ylityöasteella. Seuraavaksi suoritetuissa simuloinneissa todettiinkin, että päivävuorovahvuudella 48 ja vähennetyllä vuoromiehistön lukumäärällä voitiin päästä vastaavaan tilanteeseen, nyt vain alemmin palkkakustannuksin:

Vuoromiesten lukumäärä	Jonotustilanteiden välttämiseksi tarvittava ylityöaste (%)	Tuotantomenetykset (Mmk)	Palkat (yli-työt ml. Mmk)	Yhteensä (Mmk)
6	5	3.10	6.76	9.86
4	6	3.10	6.17	9.27
2	10	3.10	5.84	8.94
1	13	3.10	5.66	8.76

Taulukko 4. Jonotustilanteet estävä ylityöaste eri vuoromiehistökoilla (päivävahvuus 48).

Taulukossa 4 ilmoitetut ylityöasteet osoittautuivat samalla optimaalisiksi ko. miehistökoonpanoilla. Niissä tapauksissa, joissa ylityöaste muodostui verraten korkeaksi (vuoromiesten lukumäärä 1 tai 2) tulos osoittautui varsin herkäksi tämän ratkaisun suhteen: vähäinenkin ylitöiden rajoittaminen taulukossa esitetyistä arvoista aikaansai tuotantomenetysten huomattavan nousun.

Optimaalinen ylityöpolitiikka, siis pienimmät kokonaiskustannukset takaava miehistökoonpano siihen liittyvine ylityöasteineen, olisi nyt periaatteessa seivitettävissä jatkamalla simulointeja yllä kuvattuun tapaan myös eri päivämiehistökoilla. Suoritettujen yksittäistarkastelujen perusteella (vrt. taulukko 5) voidaan nyt todeta, että miehistökoonpanoa pienentämällä ja ylityöastetta nostamalla kokonaiskustannuksia tosin voidaan huomattavastikin pienentää, mutta että optimaalinen ylityöaste kohoaa tällöin niin korkeaksi, että sitä ei voida enää pitää tarkoituksenmukaisena. Jatkuva varsin korkealla ylityöasteella toimiminen rajoittaa toimintavapautta mm. vaikeuttamalla töiden suunnittelua ja järjestelyä lomakuukausina, saattaapa se sisältää suuria riskitekijöitäkin; mm. poikkeuksellisen suuren kone-rikon sattuesssa ja ylityökiintiön ollessa lähes täynnä voidaan joutua vaikeasti ratkaistaviin tilanteisiin. Ylitöitä koskevien säästösten puitteisiin kaikki edellä esitetyt vaihtoehdot tosin sopivat (yksityisen työntekijän ylitöiden osuus hänen kokonaistyöajastaan vuoden aikana voi olla n. 15 %, anomuksesta lähes 20 %), mutta on otettava huomioon, että edellä ylityöaste merkitsi ylitöiden osuutta koko kunnossapitomiehistön osalta laskettuna.

Kp-miehistön kokoonpano	Optimaalinen ylityöaste (%)	Tuotantomenetykset (Mmk)	Palkat (yli-työt ml., Mmk)	Yhteensä (Mmk)
40-4	8	3.25	5.39	8.64
40-2	12	3.46	4.83	8.29
32-4	13	3.32	4.74	8.06

Taulukko 5. Optimaalinen ylityöaste eräillä miehistökoonpanoilla

Joka tapauksessa edellä on käynyt selvästi ilmi ylitöiden ratkaiseva merkitys kustannusten pienentäjänä. Ylitöillä voidaan vaikuttaa niin palkkakustannuksiin kuin tuotantomenetysiksiinkin. Optimaalisen ylityöpolitiikan määrittämisen yhteydessä sensijaan on pelkkien kustannustekijöiden lisäksi ilmeisesti syytä ottaa huomioon myös ei-mitattavissa olevia harkinnanvaraisia tekijöitä.

5.5. Ennakkohuolto

Kunnossapidon toimikentässä on jo varhain todettu systemaattisen ennakkohuollon merkitys tuotantotoiminnan varmistajana ja kunnossapitokustannusten alentajana. Säännölliset voitelu-, öljynvaihtoym. huoltotoimenpiteet ovat luonnollisesti välttämättömiä toiminnan jatkumisen kannalta, mutta lisäksi täsmällisesti ennakkoon määriteltujen tarkastustoimenpiteitten avulla on mahdollisuus ajoissa todeta laitteisiin syntyneet viat ja ajoittaa kunnossapitotyö siten tuotantolaitoksen yleisen toiminnan kannalta seuraavaan sopivaan ajankohtaan. Näin pystytään välttämään yllättäviä seisokkeja ja viat saadaan eliminoidua ennenkuin ne ehtivät aiheuttaa lisävaurioita.

Kaikki edellä mainittu saavutetaan luonnollisesti ennakkohuolto-ohjelman vaatimien kustannusten hinnalla. Ohjelman toteuttaminen vaatii ainakin työvoimaresursseja, mahdollisesti myös ainekustannuksia (laakerin tms. vaihto määrärajoin). Tietyn ennakkohuolto-ohjelman toteuttamista harkittaessa onkin asetettava vastakkain ohjelman aiheuttamat kustannukset ja sen muualla aikaansaamat säästöt. Ohjelman toteuttamiskustannukset ovat yleensä verraten helposti arvioitavissa, sen sijaan syntyneiden säästöjen, varsinkin luotettavuuden paranemisesta aiheutuneiden, kohdalla tilanne on huomattavasti vaikeampi.

Malli voi tässä kohdin tarjota apuaan tietyllä tasolla. Jonkin ennakkohuolto-ohjelman vaikutuksista se ei sinänsä pysty kertomaan mitään, mutta mikäli tiedetään ohjelman aikaansaamat parannukset yksityisen laitteen toiminnassa, niin malli antaa kvantitatiivisen mitan sille, mikä vaikutus tällä on kokonaisuuden kannalta.

Esimerkkinä mallin käyttömahdollisuuksista tässä yhteydessä suoritettiin eräitä tarkasteluja Jordan-myllyillä. Jordan-myllyjen asema tuotantoprosessissa on varsin keskeinen (vrt. konepaikka-kaavio liitteessä 1). Myllyjä on kussakin paperikonehaarassa sekä esijauhatuksessa että jauhatuksessa, paikoin useitakin peräkkäin. Näin oli odotettavissa, että muutokset näiden laitteiden

toiminnassa heijastuisivat varsin nopeasti koko prosessin toimintaan.

Ensimmäisessä vaiheessa oletettiin, että oli mahdollista toteuttaa ennakkohuolto-ohjelma, jolla Jordan-myllyjen häiriötiheys saataisiin pienenemään keskimäärin 10 %:lla. Simulointiajoja suoritettiin kaikkiaan 5 kappaletta miehistökokoonpanon ollessa kohdan 5.3. mukaisesti 48-6. Tulokset on esitetty taulukossa 6.

	Tuotantomennytykset (Mmk)	Kokonaiskustannukset (Mmk)
Keskiarvo	3.48	10.20
Variaatioväli	2.77-4.05	9.50-10.77
Keskiahajonta	0.53	0.53
Keskiarvon hajonta	0.24	0.24

Taulukko 6. Kustannukset ennakkohuolto-ohjelman I toteuttamisen jälkeen.

Taulukoiden 2 ja 6 tuloksia verrattaessa huomataan tarkasteluajanjakson kustannusten laskeneen 0.20 Mmk. Kokonaiskustannuksissa ei ole mukana kuvitellun ennakkohuolto-ohjelman kustannuksia, joten mainittu 0.20 Mmk on juuri se hinta, joka tällaisesta ohjelmasta kannattaa maksaa. Lisäksi näyttää tulosten hajonta jonkin verran vähentyneen, joten Jordan-myllyjen parantunut käyntivarmuus on vakiinnuttanut koko prosessin toimintaa, mikä osaltaan merkitsee parempaa prosessin hallittavuutta kunnossapidon kannalta. Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin ohjelmaa, joka aikaansaisi Jordan-myllyjen kohdalla sekä häiriötiheyden että korjausaikojen laskun keskimäärin 10 %:lla. Tulokset on esitetty taulukossa 7.

Edelliseen tilanteeseen lisäyksenä tullut korjausaikojen keskimääräinen lyheneminen on edelleen alentanut myös tuotantomennyksiä, joskaan ei kovin voimakkaasti. Tarkastelun kohteena olevan ennakkohuolto-ohjelman kannattavuutta harkittaessa on sen tuottamina tuloksina otettava huomioon paitsi tämä puutekustannusten lasku myös 10 %:lla vähentyneiden korjaustöiden

	Tuotantomenetykset (Mmk)	Kokonaiskustannukset (Mmk)
Keskiarvo	3.42	10.14
Variaatioväli	2.83-3.92	9.55-10.64
Keskihajonta	0.48	0.48
Keskiarvon hajonta	0.22	0.22

Taulukko 7. Kustannukset ennakkohuolto-ohjelman II toteuttamisen jälkeen

mahdollisesti mukanaan tuoma ainekustannusten lasku (tämähän ei käy selville mallin tuloksista), kustannusten puolelle on taas asetettava ohjelman toteuttamiskustannukset.

Edellä tarkastellut tapaukset olivat puhtaasti esimerkin luonteisia, samantapaisia tarkasteluja voidaan suorittaa mille laitteelle tai laiteryhmälle tahansa. Mallin tarvitsemat tiedot tietyn huolto-ohjelman vaikutuksesta yksityisen laitteen toimintaan voitaneen käytännössä saada kokemukseen perustuvalla arvioinnilla tai, mikäli samaa laitetta on useampia, toteuttamalla ohjelma ensin yhden laitteen kohdalla ja seuraamalla tästä saatavia tuloksia. Nämä tulokset voivat sitten olla mallin input-tietona.

5.6. Parantava kunnossapito

Parantavalla kunnossapidolla eli muutostöillä tarkoitetaan tässä kunnossapitotöitä, jotka aikaansaavat kunnossapitokohteessa joko toiminnallisen tai pelkästään kunnossapidon kannalta oleellisen muutoksen. Edellisestä voidaan mainita esimerkkinä hakkeen kuljetuksessa käytetyn hihnakuljettimen korvaaminen puhaltimella varustetulla hakeputkella ja jälkimmäisestä syövyttävien aineiden johtamiseen käytetyn rautaputken korvaaminen ruostumattomasta teräksestä valmistetulla putkella.

Harkittaessa tietyn parantavan kunnossapidon piiriin kuuluvan toimenpiteen kannattavuutta voidaan mallia käyttää apuna edellisessä kappaleessa esitettyjen periaatteiden mukaisesti. On vain

ensin selvitettävä toimenpiteen kustannukset ja sen vaikutukset kohteen toimintaan. Malli antaa tämän jälkeen vastauksen siihen, mikä merkitys suunnitellulla toimenpiteellä on koko prosessin toiminnan kannalta. Esimerkkiä ei ole tähän yhteyteen liitetty, käsittelytapa olisi edellisessä kappaleessa esitetyn kaltainen.

Tarkastelemalla näin erilaisia ennakkohuollon ja parantavan kunnossapidon ohjelmia voidaan mallia siis käyttää myös yksityisten laitteiden kunnossapitostrategioiden optimointiin. Optimoinnissa on tällöin otettu huomioon paitsi laite sinänsä myös koko se ympäristö, johon laitteen toiminta ulottaa vaikutuksensa.

6. OPTIMINJÄLKEINEN TARKASTELU

6.1. Yleistä herkkyysoanalyysistä

Kun malli on laadittu ja sen muuttujille löydetty optimiratkaisun mukaiset arvot, nousee esiin kysymys tämän optimin yksityiskohdaisemmasta analysoinnista. Nämä tarkastelut kuuluvat ns. optiminjälkeisen herkkyysoanalyysin piiriin. Herkkyysoanalyysin yleinen kysymyksenasettelu voidaan yleisesti esittää mm. seuraavissa muodoissa.

- (a) Mikä vaikutus optimiratkaisuun ja -tulokseen on sillä, että mallin vakioita ja parametreja ei tunneta tarkasti, vaan niihin sisältyy tietty epätarkkuus? Arvokasta lisäinformaatiota tuloksesta luonnollisesti antaa, jos tämä epätarkkuuden määrä pystytään selvittämään ja saadaan sen mukaiset todellisen tuloksen vaihtelurajat.
- (b) Mikä on optimituloksen herkkyysoanalyysin suhteen, ts. miten paljon tietyn suuruinen poikkeaminen optimiratkaisusta huonontaisi tulosta optimitulokseen verrattuna? Tällainen kysymys tulee ajankohtaiseksi esim. silloin, kun optimin antava ratkaisu on hankalasti toteutettavissa, se vaatisi perusteellisia muutoksia vallitseviin olosuhteisiin, aiheuttaisi vaikeita henkilöratkaisuja tms. Tällaisessa tilanteessa voitaisiin toteuttaa optimista poikkeava ratkaisu, mikäli tulos ei tämän johdosta sanottavasti huonontuisi.
- (c) Edelliseen kohtaan liittyy läheisesti kysymys optimin läheisyysalueesta, ts. mitkä ovat ne ratkaisut, jotka johtavat korkeintaan annetun poikkeaman päähän optimituloksesta? Kartoitetaan siis kaikki riittävän hyvät ratkaisut, jolloin "todellista" optimia valittaessa voidaan vielä ottaa (b)-kohdan tapaiset tai muut ei-mitattavissa olevat tarkoituksenmukaisuustekijät huomioon.

- (d) Mallin optimiratkaisu ja -tulos ovat saavutetut tietyillä vakioiden ja parametrien arvoilla. Näiden jostakin syystä muuttuessa optimikin yleensä muuttuu. Yleensä ainakin osa vakioista ja parametreista on sellaisia, että niiden arvot ovat muutettavissa, muutos vain maksaa tietyn hinnan. Kysymyksenä on nyt, kannattaako tällaisiin muutoksiin ryhtyä, kun toisaalta on otettava huomioon muutosten synnyttämät lisäkustannukset, mutta toisaalta muutokset voivat saada aikaan uuden, entistä olennaisesti paremman optimiratkaisun löytymisen.

Tulosten luotettavuudesta on mielekästä alkaa puhua vasta, kun mallin validisuus- 1. pätevyyskysymys on ratkaistu. Validisuuden selvittäminen on kuitenkin nähtävä ongelmana, jota ei voida ratkaista mallin itsensä tai sen tuottamien tulosten avulla, vaan validisuus- ja kysymykseen liittyy koko se prosessi, jolla malli on syntynyt. Validisuus on näin mallin oikeassa muodostamis- vassa, miten hyvin vastaavuudet mallin ja sen kuvaaman reaali- maailman välillä pystytään säilyttämään.

Nyt esillä olevan mallin validisuuden ja tulosten luotettavuuden suhteen on löydettävissä huomauttamista. Päätösiltään nämä juontavat alkunsa tehdyistä yksinkertaisuudesta ja olettamuksiin turvautumisista, joihin johtaneet syyt on selvitetty kappaleessa 4.2. Vaikka yksityisiin numeroarvoihin ei näin voidakaan kovin tiukasti takertua, on tuloksissa kuitenkin nähtävissä niiden periaatteellinen merkitys.

Kohtien (b) ja (c) mukaista herkkyysoanalyysitarkastelua suoritettiin jo kappaleessa 5.3. Tuloksen huomattiin verraten vähän vaihtelevan optimiratkaisun läheisyydessä liikuttaessa. Juuri tällaisessa tapauksessa optimin läheisyysalueen kartoittamisella on merkitystä; pienenkin poikkeaman salliminen optimitulokseen verrattuna laajentaa heti kysymykseen tulevien ratkaisujen joukkoa.

Kunnossapitomallin kyseessä ollessa liittyvät kohdan (d) mukaiset tarkastelut lähinnä investointien suunnitteluun, erityisesti kunnossapidollisten näkökohtien huomioimiseen tässä yhteydessä. Seuraavassa kappaleessa tarkastellaan lähemmin näitä kysymyksiä esimerkkien valossa.

6.2. Kunnossapitönäkökohtien huomioon ottaminen investointien suunnittelussa

Kunnossapidon toiminnan tehostamista rajoittavat usein tuotantolaitoksen rakenteesta johtuvat tekijät. Aikoinaan tehdyt laiteratkaisut ovat esim. synnyttäneet toiminnallisia pullonkauloja tai muutoin häiriöille herkkiä alueita. Mikä merkitys tällaisten esteiden eliminoinnilla on kunnossapitokustannusten kannalta, tähän voidaan etsiä vastaus mallin avulla. Syynä siihen, että tarkastelut suoritetaan tässä yhteydessä ja että tutkittavia tekijöitä ei asetettu mallin muuttujiksi on, että näistä tekijöistä päättäminen yleensä kuuluu yrityksen yleisjohton toimialaan. Näin kunnossapidosta vastuussa olevat eivät ainakaan yksinään voi ratkaista näitä kysymyksiä.

Simulointimallilla suoritettavat tarkastelut tapahtuvat saman periaatteen mukaisesti kuin varsinaiset kunnossapitostrategioihin liittyvät simuloinnit; malliin sijoitetaan eri vaihtoehtoja, joiden hyvyttä malli mittaa. Mainittakoon tässä yhteydessä, että kaikki jäljempänä esitetyt tulokset on saatu kohdan 5.3 mukaisen optimipolitiikan vallitessa: miehistöratkaisu 48-6, ei ylitöitä, laitteiden häiriötiheyden ja korjausajan jakautumat alkuperäiset.

6.2.1. Pullonkaulat ja varalaitteet

Prosessityyppisessä teollisuuslaitoksessa on aina kohtia, joiden vaurioituminen välttämättä merkitsee koko prosessin tuotantokyvyn laskua. Eräs mahdollisuus tällaisten pullonkaulakohtien eliminomiseksi on varustaa häiriöille alttiit prosessin osat kiinteillä varalaitteilla, jotka häiriön sattuessa voidaan nopeasti kytkeä käyttöön. Varalaitteen kannattavuutta harkittaessa on tällöin asetettava vastakkain toisaalta laitteen hankinnasta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvat kustannukset ja toisaalta vähentyneet tuotantomenetykset.

Tuotantomenetysten laskun suuruuden arviointiin voidaan jälleen käyttää mallia. Varmistuksen käyttöönotto ilmenee mallissa

varmistettavan kohteen häiriöaikojen pois jäämisestä tai ainakin rajoittumisesta siihen aikaan, joka kuluu prosessin ohjaamiseksi varalaitteiston kautta. Uusilla häiriötiheyden arvoilla suoritettavat simuloinnit antavat käsityksen ajatellun varmistuksen vaikutuksista.

Esimerkkitapauksena tarkasteltiin kunkin paperikonehaaran "jauhatus"-osaston varmistamista, siis kussakin haarassa yhden konelinjan varustamista varalaitteilla. Jauhatusesta huolehtivien konelinjojen laitekoostumuksesta johtuen varmistus on pääasiallisesti hoidettavissa tietyllä määrällä varalla olevia Jordan-myllyjä. Tulokset simulointiajoista, joissa em. varmistukset ovat mukana, on esitetty taulukossa 8.

	Tuotantomenetykset (Mmk)	Kokonaiskustannukset (Mmk)
Keskiarvo	3.25	9.97
Variaatioväli	2.54-4.47	9.26-11.19
Keskihajonta	0.43	0.43
Keskiarvon hajonta	0.19	0.19

Taulukko 8. Kustannukset "jauhatus"-osastojen varmistuksen jälkeen.

Taulukoiden 2 ja 8 tuloksissa havaittava ero, tuotantomenetysten ja samalla kunnossapidon kokonaiskustannusten 0.43 Mmk:n suuruinen lasku on nyt varmistuksen järjestämisestä johtuvaa. Mikäli ko. varmistukset pystytään toteuttamaan tätä summaa alhaisemilla kustannuksilla, on toimenpidettä pidettävä koko toiminnan kannalta katsottuna kannattavana. Tämän ohella on otettava huomioon, että toiminnassa on odotettavissa luotettavuuden paraneminen (95.7 % - 96.3 %) ja satunnaisvaihtelun väheneminen (keskihajonta pienentynyt 0.73 Mmk:sta 0.43 Mmk:aan).

6.2.2. Laittevertailut

Uutta laitetta tuotantolaitokseen harkittaessa on ensisijaisena valintaperusteena luonnollisesti oltava, että hankittava laite

täyttää niin asetetut tekniset ja tuotannolliset vaatimukset kuin viralliset määräyksetkin. Mikäli vaatimukset täyttäviä laitteita on kuitenkin useampia, joudutaan näiden kesken edullisuusvertailuihin. Koska kunnossapitokustannukset muodostavat laitteen osalle lankeavista kustannuksista yleensä varsin huomattavan osan, on vertailuja tehtäessä yhtenä tekijänä oltava laitteen kunnossapidolliset ominaisuudet.

Laitteen vastaisuudessa synnyttämät kunnossapitokustannukset sekä palkkojen että materiaalin kulutuksen osalta saadaan osittain laitteen rakenne- ja huoltoselostuksista, osittain on turvaututtava arviointiin yllättävien, välttämättä kuitenkin ilmenevien ylimääräisten kunnossapitotarpeiden osalta. Täydellisen kuvan saamiseksi tältä osin on vielä otettava huomioon kunnossapidon puutekustannukset, käyttökeskeytysten aiheuttamat tuotantomenetykset. Näiden arviointiin voidaan käyttää laadittua kunnossapitomallia. Edellytyksenä on, että kunkin vertailtavan laitteen toiminnasta on kuva mallille sopivassa muodossa, siis että häiriötiheyden ja korjausaikojen jakautumat tunnetaan.

Kohdassa 5.5. suoritettuja simulointeja voidaan käyttää esimerkkinä myös tässä yhteydessä. Vertailtavana voidaan ajatella olleen kolmen eri tyyppisiä massan jauhatukseen soveltuvia laitteita:

Tyyppi A: alkuperäinen Jordan-mylly

Tyyppi B: laitetyyppi, johon liittyvät taulukon 6 tulokset (vähäisempi häiriöalttius kuin Jordan-myllyllä).

Tyyppi C: laitetyyppi, johon liittyvät taulukon 7 tulokset (vähäisempi häiriöalttius ja lyhyemmät korjausajat kuin Jordan-myllyllä).

Tyyppien B ja C luotettavampi toiminta johtaisi siis 0.20 tai 0.26 Mmk:n suuruiseen puutekustannusten laskuun tarkasteluajanjaksoa kohti laskettuna. Tällainen puutekustannusten lasku on valintatilanteen yhteydessä luonnollisesti luettava näiden luotettavampien, mutta hankinta- ja muilta kustannuksiltaan todennäköisesti kalliimpien laitteiden hyväksi.

6.2.3. Välisäiliöiden mitoitus

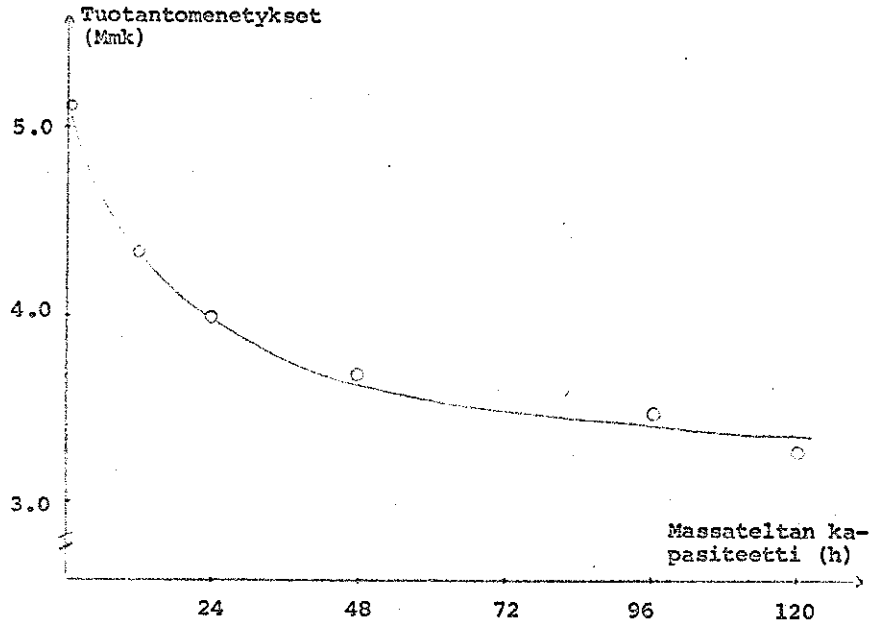
Esimerkkiyrityksen kaltaisissa prosessituotantolaitoksissa prosessin keskelle sijoitettujen välisäiliöiden tehtävä on nähtävä kaksijakoisena. Säiliöiden tuotantoteknisenä tehtävänä on toiminta prosessissa kulkevan materiaalin laaduntasaajana, esim. kemikaalien sekoitusaltaana, massan kosteuspitoisuuden tasaajana jne. Tästä erillisenä tehtävänä on toiminta puskurivarastona, häiriöiden tasaajana. Säiliön puskuriominaisuutta onkin kunnossapidon piirissä käytetty aina tehokkaasti hyödyksi toimintaa suunniteltaessa ja järjestettäessä.

Säiliön käyttöön puskurina liittyy nyt läheisesti kysymys säiliön mitoituksesta. Liian pienen säiliön kyky toimia häiriön tasaajana on puutteellinen, suuret säiliöt taas tulevat hankintaym. kustannuksiltaan kalliiksi. Edullisimman säiliökoon löytämiseksi olisi siis tunnettava niin säiliön hankintaan ja käyttöön liittyvien kustannusten kuin tuotantomenetysten riippuvuus säiliökoosta.

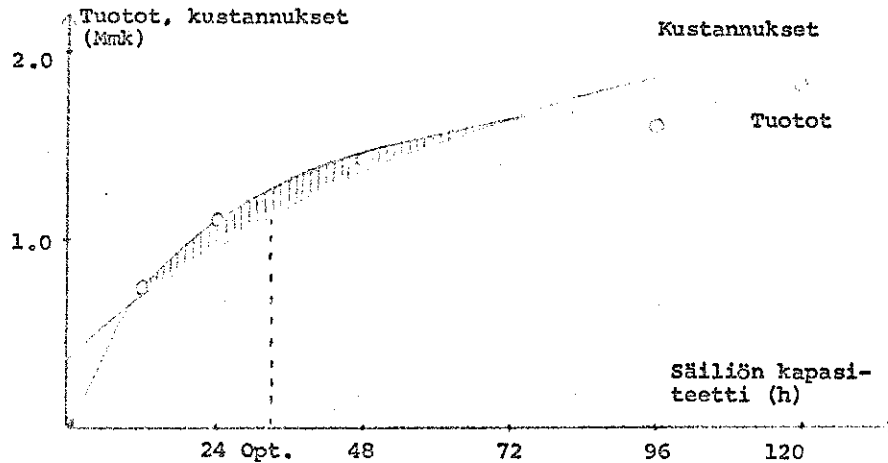
Tarkasteltavan kunnossapitomallin rakenteen ja toimintoperiaatteiden selostuksen yhteydessä kävi selvästi ilmi säiliöiden keskeinen asema myös mallissa. Näin ollen mallia on voitu käyttää myös säiliökokojen vaikutuksen tutkimiseen. Esimerkin omaisesti esitellään seuraavassa eräitä suoritettuja tarkasteluja.

Sulfaatti- ja paperitehtaan välissä sijaitseva massatelta on luonteeltaan puhtaasti puskurivarasto. Sen kapasiteetti aiemmissa tarkasteluissa on ollut 48 h:n suuruisen. Suoritetuissa simuloinneissa kapasiteettia vaihdeltiin rajoissa 0 - 120 h ja saatiin kuvan 17 mukaiset keskimääräiset tulokset.

Säiliökoon kasvaessa syntyvä tuotantomenetyksen lasku on nyt katsottava säiliön tuotoksi. Tämän tuoton riippuvuus säiliökoosta on esitetty kuvassa 18.



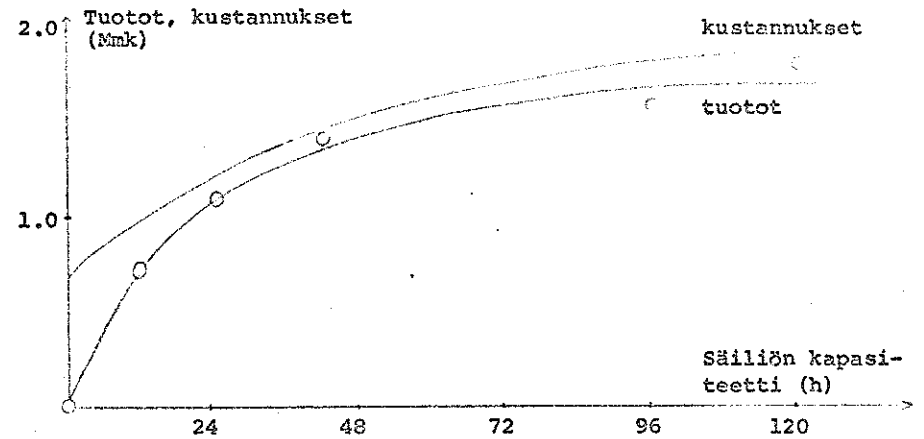
Kuva 17. Tuotantomienetysten riippuvuus massan välivaraston suuruudesta



Kuva 18. Optimaalisen säiliökoon määrittäminen kustannus- ja tuottofunktioiden avulla

Säiliön optimikoko voidaan nyt määrätä, mikäli säiliön kustannusfunktio tunnetaan. Kustannusfunktion on sisällettävä kaikki säiliön hankinnasta, käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvat kustannukset tarkasteltavaa aikaväliä kohti laskettuna. Kuvaan 18 on piirretty myös tällaisen kustannusfunktion kuvaaja. Korostettakoon, että esitetty funktio on täysin hypoteettinen, kulultaan se lienee kuitenkin säiliön kustannusfunktiolle tyyppillinen.¹⁾

Optimaalinen säiliökoko on nyt se, jolla tuottojen ja kustannusten ero on mahdollisimman suuri. Kuvassa 18 esitetyn kustannusfunktion tapauksessa optimaalinen säiliökoko vastaisi n. 33 h:n täyttö ja tyhjenemisaikaa. Tapauksessa, jossa kustannusfunktio puolestaan kulkisi kaikkialla tuottofunktion yläpuolella (vrt. kuva 19), olisi vakavasti harkittava säiliön rakentamista yleensä (mikäli kyseessä on säiliö, joka tuotantoprosessin kannalta ei ole välttämätön).



Kuva 19. Säiliön kustannukset ovat sen tuottoja suuremmat kaikilla säiliökoilla.

1) Vrt. esim. Golemanov, s. 12

Toisena tarkastelukohteena olivat prosessin loppupuolella sijaitsevat massakyydit. Simulointiajojen lukumäärän kurissa pitämiseksi ei tässä vaiheessa enää pyritty tuottofunktion koko kulun selvittämiseen, rajoitettiin muutamaan yksittäistarkasteluun.

Mallin alkuperäisissä datoissa jauhatusosastoja edeltävien massakyyppien kapasiteetit olivat verraten pienet, 1-1.5 h (vrt. liite 2). Nyt suoritettiin simulointeja, joissa nämä kapasiteetit olivat kaksinkertaiset. Toimenpiteen vaikutus tuotantomerenetyksiin ei ollut kovin suuri, keskimääräinen tuotantomerenetyksen lasku oli 0.015 Mmk. Säiliökoon suurentaminen näiden neljän säiliön osalta olisi tämän tuloksen mukaan tuskin kannattavaa.

Pelkästään rakenteellisista ja toiminnallisista seikoista johtuen mallissa oletettiin jauhatusosastojen ja paperikoneiden väliin sijoitetuksi massakyydit. Todellisen tilanteen vääristymiseltä välttyttiin sillä, että näiden kyyppien kapasiteetit asetettiin olemattomiksi, niillä ei siis ollut merkitystä toiminnan kannalta. Nyt tarjoutui kuitenkin mahdollisuus tutkia kuinka kävisi, jos ao. kohdissa todella olisi massakyyppöjä. Simulointiajot suoritettiin 1 h:n säiliökapasiteeteilla näiltä osin. Tuotantomerenetyksissä havaittu keskimääräinen lasku oli varsin pieni, vain n. 0.006 Mmk. Tämänkokoisten säiliöiden aiheuttamat kustannukset olisivat ilmeisesti huomattavasti suuremmat, joten perusteita tällaisten uusien säiliöiden rakentamiselle ei näiden tulosten valossa ole (mikäli tarkastellut säiliöt olisivat tuotantoprosessin kannalta edes mielekkäitäkään).

Välisäiliöiden mitoitusongelma ei todellisuudessa ole niin yksinkertainen kuin edellä on saattanut vaikuttaa. Kysymys kytkeytyy niin läheisesti tuotanto-ohjelmiin ja tuotannon ohjausstrategiaan¹⁾, että kunnossapidon tarpeita silmällä pitävän

1) Välisäiliöiden mitoituksesta ja siihen liittyvistä kysymyksistä kts. esim. Golemanov

mallin ei ole mahdollista eikä tarpeellistakaan ottaa kaikkia näihin liittyviä kysymyksiä huomioon. Viitteitä suuruusluokasta ja välisäiliön kannattavuudesta (kannattamattomuudesta) yleensä, kuten uusien välisäiliöiden tapauksessa edellä, voidaan tällaisellakin, alkuaan aivan toisia tarkoituksia varten laaditulla mallilla saada arvokkaita viitteitä.

7. LOPUKSI

Lähtökohtana edellä kuvatun mallin laadintaan ryhdyttäessä oli pyrkimys mahdollisimman suureen realistisuuteen tarkasteltavan tuotantolaitoksen osalta, kuitenkin niin, että mihinkään suurempiin järjestelyihin yrityksessä sovellettavien perustietojen hankinta-, keruu- tai käsittelymenetelmien suhteen ei ryhdytä. Tämä on pakottanut esitetyn kaltaisten rajausten ja yksinkertaistavien olettamuksien tekoon, mikä puolestaan on aiheuttanut sen, että tulokaet parhaimmillaankin voivat olla vain suuntaa antavia, yksityisten numeroarvojen tarkkuuteen asti ne tuskin yltyvät.

Tässä yhteydessä onkin kiinnitettävä huomiota myös muihin, varsinaisen työn suorituksen yhteydessä saavutettuihin tuloksiin. Työn kuluessa on saatu kartoitetuksi simulointimenetelmän soveltuvuus laajan, paljon vaikuttavia tekijöitä, vieläpä stokastisia sellaisia, sisältävän probleeman käsittelyyn. Edelleen on selvitetty mallin asettamat vaatimukset kuvaamalleen reaalisysteemille, erityisesti siitä saatavissa olevan tietoaaineiston määrälle ja laadulle.

Diskreetin, tapahtumia synnyttävän ja niiden käsittelyn myötä etenevän simulointimallin voidaan katsoa varsin hyvin soveltuvan tällaiseen yhteyteen. Yleisenä edellytyksenä mallin tehokkaalle käytölle on kuitenkin riittävän kapasiteetin omaavan ja riittävästi käytettävissä olevan tietokonelaitteiston olemassaolo. Simulointimenetelmän kokeilevasta luonteesta johtuen yksityisiä simulointeja tarvitaan paljon ja niiden vaatima kokonaiskoneaika muodostuu näin melkoisen huomattavaksi. Mikäli nyt kapasiteettia on kuitenkin esim. yöaikaan vapaana, jäävät ajojen kustannukset kohtuullisiksi. Ohjelmat on helppo muuttaa myös sellaisiksi, että yhdessä ajossa on mahdollista suorittaa useita simulointikertoja, tutkittavat politiikkavaihtoehdot vain ilmoitetaan ennakoita.

Sen sijaan luotettavien tulosten aikaansaamiseksi asetettavat vaatimukset perustietoainekselle ovat ilman erityistoimenpiteitä tuskin missään toteutuneet. Suurimmat puutteet ovat erilaisia

riippuvuussuhteita ilmentävien tilastojen kohdalla (vian luonne/häiriö vai ei, vian luonne/kunnossapitoryhmän suuruus ja koostumus, apulinjan häiriö/vaikutus päälinjan toimintaan jne.). Luonteeltaan nämä tiedot ovat kuitenkin sellaisia, että ne tiettyin edellytyksin ovat hankittavissa. Perusvaatimuksena on pidettävä, että kunnossapidon tietojenkäsittely on siirretty tietokoneella suoritettavaksi. Tarvittavien tietojen takana oleva perustietoaaineisto on niin laaja, osa siitä vielä kunnossapidon alueen ulkopuolelta tulevaa, että manuaalisesti sitä ei pystytä hallitsemaan. Perustietoaaineiston keräämisen on myös tapahduttava yhteistyössä muiden osastojen kanssa (vrt. esim. työtilausmenettely).

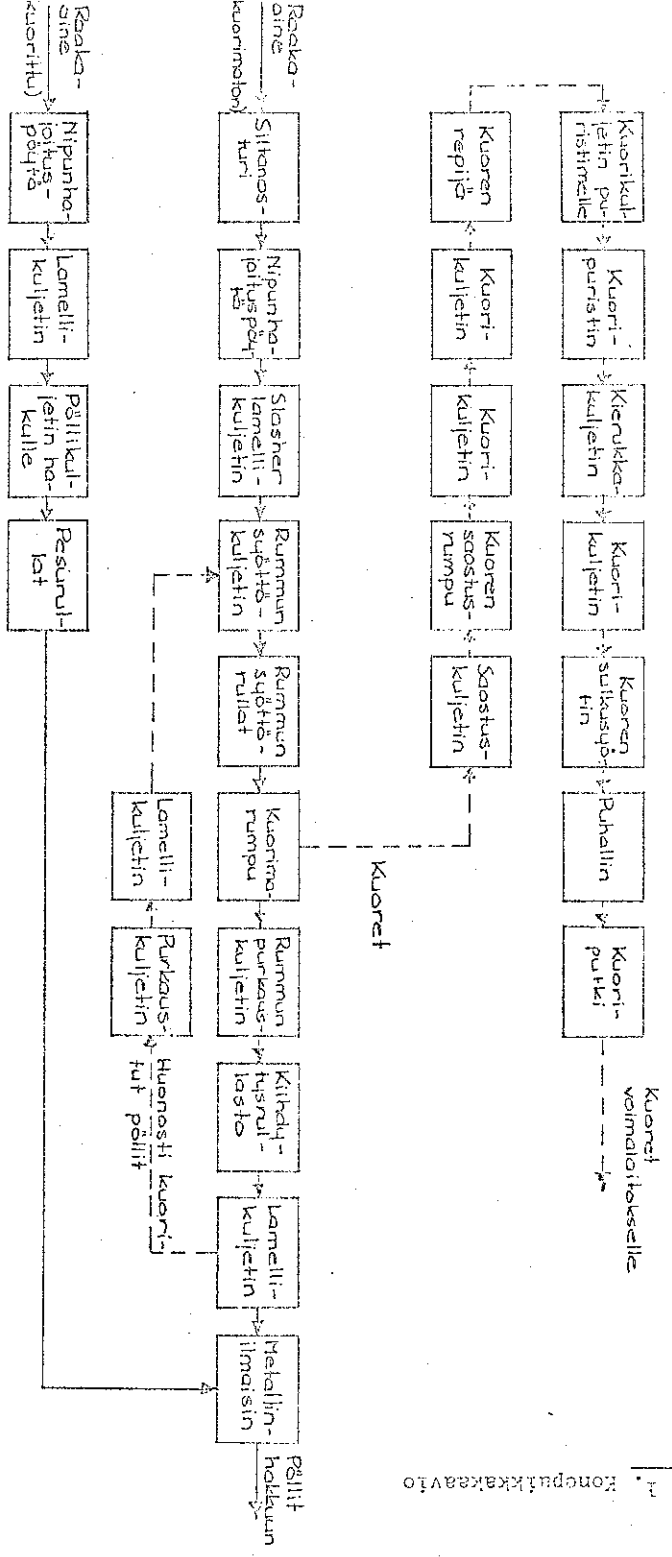
Esitetyn kunnossapitomallin olennaisimpia piirteitä on ollut sen kokonaisvaltainen tarkastelutapa: kunnossapidon piirissä suoritettuja ratkaisuja on tarkasteltu siinä valossa mitä vaikutuksia näillä on paitsi kunnossapitoon sinänsä myös yrityksen koko toimintaan. Tämä on luonnollista seurausta kunnossapidon aseman ja merkityksen muutoksesta yrityksen toiminnassa. Vaurioiden jäljet korjaavasta ja näin toiminnan jatkumisen kannalta välttämättömästä "remonttiporukasta" on kehitysprosessin tuloksena muodostunut nykyisenkaltainen kunnossapito-organisaatio, joka koetaan yhdeksi oleelliseksi tuotantotoiminnan osatekijäksi. Sitä ei myöskään enää pidetä pelkästään kustannuksia aiheuttavana, vaan toiminnan tulopuolelle lasketaan häiriöiden vähenemisen ja luotettavuuden paranemisen mukanaan tuomat edut.

Kehitysmahdollisuuksia tässä suhteessa on kuitenkin edelleen olemassa. Investointien suunnittelu- ja toteuttamisvaiheessa tehdyt laiteratkaisut esim. määräävät omalta osaltaan vastaisuudessa harjoitettavan kunnossapitolitiikan: eri tyyppiset laitteet saattavat asettaa kunnossapidolle huomattavastikin toisistaan poikkeavia vaatimuksia, niiden toiminnan luotettavuus voi olla varsin erilainen jne. Niinpä tämän tyyppisiä ratkaisuja tehtäessä olisi kunnossapidollisetkin näkökohdat otettava nykyistä selvemmin mukaan yhdeksi valintaperusteeksi. Siinä vaiheessa, kun tämä on yleisesti tiedostettu, tulee erilaisilla kunnossapitotekijöitä kvantitatiivisesti mittaavilla malleilla olemaan entistä ratkaisevampi merkitys.

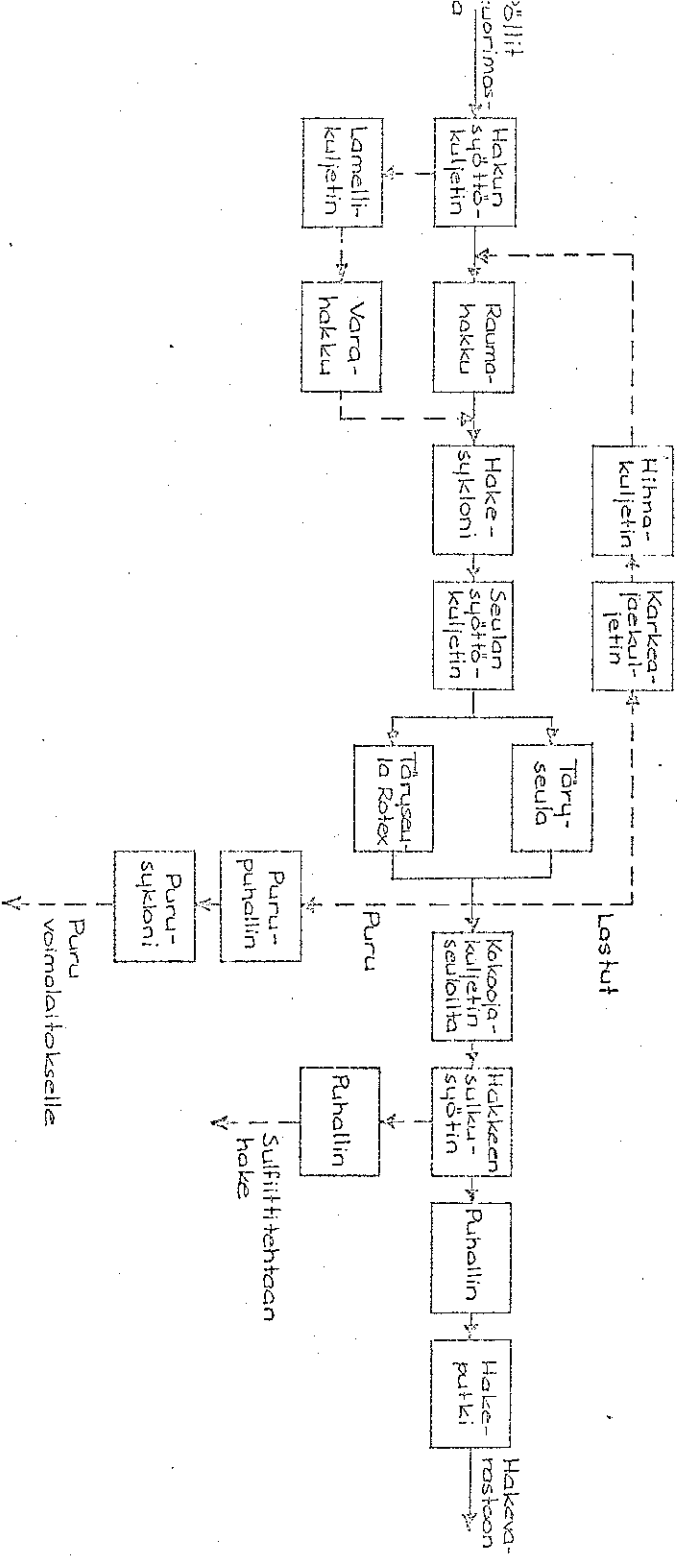
V I I T A T T U K I R J A L L I S U U S

- Beer, S. Decision and control,
(Beer) London 1969
- Bodnarchuk, A., Jeannot,
P.J. A maintenance simulation for complex
(Bodnarchuk) assemblies, Canadian Operational Research
Society Journal, Vol.7, No 1, March 1969
- Burling, J.M. Simulation in action: planning maintenance
(Burling) manpower needs, Computer Decisions,
February 1970
- Ebert, R.J., Hershauer, Tool-replacement policies: variations in
J.C. cost, tool quality and monitoring rules,
(Ebert) AIIE Transactions, Vol. II, No. 2, 1970
- Eilon, S., King, J.R., A study in equipment replacement,
Hutchinson, D.E. Operational Research Quarterly, Vol.17,
(Eilon) No. 1
- Elomaa, T. Kunnossapidon simuloinnista, Turun Kauppa-
(Elomaa) korkeakoulussa laadittu seminaarityö 1972
- Glossary of General Terms Used in Main-
tenance Organization, British Standard
3811:1964
- Golemanov, L., Blomberg, Välisähiliöiden mitoitus ja ohjausstrategian
H. Mars, O., Mikkola, I. optimointi, Helsinki 1971
ja Tinnis, V.
(Golemanov)
- Jardine, A.K.S. Equipment replacement strategies, Ope-
(Jardine) rational Research in Maintenance ed. by
A.K.S. Jardine, New York 1970
- Jorgenson, D.W., Optimal Replacement policy,
McCall, J.J., Radner, R. Amsterdam 1967
(Jorgenson)

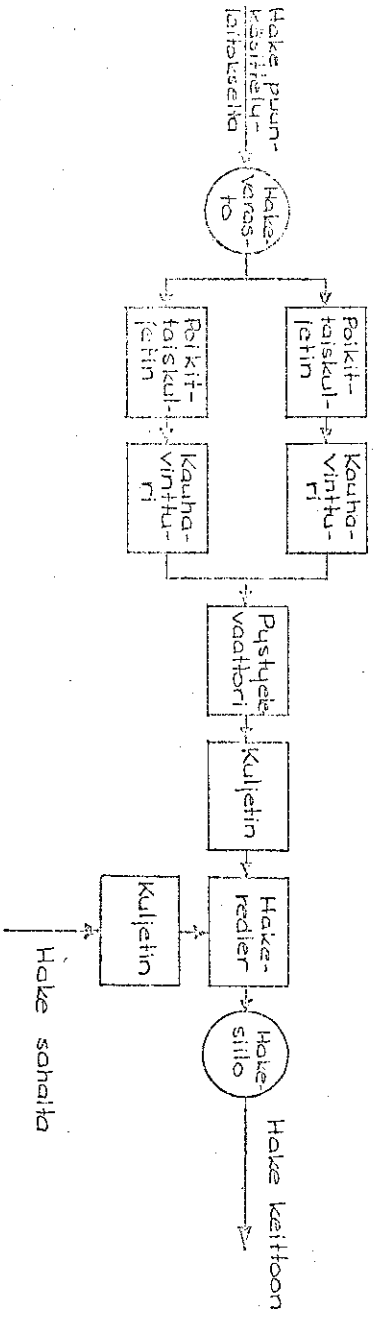
- Kunnossapitojohdon neuvottelupäivät 1969-
1972, Insinöörijärjestöjen koulutuskeskuk-
sen julkaisuja
- Kunnossapitotoimikun- Kunnossapito Suomen teollisuudessa,
ta (toim.) Helsinki 1969
- Kunnossapitotoimikun- Kunnossapitotekniikka teollisissa yrityksissä,
ta (toim.) Helsinki 1971
- Malaska, P. OR-filosofiaa, Turun Kauppakorkeakoulun
(Malaska) julkaisuja, sarja BI-1:1971, Turku 1971
- MIS-70 ryhmätyöraportit, Turun Kauppakor-
keakoulun julkaisuja, sarja C:I-1970:1,
Turku 1970
- MIS-72 ryhmätyöraportit, Turun Kauppakor-
keakoulun julkaisuja, sarja C:I-1970:1,
Turku 1972
- Morse, P.M. Queues, inventories and maintenance,
(Morse) New York, 1958
- Naylor, T.H. Computer simulation experiments with
(Naylor) models of economic systems, New York 1971
- Parkes, D. Maintenance: can it be an exact science?
(Parkes) Operational Research in Maintenance ed. by
A.K.S. Jardine, New York 1970
- Reinikainen, V. Vientimultiplikaattorin dynamisointi esi-
(Reinikainen) merkkinä differenssiyhtälöjä käyttävästä
simuloinnista, Turun Kauppakorkeakoulun
julkaisuja, sarja BI-4:1971, Turku 1971
- Taylor, A.C. A bayesian approach to equipment replace-
(Taylor) ment, IMR Spring 1969
- Watson, C. Is preventive maintenance worthwhile?
(Watson) Operational Research in Maintenance ed.
by A.K.S. Jardine, New York 1970



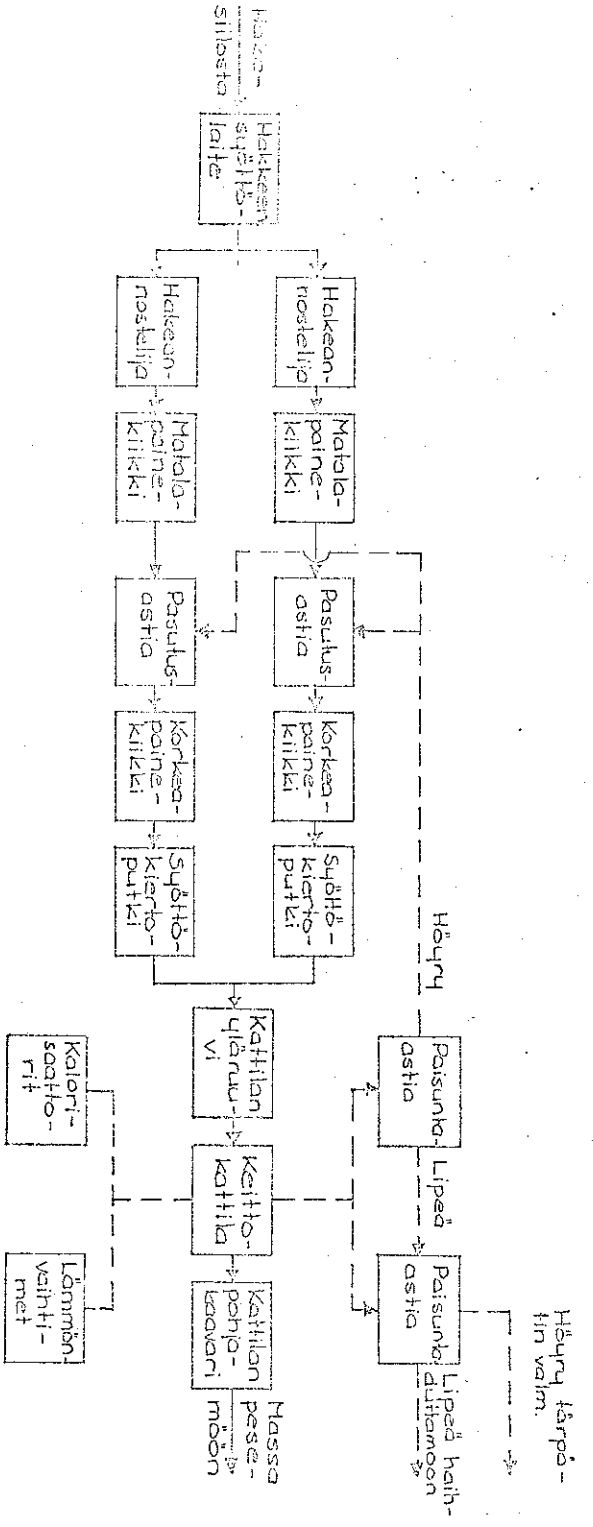
Puunkäsittelylaitos (kuorimo)



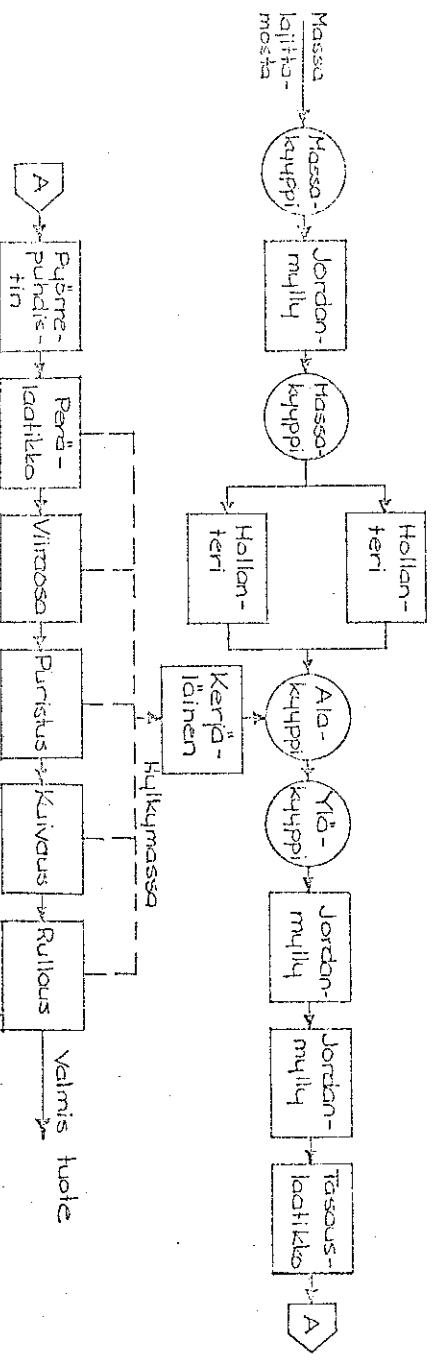
Puunkäsittelylaitos (hakimo)



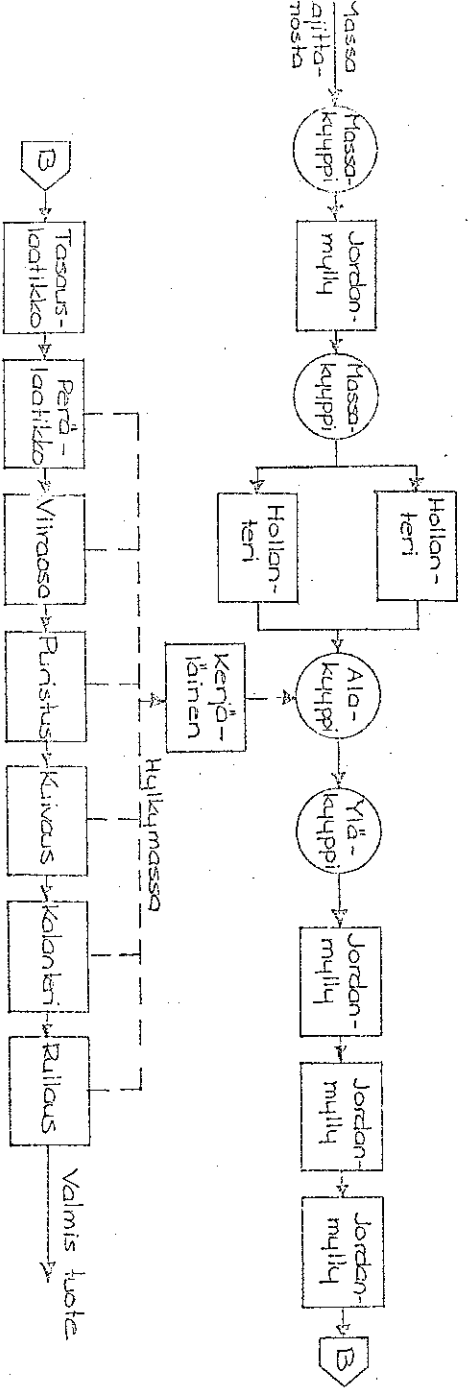
Hakekujettimet hakevarastosta sulfaattitehtaalalle



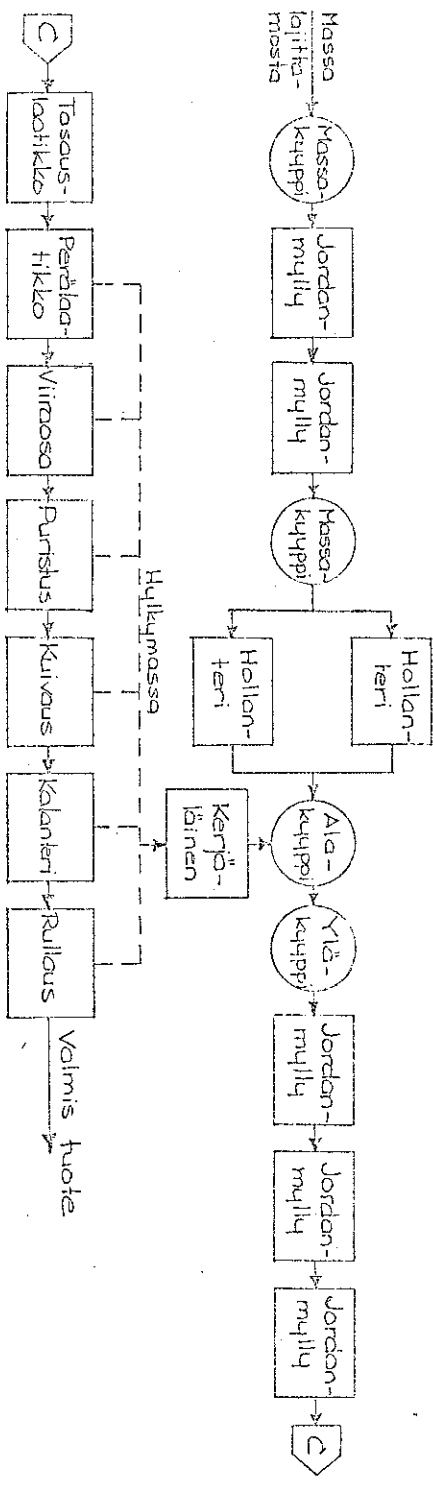
Kellettämä



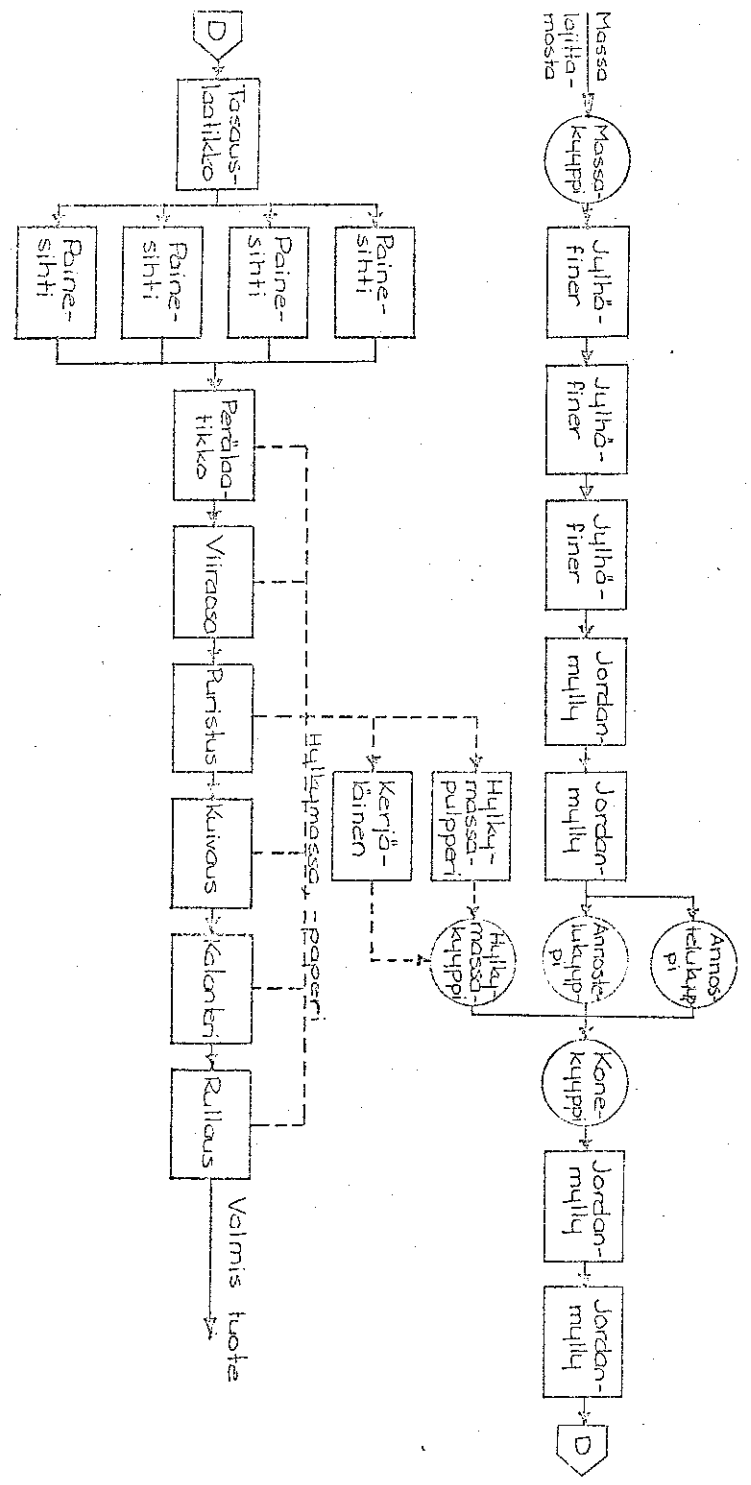
Paperikonetta I



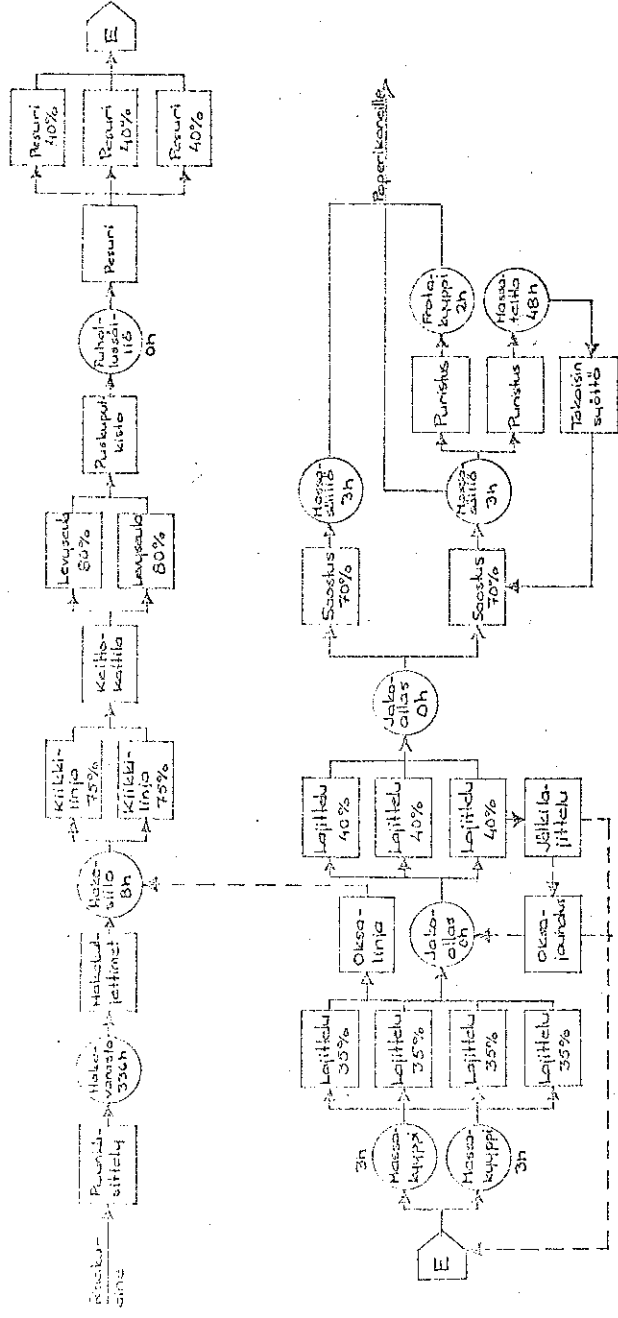
Paperikonetta II



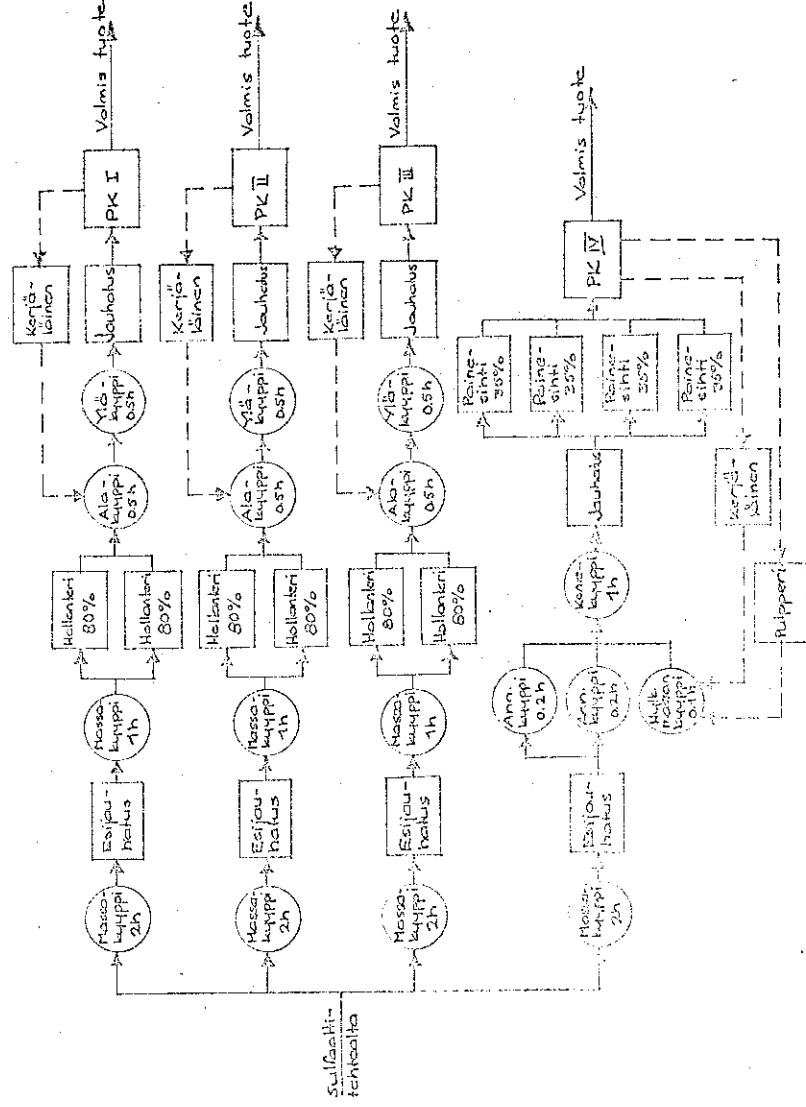
Paperikoneenosa III



Paperikoneenosa IV



Puunkäsittelylaitos ja sulfaattitehdas



Paperitehdas

Vikatiheys

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (V^{-1})				
		X_0	X_{25}	X_{50}	X_{75}	X_{100}
1	Siltanosturi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Nipunhajoituspöytä	0.00	0.00	0.00	0.75	2.00
3	Slasher-lamellikuljetin	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
4	Rummun syöttökuljetin	5.00	5.00	5.00	14.00	19.00
5	Rummun syöttörullat	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
6	Kuorimarumpu	3.00	3.00	4.00	8.00	14.00
7	Rummun purkauskulj.	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
8	Kiihdytysrullasto	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
9	Lamellikuljetin	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
10	Palautuskuljetin	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
11	Lamellikuljetin	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
12	Nipunhajoituspöytä	0.00	0.00	0.00	0.75	2.00
13	Lamellikuljetin	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
14	Pölikkuljetin hakulle	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
15	Pesurullat	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
16	Metallinilmaisin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Hakun syöttökuljetin	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
18	Lamellikuljetin	0.00	0.00	1.08	1.86	6.00
19	Rauma-hakku	5.00	5.00	5.50	6.00	9.00
20	Varahakku	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Hakesykloni	0.00	0.00	0.00	0.42	5.00
22	Seulan syöttökuljetin	0.00	0.00	0.38	0.88	2.00
23	Täryseula	0.00	0.64	2.09	2.55	3.00
24	Rotex-seula	0.00	0.64	2.09	2.55	3.00
25	Karkeajaekuljetin	0.00	0.00	0.38	0.88	2.00
26	Hihnakuuljetin	0.00	0.00	0.38	0.88	2.00
27	Purupuhallin	0.00	0.00	0.00	0.42	5.00
28	Purusykloni	0.00	0.00	0.00	0.42	5.00
29	Kuorisaostuskuljetin	0.00	0.00	0.56	1.50	8.00
30	Kuorisaostusrumpu	0.00	0.00	1.00	2.75	5.00
31	Kuorikuljetin	0.00	0.00	0.56	1.50	8.00
32	Kuorikuljetin	0.00	0.00	0.56	1.50	8.00
33	Kuoren repijä	2.00	2.00	2.00	3.00	11.00
34	Kuorikuljetin	0.00	0.00	0.56	1.50	8.00
35	Kuoripuristin	0.00	0.00	0.50	1.38	2.00

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (V^{-1})				
		X_0	X_{25}	X_{50}	X_{75}	X_{100}
36	Kierukkakuuljetin	0.00	0.00	0.56	1.50	8.00
37	Kuorikuljetin	0.00	0.00	0.56	1.50	8.00
38	Kuoren sulkusyötin	0.00	0.00	0.00	0.83	4.00
39	Puhallin	0.00	0.00	0.00	0.42	5.00
40	Kuoriputki voimalait.	0.00	0.00	0.56	1.50	8.00
41	Kokoojakuljetin	0.00	0.00	0.38	0.88	2.00
42	Sulkusyötin	0.00	0.00	0.00	0.83	4.00
43	Puhallin	0.00	0.00	0.00	0.42	5.00
44	Puhallin	0.00	0.00	0.00	0.42	5.00
45	Hakeputki sulfaattiteht.	0.00	0.00	0.00	0.75	2.00
46	Hakevar.hakkeen käs.laite	0.00	0.00	0.38	1.31	3.00
47	Kauhavintturi	2.00	2.50	3.50	7.00	16.00
48	Kauhavintturi	2.00	2.50	3.50	7.00	16.00
49	Poikittaiskuljetin 16	0.00	0.00	0.71	1.43	3.00
50	Poikittaiskuljetin 17	0.00	0.00	0.71	1.43	3.00
51	Pystyeleვაattori	1.00	1.25	3.00	4.75	6.00
52	Kuljetin 18	0.00	0.00	0.71	1.43	3.00
53	Kuljetin 19	0.00	0.00	0.71	1.43	3.00
54	Vaaka	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	Hakeredler	4.00	4.00	5.00	6.50	8.00
56	Hakkeen syöttölaite	0.00	0.00	0.00	0.25	1.00
57	Hakeannostelija	0.00	0.10	0.60	1.50	6.00
58	Matalapaineikiikki	0.00	0.00	0.00	1.33	4.00
59	Pasutusastia	1.00	1.75	3.33	4.50	9.00
60	Korkeapaineikiikki	0.00	0.46	1.08	1.71	3.00
61	Syöttökiertoputki	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00
62	Hakeannostelija	0.00	0.10	0.60	1.50	6.00
63	Matalapaineikiikki	0.00	0.00	0.00	1.33	4.00
64	Pasutusastia	1.00	1.75	3.33	4.50	9.00
65	Korkeapaineikiikki	0.00	0.46	1.08	1.71	3.00
66	Syöttökiertoputki	0.00	0.00	0.00	1.00	2.00
67	Kattilan yläruuvi	0.00	0.00	0.25	0.88	2.00
68	Keittokattila	2.00	3.00	6.50	7.75	15.00
69	Kattilan pohjakaavari	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	Kalorisaattori	0.00	0.00	0.70	2.10	7.00
71	Kalorisaattori	0.00	0.00	0.70	2.10	7.00
72	Kalorisaattori	0.00	0.00	0.70	2.10	7.00
73	Lämmönvaihdin	0.00	0.00	0.00	0.75	2.00
74	Lämmönvaihdin	0.00	0.00	0.00	0.75	2.00

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (V^{-1})				
		X_0	X_{25}	X_{50}	X_{75}	X_{100}
75	Lämmönvaihdin	0.00	0.00	0.00	0.75	2.00
76	Levyseula	4.00	4.00	4.00	7.50	11.00
77	Levyseula	4.00	4.00	4.00	7.50	11.00
78	Fuskuputkisto	0.00	0.16	0.50	0.83	2.00
79	Ruuvipuristin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80	Puhallussäiliö	0.00	0.00	0.00	0.38	1.00
81	Lipeäsuodatin	0.00	0.13	0.67	1.75	4.00
82	Rauma-Repola pesuri	5.00	5.75	11.50	15.25	17.00
83	Pesuri	5.00	5.75	11.50	15.25	17.00
84	Fraktioliipeäsäiliö	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00
85	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
86	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
87	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88	Pesuri	5.00	5.75	11.50	15.25	17.00
89	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
90	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
91	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
92	Pesuri	5.00	5.75	11.50	15.25	17.00
93	Fraktioliipeäsäiliö	0.00	0.00	0.00	0.50	1.00
94	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
96	Vaahdonsammuttaja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
97	Jönsson-sihti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
98	Jönsson-sihti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
99	Jönsson-sihti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
100	Karhula-sihti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
101	Cowan-sihti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
102	Biffar-sihti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
103	Biffar-sihti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
104	Radiclona	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	Oliver-Young saostaja	0.00	0.50	1.00	2.67	4.00
106	JEH-saostaja	0.00	0.50	1.00	2.67	4.00
107	Puristin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
108	Lokerosyöttäjä	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
109	Puhallin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	Syöttöruuvi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
111	Lokerosyöttäjä	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112	Puhallin	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (V^{-1})				
		X_0	X_{25}	X_{50}	X_{75}	X_{100}
113	Sykloona	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
114	Ostomassapulperi	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	Massakyyppin sekoittaja	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
116	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
117	Massakyyppin sekoittaja	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
118	Hollanteri	0.40	0.45	0.60	0.90	2.00
119	Hollanteri	0.40	0.45	0.60	0.90	2.00
120	Massakyyppin sekoittaja	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
121	Massakyyppin sekoittaja	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
122	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
123	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
124	Tasauslaatikko	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
125	Santasykloona	0.00	0.00	0.20	0.45	1.00
126	Perälaatikko (PK I)	0.60	0.60	1.00	1.40	2.00
127	Viiraosa "	1.00	1.25	3.50	5.75	11.00
128	Puristus "	4.00	4.75	7.50	9.00	9.00
129	Kuivaus "	7.00	7.50	10.00	12.50	16.00
130	Rullaus "	2.00	2.50	4.00	4.00	7.00
131	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
132	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
133	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
134	Hollanteri	0.40	0.45	0.60	0.90	2.00
135	Hollanteri	0.40	0.45	0.60	0.90	2.00
136	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
137	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
138	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
139	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
140	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
141	Tasauslaatikko	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
142	Perälaatikko (PK II)	0.60	0.60	1.00	1.40	2.00
143	Viiraosa "	4.00	4.50	7.50	12.50	14.00
144	Puristus "	7.00	7.00	7.50	10.25	14.00
145	Kuivaus "	1.00	2.25	7.00	8.75	11.00
146	Kalanteri "	2.00	2.25	4.50	6.75	9.00
147	Rullaus "	5.00	6.50	11.00	12.50	21.00
148	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
149	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
150	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
151	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (V^{-1})				
		X_0	X_{25}	X_{50}	X_{75}	X_{100}
152	Hollanteri	0.40	0.45	0.60	0.90	2.00
153	Hollanteri	0.40	0.45	0.60	0.90	2.00
154	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
155	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
156	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
157	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
158	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
159	Tasauslaatikko	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
160	Perälaatikko (PK III)	0.60	0.60	1.00	1.40	2.00
161	Viiraosa "	10.00	10.50	13.50	15.75	18.00
162	Puristus "	8.00	8.50	13.50	17.00	19.00
163	Kuivaus "	1.00	1.25	3.50	6.00	6.00
164	Kalanteri "	1.00	1.25	2.00	3.50	9.00
165	Rullaus "	2.00	3.00	7.00	10.25	12.00
166	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
167	Jylhäfiner	0.80	0.80	0.90	1.10	2.00
168	Jylhäfiner	0.80	0.80	0.90	1.10	2.00
169	Jylhäfiner	0.80	0.80	0.90	1.10	2.00
170	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
171	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
172	Massakyyppin sek.	0.00	0.00	0.00	0.13	1.00
173	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
174	Jordan-mylly	0.00	0.45	1.15	1.41	3.00
175	Tasauslaatikko	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
176	Painesihtti	0.60	0.60	1.00	1.10	2.00
177	Painesihtti	0.60	0.60	1.00	1.10	2.00
178	Painesihtti	0.60	0.60	1.00	1.10	2.00
179	Painesihtti	0.60	0.60	1.00	1.10	2.00
180	Perälaatikko (PK IV)	0.60	0.60	1.00	1.40	3.00
181	Viiraosa "	4.00	7.25	19.50	22.75	29.00
182	Puristus "	8.00	9.75	16.50	22.50	25.00
183	Kuivaus "	7.00	7.50	9.50	12.75	16.00
184	Kalanteri "	0.00	0.25	1.50	2.00	6.00
185	Rullaus "	2.00	3.75	15.50	24.25	31.00
186	Kolakuuljetin	0.00	0.38	1.00	1.83	4.00
187	Sulkusyötin	0.00	0.00	0.00	1.50	4.00
188	Biffar-sihtti	0.80	0.80	1.20	1.33	1.60
189	Kolakuuljetin	0.00	0.38	1.00	1.83	4.00

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (V^{-1})				
		X_0	X_{25}	X_{50}	X_{75}	X_{100}
190	Oksajauhin	0.00	0.25	1.25	1.88	4.00
191	Kerjäläinen	0.40	0.40	0.53	0.67	0.80
192	Kerjäläinen	0.40	0.40	0.53	0.67	0.80
193	Kerjäläinen	0.40	0.40	0.53	0.67	0.80
194	Kerjäläinen	0.40	0.40	0.53	0.67	0.80
195	Pa-yhteiset	26.00	26.00	28.50	41.00	49.00

Korjausaika

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (h)				
		X ₀	X ₂₅	X ₅₀	X ₇₅	X ₁₀₀
1	Siltanosturi	0	0	0	0	0
2	Nipunhajoituspöytä	0	7	17	25	56
3	Slasher-lamellikuljetin	0	6	13	33	369
4	Rummun syöttökuljetin	0	4	15	29	219
5	Rummun syöttörullat	0	6	13	33	369
6	Kuorimarumpu	0	0	6	10	27
7	Rummun purkauskulj.	0	6	13	33	369
8	Kiihdytysrullasto	0	6	13	33	369
9	Lamellikuljetin	0	6	13	33	369
10	Palautuskuljetin	0	6	13	33	369
11	Lamellikuljetin	0	6	13	33	369
12	Nipunhajoituspöytä	0	7	17	25	56
13	Lamellikuljetin	0	6	13	33	369
14	Föllikuljetin hakulle	0	6	13	33	369
15	Pesurullat	0	6	13	33	369
16	Metallinilmaisin	0	0	0	0	0
17	Hakun syöttökuljetin	0	6	13	33	369
18	Lamellikuljetin	0	6	13	33	369
19	Rauma-hakku	0	6	16	47	164
20	Varahakku	0	0	0	0	0
21	Hakesykloni	2	9	22	83	293
22	Seulan syöttökuljetin	0	2	8	34	326
23	Täryseula	2	20	52	70	374
24	Rotex-seula	2	20	52	70	374
25	Karkeajaekuljetin	0	2	8	34	326
26	Hihnakuuljetin	0	2	8	34	326
27	Purupuhallin	2	9	22	83	293
28	Purusykloni	2	9	22	83	293
29	Kuorisaostuskuljetin	0	6	13	31	352
30	Kuorisaostusrumpu	4	7	18	41	204
31	Kuorikuljetin	0	6	13	31	352
32	Kuorikuljetin	0	6	13	31	352
33	Kuoren repijä	0	4	9	49	151
34	Kuorikuljetin	0	6	13	31	352
35	Kuoripuristin	10	17	41	44	170

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (h)				
		X ₀	X ₂₅	X ₅₀	X ₇₅	X ₁₀₀
36	Kierukkakuuljetin	0	6	13	31	352
37	Kuorikuljetin	0	6	13	31	352
38	Kuoren sulkusyötin	3	4	6	14	47
39	Puhallin	2	9	22	83	293
40	Kuoriputki voimalait.	0	6	13	31	352
41	Kokoojakuljetin	0	2	8	34	326
42	Sulkusyötin	3	4	6	14	47
43	Puhallin	2	9	22	83	293
44	Puhallin	2	9	22	83	293
45	Hakeputki sulfaattiteht.	9	9	13	35	63
46	Hakevar.hakkeen käs.laite	1	18	33	77	190
47	Kauhavintturi	0	6	19	35	276
48	Kauhavintturi	0	6	19	35	276
49	Poikittaiskuljetin 16	0	8	15	35	209
50	Poikittaiskuljetin 17	0	8	15	35	209
51	Pystyeleavaattori	0	10	20	52	439
52	Kuljetin 18	0	8	15	35	209
53	Kuljetin 19	0	8	15	35	209
54	Vaaka	0	0	0	0	0
55	Hakeredler	0	0	12	27	34
56	Hakkeen syöttölaite	0	27	54	81	108
57	Hakeannostelija	0	1	3	8	63
58	Matalapainekiikki	0	8	16	21	155
59	Pasutusastia	0	2	12	24	292
60	Korkeapainekiikki	0	0	16	191	297
61	Syöttökiertoputki	2	10	16	27	31
62	Hakeannostelija	0	1	3	8	63
63	Matalapainekiikki	0	8	16	21	155
64	Pasutusastia	0	2	12	24	292
65	Korkeapainekiikki	0	0	16	191	297
66	Syöttökiertoputki	2	10	16	27	31
67	Kattilan yläruuvi	173	173	246	267	325
68	Keittokattila	6	10	30	65	364
69	Kattilan pohjakaavari	0	0	0	0	0
70	Kalorisaattori	0	4	21	71	286
71	Kalorisaattori	0	4	21	71	286
72	Kalorisaattori	0	4	21	71	286
73	Lämmönvaihdin	4	15	38	120	249
74	Lämmönvaihdin	4	15	38	120	249

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (h)				
		X ₀	X ₂₅	X ₅₀	X ₇₅	X ₁₀₀
75	Lämmönvaihdin	4	15	38	120	243
76	Levyseula	0	3	6	39	60
77	Levyseula	0	3	6	39	60
78	Puskuputkisto	3	4	6	8	12
79	Ruuvipuristin	0	0	0	0	0
80	Puhallussäiliö	1	1	1	6	11
81	Lipeäsuodatin	0	0	24	76	137
82	Rauma-Repola pesuri	0	6	19	39	290
83	Pesuri	0	6	19	39	290
84	Fraktioliipeäsäiliö	2	3	7	56	108
85	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
86	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
87	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
88	Pesuri	0	6	19	39	290
89	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
90	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
91	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
92	Pesuri	0	6	19	39	290
93	Fraktioliipeäsäiliö	2	3	7	56	108
94	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
95	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
96	Vaahdonsammuttaja	0	0	0	0	0
97	Jönsson-sihti	0	3	11	23	166
98	Jönsson-sihti	0	3	11	23	166
99	Jönsson-sihti	0	3	11	23	166
100	Karhula-sihti	0	3	11	23	166
101	Cowan-sihti	0	3	11	23	166
102	Biffar-sihti	0	3	11	23	166
103	Biffar-sihti	0	3	11	23	166
104	Radiclona	0	0	0	0	0
105	Oliver-Young saostaja	0	3	10	54	402
106	UEH-saostaja	0	3	10	54	402
107	Puristin	0	0	0	0	0
108	Lokerosyöttäjä	0	0	0	0	0
109	Puhallin	0	0	0	0	0
110	Syöttöruuvi	0	0	0	0	0
111	Lokerosyöttäjä	0	0	0	0	0
112	Puhallin	0	0	0	0	0

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (h)				
		X ₀	X ₂₅	X ₅₀	X ₇₅	X ₁₀₀
113	Sykloona	0	0	0	0	0
114	Ostomassapulperi	0	0	0	0	0
115	Massakypin sekoittaja	1	6	14	61	238
116	Jordan-myly	0	8	64	113	576
117	Massakypin sekoittaja	1	6	14	61	238
118	Hollanteri	1	4	17	35	192
119	Hollanteri	1	4	17	35	192
120	Massakypin sekoittaja	1	6	14	61	238
121	Massakypin sekoittaja	1	6	14	61	238
122	Jordan-myly	0	8	64	113	576
123	Jordan-myly	0	8	64	113	576
124	Tasauslaatikko	0	0	0	0	0
125	Santasykloona	8	11	25	30	294
126	Perälaatikko (PK I)	0	11	25	33	494
127	Viiraosa "	0	2	16	60	270
128	Puristus "	0	4	4	39	130
129	Kuivaus "	0	14	18	42	209
130	Rullaus "	0	5	11	22	102
131	Massakypin sek.	1	6	14	61	238
132	Jordan-myly	0	8	64	113	576
133	Massakypin sek.	1	6	14	61	238
134	Hollanteri	1	4	17	35	192
135	Hollanteri	1	4	17	35	192
136	Massakypin sek.	1	6	14	61	238
137	Massakypin sek.	1	6	14	61	238
138	Jordan-myly	0	8	64	113	576
139	Jordan-myly	0	8	64	113	576
140	Jordan-myly	0	8	64	113	576
141	Tasauslaatikko	0	0	0	0	6
142	Perälaatikko (PK II)	0	11	25	33	494
143	Viiraosa "	0	9	35	79	251
144	Puristus "	0	1	9	22	48
145	Kuivaus "	0	5	28	50	379
146	Kalanteri "	0	12	15	30	119
147	Rullaus "	0	8	13	22	355
148	Massakypin sek.	1	6	14	61	238
149	Jordan-myly	0	8	64	113	576
150	Jordan-myly	0	8	64	113	576
151	Massakypin sek.	1	6	14	61	238

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (h)				
		X ₀	X ₂₅	X ₅₀	X ₇₅	X ₁₀₀
152	Hollanteri	1	4	17	35	192
153	Hollanteri	1	4	17	35	192
154	Massakyyppin sek.	1	6	14	61	238
155	Massakyyppin sek.	1	6	14	61	238
156	Jordan-mylly	0	8	64	113	576
157	Jordan-mylly	0	8	64	113	576
158	Jordan-mylly	0	8	64	113	576
159	Tasauslaatikko	0	0	0	0	0
160	Perälaatikko (PK III)	0	11	25	33	484
161	Viiraosa "	0	5	28	76	285
162	Puristus "	0	8	32	48	131
163	Kuivaus "	0	5	14	25	130
164	Kalanteri "	0	0	15	21	24
165	Rullaus "	0	4	9	25	164
166	Massakyyppin sek.	1	6	14	61	238
167	Jylhäfiner	0	1	2	4	260
168	Jylhäfiner	0	1	2	4	260
169	Jylhäfiner	0	1	2	4	260
170	Jordan-mylly	0	8	64	113	576
171	Jordan-mylly	0	8	64	113	576
172	Massakyyppin sek.	1	6	14	61	238
173	Jordan-mylly	0	8	64	113	576
174	Jordan-mylly	0	8	64	113	576
175	Tasauslaatikko	0	0	0	0	0
176	Painesihti	2	3	6	20	113
177	Painesihti	2	3	6	20	113
178	Painesihti	2	3	6	20	113
179	Painesihti	2	3	6	20	113
180	Perälaatikko (PK IV)	0	11	25	33	494
181	Viraosa "	0	2	5	28	250
182	Puristus "	0	4	34	71	112
183	Kuivaus "	0	2	4	13	120
184	Kalanteri "	0	0	10	35	83
185	Rullaus "	0	3	9	20	151
186	Kolakuljetin	1	7	23	51	175
187	Sulkusyötin	6	7	8	22	90
188	Biffar-sihti	0	3	11	23	166
189	Kolakuljetin	1	7	23	51	175

Konepaikan n:o	Konepaikan nimi	Tunnusluku (h)				
		X ₀	X ₂₅	X ₅₀	X ₇₅	X ₁₀₀
190	Oksajauhin	8	12	22	41	55
191	Kerjäläinen	1	2	13	31	105
192	Kerjäläinen	1	2	13	31	105
193	Kerjäläinen	1	2	13	31	105
194	Kerjäläinen	1	2	13	31	105
195	Pa-yhteiset	0	4	11	27	464
Pienkorjaukset		0	1	2	6	61

Liite 5. Kunnossapitotöiden jakaantuminen eri työläjien kesken

Tehdas	Konepaikat	Ennakko- korjauk- to (%)	Korjaa- nossa- pito (%)	Häiriö- korjauk- set (%)	Muutos- työt (%)	Muut työt (%)
Puunkäsittely- laitos	1-56	15.5	65.7	15.5	1.0	2.3
Selluloosateh- das	57-114	13.2	65.1	16.7	1.9	3.1
Paperitehdas	115-195	29.1	51.7	6.1	11.5	1.6