

YVY

TUTKIMUS 13

Viemärlaitoksen systeemianalyysi

yhdykskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

HELSINKI 1976

YVY

TUTKIMUS 13

VESIHALLITUKSEN PROJEKTI N:O 7409

VIATEK OY
HELSINGIN TEKNILLINEN KORKEAKOULU, SYSTEEMI-
TEORIAN LABORATORIO

JUHA KAILA
JUKKA RANTA
REIJO RUMMUKAINEN
PENTTI YLETYINEN

yhdyksuntien vesi- ja ympäristöprojekti

HELSINKI 1976

ISBN 951-9250-62-X
ISSN 0355-1997

KYRIIRI OY
Luotsikatu 4, 00160 H:KI 16
PAINO: 90-630 230
MYYNТИ: 90-440 211/KIRJAKAUPPA
RUNEBERGINK. 14—16
(H:GIN KAUPPAKORKEAKOULU)
00100 Helsinki 10

ESIPUHE

YVY-projektin keskeisiin tavoitteisiin kuuluu mm. entistä tarkempien suunnittelumenetelmien ja ohjausjärjestelmien kehittäminen. Tutkimus viemärilaitoksen systeemianalyysistä pyrkii omalta osaltaan tähän tavoitteeseen. Se perustuu esitutkimukseen E-11, "Malliajattelu vesi- ja jätehuollossa", sisältyneeseen projektiehdotukseen.

Viemärilaitoksen systeemianalyysi, josta käytetään nimitystä VISA-projekti, kuuluu vesihallituksen rahoittamiin YVY-tutkimuksiin. Tutkimuksen toteuttamisesta tehtiin sopimus vesihallituksen ja Viatek Oy:n kesken. Tutkimus aloitettiin 1974-07-01 ja saatiin valmiiksi 1975-05-31. Siihen on tehty eräitä tarkennuksia ja vähäisiä lisäyksiä myös syksyn 1975 kuluessa.

Tutkijana on toiminut tekn.yo. Juha Kaila Viatek Oy:stä. Tutkimus on tehty kiinteässä yhteistyössä HTKK:n systeemiteorian laboratorion kanssa. Sieltä ovat työhön osallistuneet DI Jukka Ranta ja tekn.yo. Reijo Rummukainen. Tutkimusta on johtanut TkT Pentti Yletyinen Viatek Oy:stä.

Tutkimusta on valvonut seuraava ryhmä:

pj. prof. Eero Kajosaari, HTKK/VHT
 prof. Hans Blomberg, HTKK/sähkötekniillinen osasto
 prof. Aarne Halme, TTKK/sähkötekniikan osasto
 apul.prof. Raimo Määttä, HTKK/kemian osasto
 DI Veli-Matti Tiainen, SITRA/YVY-projekti
 DI Juha Valtakari, Espoon vesilaitos
 TkL Matti Viitasaari, vesihallitus

Tutkimuksen kuluessa muutettiin tavoitetta osittain. Tavoitteena-
han oli luoda runko sellaiselle tietokoneen käyttöön perustuvalle
ohjelmistojärjestelmälle, jonka avulla voitaisiin tarkastella
viemärilaitoksen toimintaa kokonaisuudessaan.

Kun viemäriverkon osalta tällainen malli löytyi, erotettiin sen käyttöönottoon tähtäävä tutkimus erilliseksi projektikseen, jota lähdettiin toteuttamaan HTKK:n vesihuoltotekniikan oppituolissa nimellä "SIMU-projekti". VISA-projekti keskittyi tämän jälkeen kehittämään laitosohjelmistoa.

Tutkimuksen voidaan katsoa vastaavan sille asetettuja tavoitteita. Samalla voidaan kuitenkin todeta mallien käyttökelpoisuuden arvioinnin ja edelleen kehittämisen vaativan vielä laajaa jatkotutkimusta, johon tulisi liittää mallien merkityksen arviointi.

Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
ESIPUHE	I
SISÄLLYSLUETTELO	III
YHTEENVETO	V
ENGLISH SUMMARY	X
1. JOHDANTO	1
2. MATEMAATTISTEN MALLIEN KÄYTTÖ JA LUONNE	3
VESIHUOLTOSUUNNITTELUSSA	
2.1 Matemaattiset mallit	3
2.2 Yleiskäyttöiset mallit	4
2.3 Yksilölliset mallit	4
3. SIMULOINTI	6
3.1 Simuloinnin periaatteita	6
3.2 Simulointimallit	7
4. VIEMÄRILAITOKSEN LUONNE	9
4.1 Viemärilaitos ja sen tehtävät	9
4.2 Viemärilaitostoiminnan tavoitteet	9
5. VIEMÄRILAITOKSEN TOIMINNAN SIMULOINTIIN LIITTYVIÄ	
NÄKÖKOHTIA JA KATSAUS SIMULOINTIMALLEIHIN	12
5.1 Viemärilaitossysteemin osajako	12
5.2 Viemäriverkien keräily ja kuljetus	13
5.21 Yleistä	13
5.22 Viemäriverkon toiminnallinen rakenne	13
5.23 Simulointi viemäriverkon toiminnan	
kuvaamisessa	14
5.24 Katsaus viemäriverkkojen simulointi-	
malleihin	16
5.3 Veden ja lietteen käsittely	18
5.31 Yleistä	18
5.32 Käsittelylaitosten toiminnallinen rakenne	20
5.33 Simulointi käsittelylaitosten toiminnan	
kuvaamisessa	20

5.34	Katsaus käsittelylaitosten simulointi- malleihin	25
5.4	Veden ja lietteen sijoittaminen	27
6.	VIEMÄRILAITOKSEN KOKONAISUUNNITTELMALLI	28
6.1	Kokonaissuunnittelumallien rakenne	28
6.11	Kokonaismalli	28
6.12	Viemäriverkkomalli	28
6.13	Käsittelylaitosmalli	30
6.14	Kustannusohjelma	32
6.2	Viemärilaitoksen kokonaissuunnittelumallin käyttökohteet	33
7.	KÄSITTELYLAITOSMALLI	40
7.1	Tasausallasmalli	41
7.2	Välppäysmalli	43
7.3	Selkeytysmalli	44
7.4	Flotaatiomalli	57
7.5	Aktiivilietemenetelmän malli	64
7.6	Rinnakkaissaostuksen malli	71
7.7	Lietteen mädätyksen malli	73
7.8	Lietelingon malli	79
8.	KÄSITTELYLAITOSMALLIN EDELLYTTÄMIEN LÄHTÖTIETOJEN ANTAMINEN JA MALLIN TULOSTUS	82
	KIRJALLISUUS	104
	LIITE 1. Pääohjelman listaus	
	LIITE 2. Käsittelyohjelmien listaukset	

YHTEENVETO

Viemäriulaitoksen vesistölle aiheuttamaa kuormitusta vähennettäessä on yhä selvemmin alettu tiedostaa hulevesien merkitys varsin huomattavana kuormituskomponenttina. Samalla on havaittu, että viemäriulaitokseen kohdistuvat yksittäiset toimenpiteet vesistöön joutuvien lika-aineiden vähentämiseksi saattavat olla hyvinkin tehottomia viemäriulaitoksen eri osien keskinäisen vaikutuksen vuoksi. Tätä kautta ei viemäriulaitosta toteutettaessa ole otettu huomioon kaikkia sen ympäristölle aiheuttamia haittoja. Näin on päädytty tarpeeseen tarkastella viemäriulaitoksen kehittämistä kokonaisvaltaisesti. Tämä puolestaan on edellyttänyt sopivien suunnittelumenetelmien kehittämistä, minkä eräänä osavaiheena aloitettiin SITRAn YVY-projektin (yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti) osana vuoden 1974 heinäkuussa VISA-projekti (viemäriulaitoksen systeemianalyysi). Projektin tavoitteeksi asetettiin rungon luominen sellaiselle tietokoneohjelmistojärjestelmälle, jonka avulla viemärilaitosta voidaan tarkastella kokonaisvaltaisesti.

Kokonaisvaltaisen tarkastelun sisällön ja erilaisten tällaisten tarkastelua edellyttävien viemärilaitoksen käyttö- ja suunnittelutehtävien selvittämisen jälkeen todettiin tarpeelliseksi lähestyä ongelmakenttää vaiheittain. Ensimmäiseksi ohjelmointijärjestelmäksi valittiin dynaaminen simulointiohjelmisto. Tämän ohjelmiston runkojärjestelmän rakenteen peruseriaatteiden selvittämisen jälkeen haettiin tarkoitukseen soveltuvia matemaattisia osamalleja. Viemäriverkoston toiminnan simuloinnin osalta tällainen malli löytyi ja sen muokkaamista, käyttöönottoa, testausta ja kalibrointia varten aloitettiin YVY-projektin osana Teknillisen korkeakoulun vesihuoltotekniikan ja systeemiteorian laboratoriossa SIMU-projekti (viemäriverkoston simulointimalli).

Käsittelylaitosten osalta ei vaatimuksia täyttävää mallia löytynyt, jolloin tässä projektissa (VISA) lähdettiin kehittämään laitosohjelmistoa ja sovittamaan sitä viemärilaitoksen kokonaismalliin yhteistyössä SIMU-projektin kanssa.

Viemärlaitoksen kokonaisvaltaisen tarkastelun periaate on VISA-projektissa kiteytetty seuraavaksi tavoitteeksi: ohjelmistolla tulee voida tutkia, millä viemärlaitoksessa toteutettavilla toimenpiteillä (viemärintialueella toteutettavat toimenpiteet, viemäriverkostossa toteutettavat toimenpiteet, puhdistamon toiminnan tehostaminen, ylivuotovesien käsittely yms. rinnakkaiset tai vaihtoehtoiset toimenpiteet) saadaan investoitavalla rah summalla suurin mahdollinen vesistöön joutuvien lika-aineiden vähenemä tai vaihtoehtoisesti, millä toimenpiteillä päästään tavoitteelliseen lika-ainemäärien vähenemään halvimmalla. Osittain edelliseen sisältyy myös viemärlaitoksen optimaalisen ohjauksen tavoite: millä viemärlaitoksen ohjaustavalla minimoidaan viemäreistä vesistöön joutuvat kokonaislika-ainemäärät tai millä ohjaustavalla saadaan tavoitteellinen vesistöön päästettävä kokonaislika-ainemäärä halvimmalla käyttökustannuksin.

Viemärlaitoksen suunnittelu- ja käyttöprobleeman ratkaisu suljettuna optimointitehtävänä (lähtien eri lika-aineiden raja-arvoista, sallittujen investointitoimenpiteiden määrästä ja kohteista, viemärlaitoksen olemassa olevasta rakenteesta ja kuormitusta kuvaavista suureista) koettiin niin monitahoiseksi, että tähän ei haluttu suoraan pyrkiä. Päätökseen vaikutti myös se, että todella tärkeistä laatumuuttujista ja muista tärkeistä muuttujista (aikatekijä, rakenteellinen yksityiskohtaisuus), jotka optimointimallien tulisi sisältää, ei ollut läheskään riittävää kuvaa. Tämän vuoksi päädyttiin dynaamiseen simulointimalliin eli ns. toteavaan malliin, jonka avulla voidaan selvittää lähinnä, kuinka paljon viemärivettä ja minkä verran lika-aineita erilaisista viemärlaitosratkaisuksista (suora purkaminen, ylivuodot, ohitukset, puhdistamon purkuputki yms.) joutuu tiettyinä ajanjaksona vesistöön, mikä on näiden vesien määrän ja laadun muutos tapahtuman aikana ja mikä on tapahtumien väli sekä kuinka eri pisteistä vesistöön joutuvat lika-aineet fyysikaalisesti leviävät. Mallilla voidaan siis tarkastella olemassa olevan laitoksen ja verkon samoin kuin näihin suunnittelujen muutosten ominaisuuksia ja hyvyttä. Lisäksi malliin sisältyy mahdollisuus tietynlaisten säätötoimenpiteiden merkityk-

sen analysointiin, tosin mallissa ei käsittelylaitosta voida säätää suoraan verkon mukaan ja päinvastoin.

Koko viemärilaitoksen toimintaa kuvaava malli on jaettu neljäksi erilliseksi ohjelmistoksi, jotka ovat:

- viemäriverkko-ohjelmisto
- käsittelylaitosohjelmisto (keskuspuhdistamo-ohjelmisto)
- kustannuslaskentaohjelma
- purkuvesistöohjelma

Kokonaismallien yleisperiaatteiden lisäksi on tässä raportissa käsitelty ainoastaan käsittelylaitosohjelmistoa ja siihen kehitettyjä matemaattisia malleja. Viemäriverkko-ohjelmistoa käsitellään yksityiskohtaisemmin projektien SIMU ym. (YVY-projektin alaprojekteja) raporteissa. Kustannuslaskenta- ja purkuvesistöohjelmien kehittäminen ja käyttöönotto on kaavailtu tapahtuvaksi mallien edelleen kehittelyn yhteydessä.

Käsittelylaitosohjelmisto on rakentunut siten, että jokainen yksikköprosessi (veden ja lietteen käsittely) muodostaa erillisen aliohjelman, joita voidaan yhdistellä mielivaltaisesti halutun prosessikonaisuuden aikaansaamiseksi. Eri yksikköprosessimalleista on ensimmäisessä vaiheessa kehitetty seuraavat:

- tasausallas
- välppäys
- esiselkeytys/vaakalaskutus
- flotaatioselkeytys
- aktiivilieteprosessi (ilmastus + jälkiselkeytys)
- rinnakkaissaostus (ilmastus + Fe-lisäys + jälkiselkeytys)
- lietteen mädätys
- lietelinko

Malliin on mahdollista sisällyttää mikä tahansa yksikköprosessi ja mallilla voidaan tarkastella kaikkia normaalisti esiintyviä kytkentöjä eri yksikköprosessien välillä sekä muita käsittelylaitoksen toimintaan vaikuttavia tekijöitä.

Yksilöitynä ja luettelomaisesti esitettynä viemärilaitoksen kokonaissuunnittelumallilla voidaan tarkastella mm. seuraavia tekijöitä:

- erillis- ja sekaviemäriverkkojen sekä viemärivereden käsittelylaitosten mitoituksen tarkistus
- viemäriverkkojen luontaisen varastointikapasiteetin hyväksikäyttö
- varastoaltaiden ja -johtojen käyttö verkostossa (enintään kaksi verkoston sisäistä varastoa tietokoneajoa kohti)
- pumppujen, venttiilien, vedenjakojärjestelyjen yms. toiminnan ohjaus
- erillisjärjestelmän verkostoissa tapahtuva virtausten ohjaus esim. siirtämällä vettä verkostosta toiseen
- kaikkien verkostoista tulevien vesien mahdollinen käsittely
- erilaisten rakenteellisten ratkaisujen sekä säätö- ja ohjaustoimenpiteiden vaikutus toiminnan luotettavuuteen
- eri kuormitustekijöiden merkitys viemärilaitoksen kokonaistoimintatehon kannalta
- viemärilaitoksen piiriin tulevaa kuormitusta vähentävien ja tasaavien toimenpiteiden merkitys kokonaistoiminnan kannalta
- kuormituksen taseusmahdollisuudet viemärivereden käsittelylaitoksella
- sisäisten kiertojen aiheuttama ylimääräinen kuormitus viemärivereden käsittelylaitoksilla
- kuormituksen taseus ohjaamalla ja säätämällä käsittelylaitoksilla tapahtuvia pumppauksia yms.
- erityyppisten käyttöhäiriöiden vaikutus käsittelylaitosten toimintaan ja käsittelytehon palautuminen ennalleen häiriön jälkeen
- viemärilaitoksen piirissä tapahtuvien laajennusten, muutostöiden, korjausten yms. vaikutukset kokonaistoimintaan
- lika-aineiden fysikaalinen leviäminen purkuvesistöissä (ei kuitenkaan välillisten vaikutusten, kuten rehevöitymisen, tarkastelua)

Kokonaisuutena tarkastellen kokonaissuunnittelumalli tarjoaa hyvän pohjan koko viemärilaitosjärjestelmän toiminnan tarkastele-

miselle. Harkittaessa mallin käyttöä on kuitenkin aina muistettava, että suunnittelussa on aina lähdettävä itse ongelmasta. Tämä tarkoittaa, että suunnittelukohteen todellinen luonne, ratkaisuvaihtoehdot ja tavoiteasettelu tulee olla selvästi hahmoteltuna ennen kuin ryhdytään harkitsemaan mahdollista mallin käyttöä.

SUMMARY

In the work of reducing the load imposed by sewage systems on the recipient water the significance of storm waters as a rather remarkable load component is now being recognized with increasing clarity. It has been found at the same time that single expedients applied with reference to a given sewage system in order to reduce the amount of pollutants discharged into receiving waters may even be highly ineffective owing to the interaction of different parts of the sewage system. When this approach is used in the construction of a sewage system all detriments arising to the environment from it are not taken into account. As a result hereof it has become necessary to undertake an integral consideration of sewage system development. This in its turn has implied development of suitable planning methods, and as a partial step of the development the "VISA" (Systems Analysis of Sewage Systems) project was started as part of the "YVY" project (Communities' Water and Environment Project) of SITRA in July, 1974. The aim set for the project was to devise a framework for a computer programme system by the aid of which a sewage system could be integrally studied.

Subsequent to clarification of the contents of the integral consideration and of various operation and planning problems of sewage systems requiring such consideration it was found necessary to approach the problem field by steps. The first programming system was chosen to be a set of dynamic simulation programmes. After the fundamental principles governing the structure of the framework system had been clarified a search was made for mathematical partial models fitting the purpose. Such a model was found as regards simulation of the operation of a sewer network; for its modification, testing and calibration the "SIMU" project (Sewage Network Simulation Model) was started as part of the YVY project at the laboratory of water supply technology and systems theory of the Helsinki University of Technology.

With regard to treatment plants no model meeting the requirements was found, and it was therefore decided in the present project

(VISA) to embark on development of the system programmes and to fit them into the integral sewage system model in cooperation with the SIMU project.

In the VISA project the principle of integral consideration of a sewage system has been crystallized in the following aim. The programme system shall enable to study which are the measures to be carried out in the sewage system (measures in the drainage district, measures in the sewer system, enhancing the activity of the treatment plant, treatment of overflow waters, and other parallel or alternative measures) yielding with the sum of money to be invested the highest possible reduction of pollutants discharged into the receiving water, or alternatively which are the measures enabling the reduction of pollutants set as aim to be achieved with least cost. Partly included in the above is the aim of optimal control of the sewage system: which is the mode of controlling the sewage system minimizing the total pollutant quantities discharged from the sewers into the recipient water, or which is the mode of control by which the total pollutant discharge set as aim is obtained with least operating costs.

The solving of the sewage system designing and operating problem as a closed optimization problem (starting from the limit values of various pollutants, the amounts and objects of allowed investments, the existing structure of the sewage system and the quantities describing its loading) was felt to be so complex that it did not seem desirable to tackle it straightforwardly. This decision was also influenced by the fact that the existing data of the truly important quality variables and of other essential variables (time factor, structural details) which should be incorporated in the optimization models were far from adequate. On the strength of these considerations a dynamic simulation model was chosen, or a so-called descriptive model, by the aid of which it is possible in the first place to determine how much sewer water and which quantities of pollutants are discharged into the recipient from various types of sewage systems in a given period (direct discharge, overflow, by-passes, discharge pipe of the

treatment plant, etc.), what is the change in quantity and quality of these waters during the event and what is the interval of events, and how the pollutants introduced in the recipient at different points spread physically. It is thus understood that the model may be used to study the properties and quality of an existing system and network as well as those of the amendments planned to them. The model further comprises facilities for analysing the significance of control measures of certain kinds, although in the model the treatment plant cannot be directly controlled in accordance with the network or vice versa.

The model describing the whole sewage system has been subdivided into four separate sets of programmes, which are:

- the sewer network programmes
- the treatment plant programmes (central treatment plant programmes)
- the cost calculation programme
- the recipient water system programme.

In addition to the general principles of the integral models the present report only deals with the treatment plant programmes and the mathematical models devised within them. The sewer network programmes are presented in greater detail in the reports on the "SIMU" and other projects (sub-projects of the YVY project). The development and introduction of the cost calculation and recipient water programmes are planned to take place in connection with the further development of the models.

The structure of the treatment plant programming system is such that each unit process (treatment of water and sludge) constitutes a separate subroutine and these subroutines can be arbitrarily combined to obtain the desired process entity. The following individual unit process models have been worked out in the first step:

- the retention basin
- bar rack arrangements
- primary sedimentation

- dissolved air flotation
- activated sludge process (aeration plus secondary clarification)
- simultaneous precipitation (aeration plus Fe addition plus secondary clarification)
- anaerobic stabilisation
- sludge centrifuge.

It is possible to incorporate in the model any desired unit process, and the model may be used to study any normally encountered connections of different unit processes as well as other factors of influence on the operation of the treatment plant.

The following is an itemized, catalogue-type list of factors which may, among others, be studied by the aid of the sewage system integral planning model:

- checks of the dimensioning of separate and combined sewer networks and of sewage treatment plants
- utilization of the inherent storage capacity of sewer networks
- use of retention basins and lines in the network (maximum: two internal storage elements in the network per computer run)
- operation control of pumps, valves, water division systems, etc.
- control of flows in the networks of a separate system e.g. by transfer of water from one network to another
- potential treatment of all the discharges from the networks
- effect on the reliability of operation exerted by various design solutions and operation and control measures
- significance of various load factors in view of the overall operating efficiency of the sewage system
- significance, in view of overall operation, of measures serving to reduce and equalize the load arriving within the region of the sewage system
- possibilities existing for load equalisation at the sewage treatment plant

- extra load at the sewage treatment plant due to internal closed circuits
- equalisation of load by controlling and adjusting the pumping operations at the treatment plants, etc.
- effect exerted on the operation of treatment plants by service trouble of various types, and restoration of treatment efficiency after failure
- effects exerted on overall operation by extension, alteration, repair and other work within the region of a sewage system
- the physical spreading of pollutants in the recipient waters (consideration of indirect effects such as eutrophication excluded, however).

Considered as a whole, the integral planning model offers a good basis for studies of the operation of a whole sewage system. However, whenever an application of the model is contemplated it should be kept in mind that the designing shall always start from the problem itself. This means that the true nature of the object of planning, its alternative possible solutions and the formulation of aims shall be clearly outlined before the use of the model is considered.

1. JOHDANTO

Viemärilaitos on tyypillinen asutuskeskuksiin liittyvä järjestelmä, jonka tarkoituksena oli alun perin siirtää hyödyttömät jätteet veden välityksellä pois asutuskeskuksen alueelta. Tähän tarkoitukseen järjestelmä soveltuikin erinomaisesti taajamien ollessa vielä pieniä ja jätemäärien vähäisiä. Viemäriveresi- ja jätemäärien lisääntyessä ja taajamien kasvaessa alkoi esiintyä vakavia-kin likaantumishaittoja vesien purkupaikoilla ja niiden läheisyydessä, jolloin myös tavoitteet viemärilaitoksen toiminnan suhteen alkoivat muuttua. Lisätavoitteeksi tuli likaantumishaittojen vähentäminen, ja ratkaisuksi valittiin yleisesti viemäriveresien käsittely.

Nykyisten tavoitteiden ja jäteongelmien kannalta ei viemärilaitos ole välttämättä paras tai taloudellisin ratkaisu. Kokonaan toiselta pohjalta lähtevien vaihtoehtoisten järjestelmien kehittämisen esteenä on kuitenkin lähinnä kaksi tekijää: Ensinnäkin on totuttu käyttämään vettä hyvin runsaasti ja tämän vuoksi on ollut välttämätöntä rakentaa jonkinlainen käytöstä poistettujen vesien siirto- ja käsittelyjärjestelmä. Toiseksi jonkin täysin erilaisen järjestelmän vaatimat taloudelliset uhraukset olisivat hyvin suuret ja lisäksi olemassa olevan viemärilaitoksen kehittämiseksi tehdyt investoinnit menisivät tällöin osaksi hukkaan. Ainoaksi mahdollisuudeksi - joitakin erikoistapauksia lukuun ottamatta - on näin ollen jäänyt viemärilaitoksen jatkuva kehittäminen kulloisiakin tavoitteita vastaavaksi.

Vesistöjen veden laadun tultua yleisemmän mielenkiinnon kohteeksi on seurauksena ollut mm. viemärilaitoksen toiminnalle asetetun tavoitetaso jatkuva nousu, jota on varmistettu esim. lainsäädännöllisin toimenpitein. Tämä ja yhdyskuntien rakenteessa tapahtuvat jatkuvat muutokset ovat aiheuttaneet sen, että viemärilaitosjärjestelmät ovat muuttuneet yhä monimutkaisemmiksi ja vaikeammin hallittaviksi. Edelleen ovat vaatimustason kohoaminen ja viemärilaitoksen monimutkaistuminen vaatineet yhä suurempia investointeja, jolloin suunnittelussa ja hoidossa on täytynyt kiinnittää yhä

enemmän huomiota kokonaisuuden kannalta tarkoituksenmukaisiin ja taloudellisesti edullisiin ratkaisuihin.

Eräs mahdollisuus sopivien ratkaisujen haussa on kuvata viemärlaitosta tai jotakin sen osaa matemaattisten mallien avulla.

Mallit ja niillä saatavat tulokset toimivat tällöin päätöksenteon apuvälineenä muokkaamalla olemassa olevaa tietoa ja informaatiota siten, että johtopäätösten tekeminen helpottuu. Mallien käytöstä saatava hyöty voi tällöin ilmetä mm. seuraavasti:

- viemärlaitoksen toiminnan ohjauksen suunnittelu- ja toteuttamismahdollisuudet paranevat
- on mahdollista vertailla hyvin monia toteutusvaihtoehtoja, jolloin suunnitelmia toteutettaessa voidaan saavuttaa huomattavia investointisäästöjä
- tavoitteiden toteutumista ja mahdollisia muita vaikutuksia voidaan etukäteen arvioida entistä yksityiskohtaisemmin
- on paremmat mahdollisuudet arvioida eri tekijöiden merkitystä ja painoa kokonaisjärjestelmän kannalta, jolloin päähuomio on helpompi kiinnittää kokonaisuuden kannalta keskeisiin kysymyksiin

Malliajattelu ja siihen liittyvä matematiikka sekä erityisesti mallien käyttö ovat olleet suuresti riippuvaisia tietokoneiden ja tietojenkäsittelytekniikan kehittymisestä. Matemaattisten mallien käyttö eri tarkoituksiin onkin hyvin nopeasti lisääntymässä juuri sen vuoksi, että tietojenkäsittelytekniikan kehittyessä tietokoneiden käyttö on tullut yhtä helpommaksi ja halvemmaksi. Samalla on alettu kehittyä mallien kriittisessä käytössä, ja mallien luonne on alettu ymmärtää entistä paremmin.

2. MATEMAATTISTEN MALLIEN KÄYTTÖ JA LUONNE VESIHUOLTO-SUUNNITTELUSSA

2.1 Matemaattiset mallit

Matemaattisten mallien avulla pyritään yleisimmin kuvamaan jokin tapaus tai yhteys numeerisessa muodossa. Useat teknisiin ongelmiin liittyvät matemaattiset mallit ovat suhteellisen yksinkertaisia, mutta ne sisältävät hyvin paljon erilaisia laskentaoperaatioita ja monia erilaisia osamalleja, mistä johtuen tapahtuman analysointi numeerisesti on hyvin työlästä. Tämän vuoksi koko tapahtumaa kuvaavien mallien suoritus on pyritty rationalisoimaan kirjoittamalla peräkkäin ne loogiset etenemisvaiheet, joita tapahtuman kuvaaminen edellyttää sekä jättämään rutiinilaskennan suorittaminen tietokoneelle. Tällöin puhutaan syntyneestä sovellutuksesta, atk-sovellutuksesta tai yksinkertaisesti vain mallista.

Mallit onkin ymmärrettävä työkaluiksi ja tietokone laskukoneeksi. Aivan kuten kirvesmiehellä on pakki ja siinä tarvittava määrä työkaluja, joita hän käyttää eri tarkoituksiin, tulee suunnittelijalla olla erilaisia malleja, joita hän käyttää suunnittelutyön eri vaiheissa. Keskeinen merkitys on myös oikean työkalun valinnalla. Kuten kirvesmies kiertää ruuvin meisselillä eikä murjo sitä lekalla tulee suunnittelijan osata valita erilaisista malleista tarkoitukseen soveliain. Vielä kolmas seikka sovellustusten työkaluluonteesta tulee ymmärtää. Aivan kuten kirvesmiehellä on työssään tarve valmistaa erityistarpeeseen soveltuvia työvälineitä, joita ei vakiosarjoina ole saatavissa, on suunnittelijoillakin vaativissa suunnittelutehtävissä tarvetta tapauskohtaisiin malleihin. Luonteensa perusteella voidaankin mallit jakaa yksilöllisiin ja yleiskäyttöisiin. Jälkimmäisiä kutsutaan usein valmismalleiksi (valmisohjelmiksi). Usein käytetty on myös jako optimoiviin ja simuloiviin malleihin.

2.2 Yleiskäyttöiset mallit

Yleiskäyttöisten mallien kehittäminen on ollut kaikkein voimakkainta sovellutusalueella. Tyypillisiä mallien sovellutusalueita ovat fyysisen suunnittelun kohteet ja eräät yleissuunnittelun osakohteet. Luonteeltaan yleiskäyttöiset mallit ovat tiettyyn rajattuun standardimuotoiseen probleemaan soveltuvia.

Erityisesti yleissuunnittelua palvelevien yleiskäyttöisten mallien luonnetta ei aina olla ymmärretty, mikä on saattanut johtaa väärän probleeman ratkaisuun. On myös ollut havaittavissa, että koko suunnittelutavoite on saattanut hämärtyä ja yleissuunnittelmana saatetaan ymmärtää vain tietyn mallin standisoitu käyttö. Suuntausta on omiaan ollut vahvistamassa se, että valmisohjelmat ovat olleet paljolti atk-keskusten omistuksessa. Näihin insinöörialojen moninaisuuden ja tarjonnan suppea-alaisuuden vuoksi ei olla katsottu voitavan kuitenkään palkata muita kuin atk-orientoituneita ja atk-koulutuksen saaneita erikoismiehiä, joilta puuttuu riittävä erikoisalojen tuntemus. Tästä on ollut seurauksena, että tietämättä on pyritty muokkaamaan ne suunnittelutehtävät, joista on sovellutustarjontaa, hyvin suppeatavoitteisiksi ja sovellutusorientoituneiksi. On siis valittu ongelma sovellutuksen mukaan eikä sovellutusta ongelman mukaan.

2.3 Yksilölliset mallit

Yksilölliset mallit laaditaan probleemakohtaisiksi ottaen huomioon probleeman ominaispiirteet. Onhan täysin hyödytöntä käyttää valmissovellutusta, joka ei sovellu ongelmaan, mutta aivan yhtä lyhytnäköistä on luopua ongelman ratkaisemisesta sen vuoksi, että tähän ei löydy sopivaa sovellutusta.

Yksilöllisten sovellutusten kehittäminen on voimistunut valtavasti viime vuosina, mitä on pidettävä selvänä osoituksena, että matemaattiset mallit tulevat olemaan kiinteä osa suunnitteluprosessia kuten esimerkiksi perustietojen keruu eivätkä pelkkä tietokonepalvelu. Kehittämistarvetta ovat lisänneet järjestelmien ohjauk-

seen ja käytönvalvontaan liittyvä paljolti tietokonepohjainen metodiikan syntyminen. Näin ollen yksilöllisten mallien kehittäminen tulee aina tapahtua itse suunnitteluorganisaatiossa. Tämä suuntaus vaikuttaa koulutuksen rakenteeseen sekä edellyttää suunnittelukäytäntöjen ja -tavoitteiden uudelleenarviointia samoin kuin asennekasvatusta. Sen sijaan että puhutaan tietokoneisiin erikoistuneista suunnittelijoista tulisi puhua vain suunnittelijoista ja sisällyttää tarvittava annos malliajattelua koulutukseen kuten muitakin ammattiaineita.

Oma ongelmansa monien yksilöllisten ja yhtä lailla lähinnä yleissuunnittelua palvelevien yleiskäyttöisten mallien käytössä on tulosten analysointi ja niiden merkityksen arviointi. Useimmiten tulokset tulee ymmärtää vain suuntaa antavina. Toisin sanoen tuloksista tulee saada näkemys asioista tuijottamatta numeroihin. Tämä saattaa tuntua varsin nurinkuriselta, kun tulosten esitystarkkuus on usein vähintään kuusi desimaalia. Nämä tarkkuudet johtuvat kuitenkin lähinnä siitä, että mahdolliset virheet ohjelman toiminnassa tai perustiedoissa eivät jäisi huomaamatta ohjelman tulosten pyöristysten vuoksi.

Erityisesti yleissuunnitteluun soveltuvien mallien käytön tai käyttämättä jättämisen päättäminen on tapauskohtainen toimenpide. Aina ja kaikissa tapauksissa tulisi selvittää: mitä hyötyä mallista on tai voisi olla, miten hyvin malli kuvaa ongelman tai sen osan ja miksi ongelmaa ei ratkaista muulla tavoin. Valitettavasti näin ei useinkaan tehdä sillä seurauksella, että koskaan ei voida olla varmoja mallin antamista tuloksista ja käytön tarpeellisudesta. Samalla jää saamatta usein erittäin terveellinen mallien puutteisiin kohdistuva kritiikki, joka olisi omiaan kouluttamaan mallien kehittäjiä käytännön moninaisuuden ja moninaistavoitteiden ymmärtämiseen.

3. SIMULOINTI

3.1 Simuloinnin periaatteita

Simulointi tarkoittaa laajasti ottaen mitä tahansa toiminnan tai tapahtuman kuvaamista ja näin saatujen tulosten tulkintaa. Käsitteen laaja-alaisuuden johdosta ei voida esittää mitään tiettyä teoriaa tai menetelmää, jota sellaisenaan voitaisiin kutsua simuloinniksi. Simulointi edellyttää kuitenkin aina mallia tarkastelun kohteena olevasta järjestelmästä, jotta voitaisiin testata erilaisten toteutusvaihtoehtojen vaikutuksia muuttamatta olemassa olevaa järjestelmää.

Suuren joustavuutensa ansiosta simulointi soveltuu erityisesti monimutkaisten ja laajojen järjestelmien tarkastelemiseen. Simulointi on usein tällaisissa tapauksissa jopa ainoa järkevä tarkastelutapa lähinnä kolmesta syystä (Buras 1972, Deininger 1973, Fiering et al. 1971):

- jos varsinaisia analyttisiä menetelmiä sovellettaessa joudutaan systeemin kuvausta yksinkertaistamaan niin paljon, että olennaisia tekijöitä jää tarkastelusta pois, ei näitä menetelmiä ole mielekäästä käyttää
- todellisuutta kuvastava analyttinen malli tulee niin monimutkaiseksi, että ratkaisujen haku osoittautuu laskennallisesti mahdottomaksi
- järjestelmä sisältää sellaisia osia tai vuorovaikutuksia, ettei niitä kyetä mielekkäästi kuvaamaan analyttisillä malleilla

Simuloinnin soveltuvuudesta laajojen ja monimutkaisten järjestelmien tarkasteluun tarjoavat hyvän esimerkin paljon huomiota herättäneet ns. maailmanmallit. Nämä mallit, joita ovat Forresterin (1971) ja samaa kuvausmetodiikkaa edustava Meadowsin ym. (1973) malli sekä myöhemmin esitetty huomattavasti kehittyneempi ja toi-

senlaista metodiikkaa edustava Mesarovic-Pestelin malli (1973), ovat kaikki simulointimalleja.

Simuloinnin suurimpana puutteena on pidettävä sitä, ettei tuloksesta saada suoraan mitään optimiratkaisua tarkastelun kohteena olevalle ongelmalle. Sopivia ratkaisuja onkin haettava suorittamalla simulointi useilla eri lähtöolettamuksilla. Näin menetellen voidaan päästä hyvin lähelle optimiratkaisua, jos lähtöolettamusten suorittajat ja tulosten tulkitsijat ovat riittävän kokeneita ja kykenevät arvioimaan eri tekijöiden vaikutuksia ja painoa kokonaisuuden kannalta.

3.2. Simulointimallit

Simulointimallin rakenteen määräävät melko yksityiskohtaisesti tarkastelun kohteena olevan järjestelmän ominaisuudet ja mallin käytölle asetetut tavoitteet. Mallin rakenteeseen vaikuttavat jonkin verran myös käytettävissä olevat tietokoneet ja ohjelmointikielet. Malleja voidaan jaotella mm. mallin luonteen, käyttötarkoituksen, rakenteen, matemaattisten ominaisuuksien jne. perusteella.

Seuraavassa on suppeasti esitetty eräitä mallien jakoperusteita (Andersin et al. 1972):

- malli voi olla luonteeltaan staattinen tai dynaaminen
- Staattiset mallit kuvaavat muuttumattomassa tilassa olevia systeemejä, t.s järjestelmässä ei oleteta tapahtuvan muutoksia tarkastelun aikana. Dynaamiset mallit kuvaavat systeemejä, joissa tapahtuu muutoksia jonkin riippumattoman muuttujan (yleisimmin ajan) suhteen. Valinta staattisen ja dynaamisen tarkastelutavan välillä on keskeinen kysymys mallin käyttöta-voitteiden kannalta. Jos esimerkiksi halutaan selvittää, miten viemäriveden käsittelylaitos toimii mitoitus-tilanteen mukaisella kuormituksella, voidaan käyttää staattista mallia. Sen sijaan jos kiinnostuksen kohteena ovat nimenomaan kuormituksen vaihtelut eikä jokin tietty kuormitus, on välttämätöntä käyttää

dynaamista mallia.

- malli voi olla rakenteellisilta ominaisuuksiltaan ns. musta laatikko (black-box) tai rakennemalli
Kuvattaessa systeemiä mustana laatikkona ei kiinnitetä huomiota systeemin sisäiseen rakenteeseen ja siinä esiintyviin vuorovaikutuksiin, vaan pelkästään sisään menevien ja ulos tulevien kytkentöjen välisiin yhteyksiin. Rakennemallissa taas kuvaus perustuu systeemin osiin ja niiden välisiin vuorovaikutuksiin. Näin ollen voidaan rakennemallia tietyssä mielessä pitää useamman mustan laatikon yhdistelmänä. Yhdistelemällä systeemin perusosia suuremmiksi elementeiksi saadaan yksinkertaistettu rakennemalli, jota kutsutaan myös ns. harmaaksi laatikoksi (grey-box) (Shamir 1975).
- perusteiltaan malli voi olla joko teoreettinen tai empiirinen
Teoreettinen malli perustuu yleisesti hyväksytyihin lainalaisuuksiin ilmiöistä ja niiden välisistä yhteyksistä (esim. fyysiikan ja kemian peruslait), empiirinen malli taas perustuu kuvattavaa järjestelmää koskevaan havaintoaineistoon (esim. mittaustulokset, laboratoriokokeet jne.).

Mainittujen mallityyppien lisäksi muodostavat satunnaismallit oman ryhmänsä simulointimallien joukossa. Satunnaismalleja käytetään joko sellaisinaan tai muiden mallien osana kuvaamaan satunnaisia ja epäsäännöllisiä tapahtumia tai ilmiöitä. Lisäksi niitä käytetään ratkaisemaan matemaattisesti määriteltyjä numeerisia probleemoja.

4. VIEMÄRILAITOKSEN LUONNE

4.1 Viemärlaitos ja sen tehtävät

Käsite viemärlaitos sisältää laajasti ottaen tietyn rakenteellisen kokonaisuuden sekä laitoksen ylläpitämisen ja hoidon edellyttämät toiminnot.

Rakenteelliseen kokonaisuuteen kuuluvat (Kajosaari 1973) kaikki rakenteet ja laitteet, joita tarvitaan yhdyskunnan piirissä eri tarkoituksiin käytetyn veden keräämiseen, johtamiseen pois yhdyskunnan alueelta, käsittelyyn ja luonnonympäristöön palauttamiseen. Lisäksi viemärlaitokseen kuuluvat ne rakenteet ja laitteet, joita tarvitaan yhdyskunnan alueelle sateena, lumena tai haitallisena pohjavetenä kertyneen veden kokoamiseen ja pois johtamiseen sekä näiden vesien mahdolliseen käsittelyyn. Edelleen viemärlaitokseen kuuluvat ne laitteet ja rakenteet, joita tarvitaan vedestä erotettujen aineiden käsittelyyn ja luonnonympäristöön palauttamiseen. Vaihtoehtona luonnonympäristöön palauttamiselle on veden ja siitä erotettujen aineiden osalta käyttöönotto muihin tarkoituksiin, jolloin tätä käyttöönottoa voidaan pitää viemärlaitoksen rajana.

4.2 Viemärlaitostoiminnan tavoitteet

Viemärlaitostoiminnan tavoitteena on sille asetettujen tehtävien suorittaminen mahdollisimman taloudellisesti siten, että tiettyjä ympäristölle aiheutuvia haittoja ei pääse esiintymään. Tällaisiksi ympäristöhaittoiksi katsotaan seuraukset, joista saattaa olla vahinkoa ihmiselle itselleen tai ympäristölle, jossa ihminen vaikuttaa. Näitä ovat mm.

- vedestä ja lietteestä välittömästi tai välillisesti aiheutuva terveydellinen riski ihmiselle tai ihmisen kannalta hyödyllisille eläimille
- veden ja lietteen aiheuttamat esteettiset haitat
- vedestä ja lietteestä aiheutuvat aineelliset vahingot, jotka kohdistuvat rakenteisiin ja laitteisiin sekä tietyiltä osin

maaperään ja kasveihin

- veden käyttökelpoisuuden vähenemisestä aiheutuvat välittömät ja välilliset haitat

Erilaisten ympäristöhaittojen vähentämiseksi voidaan toimia periaatteessa kolmella tavalla:

- vaikuttaa viemärlaitoksen piiriin tulevien vesien määrään ja laatuun sekä niissä esiintyviin vaihteluihin
- vaikuttaa itse viemärlaitokseen
- vaikuttaa siihen osaan ympäristöstä, joka vastaanottaa viemärlaitoksen aiheuttaman kuormituksen

Ensimmäisen ryhmän muodostavat ne toimenpiteet, joilla pyritään vähentämään viemärlaitokseen tulevaa hydraulista kuormitusta ja muuttamaan veden laatua siten, että järjestelmä ei ylikuormitu. Mahdollisia toimenpiteitä ovat tällöin mm. seuraavat:

- vähennetään veden kulutusta
- muutetaan vedenkulutuksen ajallista jakautumaa
- estetään myrkyllisten tms. laadullisesti epäedullisten jätevesien pääsy järjestelmään
- vähennetään vuotovesien määrää
- vähennetään järjestelmään tulevien lika-aineiden määrää

Toisen ryhmän muodostavat itse viemärlaitokseen kohdistuvat toimenpiteet, jotka tähtäävät laitoksen toiminnan tehostamiseen. Tällaisia toimenpiteitä ovat mm. seuraavat:

- laajennetaan viemäriverkkoa
- käsitellään erikseen ne vedet, jotka joutuvat ylivuotojen tms. johdosta verkostosta pois
- liitetään verkostoon altaita yms. kuormitusta tasaavia elementtejä
- käytetään tehokkaasti hyväksi verkoston luontaista varastokapasiteettia esim. ohjaamalla pumppaamojen toimintaa jne.
- käsitellään viemäriveresiä itse verkostossa
- otetaan käyttöön uusia viemärivereden käsittelymenetelmiä
- laajennetaan käsittelylaitoksia
- käytetään viemärlaitoksen kapasiteettia paremmin hyväksi eri-

laisin ohjaus- ja säätötoimenpitein

- lisätään eri yksiköiden ja laitteistojen käyttövarmuutta ja luotettavuutta
- tehostetaan korjaus-, huolto-, valvonta- ja hoitotoimenpiteitä
- käytetään sellaisia käsittelymenetelmiä, jotka mahdollistavat veden ja/tai lietteen tehokkaan hyötykäytön

Kolmannen ryhmän muodostavat toimenpiteet, joita voidaan kohdistaa siihen osaan ympäristöä, johon viemärlaitoksella on vaikutuksia poistetun veden ja lietteen välityksellä. Nämä toimenpiteet tähtäävät yleensä ympäristön vastaanottokapasiteetin parantamiseen. Tähän ryhmään kuuluvista toimenpiteistä voidaan mainita esim. seuraavat:

- virtaus- tms. olosuhteiden muuttaminen vastaanottavassa vesistöissä
- jätevesien purkupaikkojen sopiva valinta
- lietteen sijoittamiseen sopivien kohteiden valinta
- ympäristön muokkaaminen kykeneväksi vastaanottamaan lietettä ja/tai vettä hyötykäyttöön

Edellä esitetyn toimenpideryhmittelyn yhteydessä on kuitenkin syytä korostaa, ettei mitään toiminnan tehostamiseen tehtäviä toimenpiteitä tule tarkastella erillisinä tai muista riippumattomina. Tämä johtuu siitä, että hyvien ratkaisuvaihtoehtojen löytäminen edellyttää ehdottomasti viemärlaitoksen kokonaisvaltaista ja kaikki tekijät huomioon ottavaa tarkastelua.

5. VIEMÄRILAITOKSEN TOIMINNAN SIMULOINTIIN LIITTYVIÄ NÄKÖKOHTIA JA KATSAUS SIMULOINTIMALLEIHIN

5.1 Viemärlaitossysteemin osajako

Viemärlaitoksen toiminnan simuloinnin kannalta on tarkoituksenmukaista jakaa viemärlaitossysteemi pienempiin osiin.

Useimpien toiminnallisten ongelmien tarkastelemiseen soveltuva viemärlaitoksen osajako on seuraava:

- viemäriveresien keräily ja kuljetus
Tälle osasysteemille on ominaista, että kaikki viemärlaitoksen piiriin tulevat vedet, joilla on merkitystä kokonaistoiminnan kannalta, kulkevat keräily- ja kuljetusjärjestelmän kautta.
- viemäriveresien ja lietteen käsittely
Veden ja lietteen käsittelyä on pidettävä yhtenä toiminnallisena kokonaisuutena lähinnä kahdesta syystä: Ensimmäinen käsittelyyn tuleva vesi on "raaka-aine", josta saadut päätuotteet ovat käsitelty vesi ja vedestä erotetut lika-aineet (liete). Toiseksi veden ja lietteen käsittely ovat toiminnallisesti hyvin kiinteässä molemminpuolisessa vuorovaikutussuhteessa, mikä jo sinänsä estää niiden erillisen tarkastelun.
- käsitellyn veden ja lietteen sijoittaminen
Vaikka sijoittamiskysymysten tarkastelu ei kuulukaan kiinteästi¹⁾ viemärlaitoskokonaisuuteen, niillä on keskeinen merkitys arvosteltaessa toiminnallisen kokonaisuuden vaikutuksia ympäristössä.

1) Viemäriveresien purkujärjestelyt ovat tästä poikkeuksena.

5.2 Viemäriveresien keräily ja kuljetus

5.21 Yleistä

Viemäriveresien keräily- ja kuljetusjärjestelmä koostuu kaikista niistä eri osista, jotka huolehtivat yhdyskuntien ja teollisuuden piirissä käytöstä poistetun veden, huleveden, lumen sulamisveden ja osittain myös pohjaveden keräilystä ja kuljetuksesta. Tavallisimmin tästä tehtävästä huolehtii viemäriverkko laitteineen ja rakenteineen.

5.22 Viemäriverkon toiminnallinen rakenne

Viemäriverkot voidaan tehtäviltään jakaa erillis- ja sekaviemäriverkostoihin. Hulevesi-, jätevesi- ja sekaviemäriverkot eivät toiminnalliselta kannalta kuitenkaan poikkea paljon toisistaan, joten periaatteessa niitä kaikkia voidaan käsitellä samalla tavoin.

Viemäriverkot ovat muodoltaan, toteutustavaltaan ja varustukseltaan muotoutuneet hyvin erilaisiksi paikallisten olosuhteiden mukaan. Kaikki viemäriverkot kuitenkin koostuvat (tai saattavat koostua) tietyistä elementeistä, jotka ovat periaatteessa samantlaisia verkostosta riippumatta.

Viemäriverkoston keskeisiä elementtejä ovat:

- johto-osuudet, jotka ovat yhdistetyt toisiinsa tavallisimmin kaivorakenteiden välityksellä
- kaivot, jotka yhdistävät kaksi tai useampia johtoja, sekä näihin liittyvät ylivuoto- tms. vedenjakojärjestelyt
- pumppaamot, joihin tuleva johto (johdot) on yleensä gravitaatioperiaatteella toimiva ja joista lähtevä johto on yleensä painejohto
- varastoaltaat ja -säiliöt, jotka ovat joko verkoston suoranaista osana tai erillisinä, jolloin kaikki vesi ei kulje kyseisten varastojen kautta

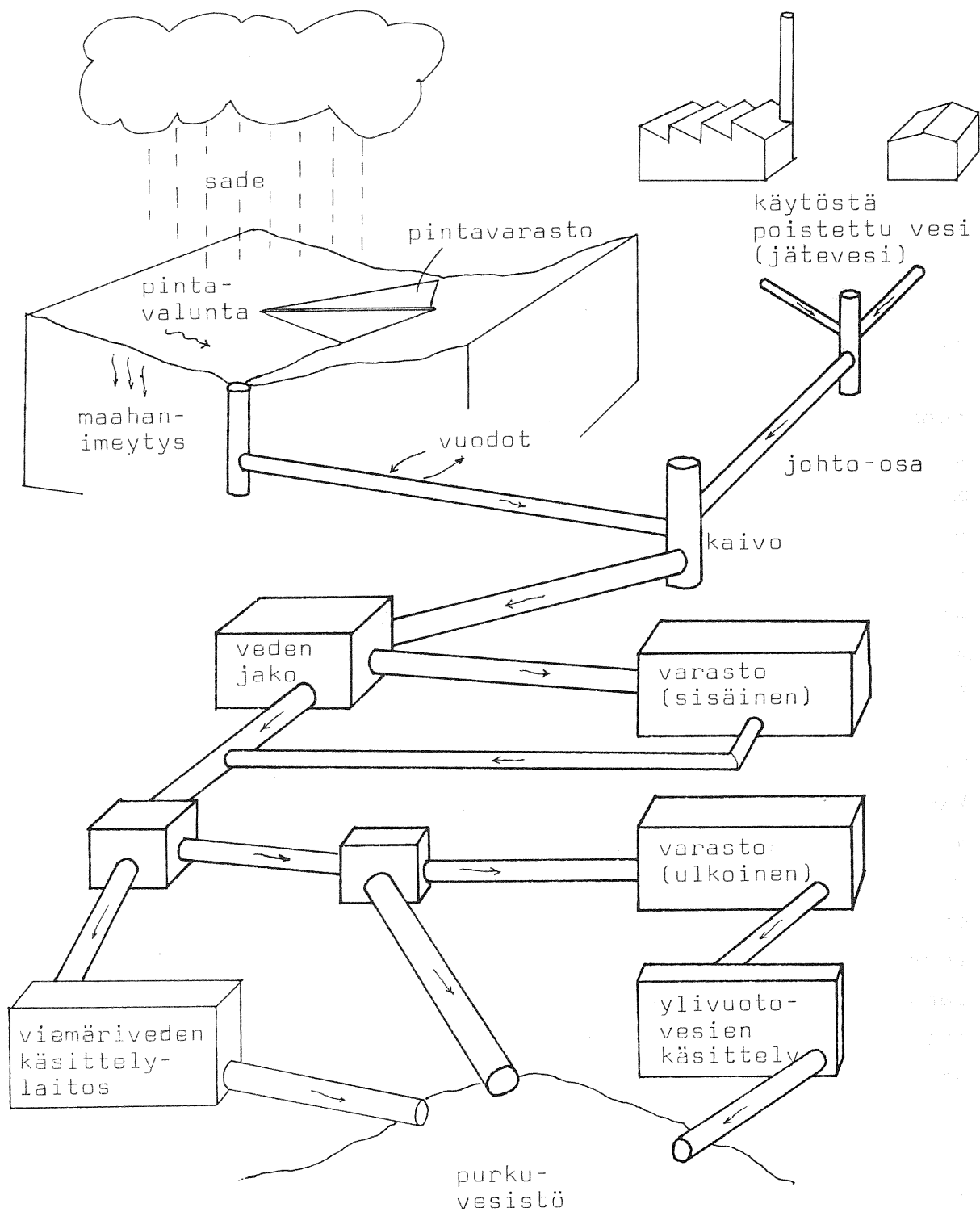
Kuvassa 1 on tarkasteltu viemäriverkon eri elementtien keskinäisiä kytkentöjä silloin, kun kysymys on sekaviemäröinnistä. Sekaviemäriverkko on valittu tarkastelun kohteeksi lähinnä sen johdosta, että se sisältää kaikki elementit, jotka tulevat kyseen myös erillisviiemäröinnissä.

Koko viemäriverkoston liittyvän tärkeän tekijän muodostavat lisäksi toiminnan säätö- ja ohjausmahdollisuudet. Tämä johtuu siitä, että painejohtoja lukuun ottamatta virtaus verkostossa on viiveellistä, ts. koko järjestelmää voidaan pitää sarjana erikoisia ja -tyyppisiä varastoja, jotka periaatteessa antavat mahdollisuuden hyvin laajamittaiseen virtausten ohjailuun. Verkoston varastokapasiteetin nykyistä tehokkaampaan hyväksikäyttöön onkin tämän vuoksi tulevaisuudessa kiinnitettävä huomattavasti enemmän huomiota.

5.23 Simulointi viemäriverkon toiminnan kuvaamisessa

Viemäriverkon toiminnan simulointi edellyttää mahdollisuutta tarkastella erilaisia rakenteellisia ratkaisuja sekä säätö- ja ohjaustoimenpiteitä. Viemäriverkoston toimintaa kuvaavilla simulointimalleilla tulisi näin ollen voida tarkastella mm. seuraavia tekijöitä:

- verkoston mitoituksen tarkistus lähinnä johtokokojen osalta
- eri linjausvaihtoehtojen toiminnallinen tarkistus
- varastoaltaiden käyttö verkostossa
- varastojohtojen (esim. suuriläpimittaiset putket, tunnelit) käyttö verkostossa
- pumppaamojen toiminnan ohjaus ja säätö
- muut verkoston säätö- ja ohjaustoimenpiteet
- sekajärjestelmän ylivuotovesien ja erillisjärjestelmän hulevesien mahdollinen käsittely
- viemärivereden käsittelylaitokselle tulevan kuormituksen tasaiminen muilla kuin em. keinoilla
- jakokaivojen toiminnan ohjaus ja säätö
- koko verkoston varastokapasiteetin tehokas hyväksikäyttö (sisältyy osittain edellisiin)



Kuva 1. Viemäriverkon toiminnallinen rakenne.

- erilaisten rakenteellisten ratkaisujen sekä säätö- ja ohjaustoimenpiteiden vaikutus toiminnan luotettavuuteen
- eri kuormitustekijöiden merkitys verkoston kokonaistoimintatehon kannalta
- verkostoon tulevaa kuormitusta vähentävien toimenpiteiden tai tekijöiden merkitys verkoston toiminnan kannalta

5.24 Katsaus viemäriverkkojen simulointimalleihin

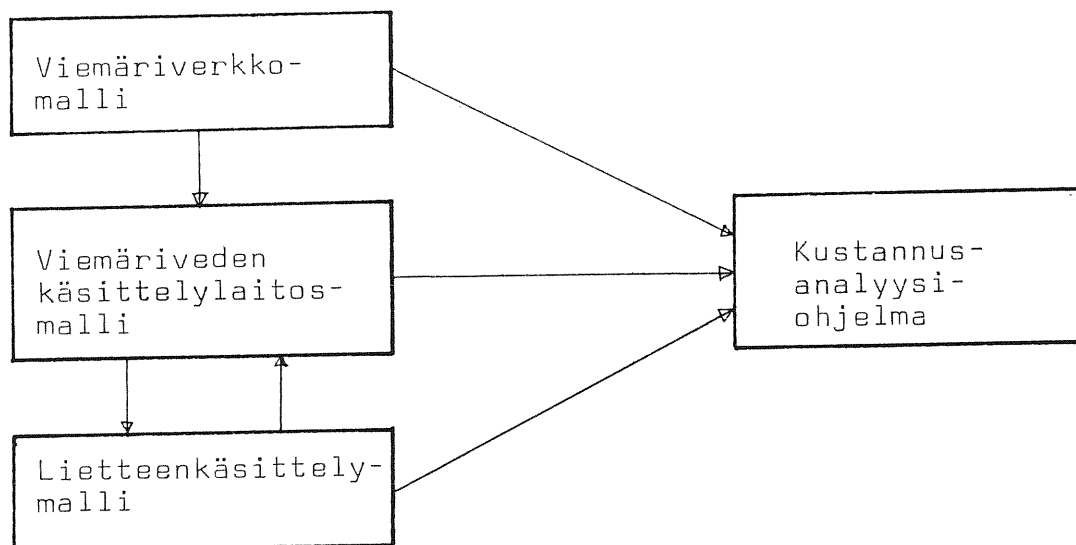
Viemäriverkkojen toiminnan simuloinnin kannalta tarjoavat yksinkertaisimmat esimerkit ne mallit, jotka samalla sisältävät verkoston optimaalisen mitoituksen. Näissä on yleensä lähtökohdana se, että tarkastelun kohteena olevissa tilanteissa suoritetaan verkoston hydraulinen mitoitus siten, että tiettyjä ennalta määritettyjä haittoja (esim. tulvehtiminen) ei esiinny. Tuloksina tämän tyyppisillä malleilla saadaan yleensä verkoston edullisin linjaus johtokokoineen joko horisontaali- (esim. Yletyinen 1973) tai vertikaalitasossa (esim. Dajani et al. 1974, Merrit et al. 1973, Walsh et al. 1973), joissakin tapauksissa molemmissa tasoissa (esim. Argaman et al. 1973).

Varsinaiset simulointimallit ovat yleensä toiminnan tarkastelun kannalta huomattavasti monipuolisempia, mutta niitä ei sen sijaan voida käyttää suoranaisesti verkoston mitoituksessa. Koko viemäriverkoston toimintaa kuvaavia, yleisiä simulointimalleja on melko vähän. Tämä johtuu lähinnä siitä, että jo pelkästään verkon hydraulista toimintaa kuvaavista malleista tulee hyvin laajoja. Jos tarkastelun kohteena on myös veden laatu, mallit ovat jo niin laajoja, että niistä tehtyjä ohjelmistoja voidaan ajaa vain suurtietokoneilla.

Viemäriverkkojen toiminnan melko yksityiskohtaiseen kuvaamiseen soveltuvista malleista on Norjassa NIVAn (Norsk Institutt for Vannforskning 1973) toimesta kehitetty koko viemärilaitosta kuvaava malli sekä Yhdysvalloissa EPAn (Environmental Protection Agency) toimesta kehitetty malli (SWMM) (Metcalf & Eddy et al. 1971), jossa kiinnitetään erityistä huomiota hulevesien vaiku-

tuksiin. Molemmat mallit soveltuvat sekä erillis- että sekaviemärijärjestelmien toiminnan tarkasteluun ja molemmat sisältävät myös hulevesien pintavirtauksen laskennan.

Norjassa kehitetty malli sisältää verkostomallin lisäksi viemäriveresien ja lietteen käsittelyä kuvaavat yksinkertaiset mallit. Koko malli on periaatteessa jaettu neljäksi eri tietokoneohjelmaksi (kuva 2), joita tietyssä määrin voidaan käyttää myös erikseen. Tarkastelun kohteena olevat muuttujat ovat tässä mallissa virtaama ja biologinen hapenkulutus (BHK). Tuloksena mallista saadaan mm. johto-osittaiset tiedot virtaamista, täyttöasteista, virtausnopeuksista, kapasiteettien ylityksistä jne., ylivuotojen määristä ja BHK-pitoisuuksista, käsiteltyjen viemäriveresien määristä ja BHK-pitoisuuksista, tasausaltaiden toiminnasta, vesistöön joutuvista BHK-määristä, liettemääristä jne.



Kuva 2. NIVAn simulointimallin eri tietokoneohjelmien väliset yhteydet.

Yhdysvalloissa kehitetty simulointimalli (SWMM) on NIVAn mallia laajempi ja monipuolisempi¹⁾. Se ei kuitenkaan sisällä viemäri-vesien käsittelylaitos- ja lietteenkäsittelymallia. Sen sijaan tällä mallilla voidaan tarkastella sekajärjestelmän ylivuotovesien (tai erillisviemäröityjen hulevesien) käsittelyä sekä tiettyjen kuormituskomponenttien leviämistä vesistössä. Tarkastelun kohteena olevat muuttujat ovat tässä mallissa virtaama, kiintoainepitoisuus, BHK ja kolibakteerien kokonaismäärä. Mallilla saatavat tulokset ovat periaatteessa samantyyppisiä kuin NIVAn mallilla, ja tulostus sisältää taulukkoja ja graafisia esityksiä virtaama- ja kuormituskäyristä mallin käyttäjän valitsemissa verkoston kohdissa ja purkuvesistössä. Malli koostuu viidestä erillisestä aliohjelmalohkosta, joiden keskinäinen toiminta on esitetty kuvassa 3 (s. 19).

Molempien mallien käytöstä on jonkin verran kokemuksia, ja saadut tulokset vaikuttavat melko lupaavilta (NIVAn malli: esim. Lindholm 1974, SWMM: mm. Metcalf & Eddy et al. 1971 b).

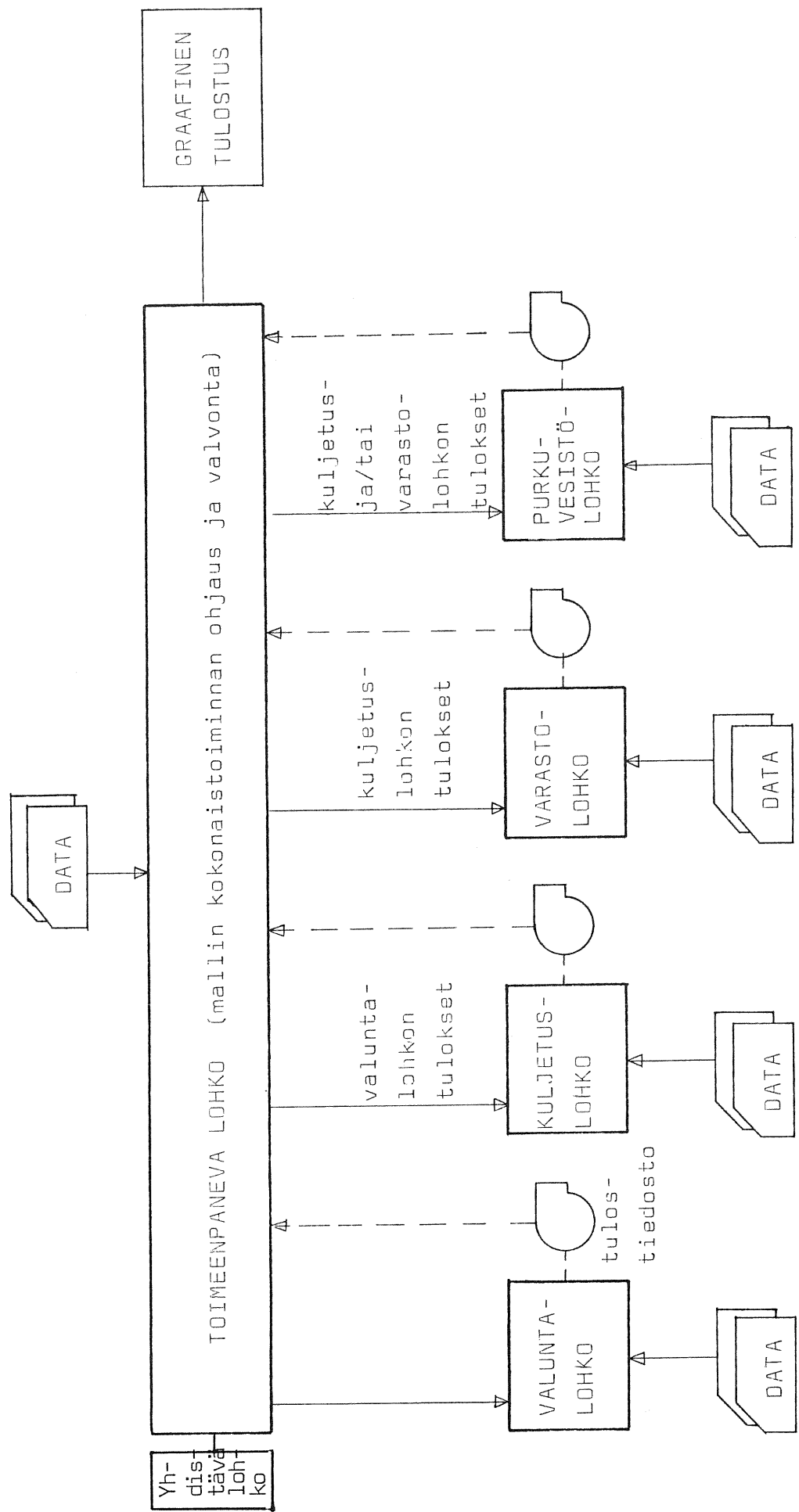
5.3 Veden ja lietteen käsittely

5.31 Yleistä

Viemäriveden käsittelyn tavoitteena on poistaa tai muuttaa vedessä olevia aineita siten, että käsitelty vesi aiheuttaa sijoituskohteessaan (yleensä purkuvesistö) mahdollisimman vähän haittaa. Käsittelylle on ominaista, että prosessikokonaisuus voidaan jakaa tiettyihin osiin l. yksikköprosesseihin.

Viemäri-vesien käsittelylaitoksille on ominaista, että veden ja lietteen käsittelyn yksikköprosessien välillä on erittäin suuret molemminpuoliset vuorovaikutukset. Viemäri-vesien käsittelyn toiminnan simulointi edellyttääkin näin ollen veden ja lietteen kä-

1) EPAn mallissa (SWMM) on kiinnitetty huomiota mm. seuraaviin tekijöihin, joita NIVAn mallissa ei ole: viemäreissä tapahtuva padotus, viemäreiden tulvehtiminen, vuotovedet, huleveden varastoituminen maan pinnalle ja suotautuminen, lumen sulaminen jne.



Kuva 3. EPAn mallin (SWMM) ohjelmiston rakenne.

sittelyn tarkastelemista kiinteänä kokonaisuutena, jotta kaikki laitoksen toimintaan vaikuttavat kytkennät eri yksikköprosessien välillä voitaisiin ottaa huomioon.

5.32 Käsittelylaitosten toiminnallinen rakenne

Viemärivereden käsittelylaitos voidaan jakaa toiminnallisiksi osiksi siten, että yksi osa kuvaa aina yhtä yksikköprosessia tai sen sovellutusta. Tällainen jaottelu on veden käsittelyn osalta esitetty kuvassa 4. Mahdolliset kytkennät veden käsittelyn yksikköprosessista lietteen käsittelyn yksikköprosesseihin ilmenevät kuvasta 4 ja vedenkäsittely-yksikköjen väliset mahdolliset kytkennät taulukosta 1.

Lietteenkäsittely-yksiköiden jaottelu voi tapahtua periaatteessa vastaavalla tavalla (kuva 5, s. 23, taulukko 2, s. 24).

5.33 Simulointi käsittelylaitosten toiminnan kuvaamisessa

Viemärivereden käsittelylaitoksen toiminnan ja siihen vaikuttavien tekijöiden testaaminen edellyttää erilaisten kytkentöjen ja rakenteellisten ratkaisujen sekä säätö- ja ohjaustoimenpiteiden tarkastelua. Käsittelylaitosten toimintaa kuvaavilla simulointimalleilla tulisi näin ollen voida tarkastella mm. seuraavia tekijöitä:

- käsittelylaitosten eri yksikköprosessien mitoituksen vaikutusta laitokselta lähtevän jäteveden laatuun
- kuormituksen tasaamisen vaikutusta laitokselta lähtevän jäteveden laatuun
- sisäisten kiertojen aiheuttamaa ylimääräisen kuormituksen vaikutusta laitokselta lähtevän jäteveden laatuun
- laitoksen ohjauksen ja säädön vaikutusta laitokselta lähtevän jäteveden laatuun
- erilaisten rakenteellisten ratkaisujen sekä säätö- ja ohjaustoimenpiteiden vaikutusta käsittelylaitokselta lähtevän jäteveden laatuun
- eri kuormitustekijöiden merkitystä käsittelylaitoksen toimintatatehon kannalta

- kuormituksen tasausjärjestelyt

1. tasaus-
allas

- mekaaninen käsittely

2. välppäys

3. hiekan-
erotus

4. siivilöinti

5. esiselk./
vaakalask.

6. esiselk./
pystylask.

7. esiselk./
flotaatio

8. hiekka-
suodatus

9. selkeytys/
vaakalask.

10. selkeytys/
pystylask.

11. selkeytys/
lamellit

12. selkeytys/
flotaatio

- kemiallinen käsittely

13. hiutalointi
Ca

14. hiutalointi
Al

15. hiutalointi
Fe

16. esi-
ilmastus

17. desinfiointi
halogeenit

18. desinf.
pH

19. ionin-
vaihto

20. neutra-
lointi

21. typenp./
strippaus

- biologinen käsittely

22. tav. akt.
lietemen.

23. akt. liete
porrast.s.

24. akt. liete
kontaktistab.

25. akt.liete
pitkäilm.

26. rinnakkais-
saostus (Fe)

27. rengas-
kanava

28. biologinen
suodatin

29. lammikko

30. ilmastettu
lammikko

31. imeytys-
ojasto

32. denitri-
fikaatio

- fysikaalinen käsittely

33. lämpö-
käsittely

34. aktiivi-
hiili

35. käänt.
osmoosi

36. elektro-
dialyysi

n:o yksikkö-
prosessi



mahdollinen kytkentä lietteen käsittelyyn

Kuva 4. Viemäriveden käsittelyn yksikköprosessit.

Taulukko 1. Viemärivereden käsittelyn yksikköprosessien väliset kytkennät.

Yks. p. n:o	5-			17,			13-			22-			29,																										
	1	2	3	4	7	8	9-	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36					
tuleva	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
1																																							
2																																							
3																																							
4																																							
5-7																																							
8																																							
9-12																																							
13-15																																							
16																																							
17,18																																							
19																																							
20																																							
21																																							
22-25																																							
26																																							
27																																							
28																																							
29,30																																							
31																																							
32																																							
33																																							
34																																							
35																																							
36																																							

- yksikköprosessien numerot viittaavat kuvan 12 mukaiseen numerointiin

- "tuleva" tarkoittaa käsittelyyn tulevaa vettä

- taulukossa on ilmaistu mahdolliset kytkennät merkinnällä 1 siten, että vasemmassa reunassa on elementti, josta lähdetään, ja pystyriiveillä elementit, joihin voidaan siirtää

- kunnostusmenetelmät

41. mädätys 1-vaiheinen	42. mädätys 2-vaiheinen	43. ilmastus	44. kemik. + polym. kunn.
45. pastörointi	46. lämpö- käsittely	47. kalkki- kunnostus	48. kompos- tointi
49. lietteen pesu	50. lietteen jäädytys		

- vedenerotusmenetelmät

51. tiivistys/ laskeutus	52. tiivistys/ hämmennys	53. tiivistys/ flotaatio	54. seulonta, siivilöinti
55. linko	56. imu- suodatin	57. paine- suodatin	58. suoto- nauha
59. lava- kuivaus	60. lämpö- kuivaus	61. poltto	

- lietteen siirto

62. ajoneuvo- kuljetus	63. putki- kuljetus
---------------------------	------------------------

n:o yksikkö-
prosessi

↑
lietteen mahdollinen
palautus vesiprosessiin

Kuva 5. Lietteiden käsittelyn yksikköprosessit.

Taulukko 2. Lietteän käsittelyn yksikköprosessien väliset kytkennät.

yks. p. n:o	41,	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51,			55-	58	59	60	61	62	63	huom!	
tuleva	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		
41, 42				1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal. 2)
43				1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
44				1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
45	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
46								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
47								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
48																		1	1	1	1	
49				1				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
50				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
51, 52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
55-58				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
59				1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
60								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
61								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	pal.
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

1) "tuleva": mahdollisesti seuraavista veden käsittelyn yksikköprosesseista (kuva 12, taulukko 3) 4,5,6,7,9,10,11,12,22,23,24,25,26,27,28,29,30,35

2) pal. on erotetun lifeteveden mahdollinen palautus vesiprosessiin

- taulukossa on ilmaistu mahdolliset kytkennät merkinnällä 1 siten, että vasemmassa reunassa on elementti, josta lähdetään, ja pystyriveillä elementit, joihin voidaan siirtä

- käsittelylaitokselle tulevaa kuormitusta vähentävien toimenpiteiden merkitystä laitokselta lähtevän jäteveden laatuun
- erityyppisten käyttöhäiriöiden vaikutusta laitokselta lähtevän jäteveden laatuun ja käsittelytehon palautumista ennalleen häiriön jälkeen
- käsittelylaitosten laajennusten, muutostöiden, korjausten ja huollon vaikutukset laitokselta lähtevän jäteveden laatuun
- hoidon ja valvonnan tason merkitystä laitoksen kokonaistoiminnalle
- erilaisista jäteveden ja lietteen käsittelyratkaisuksista aiheutuvia kustannuksia ja/tai saavutettavaa hyötyä

5.34 Katsaus käsittelylaitosten simulointimalleihin

Viemäriveden käsittelylaitosten toiminnan simulointiin soveltuvat mallit voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: toisen ryhmän muodostavat ne mallit, joilla voidaan tarkastella koko käsittelyprosessia, ja toisen ryhmän ne mallit, jotka kuvaavat jonkin tietyn yksikköprosessin tai koko prosessin osan toimintaa.

Prosessikokonaisuuksia kuvaavia malleja on laadittu melko vähän. Ehkä parhaan esimerkin niistä tarjoaa aiemmin mainittu NIVAn malli¹⁾ (Norsk Institutt for Vannforskning 1973), jossa on otettu huomioon myös lietteen käsittely. Mallin käyttöä rajoittavana tekijänä voidaan pitää sitä, että malli on luonteeltaan staattinen, joten sen avulla ei saada tietoja esim. häiriöiden vaikutuksista prosessin toimintaan.

Käsittelyprosesseja kuvaavia malleja, joissa lietteen käsittelyä ei ole otettu huomioon, on suhteellisen runsaasti. Yleisimmin ovat tarkastelun kohteena aktiivilieteprosessi (esiselkeytys - ilmastus - jälkiselkeytys) ja sen toimintateho BHK:n suhteen (mm. Chen et al. 1972, Lacroix et al. 1972 a, Moser et al. 1972). Tämäntyyppisiin malleihin liittyy toisinaan myös tavoitteita määrittäviä eri allasyksiköiden²⁾ keskinäiset optimitilavuudet (mm.

1) kohta 5.24, s. 16

2) tavallisimmin ilmastus- ja selkeytysaltaat

Naito et al. 1969, Parkin et al. 1972, Sedzikowski 1972), mutta saavutetut tulokset eivät näytä kovin rohkaisevilta.

Veden ja lietteen käsittelyn yksikköprosesseista on myös tehty suhteellisen runsaasti simulointimalleja. Näistä yksikköprosesseilleistä mainittakoon m.. seuraavat:

- aktiiviliete (ilmastus - jälkiselkeytys) (Andrews 1974, Fairall 1972, Goodman et al. 1974)
- biologinen suodatin (Gotaas et al. 1973)
- jälkiselkeytys (Rex Chainbelt 1972)
- hiekkasuodatus (Deb 1970)
- jätevesilammikot (Kormanik 1969, Martin 1973)
- typenpoisto strippaamalla (Roesler et al. 1971)
- elektrodialyysi (Pruyn et al. 1969)
- mikrosiivilä (Engineering Science 1971, Metcalf & Eddy et al. 1971 a)
- flotaatio (Metcalf & Eddy et al. 1971 a)
- lietteen mädätys (Andrews 1974, Fan et al. 1973)
- lietteen poltto (Unterberg et al. 1971)

Useat näistä malleista on kuitenkin laadittu ko. yksikköprosessin keskimääräistä toimintaa kuvaavien havaintotulosten perusteella¹⁾ (regressiomalleja), joten niitä ei voida käyttää toiminnan kuvaamiseen muuttuvissa kuormitusolosuhteissa tai häiriötms. tilanteissa.

Prosessien ohjaukseen ja säätöön liittyviä kysymyksiä on tarkasteltu melko runsaasti (mm. American Public Works Association 1970, Andrews 1972, Andrews 1974, Bernard 1972, Brett et al. 1973, Brouzer 1972, Davis et al. 1973, Emde et al. 1972, Guarino et al. 1972, Lacroix et al. 1972 b, McVie et al. 1972, Sherrard et al. 1973, Uhte 1970, Walker 1971, Wood 1972).

1) Poikkeuksen muodostavat lähinnä biologisia prosesseja kuvaavat mallit.

5.4 Veden ja lietteen sijoittaminen

Viemärilaitoskokonaisuuteen kuuluvat keräily-, kuljetus- ja käsittelyjärjestelyjen lisäksi myös veden ja lietteen sijoittamiskysymykset. Keskeisiä tekijöitä ovat tältä osin eri sijoittamisratkaisujen suorat ja epäsuorat taloudelliset ja ympäristön laatuun liittyvät vaikutukset.

Viemärilaitoksen toiminnan ja toiminnasta aiheutuvien vaikutusten kannalta ovat tärkeimpiä kysymyksiä:

- viemäriveriesien purkupaikan (paikkojen) valinta
- kuormitusta aiheuttavien aineiden leviäminen ja vaikutukset purkuvesistössä
- viemäriveriesien hyötykäyttömahdollisuudet
- lietteiden hyötykäyttö ja/tai mahdollisimman vähän haittaa aiheuttava sijoittaminen

Kun otetaan huomioon, että maaperän kyky vastaanottaa likakuormitusta aiheuttavia aineita on hyvin paljon suurempi kuin vesistöjen, tulevat viemärilaitoksen toiminnan kannalta tärkeimmäksi tekijäksi likakuormituksen vaikutukset purkuvesistössä.

6. VIEMÄRILAITOKSEN KOKONAISUUNNITTELMALLI

6.1 Kokonaissuunnittelumallin rakenne

6.11 Kokonaismalli

Koko viemärlaitoksen toimintaa kuvaava malli on jaettu neljäksi erilliseksi ohjelmistoksi, jotka ovat:

- viemäriverkko-ohjelmisto
- käsittelylaitosohjelmisto (keskuspuhdistamo-ohjelmisto)
- kustannuslaskentaohjelma
- purkuvesistöohjelma

Ohjelmistojärjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 6.

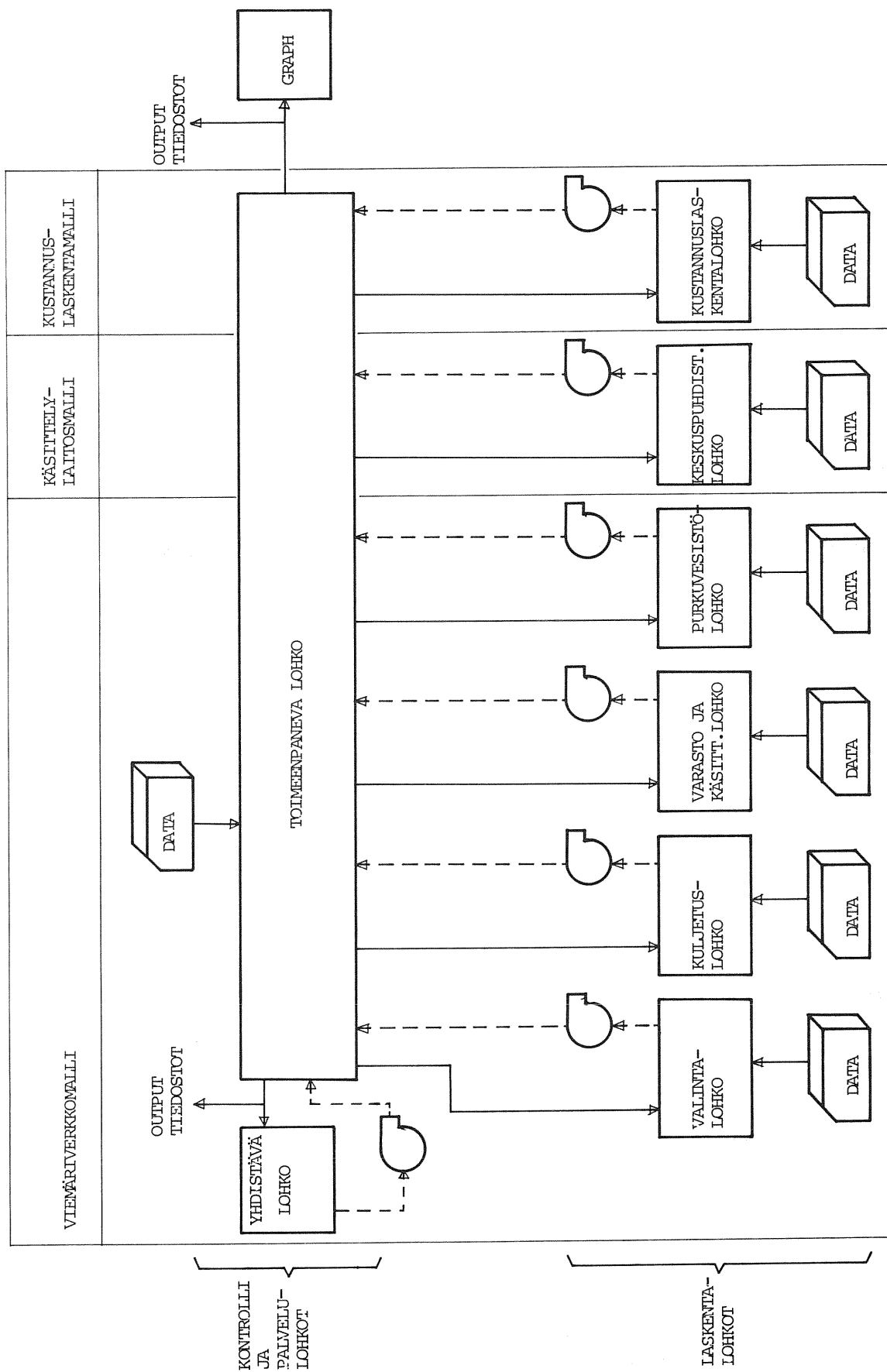
Ohjelmistojen erillisestä käytöstä aiheutuvia mahdollisia haittoja on kyetty tehokkaasti vähentämään siten, että ohjelmistot voivat käsitellä samoja tiedostoja, jolloin tietojen siirto on mahdollisimman yksinkertaista eikä käyttäjän tarvitse suorittaa tulosten välikäsittelyä.

6.12 Viemäriverkkomalli

Malli on jaettu viideksi erilliseksi ohjelmistolohkoksi, jotka ovat (Metcalf & Eddy et al. 1971 a):

- yhdistävä lohko
- toimeenpaneva lohko
- valuntalohko
- kuljetuslohko
- varasto- ja ylivuotovesien käsittelylohko
- purkuvesistölohko

Toimeenpanevaa lohkoa voidaan sanoa myös mallin pääohjelmaksi, sillä se valvoo mallin kokonaistoimintaa ja kutsuu muita lohkoja tarvittaessa. Valuntalohko laskee huleveden kulkeutumisen pinta-, kouru- ja putkivirtauksena viemäriverkon pääviemäreihin. Tämä lohko laskee myös hulevesien sisältämän likakuormituksen. Kul-



Kuva 6. Kokonaismallin rakenne

jetuslohko siirtää hulevedet, jätevedet ja mahdolliset vuotovedet pääviemärien ja enintään kahden sisäisen varastotilan kautta purkupaikkoihin. Varastolohko laskee muutokset viemäriveden ja lika-aineiden valuntakäyrissä, kun viemärivesi virtaa yhden (käyttäjän valitseman) varasto- ja ylivuotovesien käsittely-yhdistelmän kautta. Purkuvesistölohko laskee vesistön virtausolosuhteista annettujen tietojen perusteella lika-aineiden leviämisen vesistössä.

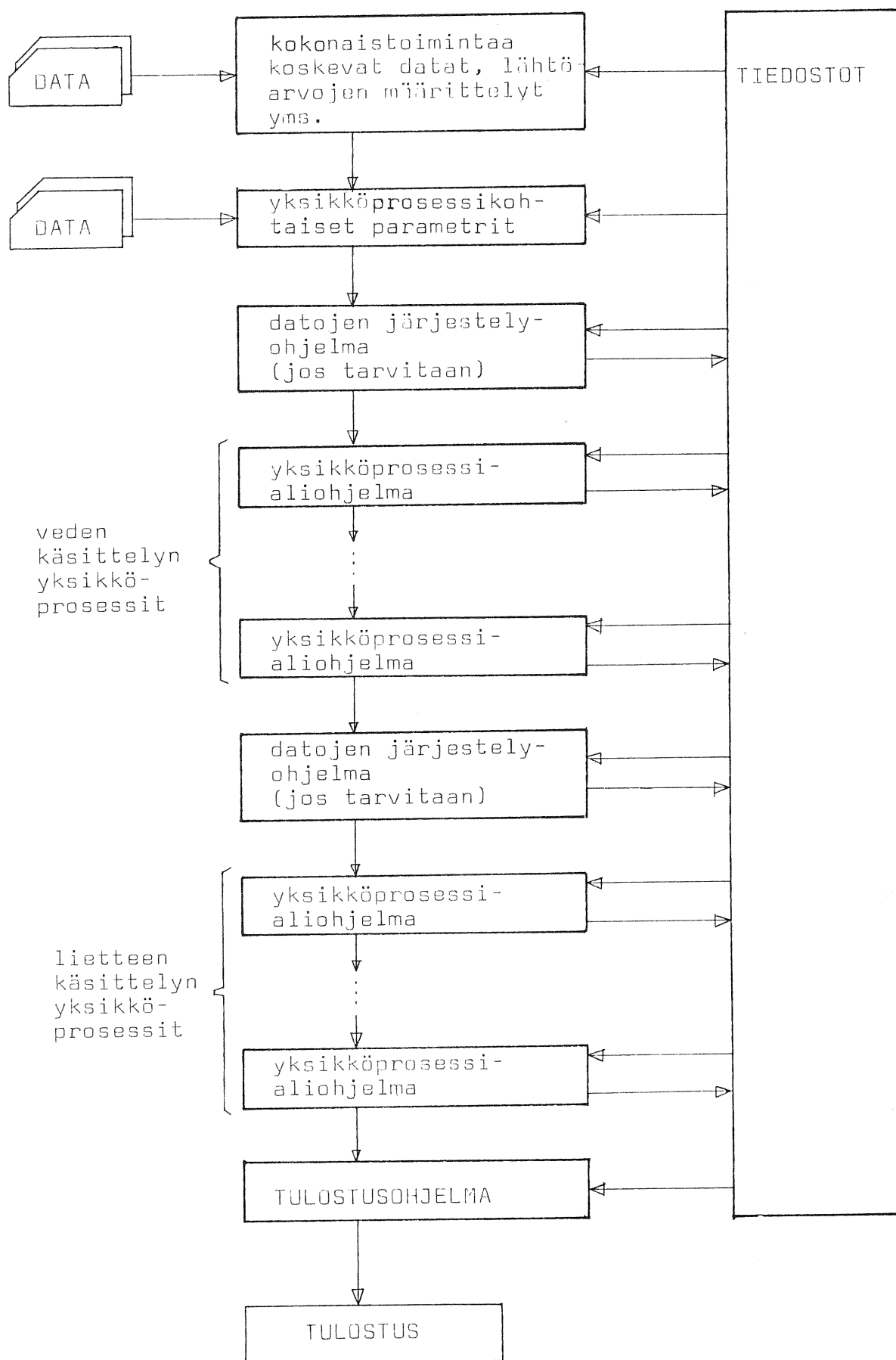
Viemäriverkkomalliin voidaan sisällyttää kohdassa 5.22 esitetyt rakenteelliset osat, ja sillä voidaan tarkastella pääosaa kohdassa 5.23 esitetyistä tekijöistä. Verkkomallia käsitellään yksityiskohtaisesti SIMU-projektin loppuraportissa, joka on erillinen YVY-julkaisu.

6.13 Käsittelylaitosmalli

Käsittelylaitosmallin ohjelmiston rakenne on kuvassa 7. Ohjelmisto on rakentunut siten, että jokainen yksikköprosessi (veden ja lietteen käsittely) muodostaa erillisen aliohjelman. Pääohjelma sisältää tällöin tarvittavat määrittelykäskyt, koko ohjelmiston tarvitsemat lukukäskyt, aliohjelmakutsut ja aika-askeleen lisäämisen. Jokaista yksikköprosessia kuvaava aliohjelma suorittaa mm. seuraavia toimintoja:

- lukee käsiteltävän veden/lietteen määrän ja laatutiedot tiedostoista
- lukee prosessikohtaiset rakenne-, kustannus- yms. tiedot esim. reikäkorteilta tai tiedostoista
- ratkaisee matemaattista mallia kuvaavat yhtälöt
- tulostaa lähtevän veden ja/tai lietteen ominaisuudet tiedostoihin (käyttäjä määrittelee kunkin yksikköprosessin kohdalta kytkennät muihin yksikköprosesseihin)

Lisäksi käyttäjä voi määritellä mahdollisten toimintahäiriöiden esiintymisvälit ja kestot sekä häiriöiden laadun, ja edelleen, kuinka monta rinnakkaista yksikköä on kulloinkin toiminnassa jne.



Kuva 7. Käsittelylaitosohjelmiston rakenne

Eri yksikköprosessimalleista on ensimmäisessä vaiheessa kehitetty seuraavat:

- tasausallas
- välppäys
- esiselkeytys/vaakalaskutus
- flotaatio
- aktiivilietemenetelmä (ilmastus + jälkiselkeytys)
- rinnakkaissaostus (ilmastus + Fe-lisäys + jälkiselkeytys)
- lietteen mädätys
- lietelinko

Malliin on mahdollista sisällyttää helposti mikä tahansa kuvissa 4 ja 5 esitetty yksikköprosessi, ja mallilla voidaan tarkastella kaikkia taulukoissa 1 ja 2 esiintyviä kytkentöjä sekä kohdassa 5.33 lueteltuja tekijöitä. Mallin kuvaus suoritetaan yksityiskohdaisesti luvuissa 7 ja 8.

6.14 Kustannusohjelma

Kustannusten laskennassa on päädytty ainoastaan toteavaan poikkeileikkauslaskentaan sen vuoksi, että viemärilaitokseen kokonaistoiminnan osalta on vaikea kehittää optimointimenetelmiä, joilla on käytännöllistä arvoa. Kustannusohjelmaa ei ole toistaiseksi kehitetty, vaan ainoastaan sen edellyttämät varaukset eri ohjelmissa on otettu huomioon.

Kustannuslaskentaohjelman on kaavailtu voivan ottaa huomioon mm. seuraavaa:

- rakennusinvestoinnit
- kone- ja laiteinvestoinnit
- muut investoinnit
- yleiskulut
- kunnossapitokustannukset
- hoito- ja valvontakustannukset
- energiakustannukset
- kemikaalikustannukset

Edellä mainittujen perusteella on ohjelmassa tarkoitus laskea mm.:

- vuotuiset investoinnit
- kumulatiiviset investointikustannukset
- investointien vuotuiset kustannukset
- vuotuiset käyttökustannukset
- diskontatut investointi- ja käyttökustannukset
- tuoteyksiköille laskettuja hintoja

6.2 Viemärlaitoksen kokonaissuunnittelumallin käyttökohteet

Kaikkein useimmin tehtävä kysymys on, mihin kokonaissuunnittelumalli soveltuu tai soveltuuko kokonaissuunnittelumalli jonkin tietyn rajatun viemärijärjestelmän suunnitteluun. Valitettavasti kumpaankaan ei voida antaa yksikäsitteistä ja yhtä ainoaa vastausta.

Suunnittelussa ja erityisesti yleissuunnitelman luonteisissa hankkeissa on lähdettävä itse ongelmasta. Tämä tarkoittaa, että suunnittelukohteen todellinen luonne, ratkaisuvaihtoehdot ja tavoiteasettelu tulee olla selvästi hahmoteltuna. Lisäksi tulee jäsentää hankkeiden taloudelliset vaikutukset sekä mahdollisuudet säästää soveltamalla ennakkoluulotonta ja kriittistä suunnittelua. Jokainen viemärlaitos on yksilö monine erityisvivahteineen, minkä vuoksi sen suunnitteluun liittyvien lähtökohtien analysointi tulee suorittaa tapauskohtaisesti.

Pyrittäessä selvittämään ongelman luonnetta, ilmenee usein, että ongelmaa ei voidakaan selvittää perustietojen vajavaisuuden, hajanaisuuden ja aiemman kokoamisen tavoitteellisuuden puuttumisen johdosta. Periaatteessa tällöin on kaksi mahdollisuutta: toisaalta perustietojen kokoaminen systemaattisin kenttäkokein ongelman kartoittamiseksi ja suunnittelupäätöksen lykkääminen sekä toisaalta perustietojen tuottaminen käyttäen hyväksi suhteellisen vähäisillä kenttätiedoilla kalibroitua matemaattista mallia. Edellinen näistä on luonnollisesti luotettavampi vaihtoehto. Jälkimmäinen puolestaan on taloudellisesti riskittävämpi. Sen avulla saadaan

halvalla suuruusluokka-arvio ongelmista. Tämän perusteella voidaan suhteellisen hyvin nähdä kysymykseen tulevat ratkaisuvaihtoehdot ja näiden analysoinnin edellyttämien kenttäkokeiden laajuus sekä mielekkyys.

Kun ongelma on analysoitu, voidaan harkita suunnitteluun sovellettavia malleja. Oikean mallin valinta on aivan keskeinen kysymys. Tähän liittyvää yleistä filosofiaa on käsitelty varsin laajasti kappaleessa 2.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, jos viemärlaitoksessa esiintyvät joskus jotkut seuraavista tekijöistä: viemärlaitos koostuu osittain tai kokonaan sekajärjestelmästä, hule- tai ylivuotovesikysymykseen on viranomaisten taholta kiinnitetty huomiota ja ongelmien poistamiseksi on harkittu sekajärjestelmän saneerausta tai ylivuoto- ja hulevesien käsittelyä, maankäyttö viemärlaitoksen piirissä on vaihtelevaa, puhdistamokapasiteetti on pian käytetty loppuun tai puhdistamon rakentaminen aloitetaan pian ja viemärlaitoksessa on useita pumppaamoja, saattaa kokonaissuunnittelu olla perusteltua ja mahdollistaa erittäin suuret investointisäästöt.

Kokonaissuunnittelumallin käyttötarvetta voitaisiin konkretisoida hyvin monen yhdyskunnan kohdalla olevalla tilanteella. Tyypillinen esimerkki löytyy Turun kaupungin viemärlaitoksesta.

Turun kaupungin viemärlaitos koostuu useista seka- ja erillisviemäröidyistä alueista sekä keskuspuhdistamosta. Viranomaiset ovat kiinnittäneet huomiota sekajärjestelmien ylivuotovesien erityisesti Aurajokea kuormittavaan vaikutukseen, keskuspuhdistamon laajennustarpeeseen ja ravinteiden poiston tehostamiseen keskuspuhdistamolla. Lisäksi on nähtävissä, että viranomaiset arvioinevat hulevesien kuormittavan vaikutuksen lähivuosien aikana uudelta pohjalta, jolloin tulee tarve näidenkin kuormituksen vähentämiseen.

Jos Turun kaupunki saneeraisi sekajärjestelmät erillisjärjestel-

miksi, tämä vaatisi valtaiset investoinnit. Toisaalta saneerauksen hyöty saattaa tulla hyvin kyseenalaiseksi, jos nykyisten sekajärjestelmien ylivuotovesien kuormitusta voidaan riittävästi vähentää muilla keinoin kuin saneeraamalla ja jos sadevesien kuormitusta joudutaan vähentämään lähitulevaisuudessa. Myöskin eri ylivuotokohdissa on veden laatu erilainen, mikä mahdollistaisi valikoivan ylivuotovesien juoksutuksen sateiden aikana. Kolmas tärkeä ongelma on puhdistamon oikea mitoitus. Lisäämällä eri sekajärjestelmistä puhdistamolle pumpattavaa vesimäärää (vesi tulee puhdistamolle gravitaatioviemäriä pitkin, jonka eri kohtiin pumpataan tai virtaa eri valuma-alueiden viemärivedet), vähenevät järjestelmän ylivuodot, mutta puhdistamon mitoitus teho kasvaa määrällä, joka riippuu mm. puhdistamolle tulevan johdon sisäisestä varastokapasiteetista. Näin ollen puhdistamon mitoitus riippuu myös pumppaamojen mitoituksista ja niiden keskinäinen mitoitus on kokonaisuuden kannalta paras mahdollinen vain tietyllä mitoitusyhdistelmällä.

Tämä ongelma olisi ollut erittäin vaikea selvittää kokonaisvaltaisesti aiemmilla suunnittelumalleilla. Sen sijaan kokonaisuunnittelumallia käyttäen voitaisiin menetellä esimerkiksi seuraavasti:

- suoritetaan 1...3 v:n aikana perustietojen kokoaminen kenttäkokeiden avulla. Kenttäkokeilla selvitettäisiin ajan funktiona viemäriveden määrä- ja laatu vaihtelut verkon eri osissa ja puhdistamon purkupuolella sekä erilaisten sateiden aiheuttamat hule- ja ylivuotovesien määrä- ja laatu vaihtelut, pintalian ominaisuuksia ym. Näiden perusteella nähtäisiin luotettavasti, mikä on ylivuotovesien ja hulevesien kokonaiskuormitus. Yllätykseksi voitaisiin ehkä todeta, että eräiden alueiden ylivuotovedet itse asiassa kuormittavat vesistöä vähemmän kuin mitä samalta alueelta saneerauksen jälkeen purkautuvat hulevedet kuormittaisivat
- on ilmeistä, että kenttäkokeisiin ei investoita ilman konkreettisia hyötyotaksumia niin paljoa, että saataisiin edellä

kuvatut tiedot järjestelmän toiminnasta. Tällöin voitaisiin suorittaa 1...2 kk kestävät kenttäkokeet. Tunnetuilla lähtötiedoilla voitaisiin laskea kokonaissuunnittelumallin avulla viemäriveresien, ylivuotovesien, hulevesien sekä puhdistamon purkuvesien määrä- ja laatuvahtelut. Näitä voitaisiin verrata kenttäkokeilla havaittuihin arvoihin. Mikäli poikkeamia esiintyisi, lähtötietoja muuttamalla pyrittäisiin havaittuihin tuloksiin, ts. kalibroitaisiin malli. Kun malli on kalibroitu, voitaisiin sen avulla laskennallisesti määrittää kaikki ne suureet, jotka muutoin tulisi havainnoida kenttäkokein. Vastaavasti näistä ns. synteettisistä kenttäkokeista voitaisiin kartoittaa tilanne kuten varsinaisistakin kenttäkokeista

- tilanteen kartoittamisen jälkeen aloitettaisiin viemärilaitoksen suunnittelu niin, että viranomaisten määrittämät kokonaiskuormituksen vähentämistavoitteet saavutettaisiin budjettiresurssien rajoissa mahdollisimman halvalla. Periaatteessa voitaisiin tutkia, millainen lika-ainevähenemä ja millaisin kustannuksin saataisiin esimerkiksi seuraavilla toimenpiteillä tai toimenpideyhdistelmillä: valuma-alueeseen liittyvillä toimenpiteillä (mm. hulevesien määrän vähentäminen tai tasaaaminen rakenteilla tai yhdyskuntasuunnittelulla, hulevesien laadun muuttaminen tehostetuin puhtaanapitotoimin tai kemikaalien käyttörajoituksin), viemäriverkkoon liittyvillä toimenpiteillä (mm. sekaviemäreiden saneeraukset, viemäreiden laajennukset, pumppamojen tehon lisääminen, viemäriveresien tasaaminen ohjauksella tai tasausaltailla) tai purkautuviin vesiin liittyvillä toimenpiteillä (mm. ylivuotovesien ja hulevesien käsittely, keskuspuhdistamon tehon lisääminen). Vaihtoehtojen analysointi voidaan suorittaa erinomaisesti viemärilaitoksen kokonaissuunnittelumallilla. Tulokseksi saattaisi tulla seuraava toimenpideohjelma ja -järjestys: keskuspuhdistamon laajentaminen, valuma-alueella toteutettavat toimenpiteet imeytyksen ja yhdyskuntasuunnittelun muodossa ja viemäriveresien tasaus

Suunnitteluprosessi ja kokonaissuunnittelumallin käyttö päättyisi periaatteessa tähän. Seuraavana toimenpiteenä olisi hankkeen toteutus ja sellaisen ohjausjärjestelmän kehittäminen, jonka avulla voitaisiin suorittaa reaaliaikaisesti kapasiteettirajoitusten puitteissa mm. ylivuotokohtien valintaa, pumppaamojen asetusarvojen ja tehon muutoksia, verkon sisäisen ja rakennetun varastotilavuuden mahdollisimman tehokasta hyväksikäyttöä sekä käsittelylaitoksen kokonaisohjausta huomioon ottaen verkoston vaikutus laitoksen ohjaukseen ja laitoksen vaikutus verkon ohjaukseen. Tämä edellyttää yleensä yksilöllisiä prosessimalleja.

Yksilöitynä ja luettelomaisesti esitettynä viemärilaitoksen kokonaissuunnittelumallilla voidaan tarkastella mm. seuraavia tekijöitä:

- erillis- ja sekaviemäriverkkojen sekä viemärivereden käsittelylaitosten mitoituksen tarkistus
- viemäriverkkojen luontaisen varastointikapasiteetin hyväksikäyttöä
- varastoaltaiden ja -johtojen käyttö verkostossa (enintään kaksi verkoston sisäistä varastoa tietokoneajoa kohti)
- pumppujen, venttiilien, vedenjakojärjestelyjen yms. toiminnan ohjaus
- erillisjärjestelmän verkostoissa tapahtuva virtausten ohjaus esim. siirtämällä vettä verkostosta toiseen
- kaikkien verkostoista tulevien vesien mahdollinen käsittely
- erilaisten rakenteellisten ratkaisujen sekä säätö- ja ohjaustoimenpiteiden vaikutus toiminnan luotettavuuteen
- eri kuormitustekijöiden merkitys viemärilaitoksen kokonaistoimintatehon kannalta

- viemärlaitoksen piiriin tulevaa kuormitusta vähentävien ja tasaavien toimenpiteiden merkitys kokonaistoiminnan kannalta
- kuormituksen tasausmahdollisuudet viemärivereden käsittelylaitoksella
- sisäisten kiertojen aiheuttama ylimääräinen kuormitus viemärivereden käsittelylaitoksilla
- kuormituksen taseus ohjaamalla ja säätämällä käsittelylaitoksilla tapahtuvia pumppauksia yms.
- erityyppisten käyttöhäiriöiden vaikutus käsittelylaitosten toimintaan ja käsittelytehon palautuminen ennalleen häiriön jälkeen
- viemärlaitoksen piirissä tapahtuvien laajennusten, muutostöiden, korjausten yms. vaikutukset kokonaistoimintaan
- lika-aineiden leviäminen purkuvesistössä (ei kuitenkaan välillisten vaikutusten, kuten rehevöitymisen, tarkastelua)

Viemärlaitosmallia käytettäessä huomioon otettavista tekijöistä voidaan mainita mm.:

- mallia voidaan käyttää ainoastaan suurilla tietokoneilla (esim. UNIVAC 1108 tai vastaava)
- mallin edellyttämä lähtötietomäärä on hyvin suuri. Toisaalta viemärlaitoksen kokonaissuunnittelun tulee aina perustua laajaan viemärlaitosta koskevaan perustietoaineistoon, joka asianmukaisesti koottuna kattaa myös kokonaissuunnittelumallin lähtötietotarpeen. Kokonaissuunnittelun edellyttämien perustietojen laajuutta ja hankintaa sekä hankinnan edellyttämiä kenttäkoetarpeita ja -järjestelyjä käsitellään yksityiskohtaisesti projektien SIMU ja TUSEKA loppuraporteissa, jotka ovat

erillisiä YVY-julkaisuja

- mallin tehokas käyttö edellyttää viemärlaitoksen toiminnan tuntemisen lisäksi hieman tietojenkäsittelytekniikkaan liittyviä tietoja
- malli sisältää käsittelylaitosmallin osalta joskus tarpeettoman moniakin laatumuuttujia käytännön tehtäviä ajatellen
- mallilla ei voida suoraan tarkastella koko viemärlaitoksen yhdenaikaista säätöä. Kokonaisuohjausta ja sen toteuttamisvaiheita käsitellään hiukan yksityiskohtaisemmin kuin tässä julkaisussa edellä mainitussa TUSEKA-projektin loppuraportissa
- viemärlaitoksen kokonaissuunnittelu vaatii paljon tietokone-ajaja

Kokonaisuutena tarkastellen viemärlaitosmalli tarjoaa hyvän pohjan koko viemärijärjestelmän toiminnan tarkastelemiselle. Tällä hetkellä kokonaismalli ei kuitenkaan ole yhdistettynä suoritettavissa, vaan viemäriverkkomalli ja kohdissa 7 ja 8 yksityiskohtaisesti kuvattu käsittelylaitosohjelmisto tulee suorittaa erillisinä. Yhdistäminen saataneen valmiiksi vuoden 1975 aikana. Kustannuslaskentamallin, purkuvesistömallin ja käsittelylaitosmallin uusien yksikköprosessien kehittämistä ja/tai käyttöönottoa sekä liittämistä kokonaisuohjelmistoon suoritetaan jatkuvasti lähivuosien aikana.

7. KÄSITTELYLAITOSMALLI

Tässä luvussa käytetään seuraavia merkintöjä:

Taulukko 3. Muuttujat

Muuttuja	Yksikkö	Lyhenne
virtaama	l/s	Q
kiintoainepitoisuus	mg/l	ka
haihdutusjäännös	mg/l	hj
hehkutushäviö	mg/l	org
happipitoisuus	mg/l	O ₂
biologinen hapenkulutus	mg/l	BHK
kokonaisfosfori	mg/l	KP
liuennut fosfori	mg/l	LP
kokonaistyyppi	mg/l	KN
liuennut typpi	mg/l	LN
lämpötila	°C	T _c
pH	-	pH
taudinaiheuttajat	kpl/100 ml	bakt

- Q virtaama
 X yleisesti taulukon 3 laatusuure (ei virtaama)
 V altaan tilavuus tai säiliössä olevan veden määrä
 T suureen alaviittana tuleva suure
 L suureen alaviittana lähtevä suure
 n suureen alaviittana aika-askeleen järjestysnumero

Siis

X_{Tn} tarkoittaa yleisesti tulevan jäteveden laatusuureen arvoa ajanhetkellä n ja

$\frac{d}{dt} X_{Tn}$ sen aikaderivaattaa.

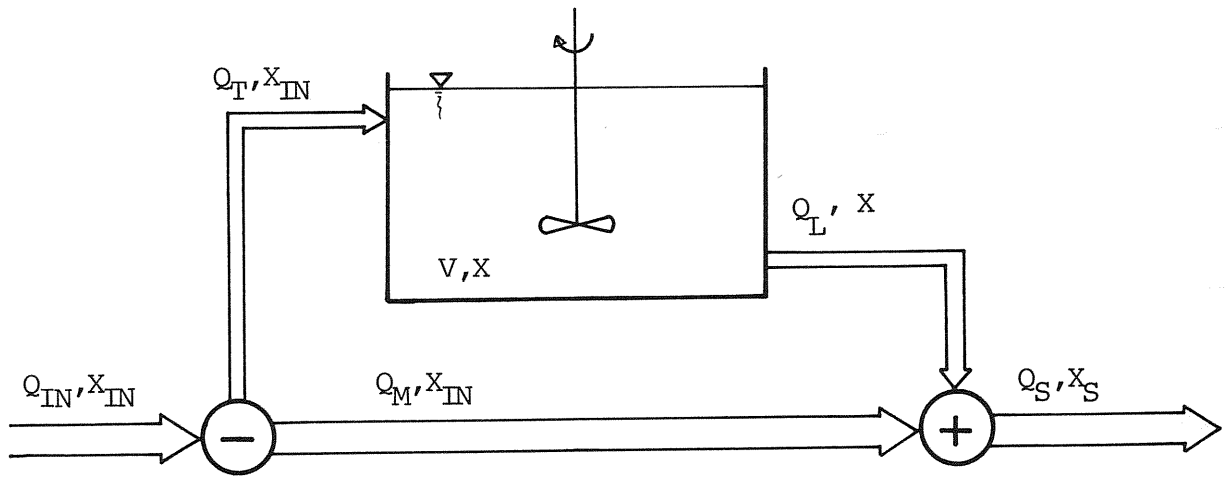
Lisäksi on käytetty

hj_F ja hj_G haihdutusjäännökseen liittyviä apusuureita.

7.1 Tasausallasmalli

Tasausaltaita käytetään viemärivereden käsittelylaitosten yhteydessä yleensä tasaamaan vuorokautisia kuormitusvaihteluita ja sateiden aiheuttamia kuormitushuippuja sekä vähentämään käsiteltävän veden laadullisia vaihteluita.

Yleensä ei kaikkea tulevaa jätevettä kannata johtaa tasausaltaaseen, vaan ratkaisu voi olla kuvan 8 mukainen.



Kuva 8. Tasausallas

Tällöin virtaamasta johdetaan esim. mitoitusvirtaaman Q_{mit} ylittävä määrä tasausaltaaseen. Jos tuleva virtaama on pienempi kuin mitoitusarvo, voidaan altaasta pumpata vettä tasoittamaan virtaamaa.

Idealisoitu malli on muodostettu edellä olevasta olettamalla:

- erotustapahtuma ideaaliseksi, ts. jos $Q_{IN} > Q_{mit} \Rightarrow Q_S = Q_{mit}$
- altaan sekoitus täydelliseksi
- pumppu jatkuvatoimiseksi ja ideaaliseksi, ts. jokaisena ajanhetkenä kyetään pumppaamaan tarkalleen haluttu määrä

Virtaamalle saadaan edellä olevasta päätössääntö (taulukko 4), jossa V_{kra} on pienin sallittu ja V_{kry} suurin sallittu vesimäärä altaassa ja Q_{mit} on laitoksen mitoitusvirtaama.

Taulukko 4. Tasausallasjärjestelyyn liittyvät virtaamat.

Tuleva virt. Q_{IN}	Lähtevä virt. Q_S	Altaasta läht. Q_L	
$Q_{IN} \geq Q_{mit}$	$Q_S = Q_{mit}$ $Q_S = Q_{max}$	$Q_L = 0,0$ $Q_L = Q_{max} - Q_{mit}$	yleensä $V(t) \geq V_{kry}$
$Q_{IN} < Q_{mit}$	$Q_S = Q_{mit}$ $Q_S = Q_{IN}$	$Q_L = Q_{max} - Q_{mit}$ $Q_L = 0,0$	yleensä $V(t) \leq V_{kra}$

Täydellisen sekoituksen altaassa voidaan veden laatutekijöille kirjoittaa seuraavat differentiaaliyhtälöt:

$$\frac{d}{dt} V = Q_T - Q_L \quad (7.1-1)$$

$$\frac{d}{dt} (V \cdot X) = Q_T X_T - Q_L X \quad (7.1-2)$$

Kun nämä yhtälöt diskretisoidaan, saadaan differenssiyhtälöt:

$$V_n = V_{n-1} + \Delta \cdot (Q_{Tn} - Q_{Ln}) \quad (7.1-3)$$

$$X_n = 1/V_n \cdot (V_{n-1} + \Delta \cdot (Q_{Tn} X_{Tn} - Q_{Ln} X_{n-1})) \quad (7.1-4)$$

Δ diskretisoinnin aikaväli
 n ajanhetkeä kuvaava indeksi

Tällöin tasausaltaan jälkeinen jäteveden laatu määräytyy seuraavasti:

$$X_S = \frac{1}{Q} (Q_M X_{IN} + Q_L X) \quad (7.1-5)$$

jossa

$$Q_M = \begin{cases} Q_{IN} & Q_{IN} < Q_{mit} \\ Q_{mit} & Q_{IN} \geq Q_{mit} \end{cases}$$

Q_S ja Q_L saadaan taulukosta 4

X saadaan yhtälöstä (7.1-4)

Mallia varten käyttäjän täytyy määrittellä

V_{kry}	suurin sallittu vesimäärä altaassa; yleensä se on yhtä suuri kuin altaan tilavuus
V_{kra}	pienin sallittu vesimäärä altaassa; yleensä se on 0
Q_{mit}	laitoksen mitoitusvirtaama
Q_{max}	suurin sallittu virtaama laitoksessa
X_0, V_0	altaassa olevan veden laatu ja määrä simuloinnin alkaessa

Jos halutaan tutkia tasausallasta, johon kaikki tuleva jätevesi johdetaan ja jonka ulosvirtaama on vakio, voidaan käyttää samaa mallia pienin muutoksin. Muutokset ovat:

$$Q_{mit} = 0$$

Q_{max} on lähtevä virtaama, joka on vakio

Tällöin

$$Q_s = \begin{cases} 0 & \text{jos } V \leq V_{kra} \\ Q_{max} & \text{muulloin} \end{cases}$$

7.2 Välppäysmalli

Välppäyksen malli on yksinkertainen erotusmalli, joka on laadittu lähinnä käsikirjatietojen perusteella. Välppäjätteen määräksi on oletettu 86 kg/1 000 jätevesi-m³ ja vesipitoisuudeksi 85 %.

Välppäyksellä ei tässä katsota olevan vaikutusta happi-, typpi- ja fosforipitoisuuteen eikä lämpötilaan, pH:hon ja bakteerimää-

rään. Lisäksi välppäyksen vaikutus virtaamaan on erittäin pieni, jolloin se voidaan jättää huomiotta. Välppäyksen malliksi saadaan (taulukon 3 merkinnöin)

$$ka_L = ka_T - \frac{ka_T}{hj_T} \cdot 86 \cdot 0,15 \quad (7.2-1)$$

$$hj_L = hj_T - 86 \cdot 0,15 \quad (7.2-2)$$

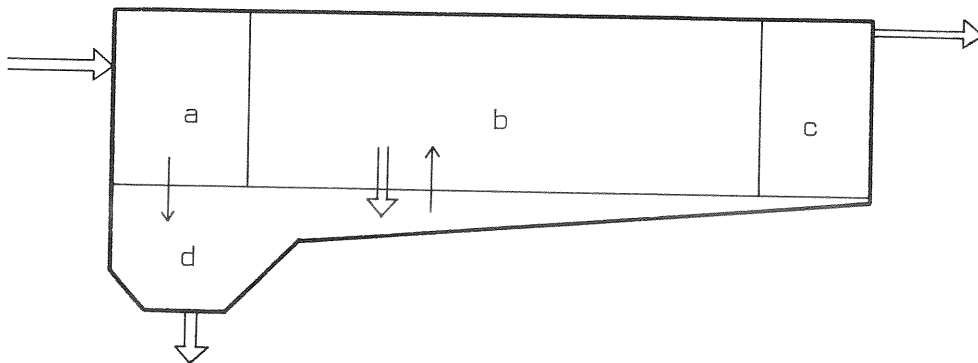
$$org_L = org_T - 0,8 \frac{org_T}{hj_T} \cdot 86 \cdot 0,15 \quad (7.2-3)$$

$$BHK_L = BHK_T - 0,4 \frac{BHK_T}{hj_T} \cdot 86 \cdot 0,15 \quad (7.2-4)$$

muiden suureiden pysyessä muuttumattomina.

7.3 Selkeytysmalli

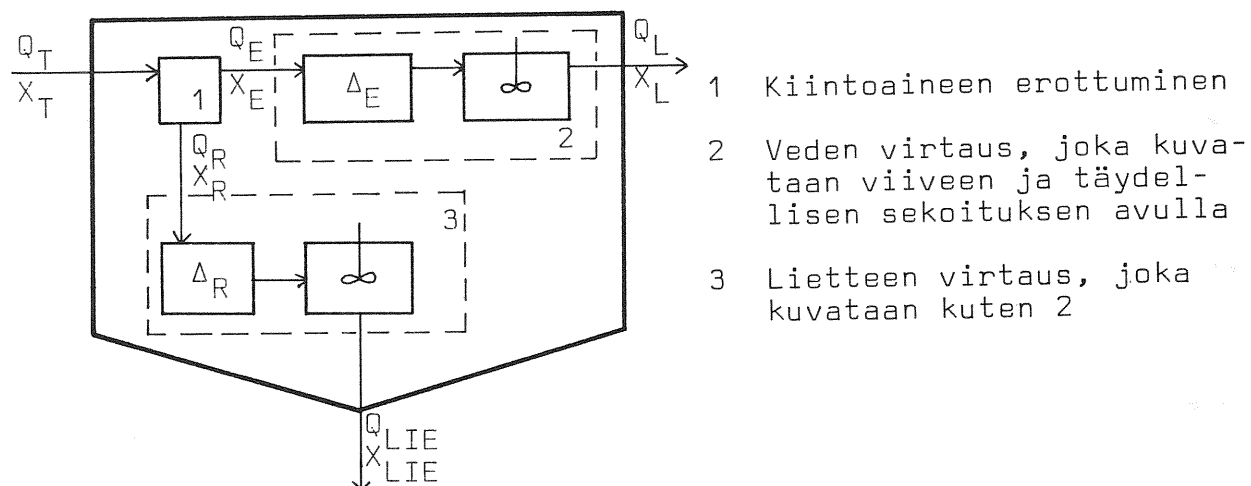
Selkeytsaltaan (vaakalasketus) toiminnan kuvaus voidaan esittää esim. kuvan 9 mukaisesti.



- a Tulovirtauksen tasaantuminen. Laskeutuvan kiintoaineen määrä on vähäinen. Täydellinen sekoittuminen.
- b Kiintoaine laskeutuu altaan pohjalla ja osa ryöstäytyy takaisin. Virtaus tasoittuu; aksiaalidispersio-virtausmalli.
- c Virtaus tasoittunut, mutta poistojärjestelyt aiheuttavat häiriöitä. Täydellinen sekoittuminen.
- d Lietteen varastoituminen ja tiivistyminen.

Kuva 9. Selkeytsaltaan toimintaperiaate

Selkeytyksen toiminnan matemaattisen kuvaamisen kannalta on kuitenkin mielekäästä jakaa toiminta kiintoaineen erottumisen sekä veden ja lietteen virtausten erilliseen kuvaamiseen. Tällainen idealisoitu malli, jonka ovat esittäneet Hämäläinen ym. (1974), on kuvassa 10.



Kuva 10. Selkeytykseltään idealisoitu malli

Suorakulmaisessa altaassa tapahtuvaa kiintoaineen erottumista ovat Takamatsu ym. (1974) kuvanneet yksidimensionaalisella dispersiomallilla saaden kiintoaineen erotusasteeksi (e):

$$e = 1 - \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_1 \cdot e^{-\theta_2} - \theta_2 \cdot e^{-\theta_1}} \quad (7.3-1)$$

jossa

$$\theta_{1,2} = \frac{1}{2}r \left[1 \pm \sqrt{1 + 4(1-k) \frac{p'q}{r}} \right] \quad (7.3-2)$$

$$r = \frac{uL}{E_x} \quad (7.3-3)$$

$$p' = \frac{w_p}{u} \quad (7.3-4)$$

$$q = \frac{L}{H} \quad (7.3-5)$$

L altaan pituus

H altaan syvyys

u veden vaakavirtausnopeus

- w_p partikkelin laskeutumisnopeus
 E_x dispersiokerroin
 k laskeutuneen kiintoaineen uudelleen suspendoitumista kuvaava parametri

Dispersiokerroin E_x voidaan likimäärin määrittää merkkiainekokeista saatavien tulosten perusteella seuraavasti:

$$E_x = \frac{1}{2}u^2 \frac{\Delta\delta_t^2}{\Delta t} \quad (7.3-6)$$

ja edelleen

$$\delta_t^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} ct^2 dt}{\int_{-\infty}^{\infty} c dt} \quad (7.3-7)$$

jossa c on merkkiainekokeissa saatu impulssivaste.

Impulssivasteen c kertymäfunktioille ovat Rebhun ja Argaman (1965) kehittäneet altaan ominaisuuksiin ja virtaustilanteeseen perustuvan funktion.

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{1}{(1-p)(1-m)} \cdot \left[\frac{t}{T} - p(1-m) \right]} \quad (7.3-8)$$

- T teoreettinen viipymä
 m "tehoton" osa altaan tilavuudesta
 $1-m$ tehollinen osa allastilavuudesta
 p "tulppavirtauksen" osuus tehollisessa allastilavuudessa
 $1-p$ täydellisen sekoituksen osuus tehollisessa allastilavuudessa

Impulssivaste $c = \frac{dF(t)}{dt}$, joten sijoittamalla (7.3-8) yhtälöön (7.3-7) ja olettamalla, että m , p ja u ovat lyhyellä aikavälillä vakioita, saadaan:

$$\Delta\delta_t^2 = 2 \cdot \text{viive}^2 \left[\frac{1-p(t)}{(p(t))^2} - \frac{1-p(t-\Delta t)}{(p(t-\Delta t))^2} \right] \quad (7.3-9)$$

$$\text{viive} = T(1-m)p$$

ja tästä edelleen dispersiokerroin E_x .

Parametrien p ja m voidaan katsoa riippuvan lähinnä seuraavista tekijöistä:

- altaan mittasuhteet ja muotoilu
- veden tulo- ja poistojärjestelyt
- altaassa olevat virtausta ohjaavat seinämät tms.
- altaassa olevat lietteenkaapimet, pumput yms. laitteet
- altaaseen tulevan ja siellä olevan veden ominaisuudet

Neljä ensimmäistä tekijää ovat itse altaasta riippuvaisia, ja niitä voidaan pitää vakioina aina kulloinkin tarkasteltavana olevassa altaassa. Altaaseen tulevan veden ominaisuudet sen sijaan saattavat vaihdella hyvinkin nopeasti. Huomattavimmin virtaustilanteeseen tältä kannalta vaikuttavaksi tekijäksi ovat Hamlin ja Wahab (1970) todenneet altaaseen tulevan ja siellä olevan veden tiheyserot. Julkaistujen koetulosten perusteella on kuvissa 11 ja 12 esitetty parametrien m ja p riippuvuus edellä mainitusta tiheyserosta:

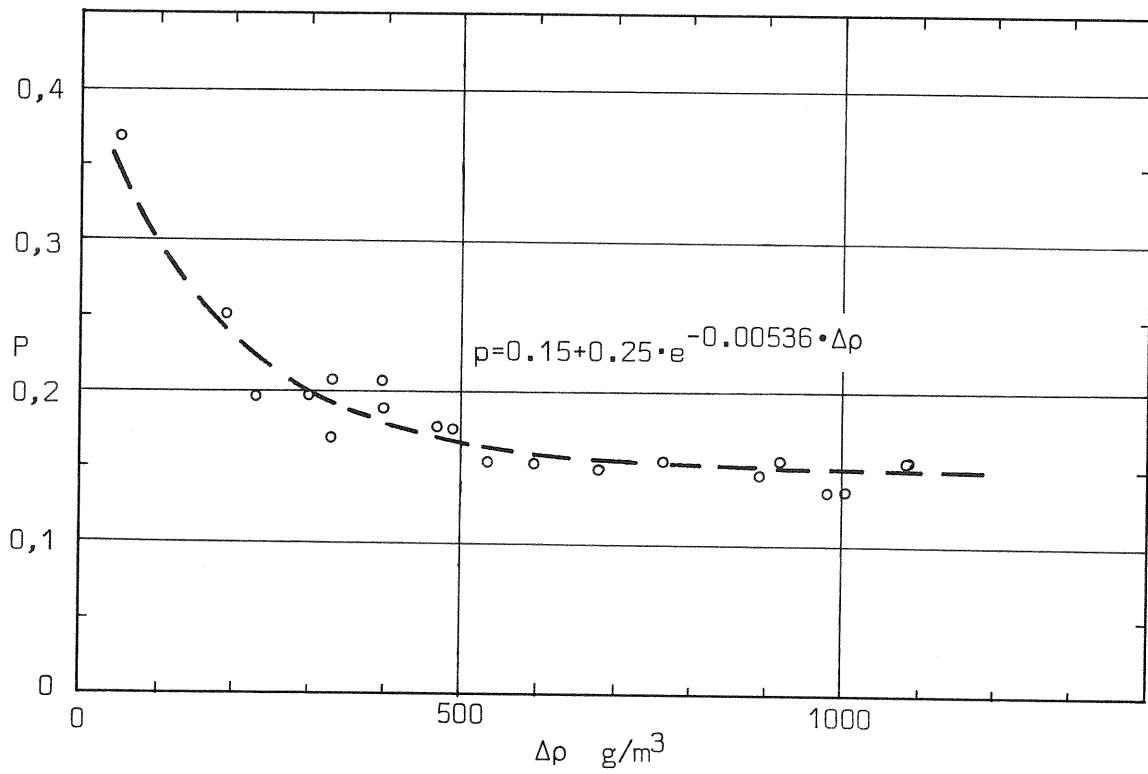
$$p = 0,15 + 0,25e^{-0,00536\Delta\rho} \quad (7.3-10)$$

$$m = 1 - \frac{0,265 - 0,0001\Delta\rho}{p} \quad (7.3-11)$$

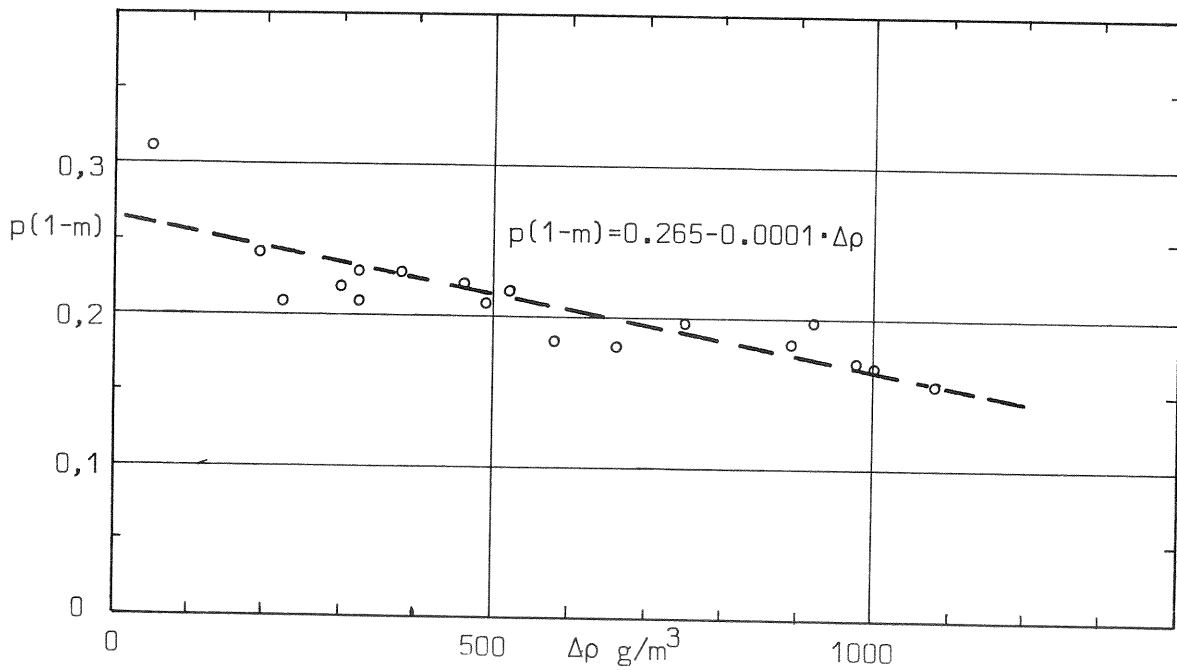
Yhtälöiden (7.3-10,11) perustana olevat kokeet on suoritettu suorakaiteen muotoisilla altailla, joiden mittasuhteet ovat olleet hydraulisesti melko edulliset. Tämän vuoksi tulisi muunlaisille altaille käyttää erillisiä kertoimia ($p=k_p \cdot p_0$; $m=k_m \cdot m_0$), joiden arvoista ei tässä kuitenkaan ole tarkempaa tietoa koetulosten puuttuessa¹⁾. (7.3-10,11) pätevät, jos oletetaan, että $k_p=k_m=1$, kun altaan pituuden suhde leveyteen $\gtrsim 6:1$ ja pituuden suhde syvyyteen $\gtrsim 8:1$.

Veden tiheyteen ja siten tiheyseroihin vaikuttavista tekijöistä on merkitystä lähinnä veden lämpötilalla ja sen muutoksilla. Muiden tekijöiden, kuten veden sisältämien epäpuhtauksien määrän

1) Lineaarisuusolettamus ($p=k_p \cdot p_0$; $m=k_m \cdot m_0$) ei välttämättä myöskään pidä paikkaansa.



Kuva 11. Kertoimen p riippuvuus tiheyseroista



Kuva 12. Kertoimien m ja p riippuvuus tiheyseroista

ja paineen muutoksien, vaikutukset ovat suhteellisesti niin pienet, että ne voidaan jättää huomioon ottamatta. Puhtaan veden tiheyden (ρ_v) riippuvuus lämpötilasta on:

$$\rho_v = 999870 + 56T_c - 8,1T_c^2 \quad \text{g/m}^3 \quad (7.3-12)$$

jossa T_c on veden lämpötila $^{\circ}\text{C}$.

Yhtälössä (7.3-2) esiintyvälle parametrille k ovat Takamatsu ym. (1974) saaneet seuraavanlaiset riippuvuuden dispersiokertoimesta E_x :

$$k = 1,17e^{-\frac{2,9}{E_x}} \quad (7.3-13)$$

Partikkelin laskeutumisnopeus w_p on riippuvainen sekä partikkelin ominaisuuksista (koko, muoto, tiheys) että veden viskositeetista. Viskositeetin vaikutusta voidaan kuva esim. seuraavasti:

$$w_p = w_{po} \cdot k_{\eta} \quad (7.3-14)$$

w_{po} on partikkelin laskeutumisnopeus tietyssä lämpötilassa
 k_{η} on veden viskositeetista (= lämpötilasta) riippuva kerroin

Kertoimen k_{η} arvon määrittämisessä on oletettu, että viskositeetin vaikutus hiukkasen laskeutumisnopeuteen on suhteellisesti ottaen sama kaikille hiukkasille, jolloin saadaan

$$k_{\eta} = 0,805 + \frac{0,0022}{\eta} \quad (7.3-15)$$

$$\eta = \frac{0,0178}{1 + 0,0337T_c + 0,00022T_c^2} \quad (7.3-16)$$

Partikkelin nimellinen laskeutumisnopeus (w_{po}) on riippuvainen partikkelin ominaisuuksista, ja tämän vuoksi on selkeytysyksiöitä tarkasteltava erikseen laskeutuvien partikkeleiden ominaisuuksien mukaan.

Kuvan 10 mukaisen jaottelun pohjalta voidaan veden ja lietteen

virtauksia itse yksikön toiminnan kannalta tarkastella erikseen seuraavasti:

$$\frac{d}{dt}(x_L(t)) = (x_E(t-\Delta_E)Q_L(t-\Delta_E) - x_L(t)Q_L(t))/V_E \quad (7.3-17)$$

$$\frac{d}{dt}(x_{LIE}(t)) = (x_T(t-\Delta_R)Q_T(t-\Delta_R) - x_E(t-\Delta_R)Q_L(t-\Delta_R) - Q_{LIE}(t) \cdot x_{LIE}(t))/V_R \quad (7.3-18)$$

Esiselkeytyks

Esiselkeytyksen toiminta poikkeaa edellä esitetystä yleisestä toimintamallista ainoastaan kiintoaineen ja muiden tarkastelun kohteena olevien kuormitustekijöiden erottumistapahtuman osalta. Kuten aiemmin on todettu, on laskeutumisnopeus w_{po} riippuvainen partikkelin ominaisuuksista. Nämä ominaisuudet (koko, muoto, tiheys) saattavat vaihdella suuresti sekä ajan että paikan suhteen, ja tämän vuoksi onkin mahdotonta lähteä siitä, että pyrittäisiin yksityiskohtaisesti kuvaamaan kunkin partikkelin ominaisuuksia.

Sen sijaan on tarkasteltava esiselkeytykseen tulevan jäteveden keskimääräisiä ominaisuuksia koetuloksiin perustuen ja pyrittävä näiden avulla arvioimaan laskeutumisnopeuksia. Lähinnä käsikirjatietojen sekä muutamien muiden lähteiden perusteella voidaan esiselkeytykseen tulevan veden sisältämän kiintoaineen yleisiä ominaisuuksia luonnehtia seuraavasti:

- partikkelikoko on kiintoaineen määrän (painon) suhteen likimain normaalijakautunut (Nebolsine et al. 1972)
- kiintoaineesta laskeutuu enintään 60...70 %, ja tämä tapahtuu n. 3...5 tunnissa
- kiintoaineesta laskeutuu n. 25...30 % hyvin nopeasti
- veden pumppaus keskipakopumpulla ennen selkeytystä aiheuttaa partikkelikokojakautuman painopisteen siirtymisen n. 2...5 prosenttiyksikköä pienemmän partikkelikoon suuntaan (Nebolsine et al. 1972)

Näihin tietoihin perustuen sekä jakamalla partikkelit laskentaa

varten laskeutumisenopeuden mukaan eri luokkiin saadaan nimelliseksi laskeutumisenopeuksiksi eri luokissa taulukon 5 mukaiset arvot.

Taulukko 5. Partikkelien laskeutumisenopeudet esiselkeytyksessä

Luokka (i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lask.nop. w_{po} (m/h)	6,5	4	3	2	1,5	1,0	0,75	0,50	0,25

Luokkana $i=0$ voidaan pitää em. 25...30 %:a kiintoaineesta, joka laskeutuu kaikissa käyttöolosuhteissa. Muut luokat ($i=1...9$) edustavat kukin tällöin tiettyä %-osuutta kiintoaineen kokonaisuudesta, joka on riippuvainen selkeytystä edeltävistä pumppauskerroista.

Pumppauskertoja	0	1 tai 2	> 2
%-osuus/luokka (p_p)	5,0	4,5	4,0

Loppuosan kiintoaineesta 1. tapauksen mukaan vähintään 25...40 % oletetaan kaikissa käyttöolosuhteissa jäävän veteen.

Edellä esitetty huomioon ottaen saadaan kiintoaineen erotusaste (e_{ka}) sijoittamalla vastaavat arvot kaavoihin (7.3-1)...(7.3-14).

$$e_{ka} = 0,05(1+p_p) + \frac{p_p}{100} \sum_{i=1}^9 \left(1 - \frac{\theta_{1i}^{-\theta_{2i}}}{\theta_{1i} e^{-\theta_{2i}} - \theta_{2i} e^{-\theta_{1i}}} \right) \quad (7.3-19)$$

Merkitsemällä erotusvaiheeseen (kuva 10, kohta 1) tulevaa kiintoainetta jne. alaindeksillä T ja vastaavasti veteen jäävää (kohtaan 2 siirtyvää) alaindeksillä E saadaan kiintoaineelle:

$$ka_E = ka_T(1 - e_{ka})$$

Kaikki tarkastelun kohteena olevat muuttujat sekä niistä käytetyt lyhenteet on esitetty taulukossa 6 (= taulukko 3, s. 40).

Taulukko 6. Muuttujat.

Muuttuja	Yksikkö	Lyhenne
virtaama	l/s	Q
kiintoainepitoisuus	mg/l	ka
haihdutusjäännös	mg/l	hj
hehkutushäviö	mg/l	org
happipitoisuus	mg/l	O ₂
biologinen hapenkulutus	mg/l	BHK
kokonaisfosfori	mg/l	KP
liuennut fosfori	mg/l	LP
kokonaistyyppi	mg/l	KN
liuennut typpi	mg/l	LN
lämpötila	°C	T _c
pH	-	pH
taudinaiheuttajat	kpl/100 ml	bakt

Pitoisuuksissa tapahtuvien muutosten on selkeytyksessä oletettu olevan tietyssä suhteessa kiintoaineen vähenemään. Näin on menetelty sen vuoksi, että erillisten mallien rakentamisen kannalta puuttuvat riittävän yksityiskohtaiset tiedot eri komponenttien käyttäytymisestä esiselkeytyksessä. Suoritetut tutkimukset antavat toisaalta viitteitä siitä, että tietyn asteinen yhteys kiintoaineen erottumiseen on olemassa. Lineaarisia riippuvuuksia ei kuitenkaan voida käyttää enää siinä tapauksessa, että otetaan huomioon altaassa tapahtuvat biologiset ja kemialliset reaktiot.

Erottumistapahtuman voidaan täten olettaa olevan seuraavanlainen eri komponenttien osalta:

- haihdutusjäännöksen vähenemä on sama kuin kiintoaineen vähenemä
- orgaanisen aineen vähenemä on suhteellisesti yhtä suuri kuin kiintoaineen vähenemä
- BHK:n vähenemä on suhteellisesti puolet kiintoaineen vähenemästä, sillä kiintoaineeseen 'sitoutuneen' BHK:n on havaittu olevan n. 0,5 x kiintoainepitoisuus (mm. Chen et al. 1972, Kaila et al. 1973, Metcalf & Eddy et al. 1971)

- fosforin ja typen osalta on oletettu, että kiinteässä muodossa oleva osa näistä vähenee samassa suhteessa kuin kiintoaine
- taudinaiheuttajien osalta on oletettu, että 30 % niistä erotuu samassa suhteessa kuin kiintoaine (Berg 1971, Grabow 1968)
- happipitoisuuden, pH:n ja veden lämpötilan ei oleteta muuttuvan itse erotustapahtuman aikana

Näin ollen saadaan:

$$hj_E = (hj_T - e_{ka} \cdot ka_T) Q_T / Q_L \quad (7.3-21)$$

$$org_E = org_T (1 - e_{ka}) Q_T / Q_L \quad (7.3-22)$$

$$BHK_E = BHK_T (1 - 0,5 \cdot e_{ka}) Q_T / Q_L \quad (7.3-23)$$

$$LP_E = LP_T \quad (7.3-24)$$

$$KP_E = LP_T + (KP_T - LP_T) (1 - e_{ka}) Q_T / Q_L \quad (7.3-25)$$

$$LN_E = LN_T \quad (7.3-26)$$

$$KN_E = LN_T + (KN_T - LN_T) (1 - e_{ka}) Q_T / Q_L \quad (7.3-27)$$

$$bakt_E = bakt_T (1 - 0,3 \cdot e_{ka}) Q_T / Q_L \quad (7.3-28)$$

$$O_{2E} = O_{2T} \quad (7.3-29)$$

$$pH_E = pH_T \quad (7.3-30)$$

$$T_{cE} = T_{cT} \quad (7.3-31)$$

Jälkiselkeytyks

Jälkiselkeytyksessä tapahtuva kiintoaineen laskeutuminen poikkeaa huomattavasti esiselkeytyksessä tapahtuvasta. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että jälkiselkeytyksessä kiintoainepitoisuus on niin suuri, ettei partikkelien voida katsoa laskeutuvan edes jotakuinkin erillisinä kuten esiselkeytyksessä. Sen sijaan liete laskeutuu patjana, jolle on ominaista hyvin selvän rajapinnan muodostuminen (mm. Hibberd et al. 1974). Tämän vuoksi on erottumistapahtumassa kiinnitettävä huomio juuri ko. rajapinnan laskeutumisnopeuteen ja tältä pinnalta tapahtuvaan hiukkasten 'karkaimiseen'.

Eräs mahdollisuus lietteen laskeutumisominaisuuksien kuvaamisessa on käyttää hyväksi lieteindeksiä (SVI), jonka määrittäminen kuuluu aktiivilietelaitoksen normaaliin hoitorutiiniin ja jonka vai-

kutuksista on tämän vuoksi suhteellisen runsaasti tietoja saatavana. Lähteissä (Adams et al. 1970, Merkel 1971) esitettyjen tulosten perusteella on laskettu lietepatjan pinnan nimellisen laskeutumisenopeuden (w_{pl}) riippuvuus lieteindeksistä (kuva 13) ja näin saatu seuraava yhtälö:

$$w_{pl} = \left(\frac{1000 - SVI}{600} \right)^{4,75} \quad (7.3-32)$$

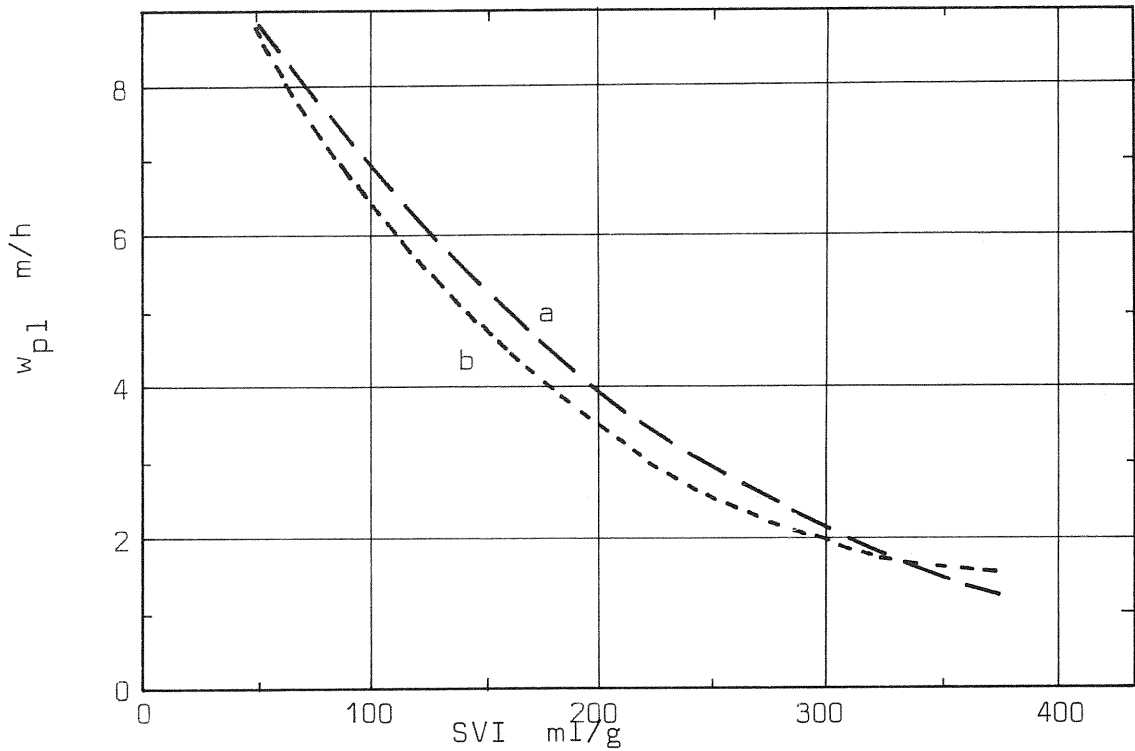
Tämän perusteella saadaan kiintoaineen erotusaste tekemällä vastaavat sijoitukset yhtälöihin (7.3-1...16).

Selkeytysmallin käytön kannalta ei kuitenkaan ole mielekästä käyttää lieteindeksiä sellaisenaan, vaan esittää lieteindeksi ilmastusallasmallista laskettavissa olevien tekijöiden funktiona. Mm. Lacroix ja Bloodgood (1972) ovat esittäneet tällaisen havaintotuloksiin perustuvan regressiomallin, mutta verrattaessa mallin antamia tuloksia muissa lähteissä esitettyihin havaintotuloksiin malli osoittautui täysin paikkansapitämättömäksi. Ainoaksi vähänkään luotettavaksi selittäjäksi osoittautui tässä tapauksessa lietekuormitus, ja Stewartin (1964) esittämiin tuloksiin perustuen (kuva 14) on saatu:

$$SVI = \sin(0,6 \cdot F + 0,4) (250e^{-13/F-0,15/} + 400e^{-3,5/F-0,85/}) + 25 + 60F \quad (7.3-33)$$

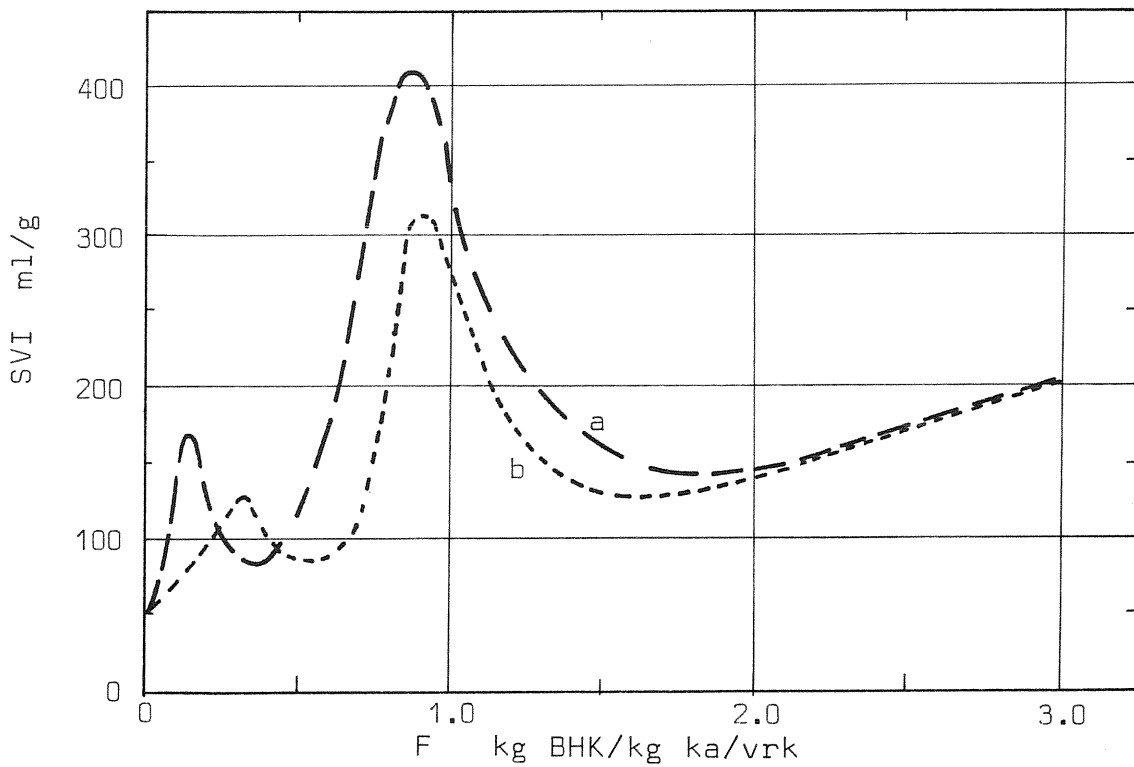
F = lietekuormitus (kg BHK/kg lietettä/vrk)

Kiintoaineen laskeutumisominaisuudet eivät kuitenkaan ole riippuvaisia pelkästään lieteindeksistä, sillä osa hiukkasista on kooltaan niin pieniä, että niiden laskeutumisenopeus on olennaisesti lietepatjan laskeutumisenopeutta pienempi. Näiden hiukkasten osuus riippuu useista tekijöistä, joista ilmastustapaa lukuun ottamatta useimmat ovat riippuvaisia laitoksen hoidon ja säätötoimenpiteiden tasosta. Mallin mukaisesti lähtevän veden kiintoainepitoisuuksiin on tämän vuoksi lisätty eräänlainen hoidon tasoa kuvaava termi, jonka suuruutta on pyritty arvioimaan lähteistä (Mankki 1974), Vuontela 1974) saatujen havaintotietojen perusteella. Käytämällä samoja alaindeksejä kuin esiselkeytyksessä saadaan:



a = tavallinen aktiivilietelaitos
 b = FeSO_4 -simultaanisaostuslaitos

Kuva 13. Lietepatjan pinnan laskeutumisenopeuden (w_{p1}) riippuvuus lieteindeksistä (SVI)



Kuva 14. Lieteindeksin (SVI) riippuvuus lietekuormituksesta (F).

$$ka'_E = ka_T(1 - e_{ka})Q_T/Q_E \quad (7.3-34)$$

$$ka_E = ka'_E + k_h \cdot \frac{Q}{A} \quad (7.3-35)$$

jossa Q/A on jälkiselkeytyksen pintakuorma ja k_h hoidon tasoa kuvaava kerroin. Kertoimelle k_h on annettu seuraavat arvot:

- hyvin hoidettu laitos	$k_h = 0$
- keskinkertaisesti hoidettu laitos	$k_h = 20$
- huonosti hoidettu laitos	$k_h = 40$

Muiden kuormituskomponenttien osalta on päädytty seuraavanlaisiin riippuvuuksiin:

$$hj_e = (hj_T - e \cdot ka_T)Q_T/Q_E \quad (7.3-36)$$

$$org_E = 0,8 \cdot ka_E \quad (7.3-37)$$

$$BHK_E = BHK_T \cdot Q_T/Q_L + 0,5 ka_E \quad (7.3-38)$$

$$LP_E = LP_T(1 + 0,68 \cdot T) \quad (7.3-39)$$

$$KP_E = 0,025 \cdot ka_E + LP_E \quad (7.3-40)$$

$$LN_E = LN_T \quad (7.3-41)$$

$$KN_E = 0,1 \cdot ka_E + LN_E \quad (7.3-42)$$

$$bakt_E = bakt_T(0,1 + ka_E/ka_T) \quad (7.3-43)$$

$$O_{2E} = O_{2T} \quad (7.3-44)$$

$$pH_E = pH_T \quad (7.3-45)$$

$$T_{cE} = T_{cT} \quad (7.3-46)$$

Kaavojen (7.3-37...43) muodostamiseen käytetyt lähteet ovat: Berg 1971, Carlson 1967, Chen et al. 1972, EPA¹⁾ 1971a, EPA 1971b, Grabow 1968, Kaila et al. 1973, Lund et al. 1969. Yhtälöt on luotu käyttäen vastaavan tyyppistä päättelyä kuin esiselkeytyksen osalta (kaavat (7.3-21...31)). Kaavassa (7.3-39) T = viipymä jälkiselkeytyksessä.

Simultaanisaostuslaitoksen jälkiselkeytyksen toiminta poikkeaa edellä esitetystä joissakin kohdin. Lähteistä (Carter et al. 1973, EPA 1971b) laskettujen tulosten perusteella ei lietepatjan pinnan

1) Environmental Protection Agency

laskeutumisnopeuden riippuvuus lieteindeksistä poikkea juuri lainkaan normaalin jälkiselkeytyksen vastaavasta (kuva 13), joten yhtälö (7.3-32) pätee sellaisenaan. Lieteindeksi sen sijaan ei lähteistä (Carter et al. 1973, Mankki 1974, Vuontela 1974) laskettujen tulosten perusteella näytä olevan aivan samalla tavoin riippuvainen lieteikuormituksesta (kuva 14), ja yhtälöksi on saatu:

$$SVI = \frac{\sin(\pi \cdot F - 1,7)}{(110e^{-6,5/F-0,3} + 280e^{-4,5/F-0,9}) + 25 + 65F} \quad (7.3-47)$$

Tavallisen jälkiselkeytyksen muista yhtälöistä pätevät simultaanisaostuslaitoksen tapauksessa myös (7.3-34...36, 38, 40...46). Muille komponenteille saadaan:

$$org_E = 0,65 \cdot ka_E \quad (7.3-48)$$

$$LP_E = LP_T \quad (7.3-49)$$

$$KP_E = 0,015 \cdot ka_E + LP_E \quad (7.3-50)$$

Kaavat (7.3-48...50) on saatu lähteiden (Määttä 1970, EPA 1971b) havaintotulosten perusteella.

7.4 Flotaatiomalli

Flotaatio on jäteveden selkeytysmenetelmä, jossa periaatteena on nostaa kiintoainepartikkelit veden pinnalle. Tämä tapahtuu yleisimmin pienentämällä ilmalla kyllästetyn veden painetta, jolloin vedestä vapautuu pieniä kaasukuplia, jotka tarttuvat partikkeleihin ja nostavat ne pintaan. Periaatteessa voidaan käyttää kolmea erilaista toteutustapaa:

- Osa vedestä (yleensä prosessista poistuvaa vettä) kyllästetään ilmalla erillisessä paineastiassa ja johdetaan käsiteltävän veden joukkoon. Käytettävä ylipaine on tavallisimmin 200...1 600 kPa.
- Koko käsiteltävä vesimäärä johdetaan ylipaineeseen ja takai-

sin normaali-ilmanpaineeseen. Tässä tapauksessa käytettävä ylipaine on 50...100 kPa.

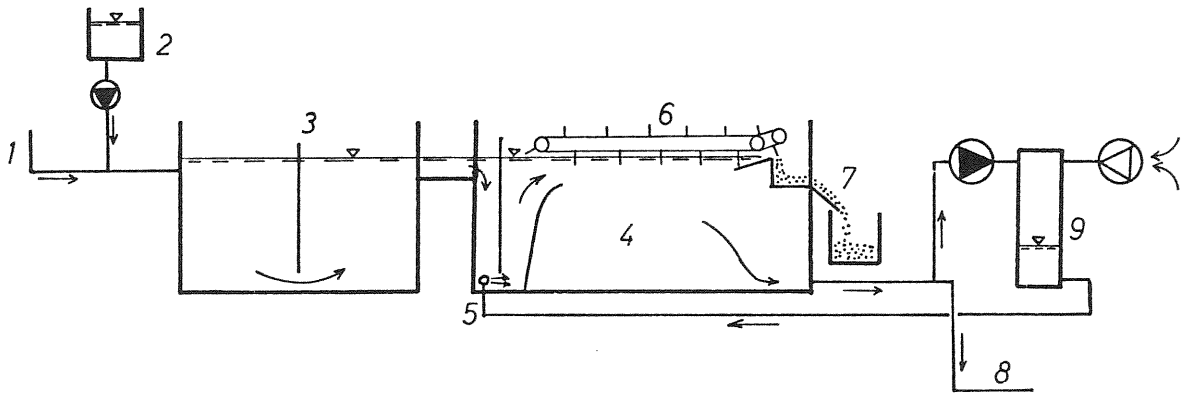
- Koko vesimäärä johdetaan alipaineeseen, jossa tapahtuu samalla kaasukuplien vapautuminen. Käytettävä paine-ero on n. 50 kPa tai vähemmän.

Vaikka kaikki kolme sovellutusta ovat periaatteessa samantapaisia, eroaa ensin mainittu jälkimmäisistä melko huomattavasti. Tämä johtuu siitä, että vedestä vapautuvien kaasukuplien koko ja vapautumisnopeus ovat riippuvaisia paine-eroista ja sen tasaantumisenopeudesta. Mitä pienempää paine-eroa käytetään ja mitä hitaampaa paineen muutos on, sitä pienempiä kaasukuplia muodostuu. Kaasukuplien koolla on edelleen erittäin suuri merkitys kiintoaineen erottumisen kannalta, sillä pienet kuplat kiinnittyvät helpommin kiintoainepartikkeleihin kuin suuret.

Toimintaerojen johdosta ei kaikkia sovellutuksia voida kuvata yhdellä mallilla, ja seuraavassa onkin käsitelty ainoastaan ensin mainittua vaihtoehtoa.

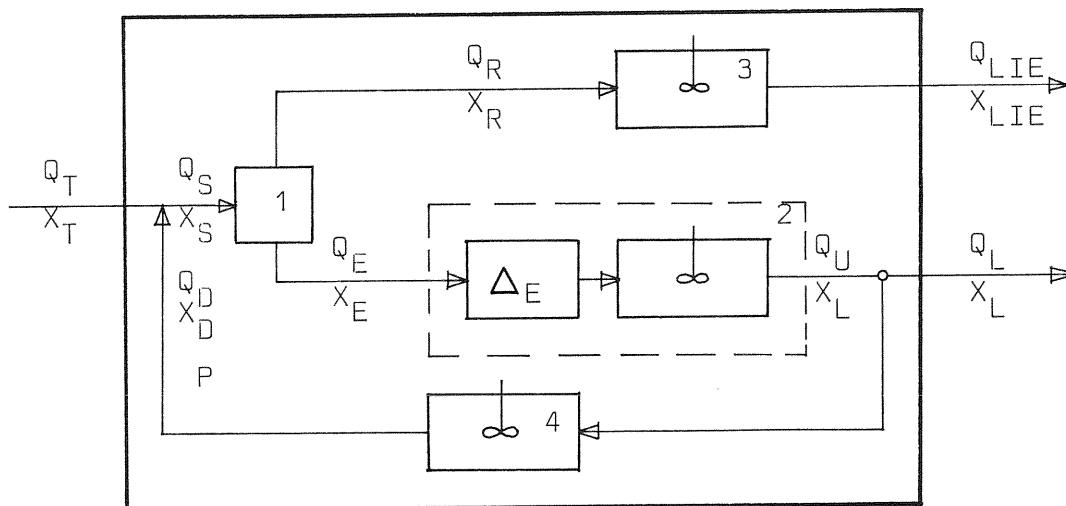
Menetelmässä käsiteltävä vesi johdetaan altaaseen, jonka pohjalle lisätään ylipaineessa ilmalla kyllästetty vesi. Kun tämä ns. disperssivesi tulee altaaseen pienempään paineeseen, siitä vapautuu ilmakuplia, jotka tarttuvat kiinteihin partikkeleihin ja nostavat ne altaan pinnalle. Pintaan kertynyttä lietettä poistetaan kaapimin jatkuvasti tai ajoittain. Menetelmän periaatteellinen toteutus on esitetty kuvassa 15.

Varsinaiselle flotaatioyksikölle (kuva 15, kohdat 4...9) voidaan esittää idealisoitu malli esim. kuvan 16 mukaisesti.



- 1 käsiteltävä vesi
- 2 kemikaalilisäys (ei kaikissa tapauksissa)
- 3 flokkausallas (vain kemikaalilisäyksen yhteydessä)
- 4 flotaatioallas
- 5 disperssivesi
- 6 lietteen kaavin
- 7 poistettu liete
- 8 käsitelty vesi
- 9 disperssivesisisäiliö

Kuva 15. Flotaatiolaitoksen toimintaperiaate.



Merkinnät:

- Q on virtaama kussakin vaiheessa ja
 X kuvaa (ka, BHK, jne.) pitoisuutta
- 1 kiintoaineen erottuminen
 - 2 veden virtaus altaassa. Kuvataan viiveellä (ΔE) ja täydellisellä sekoituksella
 - 3 lietteen poisto. Kuvataan täydellisellä sekoituksella
 - 4 disperssiveden valmistus. Kuvataan täydellisellä sekoituksella

Kuva 16. Flotaatiolaitoksen idealisoitu malli.

Kiintoaineen erottumista kuvaamaan on kehitetty puoliempiirinen kaava (Mulbarger et al. 1970), joka voidaan esittää muodossa:

$$e_{ka} = 1 - e^{-c \cdot \frac{v_r}{Q/A}} \quad (7.4-1)$$

e_{ka} kiintoaineen erotusaste
 v_r partikkelin nousunopeus
 Q/A pintakuorma flotaatioaltaassa
 c vakio

Kaavassa (7.4-1) oletetaan partikkeleiden olevan samankokoisia ja erillisiä. Näin ollen voidaan olettaa partikkeleiden käyttäytyvän likimain Stokesin lain mukaisesti, ja kaava (7.4-1) voidaan kirjoittaa muotoon:

$$e_{ka} = 1 - e^{-[c_1 \frac{(\gamma_u - \gamma_s)}{\eta \cdot Q/A} + c_4]} \quad (7.4-2)$$

γ_u veden ominaispaino
 γ_s liete-ilmakupla-partikkelin ominaispaino
 η veden viskositeetti
 c_1, c_4 vakioita

Ominaispainojen erotus ($\gamma_u - \gamma_s$) on pääasiassa riippuvainen partikkeleihin kiinnittyneiden ilmakuplien suhteesta kiintoainemäärään, jolloin yhtälö (7.4-2) voidaan edelleen esittää seuraavasti:

$$e_{ka} = 1 - e^{-[c_2 \frac{\text{ilma}/ka}{\eta \cdot Q/A} + c_4]} \quad (7.4-3)$$

ilma kuplina vapautuva ilmamäärä
 ka vedessä olevan kiintoaineen määrä
 c_2 vakio

Vapautuva ilmamäärä on riippuvainen lähinnä veden lämpötilasta ja paine-erosta. Lähteen (Köhler 1969) perusteella saadaan tällöin olettamalla lämpötilariippuvuus lineaariseksi:

$$\text{ilma} = \Delta_p (70 - T_c) \cdot Q_D \quad (7.4-4)$$

Δ_p disperssiveden ylipaine
 T_c veden lämpötila
 Q_D disperssiveden määrä

Edelleen linearisoimalla viskositeetin riippuvuus lämpötilasta ja sijoittamalla tämä yhdessä (7.4-4):n kanssa yhtälöön (7.4-3) saadaan käyttämällä kuvan 16 merkintöjä:

$$e_k = 1 - e^{-\left[c_3 \frac{\Delta_p (70 - T_c) \cdot Q_D \cdot A}{(60 - T_c) (Q_T + Q_D) (ka_T + ka_D)} + c_4 \right]} \quad (7.4-5)$$

ja edelleen

$$e_{ka} = 1 - \left(\frac{ka_T + ka_D}{ka_T} \right) (1 - e_k) \quad (7.4-6)$$

ka_T tulevassa vedessä oleva kiintoainemäärä
 ka_D disperssivedessä oleva kiintoainemäärä
 Q_T käsiteltävän veden määrä
 c_3, c_4 ilmakuplien koosta ja kiinteiden hiukkasten ominaisuuksista riippuvat kertoimet, joiden voidaan olettaa olevan vakioita tietyllä laitoksella

Kertoimien c_3 ja c_4 luotettava määrittäminen eri tapauksiin soveltuviksi on osoittautunut hankalalahkoksi. Tämä johtuu ennen kaikkea siitä, että käytettävissä olevia havaintotuloksia on melko niukasti ja näistäkin yleensä puuttuu yksityiskohtainen selvitys prosessiolosuhteista.

Sekaviemärijärjestelmän ylivuotovesille, jotka laadultaan ovat vastanneet lähinnä laimeita...normaaleja asumajätevesiä, on saatujen tulosten (Levy et al. 1972, Metcalf & Eddy et al. 1971a, Mulbarger et al. 1970, Rex Chainbelt 1972) perusteella arvioitavissa kertoimien c_3 ja c_4 suuruusluokka seuraavasti:

$$\begin{aligned}
 c_3 &= 0,4 \dots 0,7 \\
 c_4 &= 0,5 \dots 0,8
 \end{aligned}$$

kun yhtälössä (7.4-5) käytetään seuraavia laatuyskikköjä: ka_T ja ka_D (mg/s), Δ_p (kPa), T_c ($^{\circ}\text{C}$), Q_T ja Q_D (l/s) ja A (m^2).

Kaikki tarkastelun kohteena olevat muuttujat sekä niistä käytetyt lyhenteet on esitetty taulukossa 7 (kuten taulukko 3, s. 40).

Kun flotaatiota käytetään ilman kemikaalilisäystä, se toimii periaatteessa samalla tavoin kuin tavallinen selkeytysallas. Tämän vuoksi voidaan olettaa, että pitoisuuksissa tapahtuvat muutokset eri kuormituskomponenttien osalta ovat likimain samalla tavoin suhteessa kiintoaineen vähenemään kuin tavallisessa selkeytyksessä.

Taulukko 7. Muuttujat.

Muuttuja	Lyhenne
virtaama	Q
kiintoainepitoisuus	ka
haihdutusjäännös	hj
hehkutushäviö	org
happipitoisuus	O_2
biologinen hapenkulutus (7 vrk)	BHK
kokonaisfosfori	KP
liuennut fosfori	LP
kokonaistyyppi	KN
liuennut typpi	LN
lämpötila	T_c
pH	pH
taudinaiheuttajat	bakt

Näin ollen saadaan, kun tarkastellaan ainemääriä (mg/s):

$$ka_E = ka_T(1 - e_{ka})Q_S/Q_E \quad (7.4-7)$$

$$hj_E = (hj_S - ka_S \cdot e_k)Q_S/Q_E \quad (7.4-8)$$

$$org_E = org_S(1 - e_k)Q_S/Q_E \quad (7.4-9)$$

$$BHK_E = BHK_S(1 - 0,5 \cdot e_k)Q_S/Q_E \quad (7.4-10)$$

$$LP_E = LP_S \quad (7.4-11)$$

$$KP_E = LP_S + (KP_S - LP_S)(1 - e_k)Q_S/Q_E \quad (7.4-12)$$

$$LN_E = LN_S \quad (7.4-13)$$

$$KN_E = LN_S + (KN_S - LN_S)(1 - e_k)Q_S/Q_E \quad (7.4-14)$$

ja edelleen muissa yksiköissä:

$$bakt_E = bakt_S(1 - 0,3 \cdot e_k)Q_S/Q_E \quad (7.4-15)$$

$$O_{2E} = O_{2max}(T_C) \quad (7.4-16)$$

$$pH_E = pH_S \quad (7.4-17)$$

$$T_{CE} = T_{CT} \quad (7.4-18)$$

Lähtevän veden määrän (Q_E) tietäminen edellyttää lisäksi lietteen vesipitoisuuden (ts. Q_R :n) tuntemista. Lietteen vesipitoisuus on suuresti riippuvainen kaapimien toiminnasta. Mallissa on oletettu kaapimien olevan jatkuvatoimisia, jolloin lietteen vesipitoisuuden voidaan arvioida olevan 98,0...98,5 % (Kaila et al. 1973, Levy et al. 1972, Köhler 1969, Rec Chainbelt 1972).

Tarkasteltaessa pitoisuuksissa tapahtuvia muutoksia flotaatioyksikön eri osissa ajan funktiona voidaan kuvan 16 merkintöjä käyttäen esittää kaikille muuttujille ($x = ka, hj, \dots bakt$) ajanhetkellä t :

$$\frac{d}{dt}(x_L(t)) = [x_E(t-\Delta_E) \cdot Q_E(t-\Delta_E) - x_L(t) \cdot Q_U(t)]/V_E \quad (7.4-19)$$

$$\frac{d}{dt}(x_{LIE}(t)) = [x_T(t) \cdot Q_T(t) + x_D(t) \cdot Q_D(t) - x_E(t) \cdot Q_E(t) - x_{LIE}(t) \cdot Q_{LIE}(t)]/V_R \quad (7.4-20)$$

$$\frac{d}{dt}(x_D(t)) = [x_U(t) \cdot Q_U(t) - x_L(t) \cdot Q_L(t) - x_D(t) \cdot Q_D(t)]/V_D \quad (7.4-21)$$

$\frac{d}{dt}(x(t))$	muuttujan aikaderivaatta hetkellä t
V_E	flotaatioaltaan tilavuus
V_R	lietevaraston tilavuus (kuva 15, kohta 7)
V_D	disperssivesisäiliön tilavuus

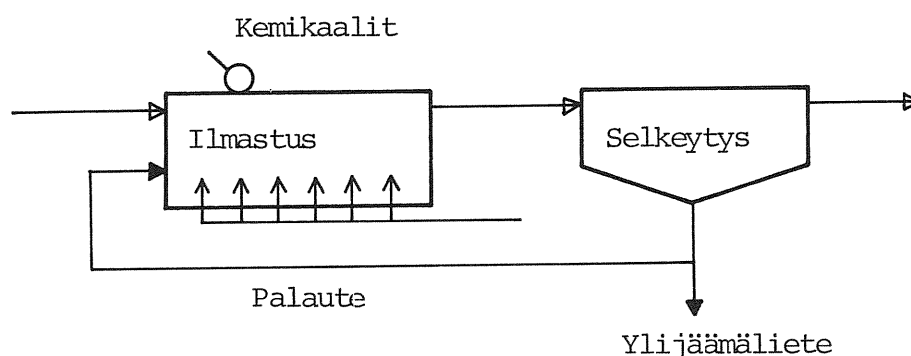
Kuvassa 16 ja kaavassa (7.4-19) käytettyjen merkintöjen (Q_E, Q_U) osalta on vielä todettava, että $Q_U(t) \cong Q_E(t)$, ts. virtaaman viive on niin pieni, ettei sen vaikutusta tarvitse ottaa huomioon.

7.5 Aktiivilietemenetelmän malli

Aktiivilietemenetelmässä bakteerit muuttavat lika-aineen hiutalemaiseksi lietteeksi, joka voidaan erottaa vedestä mekaanisesti esim. selkeytysaltaassa. Bakteerikannan ylläpitämiseksi on välttämätöntä johtaa osa ilmastusaltaasta lähtevästä vedestä, yleensä selkeyttimissä erottuvana lietteenä, takaisin ilmastusaltaaseen, koska liete sisältää runsaasti eläviä bakteereja ja bakteerien kasvuun tarvittavia ravinteita. Palaute on myös tärkein suure, jolla voidaan säätää prosessia. Tällaista yksikköprosessia, johon kuuluu ilmastusallas, jälkiselkeytys ja palaute jälkiselkeytyksestä ilmastusaltaaseen, sanotaan konventionaaliseksi aktiivilieteprosessiksi (kuva 17). Usein on käytössä kyseisen prosessin muunnoksia, joista mainittakoon seuraavat (Stewart 1971):

- simultaanisaostus, jossa ilmastusaltaaseen lisätään fosforia saostavia kemikaaleja
- pitkäilmastus, jossa veden viipyminen ilmastusaltaassa on erityisen pitkä
- kontakti-stabilointiprosessi, jossa on lisätty palautteellekin oma käsittely-yksikkönsä ennen ilmastusaltaaseen johtamista
- portaittaisen syötön menetelmä, jossa jätevesi tuodaan ilmas-

tusaltaaseen useasta peräkkäisestä syöttöpisteestä



Kuva 17. Aktiivilieteprosessi.

Seuraavassa esitellään konventionaalista aktiivilieteprosessia ja sen mallia, joka pienin muutoksin soveltuu myös pitkäilmastuksen ja simultaanisaostuksen kuvaamiseen. Simultaanisaostusta ja malliin tarvittavia muutoksia on selvitelty kohdassa 7.6.

Aktiivilieteprosessia on tutkittu erittäin paljon, ja siitä on saatavissa paljon mittaustuloksia. Viitteet, joihin tässä esitetty malli pääosin perustuu, ovat ilmastuksen osalta Balakrishnan-Eckenfelder 1969, Brett et al. 1973, Homenick-Ball 1974, Johnson 1972 ja jälkiselkeytyksen osalta Adams et al. 1970, Hämäläinen et al. 1974, Takamatsu et al. 1974. Jälkiselkeytyksestä on esitelty kohdassa 7.3.

Ilmastusallas

Ilmastusaltaassa on ilman puhalluksen ansiosta voimakas sekoitus. Veden virtaus altaassa muistuttaa muodoltaan lähinnä ruuvin kierteitä. Bakteeriprosessien kuvaamiseen tällaisessa virtauksessa on kehitetty ns. aksiaalinen dispersiomalli, joka johtaa osittaisdifferentiaaliyhtälöiden käyttöön. Tämä malli ei ole kuitenkaan käytännöllinen simuloinnin kannalta, koska osittaisdifferentiaaliyhtälöiden ratkaiseminen vie liikaa tietokoneaikaa. Edellisen lähin approksimaatio on kuvata ilmastusallasta sarjana altaita, joissa on täydellinen sekoitus. Tätä mallia on vielä yksinkertaistettu kuvaamalla ilmastusallasta vain täydellisen sekoituksen altaalla.

Ilmastusaltaan mallissa on kuvattava ainakin seuraavat neljä seikkaa:

- hapen liukeneminen veteen
- orgaanisia yhdisteitä ravinnokseen käyttävien bakteerien toiminta
- typpi yhdisteitä ravinnokseen käyttävien bakteerien sekä aerobinen että anaerobinen toiminta l. nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessi
- sekoitus

Happea täytyy olla ilmastusaltaan vedessä riittävä määrä, yli 2 mg/l altaan jokaisessa kohdassa, jotta prosessi ei häiriintyisi. Happea tarvitaan orgaanisten yhdisteiden hajottamiseen l. aerobiseen toimintaan sekä bakteerien kasvun ylläpitoon ja hengittämiseen. Hapen liukenemisen kuvaamiseen on käytetty mittausarvoja, joita on mitattu käytettäessä hienokuplailmastimia. Näiden mittauksien perusteella on muodostettu yhtälö (7.5-1) liukenevan hapen määrälle (OL), joka riippuu veden lämpötilasta, puhalluksen tehosta ja ilmastimien määrästä. Lisäksi parametreja valitsemalla on mahdollista kuvata ilmastustehon säätöä.

$$OL = OC \cdot (OST - O_2) / 12,5 \cdot 1,02^{20-T_c} \quad (7.5-1)$$

jossa

$$OC = 0,89 \cdot V \cdot (0,03 \cdot (VI \cdot v_i / V_i)^2 + 0,76 (VI \cdot v_i / V_i) + 0,1) / 175 \quad (7.5-2)$$

OST hapen kyllästyspitoisuus, joka riippuu mm. jäteveden lämpötilasta. Sille on saatu riippuvuus

$$OST = (T^2 - 83T) / 242 + 14 \quad (7.5-3)$$

V	ilmastusaltaan tilavuus
VI	puhallettava ilmamäärä
v_i	mitoitusilmamäärä ilmastinta kohden
V_i	kokonaismitoitusilmamäärä
T_c	veden lämpötila

Kuvattaessa bakteerien toimintaa on muodostettava yhtälöt kuvaamaan bakteerien määrää ja kuolemista sekä bakteerien vaikutusta

käyttämäänsä ravinteeseen ja liuenneeseen happeen. Orgaanisia yhdisteitä, joita kuvaa BHK-pitoisuus, käytäville bakteereille on mm. viitteissä (Brett et al. 1973, Hämäläinen et al. 1974, Westberg 1969) suositeltu seuraavia yhtälöitä:

$$\frac{d}{dt}(M) = (Q_p \cdot k_{a_p} \cdot M / (M+Z) - Q_L \cdot M + \mu \cdot (BHK \cdot M \cdot V) / (KS + BHK + BHK^2 / KI) - KD \cdot M \cdot V) / V \quad (7.5-4)$$

$$\frac{d}{dt}(BHK) = (Q_T \cdot BHK_T + Q_P \cdot BHK_P - Q_L \cdot BHK - \mu / Y (BHK \cdot M \cdot V) / (KS + BHK + BHK^2 / KI) + B_0 \cdot M \cdot Z \cdot V) / V \quad (7.5-5)$$

$$\frac{d}{dt}(Z) = (KD \cdot M \cdot V + Q_T \cdot k_{a_T} + Q_P \cdot k_{a_P} \cdot Z / (X+Z) - Q_L \cdot Z - B_0 \cdot M \cdot Z \cdot V) / V \quad (7.5-6)$$

M	bakteeripitoisuus ilmastusaltaassa
Z	kuolleen kiintoaineen määrä ilmastusaltaassa
μ	kasvukerroin
KS	kyllästysvakio
KI	inhibitiivisyyskerroin
KD	kuolleisuuskerroin
Y	tuottokerroin
B_0	verrannollisuuskerroin

Typpiyhdisteiden hajottamista ei voida kuvata yhtenä bakteeriprosessina, vaan siinä on otettava huomioon seuraavat vaiheet (Department of Interior 1970, Eckenfelder 1973):

- nitrifikaatio
 - ammoniumtyppi, jota suurin osa liukoisesta typestä on, hapettuu mm. Nitrosomonas-bakteerien vaikutuksesta nitriitiksi NO_2
 - nitriitti hapettuu mm. nitrobakteerien vaikutuksesta nitraatiksi NO_3
- denitrifikaatio
 - nitraatti hajoaa anaerobisesti hiilen läsnä ollessa typpikaasuksi ja hiilidioksidiksi, jotka poistuvat sitten vedestä

Ammoniumtyypelle ja Nitrosomonas-bakteerille saadaan vastaavat yhtälöt kuin yhtälöt (7.3-4,5) (Balakrishnan-Eckenfelder 1969,

EPA¹⁾ 1972, Johnson 1972):

$$\frac{d}{dt}(\text{MNH}) = (Q_P \cdot \text{MNH} / (M+Z) - Q_L \cdot \text{MNH} + \mu_1 \cdot (\text{NH} \cdot \text{MNH} \cdot V) / (K_{S_1} + \text{NH} + \text{NH}^2 / K_{I_1}) - K_{D_1} \cdot \text{MNH} \cdot V) / V \quad (7.5-7)$$

$$\frac{d}{dt}(\text{NH}) = (Q_T \cdot \text{LN}_T \cdot 0,9 + Q_P \cdot \text{LN}_P - Q_L \cdot \text{NH} - \mu_1 / Y_1 (\text{NH} \cdot \text{MNH} \cdot V) / (K_{S_1} + \text{NH} + \text{NH}^2 / K_{I_1})) / V \quad (7.5-8)$$

MNH	ammoniumtyyppä hajottavien bakteerien pitoisuus
NH	ammoniumtypen pitoisuus
μ_1	kasvukerroin
Y_1	tuottokerroin
K_{S_1}	kyllästymisvakio
K_{I_1}	inhibitiivisyysvakio
K_{D_1}	kuolleisuuskerroin

Kuten edellä, nitriitille ja nitrobakteerille saadaan yhtälöt (Balakrishnan-Eckenfelder 1969, EPA 1972, Johnson 1972)

$$\frac{d}{dt}(\text{MNO}) = (Q_P \cdot k_a \cdot \text{MNO} / (M+Z) - Q_L \cdot \text{MNO} + \mu_2 \cdot (\text{NO} \cdot \text{MNO} \cdot V) / (K_{S_2} + \text{NO} + \text{NO}^2 / K_{I_2}) - K_{D_2} \cdot \text{MNO} \cdot V) / V \quad (7.5-9)$$

$$\frac{d}{dt}(\text{NO}) = (K_A (0,9 \cdot \text{LN}_T - \text{NH}) - Q_L \cdot \text{NO} + \mu_2 / Y_2 (\text{NO} \cdot \text{MNO} \cdot V) / (K_{S_2} + \text{NO} + \text{NO}^2 / K_{I_2})) / V \quad (7.5-10)$$

MNO	nitriittiä hajottavien bakteerien pitoisuus
NO	nitriittipitoisuus
μ_2	kasvukerroin
Y_2	tuottokerroin
K_{S_2}	kyllästymiskerroin
K_{I_2}	inhibitiivisyyskerroin
K_A	verrannollisuuskerroin
K_{D_2}	kuolleisuuskerroin

Denitrifikaatiossa tarvitaan reaktiossa hapen sijasta hiiltä. Olettamalla hiiltä olevan riittävästi saadaan yhtälöt (Johnson 1972)

1) Environmental Protection Agency

$$\frac{d}{dt}(MN) = (\mu_3 \cdot (N \cdot MN \cdot V) / (KS_3 + N + N^2 / KI_3) + Q_P \cdot ka_P \cdot MN / (M+Z) - KD_3 \cdot MN \cdot V - Q_L \cdot MN) / V \quad (7.5-11)$$

$$\frac{d}{dt}(N) = (KA_1 \cdot \mu_2 / Y_2 (NO \cdot MNO \cdot V) / (KS_2 + NO + NO^2 / KI_2) - Q_L \cdot N - \mu_3 / Y_3 (N \cdot MN \cdot V) / (KS_3 + N + N^2 / KI_3)) / V$$

MN	anaerobisten bakteerien pitoisuus
N	nitraattipitoisuus
KA ₁	verrannollisuuskerroin
μ ₃	kasvukerroin
Y ₃	tuottokerroin
KS ₃	kyllästymiskerroin
KI ₃	inhibitiivisyyskerroin
KD ₃	kuolleisuuskerroin

Ilmastusaltaasta lähtevän veden happipitoisuudelle saadaan yhtälö (7.5-12), kun on otettu huomioon hapen liukeneminen (yhtälö (7.5-1)), hapenkulutus bakteeriprosessissa ja bakteerien hengitys (EPA 1971a, Homenic-Ball 1974).

$$\frac{d}{dt}(O_{2L}) = (Q_S O_{2S} + OL - Q_L O_{2L} - a Q_L \cdot (BHK_T - BHK) - b \cdot M \cdot V - a_1 \cdot (0,9LN_T - NH) Q_L - b_1 \cdot MN \cdot V + a_2 \cdot NO \cdot Q_L - b_2 \cdot MNO \cdot V - a_3 \cdot (N - KA_1 \mu_2 / Y_2 (NO \cdot MNO \cdot V) / (KS_2 + NO + NO^2 / KI_2)) Q_L - b_3 \cdot MN \cdot V) / V \quad (7.5-12)$$

O_{2L} lähtevän veden happipitoisuus
a:t ja b:t verrannollisuuskertoimia

Veden lämpötila muuttuu puhallettavan ilman ja ulkoilman lämpötilojen vaihdellessa. Lämpötilalle saadaan differentiaaliyhtälö:

$$\frac{d}{dt}(T_L) = (Q_T (T_{CT} - T_L) + Q_P (T_P - T_L) + VI \cdot (T_I - T_L) - K_1 \cdot (T_L - TS)) / V \quad (7.5-13)$$

T _L	lähtevän veden lämpötila
T _I	puhalletun ilman lämpötila
T _S	ulkoilman lämpötila
K ₁	verrannollisuuskerroin

Mitattaessa liukoisen fosforin määrää sen on todettu vähenevän 80 % ja kiinteään 10 % (EPA 1971b, Nesbitt 1972), koska orgaanista fosforia käytetään solujen rakennustoimintaan ja liukoista fosforia sitoutuu ilmastuksen yhteydessä, jolloin saadaan

$$\frac{d}{dt}(LP) = (0,2(LP_T \cdot Q_T + LP_P \cdot Q_P) - LP_L \cdot Q_L) / V \quad (7.5-14)$$

$$\frac{d}{dt}(KiP) = (0,9((KP_T - LP_T)Q_T + (KP_P - LP_P)Q_P) - KiP \cdot Q_L) / V \quad (7.5-15)$$

LP liukoisen fosforin pitoisuus

KiP kiinteään fosforin pitoisuus

Liukoisesta tyypestä 90 % on oletettu olevan ammoniumtyyppiä, joka käytetään nitrifikaatiossa.

Kiinteästä tyypestä on havaittu kolmasosan hajoavan, jolloin saadaan

$$\frac{d}{dt}(LN) = (0,1(LN_T \cdot Q_T + LN_P \cdot Q_P) - Q_L \cdot LN) / V \quad (7.5-16)$$

$$\frac{d}{dt}(KiN) = (0,67((KN_T - LN_T)Q_T + (KN_P - LN_P)Q_P) - Q_L \cdot (KN_L - LN_L)) / V \quad (7.5-17)$$

LN lähtevän veden liukoisen typen pitoisuus

KiN kiinteään typen pitoisuus

pH:n ja haitallisten bakteerien määrän ei oleteta muuttuvan. Tällöin niille saadaan täydellisen sekoituksen perusteella seuraavat yhtälöt:

$$\frac{d}{dt}(pH_L) = (pH_T \cdot Q_T + pH_P \cdot Q_P - Q_L \cdot pH_L) / V \quad (7.5-18)$$

$$\frac{d}{dt}(bakt_L) = (bakt_T \cdot Q_T + bakt_P \cdot Q_P - Q_L \cdot bakt_L) / V \quad (7.5-19)$$

Edellä olleissa yhtälöissä on otettu huomioon täydellinen sekoitus. Kun diskretisoidaan differentiaaliyhtälöt (7.5-4...19) Eule-
rin menetelmällä, saadaan hetkellä $n \cdot \Delta$ ilmastusaltaasta lähtevän veden laaduksi taulukon 3 merkinnöin:

$$Q_{Ln} = Q_{Tn} \quad (7.5-20)$$

$$ka_{Ln} = M_n + Z_n + MNH_n + MNO_n + MN_n \quad (7.5-21)$$

$$hj_{Ln} = hj_{L(n-1)} + ((hj_T - ka_T)Q_T + (hj_P - ka_P)Q_P) / (V + ka_{Ln}) \quad (7.5-22)$$

$$org_n = M_n + MNH_n + MNO_n + MN_n \quad (7.5-23)$$

$$O_{2Ln} = O_{2Ln} \quad (7.5-24)$$

$$BHK_{Ln} = BHK_n \quad (7.5-25)$$

$$LP_{Ln} = LP_n \quad (7.5-26)$$

$$KP_{Ln} = KiP_n + LP_n \quad (7.5-27)$$

$$KN_{Ln} = KiN + LN_n + NH_n + NO_n + N_n \quad (7.5-28)$$

$$LN_{Ln} = LN_n + NH_n + NO_n + N_n \quad (7.5-29)$$

$$T_{cLn} = T_{cLn} \quad (7.5-30)$$

$$pH_{Ln} = pH_{Ln} \quad (7.5-31)$$

$$bakt_{Ln} = bakt_{Ln} \quad (7.5-32)$$

Virtauksen lisäksi puutteena baktereiyhtälöissä on kasvua ja kuolemista kuvaavien termien vajavaisuus. Mallissa on käytetty bakteerien kasvulle Haldane-Monodin tai Monodin mallia ravinteen ollessa rajoittavana tekijänä. Kuitenkin myös happi on rajoittava tekijä: hapen vähäisyys tai suuret happipitoisuuden muutokset saattavat pysäyttää puhdistusprosessin.

Eräitä yrityksiä on tehty näiden seikkojen kuvaamiseksi (Hämäläinen et al. 1975, Nagai et al. 1973), mutta tulokset eivät vielä ole olleet kovin hyviä. Siksi tässä mallissa on oletettava, että happea on aina riittävästi, mikä on merkittävä rajoitus häiriötilanteiden tarkastelussa.

7.6 Rinnakkaissaostuksen malli

Aktiivilieteprosessi vaikuttaa melko vähän varsinkin liukoiseen fosforiin, joka erilaisina suoloina toimii ravinteena ja on siten suuri purkuvesistön rehevöittäjä. Fosforia voidaan kuitenkin saostaa lisäämällä ferrosulfaattia tai muita sopivia kemikaaleja jäte-

veteen.

Saostuskemikaali lisätään simultaanisaostuksessa ilmastusaltaaseen. Tällöin saostuskemikaali muuttaa liukoista fosforia kiinteäksi. Sen vaikutus bakteerien toimintaan on melko pientä, joten se voidaan jättää huomiotta siltä osin. Saostuskemikaali vaikuttaa myös kiintoaine-, haihdutusjäännös- ja hehikutushäviöpitoisuutta lisäävästi (EPA 1971c, Minton-Carlson 1972, Nesbitt 1972). Näiden lisäksi on havaittu happipitoisuuden jyrkkä lasku kemikaalin lisäyskohdassa ilmastusaltaassa, mutta tämä ilmiö voidaan jättää huomiotta, koska kyseessä on vain paikallinen poikkeama. Tällöin muutokset ilmastusaltaasta lähtevän veden laatua kuvattaessa verrattuna konventionaaliseen aktiivilieteprosessiin esiintyvät yhtälöissä (7.5-21,23,25), jotka korvataan yhtälöillä

$$ka_{Ln} = 0,6Fe + M_n + Z_n + MNH_n + MNO_n + MN_n \quad (7.6-1)$$

$$org_{Ln} = 0,4Fe + M_n + MNH_n + MNO_n + MN_n \quad (7.6-2)$$

$$LP_{Ln} = LP_{L(n-1)} + (0,1(LP_{Tn}Q_{Tn} + LP_{Pn}Q_{Pn}) - LP_{L(n-1)}Q_{Ln})/V \quad (7.6-3)$$

joissa Fe on lisätyn $FeSO_4$:n määrä.

Saostuskemikaalin lisäyksen on havaittu vaikuttavan myös laskeutuminaisuuksiin jälkiselkeytyksessä. On havaittu mm. (Mankki 1974) tulosten perusteella, että lieteindeksin riippuvuus liete-kuormasta hieman muuttuu. Em. lähteen esittämien tulosten perusteella on saatu simultaanisaostuksessa tämä riippuvuus muotoon

$$SVI = \frac{\sin(\pi \cdot F - 1,7)}{(110e^{-6,5/F-0,3} + 280e^{-4,5/F-0,9}) + 25 + 65F} \quad (7.6-4)$$

Lisäksi on havaittu saostuksen hieman muuttavan hehikutushäviön sekä liukoisen ja kiinteän fosforipitoisuuden riippuvuutta kiintoaineen erottumisesta jälkiselkeytyksessä (EPA 1971b).

Muuten jälkiselkeytyks on samanlainen kuin 7.3:ssa on esitetty, paitsi että yhtälö (7.3-33) korvataan edellä olevalla yhtälöllä 7.6-4) ja yhtälöt (7.3-37,39,40) korvataan yhtälöillä

$$\text{org}_E = 0,65 \cdot \text{ka}_E \quad (7.6-5)$$

$$\text{LP}_E = \text{LP}_T \quad (7.6-6)$$

$$\text{KP}_E = 0,015 \text{ ka}_E + \text{LP}_E \quad (7.6-7)$$

7.7 Lietteen mädätyksen malli

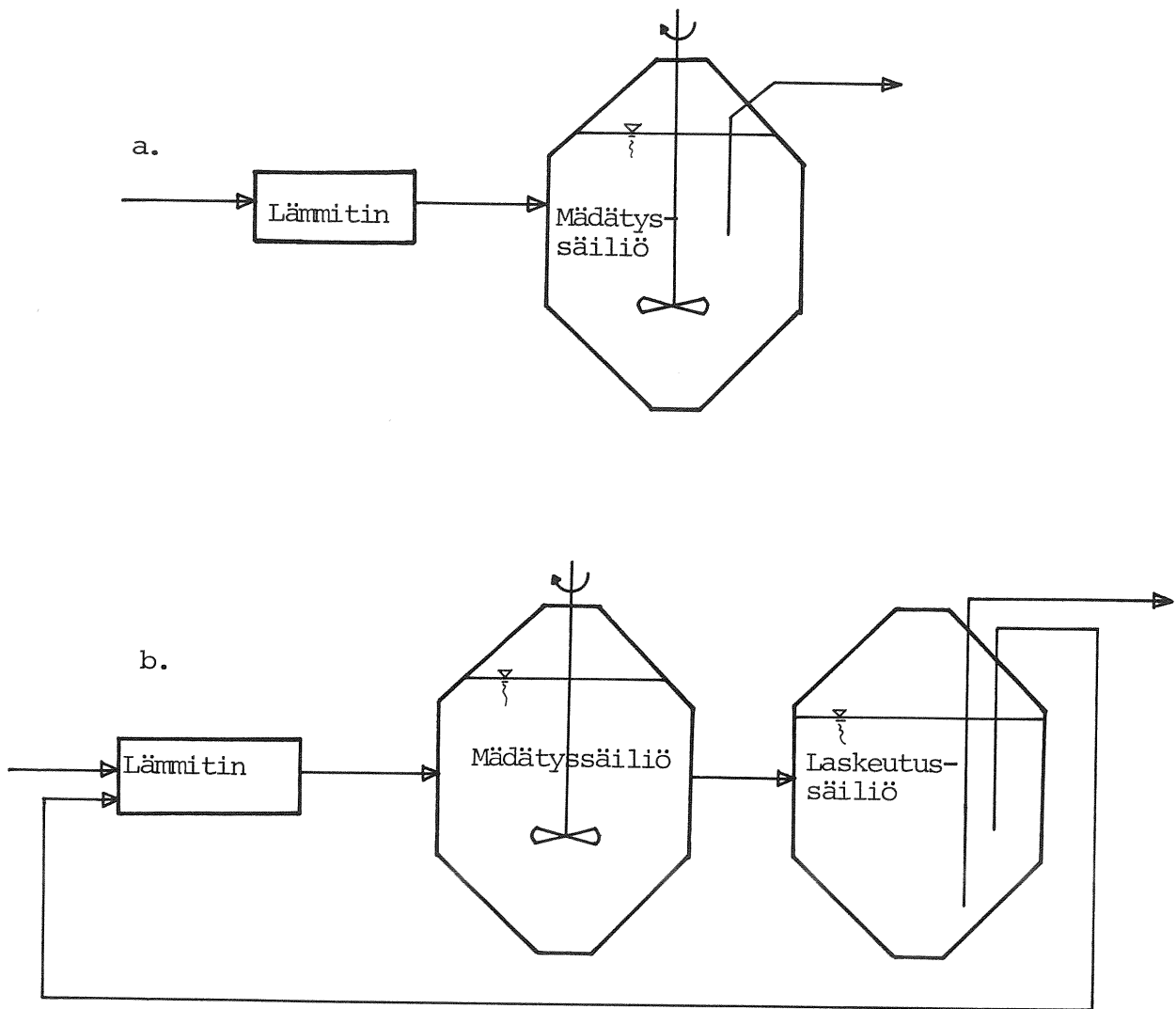
Mädätys tapahtuu kahdessa vaiheessa: ensin happoja tuottavat bakteerit hajottavat tulevan lietteen orgaanisiksi hapoiksi. Lisäksi muodostuu muita orgaanisia yhdisteitä, bakteerimassaa, vettä ja hiilidioksidia. Orgaaniset hapot muodostavat toisen vaiheen l. metaania tuottavien bakteerien ravinnon. Toisen vaiheen tuloksena saadaan bakteerimassaa, hiilidioksidia ja metaania.

Prosessille on ominaista, että metaanibakteerien kasvunopeus on pienempi kuin happobakteerien, joten prosessin dynamiikan kannalta olennainen tekijä on happojen hajoaminen. Lisäksi orgaanisella hapolla on metaanibakteerien kasvua rajoittava vaikutus happopitoisuuden kasvaessa liian suureksi. Kirjallisuudessa on keskitytty melkein yksinomaan metaanibakteerien tarkasteluun, koska niiden kasvu on toiminnan ja prosessin stabiloinnin kannalta tärkeintä. Simulointimallissa ei kuitenkaan voida jättää huomiotta happobakteerien dynamiikkaa.

Mädätyksen toteuttamiseksi on kahdenlaisia periaatteellisia ratkaisuja (Fan et al. 1973):

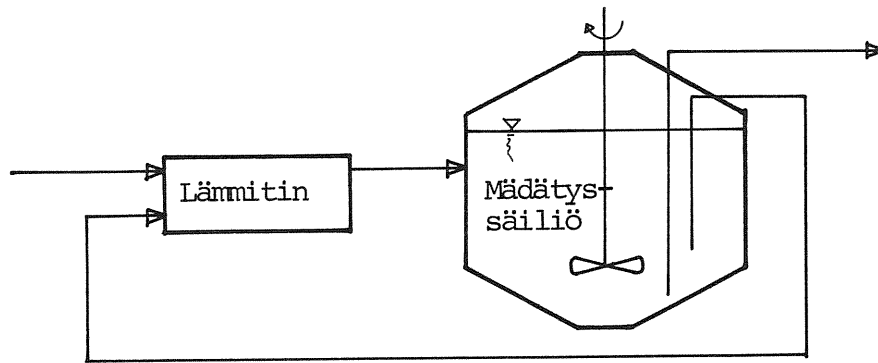
- yksivaiheinen l. konventionaalinen mädätys, jonka periaate on kuvan 18a kaltainen
- kaksivaiheinen l. kontaktimädätys, jonka periaate on kuvassa 18b

Molemmissa toteutuksissa bakteeriprosessit tapahtuvat samassa mädätyssäiliössä, jota jatkuvasti sekoitetaan. Kontaktiprosessissa tarvitaan toinen säiliö, jossa lietteen laskeutus tapahtuu.



Kuva 18. a. Konventionaalinen mädätys.
b. Kontaktimädätys.

Lietteen laskeutus osoittautui erittäin hankalaksi kuvata, ja siksi on tyydytty muodostamaan malli ainoastaan konventionaaliselle mädätykselle, johon on lisätty palaute (kuva 19).



Kuva 19. Eräs mädättämöratkaisu.

Happojen muodostamisvaiheelle voidaan täydellisen sekoituksen altaassa muodostaa seuraavat yhtälöt (Fan et al. 1973):

$$\frac{d}{dt}(V \cdot M_1) = \hat{\mu}_1 \frac{S_1 \cdot M_1 \cdot V}{K_S + S_1} - Q_L \cdot M_1 + Q_P M_{1P} \quad (7.7-1)$$

$$\frac{d}{dt}(V \cdot S_1) = Q_T \cdot S_T - Q_L \cdot S_1 - \frac{\hat{\mu}_1}{Y_1} \frac{S_1 \cdot M_1 \cdot V}{K_S + S_1} + Q_P \cdot S_{1P} \quad (7.7-2)$$

- M_1 1. vaiheen bakteerien pitoisuus
- S_1 orgaanisten yhdisteiden pitoisuus
- $\hat{\mu}_1$ kasvukerroin
- K_S kyllästymiskerroin
- Y_1 tuottokerroin

Happojen muodostumisen oletetaan olevan verrannollinen kulutettuun ravinteeseen (verrannollisuuskerroin K_2).

Happojen hajoamista kuvaamaan on viitteissä (Andrews 1972, Graef-Andrews 1974) suositeltu seuraavia yhtälöitä:

$$\frac{d}{dt}(V \cdot M_2) = Q_P \cdot M_{2P} - Q_L \cdot M_2 + \mu \cdot M_2 \cdot V - K_x \cdot T_x \cdot V \quad (7.7-3)$$

$$\frac{d}{dt}(V \cdot S_2) = K_2 \frac{\hat{\mu}_1}{Y_1} \cdot \frac{S_1 \cdot M_1 \cdot V}{K_S + S_1} - Q_L \cdot S_2 - \frac{\mu}{Y_2} \cdot M_2 \cdot V + Q_P \cdot S_{2P} \quad (7.7-4)$$

joissa

$$\mu = \mu_2 / (1 + K S_2 K_A / (S_2 \cdot H) + S_2 \cdot H / (K_A \cdot K I_2)) \quad (7.7-5)$$

$$\frac{d}{dt}(V \cdot CO_2) = V(KLA(CO - CO_2) + YC \cdot M_2 \cdot \mu) - Q_L \cdot CO_2 + R_C \quad (7.7-6)$$

$$\text{jossa } R_C = Q_T(Z_T - S_1) - Q_L(Z_2 - S_2) + dS_2/dt - dZ_2/dt \quad (7.7-7)$$

$$\text{ja } d(V \cdot Z_2)/dt = Q_L(Z_T - Z_2) \quad (7.7-8)$$

$$H = K \cdot CO_2 / (Z_2 - S_2) \quad (7.7-9)$$

M_2	2. vaiheen bakteerien pitoisuus
S_2	orgaanisten happojen pitoisuus
μ_2	kasvukerroin
$K S_2$	H^+ -ionien pitoisuus
K	verrannollisuuskerroin
Y_2	tuottokerroin
$K I_2$	inhibitiivisyyskerroin
$Z = C-A$ ja C	kationi- ja A anionipitoisuus
K_A	verrannollisuuskerroin
CO	CO_2 :n kyllästyspitoisuus
KLA	verrannollisuuskerroin
YC	tuottokerroin
K_x	verrannollisuuskerroin

Lisäksi V toteuttaa yhtälön

$$\frac{d}{dt}(V) = Q_T - Q_L \quad (7.7-10)$$

Tällöin saadaan säiliössä olevan lietteen laatua kuvaavien suureiden arvoiksi hetkellä n, kun differentiaaliyhtälöt on diskretisoitu, seuraavat yhtälöt (taulukko 3):

$$V_n = V_{n-1} + Q_{Tn} - Q_{Ln} \quad (7.7-11)$$

$$ka_{Ln} = M_{1n} + M_{2n} \quad (7.7-12)$$

$$hj_{Ln} = ka_{Ln} + hj_{L(n-1)} - ka_{L(n-1)} + (Q_{Tn}(hj_{Tn} - ka_{Tn}) - Q_{Ln} \cdot (hj_{L(n-1)} - ka_{Ln})) / V_n \quad (7.7-13)$$

$$org_{Ln} = ka_{Ln} \quad (7.7-14)$$

$$O_{2Ln} = 0,0 \quad (7.7-15)$$

$$BHK_{Ln} = S_{1n} + S_{2n} \quad (7.7-16)$$

$$LP_{Ln} = LP_{L(n-1)} + (Q_{Tn} LP_{Tn} - Q_{Ln} LP_{L(n-1)}) / V_n \quad (7.7-17)$$

$$KP_{Ln} = 0,0275 \text{ hj}_{Ln} \quad (7.7-18)$$

$$KN_{Ln} = KN_{L(n-1)} + (Q_{Tn} KN_{Tn} - Q_{Ln} KN_{L(n-1)}) / V_n \quad (7.7-19)$$

$$LN_{Ln} = LN_{L(n-1)} + (Q_{Tn} LN_{Tn} - Q_{Ln} LN_{L(n-1)}) / V_n \quad (7.7-20)$$

$$T_{cLn} = T_{cL(n-1)} + (Q_{Tn} T_{cTn} - Q_{Ln} T_{cL(n-1)} - K(T_{cL(n-1)}^{-TY})) / V_n \quad (7.7-21)$$

$$pH_{Ln} = -\log(H/1000) \quad (7.7-22)$$

$$\text{bakt}_{Ln} = \text{bakt}_{L(n-1)} + (Q_{Tn} \text{bakt}_{Tn} - 0,01 - Q_{Ln} \text{bakt}_{L(n-1)}) / V_n \quad (7.7-23)$$

Palaute on jatkuva virtaama. Sen laatu saadaan yhtälöistä (7.7-11...23). Virtaaman määrää on mahdollista säätää säiliössä olevan veden lämpötilan mukaan. Mädätyksestä johdetaan lietettä kahteen paikkaan: viemäriveden käsittelyyn lietevetenä ja lietteen jatkokäsittelyyn, joka voi olla jokin lietteen laadun parannustoiminta tai laitokselta pois kuljetus.

Lietevettä oletetaan poistettavan vuorokaudessa määräpituinen aika. Poistonopeus on vakio. Lietteveden laatu ei aina ole sama kuin säiliössä olevan lietteen laatu, koska sekoituksesta huolimatta säiliöön muodostuu kerroksia, joissa on erilaatuista lietettä. Jos hoito on hyvä, lietevesi on paljon laimeampaa kuin säiliössä oleva liete. Tämän ilmiön kuvaamista varten on valittu hoitovakio. Lietteveden laatusuureiden arvot (X_n) saadaan yhtälöistä (7.7-11...23). Kuitenkin kiinteiden suureiden (ka, hj, org, KP, KN) arvo täytyy jakaa (41 - HOI):lla kerrostumisen kuvaamiseksi.

$$X_n = X_n / (41 - HOI) \quad X_n = \text{ka, hj, org, KP, KN} \quad (7.7-24)$$

jossa HOI on hoitovakio, jonka arvo on välillä 1...40.

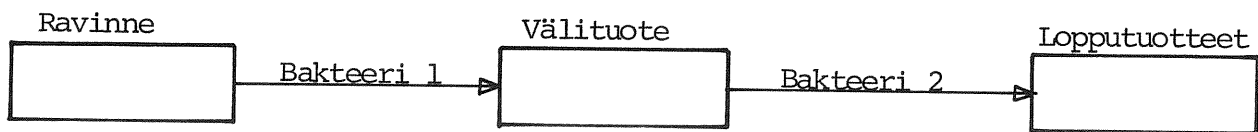
Jatkokäsittelyyn menevän veden poistonopeuden oletetaan olevan vakio. Vettä poistetaan määräpituinen aika vuorokaudessa. Poikkeuksena ovat kuitenkin tapaukset, jolloin säiliö on tullut

liian täyteen tai tyhjäksi. Tämän veden laatu saadaan yhtälöistä (7.7-11...23).

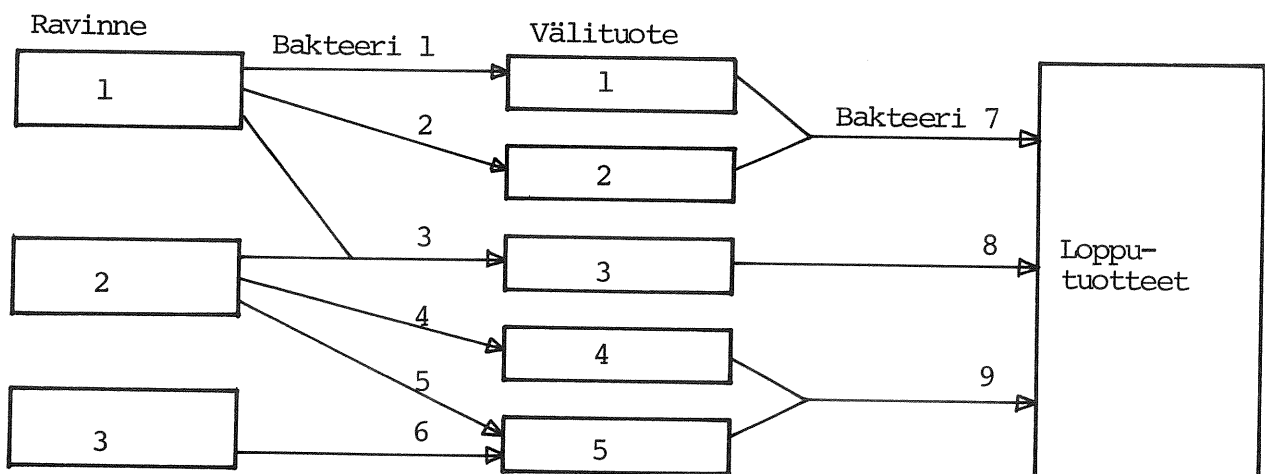
Laskeutusosan puuttuminen on melko haitallista mallille. Lisäksi sekoitus on tehotonta, ja siitä johtuvasta kerrostuneisuudesta on erittäin vaikea saada tietoa, koska se riippuu mm.

- tulevan lietteen laadusta ja laskeutumisominaisuuksista
- tulevan ja lähtevän virtaaman määrästä
- lähtevän virtaaman ottotavasta
- sekoitustehosta

Bakteeriprosessit ovat huomattavasti monimutkaisempia kuin on oletettu. Mädätyksessä on useita eri bakteerilajeja, jotka hajottavat eri orgaanisia yhdisteitä erilaisiksi orgaanisiksi hapoiksi. Näitä hajottavat metaaniksi puolestaan omat bakteerilajinsa. Nyt oletettu bakteeriprosessi voidaan esittää kuvan 20 mukaisesti. Oikeampaa olisi kuitenkin tarkastella kuvan 21 mukaista ravintoketjua, jossa on rinnakkaisia bakteerikantoja ja ravinteet jaoteltu huomattavasti tarkemmin. Näiden malleja on Curds (1974) käsitellyt.



Kuva 20. Yksinkertaistettu bakteeriprosessi.

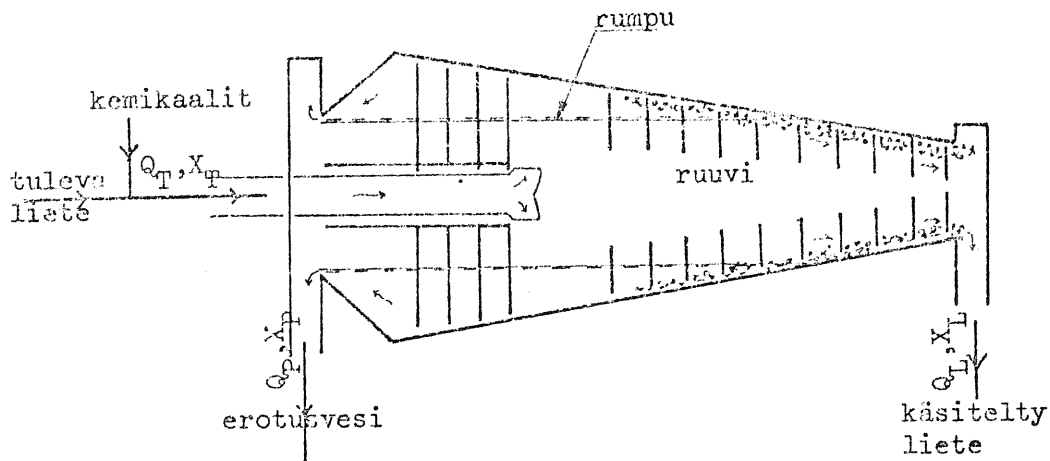


Kuva 21. Todenmukaisempi bakteeriprosessi.

Toisaalta mallissa on otettu huomioon suureita, joita on erittäin vaikea mitata tulevasta lietteestä ja mädätyssäiliön lietteestä ja siten arvioida niiden todellista vaikutusta. Esimerkkinä ovat mm. myrkkypitoisuus ja karbonaatti-ionien määrä. Mittausten puutte ja mädättämömallien käytön vähyyt vaikeuttavat yhtälöissä olevien kertoimien määrittäystä ja yhtälöiden kuvaavuuden arviointia.

7.8 Lietelingon malli

Lietelingon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Linko.

Lingossa on pyörivä rumpu ja sen sisällä ruuvikuljetin, jonka pyörimisnopeus poikkeaa rumpun nopeudesta ja joka siirtää lietettä kapenevaa päätä kohti. Parhaimmillaan lingotun lietteen kiintoainepitoisuus on 20...30 %. Eri valmistajien lingot poikkeavat toisistaan paljon.

Lingolle ei ole löydetty valmiita malleja. Mittauksia lingolta viemärivereden käsittelyyn palautettavan veden laadusta on kuitenkin tehty melko runsaasti. Eräiden mittausten (Kaila et al. 1973) perusteella on pyritty muodostamaan karkea malli lingolle. Mittauksissa havaittiin lingon toiminnan riippuvan paljon siitä, mistä puhdistusvaiheista liete oli peräisin.

Tuleva liete päätettiin jakaa neljään luokkaan edeltävien käsittelyvaiheiden mukaan:

1. Esiselkeytys + ylijäämäliete konventionaalisesta aktiivilieteprosessista
2. Liete 1, mutta mädätetty ennen linkoamista
3. Esiselkeytys + ylijäämäliete simultaanisaostuksesta
4. Liete 3, mutta mädätetty ennen linkoamista

Mittausten perusteella on saatu seuraavat riippuvuudet kuvan 22 ja taulukon 3 merkinnöin:

Tarkastellaan vain lietettä 3. Muille lietteille on saatu vastaavan muotoiset yhtälöt, vain kertoimet ovat hieman erilaiset.

$$hj = 2,8 \cdot hj_T + 4600, \text{ kuitenkin } hj \leq 300\ 000 \quad (7.8-1)$$

$$hj_F = 3415 - 0,0154 \cdot hj_T \quad (7.8-2)$$

$$\text{jolloin } Q_L = Q_T(hj_T - hj_F)/(hj - hj_F) \quad (7.8-3)$$

$$\text{ja } e = (hj \cdot Q_L)/(hj_T \cdot Q_T) \cdot \begin{cases} 1,1 - 0,1 Q_T/Q_M & Q_T \leq 1,3 Q_M \\ 2,7 - 1,385 Q_T/Q_M & Q_T > 1,3 Q_M \end{cases} \quad (7.8-4)$$

Tällöin palautteen laatusuureille saadaan

$$Q_P = Q_T - Q_L \quad (7.8-5)$$

$$ka_P = \begin{cases} 0,375((1-e)hj_T Q_T)/Q_P & hj_F < 1600 \\ 1,05((1-e)hj_T Q_T)/Q_P - 1060 & hj_F \geq 1600 \end{cases} \quad (7.8-6)$$

$$hj_P = (1-e)(hj_T Q_T)/Q_P \quad (7.8-7)$$

$$org_P = ka_P/ka_T \cdot org_T \quad (7.8-8)$$

$$O_{2P} = O_{2T} \quad (7.8-9)$$

$$BHK_P = \begin{cases} hj_P & hj_P < 1600 \\ 0,605hj_P + 660 & hj_P \geq 1600 \end{cases} \quad (7.8-10)$$

$$LP_P = \begin{cases} 0,03 hj_P - 0,0138 ka_P & hj_P < 1600 \\ 40 & hj_P \geq 1600 \end{cases} \quad (7.8-11)$$

$$KP_P = \begin{cases} 0,03 \text{ hj}_P & \text{hj}_P < 1600 \\ 0,0148 \text{ hj}_P + 24,5 & \text{hj}_P \geq 1600 \end{cases} \quad (7.8-12)$$

$$KN_P = LN_T + 0,1 \cdot ka_P \quad (7.8-13)$$

$$LN_P = LN_T \quad (7.8-14)$$

$$T_{cP} = T_{cT} \quad (7.8-15)$$

$$pH_P = pH_T \quad (7.8-16)$$

$$\text{bakt}_P = 0,8 \text{bakt}_T \cdot Q_T / (Q_T - Q_L) \quad (7.8-17)$$

Q_M koneen nimelliskapasiteetti
 e haihdutusjäännöksen erotusaste

Lähtevän veden laaduksi saadaan

$$X_L = (Q_T \cdot X_T - Q_P \cdot X_P) / Q_L \quad (7.8-18)$$

Muille lietteille e , ka_P , BHK_P ja LP_P :n yhtälöt ovat hieman erilaiset.

8. KÄSITTELYLAITOSMALLIN EDELLYTTÄMIEN LÄHTÖTIETOJEN ANTAMINEN JA MALLIN TULOSTUS

Käsittelylaitosmallissa muodostavat yksikköprosessit kukin oman aliohjelmansa, jotka ovat järjestelmässä käyttövalmiina. Jotta käyttäjä voisi tarkastella mielivaltaista prosessikokonaisuutta, ei ohjelmistosta ole muodostettu valmiita ohjelmia, jotka soveltuisivat jonkin tietyn käsittelylaitoksen tarkastelemiseen. Näin ollen ohjelmiston käyttäjien tehtäväksi jää mallin kokoaminen ja tarvittavan pääohjelman muodostaminen.

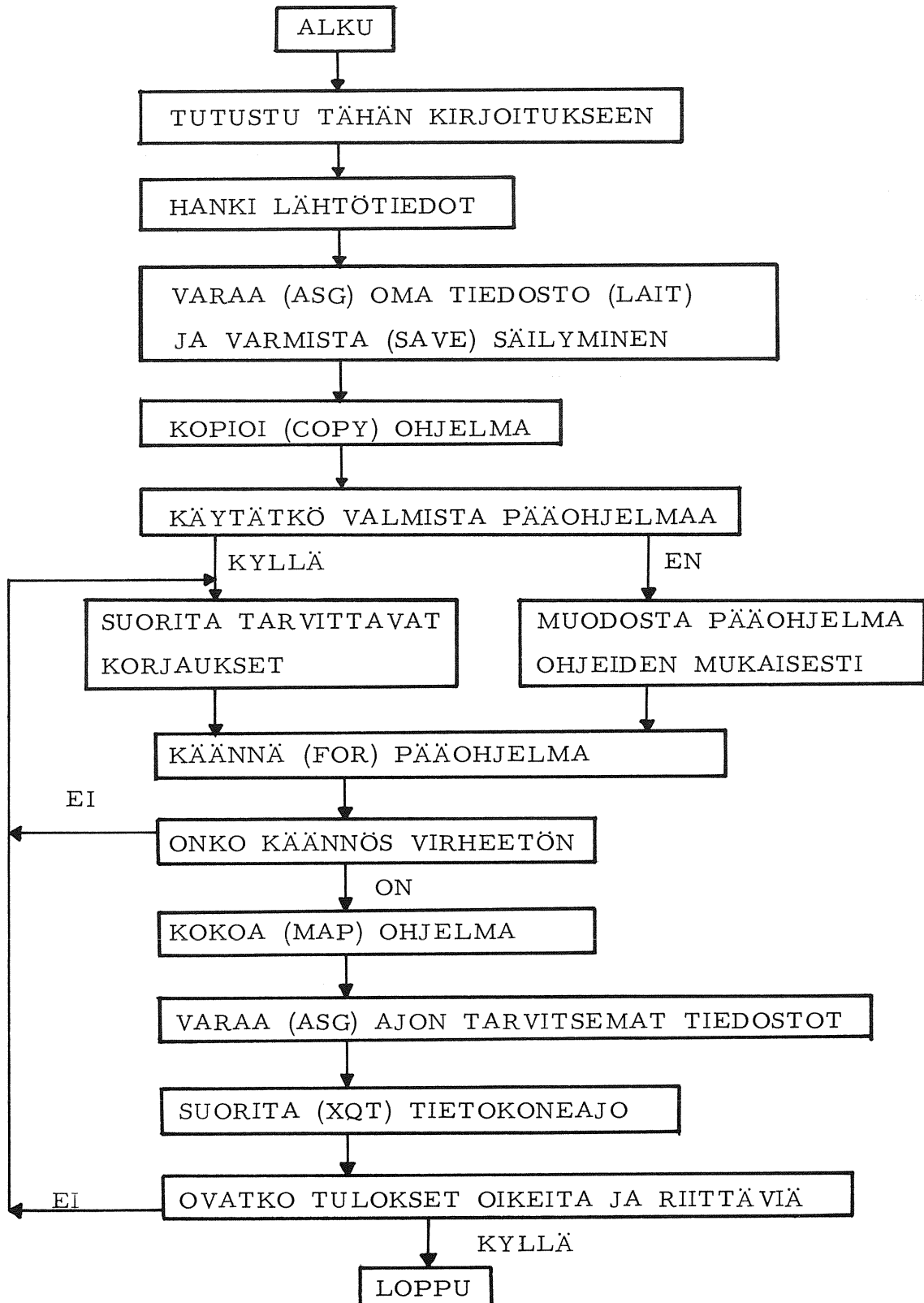
Työ alkaa määrittelemällä käsittelylaitoksen yksikköprosessit ja palautteet laitoksen sisällä. Yksikköprosesseista on käytettävissä (1.5.1975) kaikki luvussa 7 esitetyt mallit.

Kokonaisprosessia muodostettaessa on otettava huomioon seuraavat yleiset rajoitukset:

- kaikki muut yksikköprosessiyhdistelmät ovat sallittuja paitsi aktiivilieteprosessin ja rinnakkaissaostuksen käyttäminen samalla laitoksella
- sama yksikköprosessi ei saa esiintyä kuin kerran yhdellä laitoksella (rinnakkaisten linjojen lukumäärää ei kuitenkaan ole rajoitettu), ts. esim. esiselkeytysaltaita ei saa olla kahta peräkkäin, mutta saa olla n kpl rinnakkain
- palautteita (esim. ylijäämäliete, lietevesi jne. esiselkeytykseen) saa samaan yksikköprosessiin johtaa enintään kolme

Mallin käytön yleisperiaatteet on esitetty kuvassa 23.

Ohjelmiston käytössä tarvittavia lähtötietoja on kahdenlaisia: ensinnäkin lähtötiedot, joita tarvitaan prosessin kuvaamiseksi, sekä toiseksi tiedot tarkastelussa käytettävästä kuormituksesta seuraavasti:



Kuva 23. Käsittelylaitosmallin käyttö.

- ohjelmiston tarvitsemat lähtötiedot
 - yksikköprosessimallien tarvitsemat alkuarvot
 - yksikköprosessien mitoitustiedot
 - mallien tarvitsemat parametrit
 - kuvaukseen tarvittavat yleiset tiedot, kuten palautteet, häiriöt jne.
 - tulostuksen ohjaukseen tarvittavat tiedot

- tarkasteltavan kuormituksen määrittely
 - virtaamatiedot simulointiajanjaksolla
 - veden laatu ja laadun vaihtelut simulointijaksolla

Yksikköprosessimallien antama tulostus simulointijaksolta kerätään erityisiin tulostiedostoihin, joita käytetään sekä mallin sisäisinä lähtötietoina että toimintatulosten säilyttämiseen tulostusta varten. Tiedostoissa käytetään erityistä numerointia, joka on esitetty taulukossa 8 (s. 85).

Ohjelmiston tarvitsemat lähtötiedot ja muut määriteltävät suu-reet sekä alkuarvot ja niiden merkitykset on esitetty taulukossa 9 (s. 86...93).

Vastaavat määrittelyt ja aliohjelmakutsut on esitetty ohjelmointilomakkeilla (taulukko 10, s. 95...98).

Taulukko 8. Tiedostonumerointi.

tiedosto n:o	tiedoston sisältö (tiedot jokaiselta aika-askeleelta)
10	ylivuotovedet
11	välppäyksen jälkeinen veden laatu ja määrä
12	selkeytyksen jälkeinen veden laatu ja määrä
13	aktiivilieteprosessin jälkeinen veden laatu ja määrä
14	flotaation jälkeinen veden laatu ja määrä
15	lingon jälkeinen lietteen laatu ja määrä
16	mädätyksen jälkeinen lietteen laatu ja määrä
17	ylijäämälietteen laatu ja määrä (aktiivilieteprosessi tai rinnakkaisaostus)
18	liete flotaatiosta (laatu ja määrä)
19	lietevesi lingosta (laatu ja määrä)
20	tasausaltaan jälkeinen veden laatu ja määrä
21	lietevesi mädättämöstä (laatu ja määrä)
22	selkeytysaltaassa olevan lietteen laatu ja määrä
23	palautusliete aktiivilieteprosessissa tai rinnakkaisaostuksessa (laatu ja määrä)
26	aputiedosto flotaatiota varten
27	aputiedosto aktiivilieteprosessia tai rinnakkaisaostusta varten
28	kuten tiedosto 27
29	aputiedosto selkeytystä varten

Taulukko 9. Ohjelmistossa käytetyt määriteltävät suureet.

I/R ⁽¹⁾	dim ⁽²⁾	tunnus	selitys	huom!
			1. Yleiset suureet, joiden tunnuksiin liitetään viimeiseksi kirjaimeksi kutakin yksikköprosessia kuvaava kirjain ⁽³⁾	
I	-	N	yksikköprosessiin johdettavien palautteiden lukumäärä	$N \leq 3$
I	3	FB	mistä yksikköprosesseista palautteet tulevat (taulukon 8 mukainen numerointi palautteille)	
I	13	PO	milloin ko. yksikköprosessi jää pois käytöstä (tuntia simuloinnin alkamisajankohdasta)	
I	13	KU	milloin ko. yksikköprosessi tulee mukaan toimintaan (tuntia simuloinnin alusta)	
I	-	I	monesko keskeytysajankohta on seuraavana vuorossa	aina alussa $I = 1$
			2. Tasausallas (yleiset: NT, FBT, POT, KUT, IT)	
R	-	QMT	mitoitusvirtaama	1/s
R	-	VMT	altaan vesitilavuus	m^3
R	-	QMAT	maksimivirtaama	1/s
R	13	TT	alkuarvot altaan veden laadulle (laatu-arvot annetaan taulukon 3 (s. 39) mukaisessa järjestyksessä 1. $TT(1) = Q$, $TT(2) = ka, \dots$, $TT(13) = bakt$	laadut kuten taulukossa 3
R	-	VT	altaassa olevan veden määrä alkuhetkellä	m^3
R	-	VIT	pienin sallittu veden määrä altaassa (yleensä 0.0 ts. allas tyhjänä)	m^3
			3. Välppä (yleiset: NV, FBV, ..., IV)	
R	-	QSV	maksimivirtaama	1/s

- 1) I/R ilmaisee suuretyypin. I on kokonaisluku (integer) ja R desimaaliluku (real)
- 2) dim ilmaisee suureeseen liittyvien lukuarvojen määrän
- 3) T = tasausallas, V = välppä, E = selkeytys, F = flotaatio, A = aktiivilieteprosessi tai rinnakkaissaostus, S = linko, M = mädätys.
Esim. NE on: montako palautetta johdetaan selkeytykseen.

I/R	dim	tunnus	selitys	huom!
			4. Esiselkeytys (yleiset: NE,...,IE)	
R	-	QSE	maksimivirtaama	l/s
I	-	PE	apuindeksi	PE = 1
R	-	PNE	lietteen poistonopeus/allasyksikkö	l/s
I	-	MAE	rinnakkaisten allasyksiköiden lukumäärä	kpl
I	13	MARE	häiriötilanteessa käytöstä poissa olevien altaiden lukumäärä	kpl
R	-	TE	altaiden veden lämpötila alkuhetkellä	°C
R	-	LE	yhden altaan pituus	m
R	-	HE	yhden altaan syvyys	m
R	-	BE	yhden altaan leveys	m
R	-	SE	apusuure, jonka alkuarvo on esim.1300	
R	9	LASNE	kuhunkin hiukkaskokoluokkaan kuuluvien hiukkasten keskimääräinen laskeutumisnopeus (ks. s. 51), esim. 6,5-4,0-3,0-2,0-1,5-1,0-0,75-0,5 ja 0,25)	m/h
R	-	VIE	selkeytysaltaan laskeutusosan tilavuus (esim. n. 0,75 x koko tilavuus)	m ³
R	-	AXE	apusuure, joka kuvaa, montako kertaa jätevettä on pumpattu viemäriverkossa AXE = 0,05, kun pumppauksia on 0, AXE = 0,045, kun pumpp. 1 tai 2, ja AXE = 0,04, kun pumpp. 3 tai enemmän	
I	-	VIIVE	kuollut aika altaassa ilmaistuna aika-askeleen monikertana (esim. aika-askel = 20 min, VIIVE = 0,20,40,...)	min
			5. Flotaatio (yleiset: NF,...,IF)	
R	-	QSF	maksimivirtaama	l/s
R	-	VF	flotaatioaltaan tilavuus (yhden altaan)	m ³
I	-	MAF	rinnakkaisten altaiden lukumäärä	kpl
I	13	MARF	häiriötilanteessa käytöstä poissa olevien altaiden määrä	kpl
I	-	PF	apuindeksi	PF = 1
R	-	PNF	lietteenpoistonopeus/allas	l/s
R	4	SAF	disperssiveden määrän säätämiseksi tarvittavia parametreja. Jos halutaan vakionopeus syötölle, annetaan ko. arvo SAF(1):lle (l/s).	

I/R	dim	tunnus	selitys	huom!
			5. Flotaatio jatk.	
R	-	LF	flotaatioaltaan pituus	m
R	-	BF	flotaatioaltaan leveys	m
R	13	XLF	alkuarvot lietteelle (esim. 13x0.0)	
R	-	VLF	alkuarvo lietteen määrälle (esim. 0.0)	m ³
R	13	YF	alkuarvot disperssiveden laadulle (esim. tulevan veden keskimääräiset arvot ja YF(1) = SAF(1))	
R	-	VYF	disperssivesisäiliössä olevan veden määrä	m ³
I	-	VIIVF	kuollut aika flotaatioaltaassa ilmaistuna aika-askeleen monikertana	min
R	-	DPF	disperssiveden ylipaine (yleensä 200...800 kPa)	kPa
R	-	CF3	apusuure (tavallisesti CF3 = 0,4... 0,7)	
R	-	CF4	apusuure (tavallisesti CF4 = 0,5... 0,8)	
			6. Aktiivilieteprosessi (yleiset: NA,...,IA)	
R	-	QSA	maksimivirtaama/allas	l/s
R	-	LA	jälkiselkeytysaltaan pituus	m
R	-	BA	"- leveys	m
R	-	HA	"- syvyys	m
R	-	VIA	ilmastusaltaan tilavuus	m ³
I	-	VIIVA	kuollut aika jälkiselkeytysaltaassa aika-askeleen monikertana	min
R	-	PNA	ylijäämälietteiden pumppausnopeus/allas	l/s
I	-	MAA	rinnakkaisten linjojen lukumäärä	kpl
R	-	VEA	jälkiselkeytysaltaan selkeytysosan tilavuus (esim. 0.8 x altaan kokonais-tilavuus)	m ³
R	-	HOITA	hoidon tasoa kuvaava vakio (esim. hyvä hoito 0.0, keskink. hoito 20.0, huono hoito 40.0)	
I	-	PA	apuindeksi	PA = 1
R	2	ASVIA	ASVIA(1)/ASVIA(2) on ilmastusaltaan lietekuormitus kg BHK/kg lietettä /vrk	kg

I/R	dim	tunnus	selitys	huom!
			6. Aktiivilieteprosessi jatk.	
R	-	TA	jälkiselkeytysaltaiden veden lämpötila (alkuarvo)	°C
R	-	SIA	apusuure (σ^2 tekstissä s. 46), alkuarvo esim. 800	
			alkuarvoja diff.yhtälöiden diskretisointia varten	
R	-	XA	bakteerimassan pitoisuus ilmastusaltaassa	mg/l
R	-	SUA	liukoinen BHK ilmastusaltaasta lähtevässä vedessä	mg/l
R	-	ZA	kuolleen (inertin) kiintoaineen pitoisuus ilmastusaltaassa (esim. 50 mg/l)	mg/l
R	-	AA	ammoniumtyypen pitoisuus	mg/l
R	-	XNA	Nitrosomonas-bakteerien pitoisuus	mg/l
R	-	NIA	nitriittipitoisuus	mg/l
R	-	XIA	Nitrobacter-pitoisuus	mg/l
R	-	NAA	nitraattipitoisuus	mg/l
R	-	XAA	anaerobisten bakteerien pitoisuus	mg/l
R	-	TIA	veden lämpötila ilmastusaltaassa	°C
R	-	OIA	ilmastusaltaasta lähtevän veden happipitoisuus	mg/l
R	-	RA1 ZA2 OA2 TA2 BA2 KA2	apusuureita, joille annetaan alkuarvoiksi 0,0	
			bakteeriyhtälöiden kertoimien arvoja (kertoimien merkitys selvitetty tekstissä)	
R	-	MYA	μ tyypillinen arvo = 0,2	1/h
R	-	KSA	KS 100	mg/l
R	-	KIA	KI 10 000	mg/l
R	-	KDA	KD 0,02	1/h
R	-	YA	Y 0,4	
R	-	BOA	B_0 $1,2 \times 10^{-7}$	1/s

I/R	dim	tunnus	selitys	huom!
			6. Aktiivilieteprosessi jatk.	
R	-	MYA1	μ_1 tyypillinen arvo = $0,5 \times 10^{-4}$	1/s
R	-	KSA1	KS_1 100	mg/l
R	-	KIA1	KI_1 10 000	mg/l
R	-	KDA1	KD_1 $0,12 \times 10^{-5}$	1/s
R	-	YA1	Y_1 0,5	
R	-	MYA2	μ_2 $0,5 \times 10^{-4}$	1/s
R	-	KSA2	KS_2 100	mg/l
R	-	KIA2	KI_2 10 000	mg/l
R	-	KDA2	KD_2 $0,12 \times 10^{-5}$	1/s
R	-	YA2	Y_2 0,5	
R	-	KA	KA 2,0	
R	-	MYA3	μ_3 $0,5 \times 10^{-4}$	1/s
R	-	KSA3	KS_3 100	mg/l
R	-	KIA3	KI_3 10 000	mg/l
R	-	KDA3	KD_3 $0,12 \times 10^{-5}$	1/s
R	-	YA3	Y_3 0,5	
R	-	KA3	KA_1 1,3	
R	-	VANA	denitrifikaatiovaiheen tilavuus ilmas- tusaltaassa. Jos ei tarkastella denitrifikaatiota, VANA = 0,0	m^3
			Happi- ja lämpötilayhtälöiden suuret ja kertoimet	
R	-	PVIA	mitoitussilmämäärä/ilmastin	
R	-	PVOA	kokonaismitoitussilmämäärä	
R	-	AOA	a tyypillinen arvo 0,4	
R	-	BA	b $0,25 \times 10^{-5}$	1/s
R	-	AOA1	a_1 0,2	
R	-	BOA1	b_1 $0,12 \times 10^{-5}$	1/s
R	-	AOA2	a_2 0,6	
R	-	BOA2	b_2 $0,12 \times 10^{-5}$	1/s
R	-	AOA3	a_3 0,4	
R	-	BOA3	b_3 $0,1 \times 10^{-5}$	1/s

I/R	dim	tunnus	selitys	huom!
			6. Aktiivilieteprosessi jatk.	
R	-	TILA	puhalletun ilman lämpötila	°C
R	-	TSA	ulkoilman lämpötila	°C
R	-	KTA	kerroin (esim. 10,0)	
R	9	SA	palautuslietteen pumppauksen ja ilmastuksen säätöön tarvittavia parametreja	
R	-	SOA	apusuure ilmastusaltaan veden lämpötilalle = TIA	
			7. Rinnakkaissaostus	
			edellyttää samat määrittelyt kuin aktiivilieteprosessi sekä lisäksi:	
R	-	FESA	ferrosulfaatin lisäys	g/m ³
			8. Lietelinko (yleiset: NS,...,IS)	
R	-	QSS	maksimikapasiteetti/linko	l/s
I	-	MAS	rinnakkaisten linkojen määrä	kpl
I	-	LAATS	käsiteltävän lietteen laatu: 1 = raakaliete esiselkeytyksestä + ylijäämaliete 2 = kuten 1, mutta mädätetty liete 3 = raakaliete esiselk. + rinnakkais- saost. ylijäämaliete 4 = kuten 3, mutta mädätetty liete	
I	13	MARS	häiriötilanteessa käytöstä poissa olevien linkojen lukumäärä	kpl
			9. Mädätys (yleiset: NM,...,IM)	
R	-	QSM	maksimivirtaama (maksimipumppaus mädätykseen)	l/s
R	-	VMAM	säiliön tilavuus	m ³
R	-	VKYM	suurin sallittu lietteen määrä säiliössä	m ³
R	-	VKAM	pienin sallittu lietteen määrä säiliössä	m ³

I/R	dim	tunnus	selitys	huom!
			9. Mädätys jatk.	
R	-	PNM	määrittelee poispumppauksen seuraavasti: lietettä jatkokäsittelyyn 3 x PNM lieteveettä PNM	1/s
R	-	PNPM	lietteen kierrätysnopeus	1/s
I	-	PAM	apusuure	PAM = 1
R	-	MYM	μ_1 tyypillinen arvo	$0,6 \times 10^{-4}$ 1/s
R	-	KSM	KS_1	500 mg/l
R	-	YM	Y_1	0,25
R	-	MM2	μ_2	$0,2 \times 10^{-5}$ 1/s
R	-	KSM2	KS_2	20 mg/l
R	-	KIM	KI_2	60 mg/l
R	-	YM2	Y_2	0,05
R	-	KXM	K_X	$0,1 \times 10^{-8}$
R	-	KM2	K_2	0,1
R	-	KAM	KA	$10^{-4,5}$ kp1/l
R	-	KLM	KLA	15×10^{-3} 1/s
R	-	YCM	YC	0,3
R	-	KHM	K	0,5
R	-	COM	hiilidioksidin kyllästyspitoisuus	mg/l
R	-	KM1	$K_T = 0,0$	
R	-	TYM	ulkolämpötila	$^{\circ}C$
R	-	ZM1	tulevan veden kokonaisonipitoisuus	mg/l
R	-	KM3		
R	13	PMA	apusuure, palautteen laatu esim. 0,0	
			diskretisoinnin alkuarvoja	
R	-	VM	säiliössä olevan lietteen määrä	m^3
R	-	XM	1. vaiheen bakteeripitoisuus	mg/l
R	-	SUM	orgaanisten yhdisteiden pitoisuus	mg/l
R	-	TM	apusuure, esim. tulevan lietteen lämpötila ($^{\circ}C$)	
R	-	XM2	2. vaiheen bakteeripitoisuus	mg/l

I/R	dim	tunnus	selitys	huom!
			9. Mädätys jatk.	
		SM2	orgaanisten happojen pitoisuus	mg/l
		TXM	myrkkypitoisuus	mg/l
		CM2	hiilidioksidipitoisuus	mg/l
		ZM	kuolleen bakteerimassan pitoisuus	mg/l
		TM2	lietteen lämpötila säiliössä	°C
			10. Tulostus	
I	-	MONTA	tulostettavien laatusuureiden määrä	
I	-	MOPA	monestako kohtaa prosessia tulostus halutaan	
I	-	MOKA	monestako em. kohdasta halutaan tulostaa kokonaismäärät	
I	13	MITKA	määrittelee, tulostettavat laatusuureet taulukossa 3 (s. 40) olevien muuttujien järjestysnumeron mukaan (esim. MITKA(6) = BHK)	
I	13	MISSA	määrittelee mistä kohdasta tulostus halutaan. Jos halutaan tulostaa pitoisuuksia, käytetään taulukon 8 mukaisia tiedostojen numeroita (rinnakkaissaostukselle kuitenkin numeroa 130). Jos tulostetaan määriä, on tiedoston numeron loppuun lisättävä kaksi nollaa (rinnakkaissaostuksella käytetään kuitenkin numeroa 1300)	
			11. Pääohjelman määrittelyt	
I	-	AVALI	aika-askeleen pituus (suositus 5...30 min)	
I	-	KIERR	määrittelee simulointiajan, joka on KIERR x 60/AVALI (h)	
I	-	I	apusuure = 0	

TYÖN:O	TYÖ	PVM	KOODAAJA
Taulukko 10. Yksikköprosessien edellyttämät määrittelykäskyt ja aliphjelmakutsut			
1-10	11-20	21-30	31-40
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890	11-20	21-30	31-40
tasausallas			
INTEGER FBT(3), POT(13)			
DIMENSIONI KUT(13)			
CALL TASA(NT, FBT(1), FBT(2), FBT(3), QMT, VMT, POT, KUT, IT, QMAT, VIT)			
välppäys			
INTEGER FBV(3), POV(13), KUV(13)			
CALL VALPPA(NX, FBV(1), FBV(2), FBV(3), POV, QSV, KUV, IV)			
esiseikyty			
INTEGER FBRE(3), POE(13), KUE(13), MARE(13), YIIVE			
REAL LE, LASNE(9)			
COMMON /APU/ TE, LE, HE, BE, SE, LASNE, VI E, AXE, V I IVE			
CALL ESISIEL(NE, FBE(1), FBE(2), FBE(3), POE, QSE, KUE, IE, PE, PNE, HARE, MAE			
1)			
flotaatio			
REAL LIF			
DIMENSIONI MAREF(13), KUEF(13), SAFE(4), XLF(13), YF(13)			

TYÖN:O		TYÖ		PVM												KOODAAJA							
				11-20			21-30			31-40			41-50			51-60			61-70			71-80	
1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890	1	234567890
	flotaatio jatk.																						
	I N T E G E R , P O F (1 3) , F B F (3)																						
	C O M M O N / F L O / X L F , Y L F , Y F , V I I V F , D P E , L F , B F , V Y F , C F S , C F 4																						
	C A L L F L O T (N F , F B F (1) , F B F (2) , F B F (3) , P O F , Q S F , K U F , I F , V F , M A F , M A R F , P F ,																						
	1 P N F , S A F)																						
	aktiivilieteprosessi																						
	I N T E G E R , F B A (3) , P O A (1 3) , V I I V A , P A																						
	R E A L L A , N I A , M Y A , K S A , K I A , K D A , M Y A 1 , K S A 1 , K I A 1 , K D A 1 , M Y A 2 , K S A 2 , K D A 2																						
	R E A L K A , M Y A 3 , K S A 3 , K I A 3 , K D A 3 , K A 3 , K T A																						
	D I M E N S I O N I K U A (1 3) , M A A R A (1 3) , A S V I A (2) , S A (9)																						
	C O M M O N / I L M A / T I A , L A , B A , M A , S I A , V I I V A , P A , A S V I A , V I A , V I A N A																						
	C O M M O N / B I A K T / M Y A , K S A , K I A , K D A , Y A , B O A , M Y A 1 , Y A 1 , K S A 1 , K I A 1 , M Y A 2 , Y A 2 ,																						
1	K S A 2 , K I A 2 , K A , K D A 2 , K A 3 , A O A , A O A 1 , B O A 1 , A O A 2 , B O A 2 , P V I A , P V O A , T S A , M Y A 3 ,																						
2	K S A 3 , K I A 3 , K D A 3 , Y A 3 , B A 2 , B O A 3 , K A 2 , A O A 3 , T I L A , K T A , B A , K D A 1																						
	C O M M O N / D I S K / X A , S U A , Z A , A A , X N A , N I A , B A 1 , T I A , X A , Z A 2 , O A 2 , T A 2 , X I A , O I A ,																						
4	N A A																						
	C O M M O N / S A A T O / S A (9) , S O A																						

TYÖN:O		TYÖ		PVM		KODAAJA	
1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
	aktiivilieteprosessi jatk.						
	CALL AKTILIE(MA), FBA(1), FBA(2), FBA(3), POA, QSA, KUA, IA, PNA, YEA, MARA,						
	1 MAI, HOITA)						
	rinnakkaisaastus						
	määrittelyt ovat samat kuin aktiivilieteprosessissa						
	CALL SIMU(MA), FBA(1), FBA(2), FBA(3), POA, QSA, KUA, IA, PNA, YEA, MARA, MAI,						
	1 HOITA, FESA)						
	lietelinko						
	INTEGER FBS(3), POS(13)						
	DIMENSIONI KUS(13), MARS(13)						
	CALL SENTRI(NS, FBS(1), FBS(2), FBS(3), KUS, POS, QSS, MAS, IS, MARS)						
	mädätys						
	INTEGER FBM(3), POM(13), PAM						
	REAL MYM, MM2, KSM2, KIM, KXM, KM2, KAM, KLM, KMM, KM1, KM3, KSM						
	DIMENSIONI KUM(13), PMA(13)						

TYÖN:O	TYÖ	PVM	KOODAAJA				
1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890							
	mädätys, jatk.						
	COMMON /DIG/V.M.,X.M.,S.U.M.,T.M.,X.M.2.,S.M.2.,T.X.M.,C.M.2.,Z.M.,T.M.2.,M.Y.M.,K.S.M.,Y.M.,K.M.4.,						
	1TYM.,MM2.,KISM2.,KAM.,KIM.,KXM.,KLM.,COM.,YCH.,Z.H.,K.M.2.,YM2.,KIM.3.,P.M.A.,H.O.I.T.A.,						
	2KHM.,P.NPM						
	CALL MADAIT(SNM,FBM(1)),FBM(2)),FBM(3)),POM,KUM,GS,M,JM,P,M,V,M,A,M,P,NM,						
	1VKYM,VKAM)						
	tulos						
	DIMENSIONI MITKA(1,3),MISSA						
	CALL TULOS(KIERR,MITKA,MONTA,MISSA,MOPAJ,MOKKA,XTU)						
	päohjelman edellyttämät määrittelyt						
	INTEGER AIKA,AVALI						
	REAL LIE						
	DIMENSIONI XTU(13)						
	COMMON /VIRTA/Q(13),AVALI,AIKA,LIE(13)						

Lähtöarvojen antaminen

Lähtöarvojen antaminen voi tapahtua käyttäjän haluamalla tavalla. Tällaiseen ratkaisuun on tässä vaiheessa päädytty sen vuoksi, että erilaiset mallien käyttötavat antavat mahdollisuuden käyttää kulloinkin tilanteeseen parhaiten soveltuvaa lähtöarvojen antomuotoa.

Suositteluvimmat tavat lähtöarvojen antamiselle ovat kuitenkin READ- ja DATA-käskyt. Molempien käskymuotojen käyttö on selvitetty yleisissä FORTRAN-oppaissa.

- READ-käskyn käyttöä ajatellen on taulukossa 9 esitetty vasemmanpuoleisessa sarakkeessa kunkin muuttujan muoto (kokonaisluku I, desimaaliluku R)
- DATA-käsky, jonka käytöstä on esimerkki liitteenä 1 olevassa pääohjelmalistauksessa, on muotoa

DATA r/s/

jossa r on muuttujalista,

esim. NA, FBA, IA, (KUA(J), POA(J), J = 1, 13) ja

s on muuttujalistaan liittyvä arvoluettelo,

esim. 1, 19, 0, 0, 1, 50, 52, 80, 87, 22x0, jolloin

NA=1, FBA(1)=19, FBA(2)=0, FBA(3)=0, IA=1, KUA(1)=50, POA(1)=52,

KUA(2)=80, POA(2)=87, KUA(3)=POA(3)=...=KUA(13)=POA(13)=0.

Pääohjelman kokoaminen

Pääohjelma kootaan seuraavassa järjestyksessä:

1. Annetaan pääohjelman edellyttämät määrittelykäskyt taulukon 10 mukaisesti.
2. Annetaan valittujen yksikköprosessien edellyttämät määrittelykäskyt taulukon 10 mukaisesti.

3. Annetaan tulostusaliohjelman edellyttämä määrittelykäs-
ky taulukon 10 mukaisesti.
4. Annetaan taulukossa 9 esitetyt datat pääohjelmalle, tu-
lostusaliohjelmalle ja valittujen yksikköprosessien ali-
ohjelmille.
5. Annetaan apusuurelle I arvo 0.
6. Annetaan suorituskäsky simulointia varten.
7. Annetaan kuormitustietojen lukukäsky. Kuormitustiedot ovat
taulukon 3 (s. 40) mukaisessa järjestyksessä, ja ne tulee
olla jokaiselta aika-askeleelta.
8. Annetaan yksikköprosessialiohjelmakutsut käsittelyproses-
sin edellyttämässä järjestyksessä siten, että ensin tule-
vat veden käsittelyn yksikköprosessit ja sitten lietteen-
käsittelyprosessit.
9. Annetaan aika-askeleen siirtokäsky.
10. Annetaan tulostusaliohjelmakutsu.
11. Annetaan pääohjelman lopettamiskäsky.

Näitä pääohjelman kokoamisperiaatteita noudattaen on taulukossa
11 esitetty kaavamaisesti pääohjelmaesimerkki.

TYÖN:O		TYÖ		PVM		KODAAAJA	
Taulukko 11. Pääohjelmaesimerkki							
1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0	1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
C. PÄÄOHJELMAESIMERKKI							
INTEGER AIKA, AVALLI							
REAL LIE							
DIMENSION XTU(13)							
COMMON(VILRTA/Q(13), AVALLI, AILKA, LIE(13))							
INTEGER FBY(3), POY(13), KUUY(13)							
... (TAULUKKO 10)							
DIMENSION MITKA(13), MILSSA							
READ ...							
I=0							
DO 99 AILKA=1, KIERR							
READ ...							
CALL VALPPA(NV,...) (TAULUKKO 10)							
...							
99 CONTINUE							
CALL TULOS(KIERR,...) (TAULUKKO 10)							
END							
...							
...							

Ohjelman suorittaminen

Suorittaminen alkaa ohjelman varaamisella, jolloin tarvitaan käskyt:

1-10										11-20										21-30										31-40										41-50									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
"RUN, . . .																																																	
"PSW. . .																																																	
"ASQ, UP LAIT																																																	
"COPY TKKS05017<PUND., LAIT.																																																	
"SAVE. . .																																																	
"FIN																																																	

Näistä SAVE on tiedoston LAIT varaaminen käyttöön. Tätä käskyä käytetään vain, jos ohjelma halutaan tallentaa tiedostoon pitempiaikaista käyttöä varten.

Tämän jälkeen joko korjataan jo ohjelmistoon liittyvää pääohjelmaa tai muodostetaan oma pääohjelma. Pääohjelma käännetään konekieliseksi elementiksi LAIT.PAA esim. käskyllä

"FOR, IS LAIT.PAA																																																	
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

silloin, kun pääohjelma on reikäkorteilla, jotka seuraavat tätä käskyä.

Kun käänös on virheetön, suoritetaan ohjelman kokoaminen. Kokoamisessa määritellään ne ohjelmaelementit, joita ohjelmassa tarvitaan. Elementit ovat nimeltään:

- PAA pääohjelma
- TASA tasausallas
- VLP välppäys
- SEL esiselkeytys
- AKT aktiivilieteprosessi
- SIM simultaanisaostus
- SNT linko

- MAD mädätys
- TUL tulostus

Ensimmäisellä kerralla määritetään tarvittavat elementit seuraavasti:

1-10										11-20										21-30										31-40										41-50									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
"MAP,IN LAIT.AJO																																																	
IN LAIT.PAA,...																																																	

Muilla kerroilla suoritettaessa saman laitosrakenteen simulointia tarvitaan kokoamiseen käsky:

"MAP,IN LAIT.AJO																																																																																																			
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Ohjelman suoritus aadaan tällöin ajovirralla:

1-10										11-20										21-30										31-40										41-50									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
"RUN,...																																																	
"PSW,...																																																	
"MAP,...																																																	
"ASG,T10,D										tarvittavien tiedostojen varaukset																																							
"ASG,T--,D										(tiedostonumerointi taulukossa 8)																																							
:																																																	
"ASG,T--,D																																																	
"XQT LAIT.AJO																																																	
"FIN																																																	

Nämä ohjeet käsittelevät ohjelman suorittamista VTKK:n UNIVAC 1108:lla. Täydentävää tietoa on saatavissa mm. seuraavista lähteistä:

- jokin FORTRAN-opas
- VTKK:n UNIVAC 1108:n käytön opas
- HTKK:n laskentakeskuksen asiakaspalvelusarjan julkaisut UNIVAC 1108:lla, kuten:
 - käytön järjestely
 - ohjelman suorittaminen
 - tiedostojen käyttö
 - text-editorin käyttö

Käsittelylaitosmalli on ohjelmoitu FORTRAN-V-kielisenä, ja se soveltuu nykyisessä muodossaan käytettäväksi ainoastaan VTKK:n UNIVAC 1108 -tietokoneella. Ohjelmalistauksista on esitetty pääohjelmaesimerkki liitteenä 1 ja yksikköprosessialiohjelmien listaukset liitteenä 2.

KIRJALLISUUS

- Adams, Jr., C.E., Eckenfelder, Jr., W.W. Response of activated sludge to organic transient loadings, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 96 (1970): SA2, 333...352
- American Public Works Association, Feasibility of computer control of waste-water treatment, EPA, Water Poll. Control Res. Series, 17090 DOY 12/70, 1970
- Andersin, H.E., Sulonen R., Simuleringsteknik, Studentlitteratur, Lund, 1972
- Andrews, J.F., Control systems for waste-water treatment plants, Water Research, 6 (1972), 575...582
- Andrews, J.F., Dynamic models and control strategies for waste-water treatment processes, Water Research, 8 (1974): 5, 261...289
- Argaman, Y., Shamir, U., Spivak, E., Design of optimal Sewerage systems, J. Env. Eng. Div., Procs. ASCE, 99 (1973): EES, 703...716
- Dalakrishnan-Eckenfelder, Nitrogen relationship in biological treatment process III-Denitrification in the modified activated sludge process. Water Research, 3 (1969), 177...188
- Berg, G., Integrated approach to problem of viruses in water, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 97 (1971): SA6, 867...882
- Bernard, J., Control of a biological treatment process, Effl. Wat. Treat. J., 12 (1972), April, Spec. Iss., 48...55
- Brett, R.W.J., Kermode, R.I., Burrus, B.G., Feed forward control of an activated-sludge process, Water Research, 7 (1973), 525...535
- Brouzes, P., Control of activated-sludge process: applications, Water Research, 6 (1972), 451...454
- Buras, N., Scientific allocation of water resources, American Elsevier Publishing Co., New York, 1972
- Carlson, S., Vorkommen von Viren im Abwasser und ihre Verminderung bei verschiedenen Abwasserreinigungsprozessen, Bundesgesundheitsblatt, (1967): 15, 233..238
- Carter, J.L., McKinney, R.E., Effects of iron on activated sludge treatment, J. Env. Eng. Div., Procs. ASCE, 99 (1973): EE2, 135...152

- Chen, G.K., Fan, L.T., Erickson, L.E., Computer software for wastewater treatment plant design, J. Water Poll. Contr. Fed., 44 (1972): 5, 746...762
- Curds, C.R., Computer simulation of some complex microbial food chains. Water Research, 8 (1974), 769...780
- Dajani, J.S., Hasit, Y., Capital cost minimization of drainage networks, J. Env.Eng.Div., Procs. ASCE, 100 (1974): EE2, 325...337
- Davis, J.J., Kermodé, R.I., Brett, R.W.J., Generic feed forward control of activated sludge, J. Env. Eng. Div., Procs. ASCE, 99 (1973): EE3, 301...314
- Deb, A.K., Numerical solution of filtration equations, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 96 (1970): SA2, 195...210
- Deininger, R.A., Systems analysis for environmental pollution control, Models for environmental pollution control, toim. Deininger, R.A., Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, 1973, s. 3...18
- Department of Interior. A study of nitrification and denitrification. Water Poll. Control Res. Series, 17010 DRD 07/70, 1970
- Eckenfelder, W.W., A design procedure for biological nitrification and denitrification. Water Reuse - Chemical engineering progress symposium series, No. 78, Vol. 63
- Emde, W. v.d., Schopper, U., Control of activated-sludge plants, Water Research, 6 (1972), 447...449
- Engineering Science, Inc., Investigation of response surfaces of the microscreen process, EPA, Water Poll. Control Res. Series, 17090 EEM 12/71, 1971
- Environmental Protection Agency. Activated Sludge Processing. Water Poll. Control Res. Series, 17050 DNW 02/72, 1972
- Environmental Protection Agency. Design guides for biological treatment process. Water Poll. Control Res. Series, 11010 ESQ 08/71, 1971.a
- Environmental Protection Agency. Phosphorus Removal with Pickle Liquer in an Activated Sludge Process. Water Poll. Control Res. Series, 11010 FLQ 03/71, 1971.o
- Environmental Protection Agency. Soluble Phosphorus in the Activated Sludge Process. Part I - Chemical-Biological. Process Performance. Water Poll. Control Res. Series, 17010 EIP 05/71, 1971.c
- Fairall, J.M., Simulated reactor kinetics for closed systems, J Water Poll. Control Fed., 44 (1972), 1968...1986

- Fan, L.T., Erickson, L.E., Baltes, J.C., Shah, P.S., Analysis and optimization of two-stage digestion, J Water Poll. Control Fed., 45 (1973), 591...610
- Fiering, M.B., Harrington, J.J., de Lucia, R.J., Water resources systems analysis, Resources paper n:o 3, Policy Research and Coordination Branch, Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Kanada, 1971
- Forrester, J.W., World dynamics, The M.I.T. Press, Cambridge, Mass., 1971
- Goodman, B.L., Englande, A.J., A unified model of the activated sludge process, J. Water Poll. Control Fed., 46 (1974), 312...332
- Gotaas, H.B., Galler, W.S., Design optimization for biological filter models, J. Env. Eng. Div., Procs. ASCE, 99 (1973): EE6, 831...850
- Grabow, W.O.K., The virology of waste treatment, Water Research, 2 (1968), 675...701
- Graef-Andrews, Stability and control of anaerobic digestion. Journal WCOG, Vol. 46, No. 4, April 1974
- Guarino, C.F., Gilman, H.D., Nelson, M.D., Koch, C.M., Computer control of wastewater treatment, J. Water Poll. Control Fed., 44 (1972):9, 1718...1729
- Hamlin, M.J., Wahab, A.H.A., Settling characteristics of sewage in density currents, Water Research, 4 (1970), 609...626
- Hibberd, R.L., Jones, W.F., The design and operation of activated sludge final settling tanks, Water Pollution Control, 73 (1974): 1, 14...32
- Hemenick-Ball, Kinetics of activated sludge oxygenation. J. Water Poll. Control Fed., 46 (1974): 4
- Hämäläinen, R.P., Halme, A., Gyllenberg, A., A control model for activated sludge wastewater treatment process, julkaisematon, 1974 (esitetään IFAC:n 6. maailmankonferenssissa elokuussa 1975)
- Hämäläinen-Halme-Gyllenberg. Jatkuvan käymisprosessin dynamiikasta ja säädöstä. 1975. Suomen säätöteknillinen seura. Automaatiopäivät -75 julkaisu
- Johnson, W.K., Process kinetics for denitrification, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 98 (1972): SA4, 623...638
- Kaila, J., Latostenmaa, H., Montonen, I., Viitasalo, I., Vesien-suojelulaboratorion lietteenkäsittelykokeita vuosina 1971-1972, HKR, Vesien-suojelulaboratorion tiedonantoja, 5 (1973):6

- Kajosaari, E., Vesihuolto, RIL 93, Helsinki, 1973
- Kormanik, R.A., Mathematical procedure for designing post-aeration systems, Purdue University, 24th ind. Waste Conf., 1969, s. 1024...1027
- Köhler, R., Das Flotationsverfahren und seine Anwendung in der Abwassertechnik, Wasser, Luft und Betrieb, 13 (1969): 9, 324...330
- Lacroix, P.G., Bloodgood, D.E., Computer simulation of activated sludge plant operation, J. Water Poll. Control Fed., 44 (1972): 9, 1778...1788
- Lindholm, O.G., A pollutional analysis of the combined sewer system, Lisensiaattityö, Norges Tekniske Høgskole, Trondheim, 1974
- Levy, R.L., White, R.L., Shea, T.G., Treatment of combined and raw sewages with the dissolved air flotation process, Water Research, 6 (1972): 12, 1487...1500
- Lund, E., Hedström, C-E., Jantzen, N., Occurrence of enteric viruses in wastewater after activated sludge treatment, J. Water Poll. Contr. Fed., 41 (1969): 2, 169...174
- Mankki, R., Hyvinkään kaupungin jätevedenpuhdistamoiden toiminnan tehostaminen, diplomityö, HTKK, 1974
- Martin, G.D., Simulation to optimize waste treatment, Simulation, October 1973, s. VII - X
- McVie, A., Cotton, P., Design of a computer system for the control and operation of a water pollution control plant, Water Pollution Control, 71 (1972), 606...617
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W., Kasvun rajat, TAMMI, Helsinki, 1973
- Merkel, W., Die Bemessung horizontal durchströmter Nachklärbecken von Belebungsanlagen, GWF-Wasser/Abwasser, 112 (1971): H.12, 596...600
- Merrit, L.B., Bogan, R.H., Computer-based optimal design of sewer systems, J. Env. Eng. Div., Procs. ASCE, 99 (1973): EE1, 35...53
- Mesarovic, M., Hughes, B., Shook, T., Pestel, R., Gille, P., Yoshii, S., An interactive decision stratum for the multi-level world model, Futures, August, 1973
- Metcalf & Eddy, Inc., University of Florida, Water Resources Engineers, Inc., Storm water management model, Vol.I - Final report, EPA, Water Poll. Control Res. Series, 11024 DOC 07/71, 1971.a

- Metcalf & Eddy, Inc., University of Florida, Water Resources Engineers, Inc., Storm water management model, Vol.III - Verification and testing, EPA, Water Poll. Control Res. Series, 11024 DOC 09/71, 1971.b
- Minton-Carlson, Combined biological-chemical phosphorus removal. J. Water Poll. Control Fed., 44 (1972): 9
- Moser, F., Moser, A., Wolfbauer, O., Vorausberechnung der Leistung und des Betriebsverhaltens von Abwasserreinigungsanlagen nach dem Belebtschlammverfahren unter verwendung eines mathematischen Modells, GWF-Wasser/Abwasser, 113 (1972): H.5, 219...226
- Mulbarger, M.C., Huffman, D.D., Mixed liquor solids separation by flotation, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 96 (1970): SA 4, 861...871
- Määttä, R., Flokkulaatio ja fosforinpoisto, Rakennustekniikka, (1970): 6, 371...373
- Nagai-Hishizawa-Aiba, Bioenergetic Approach to ethanol-limited Culture of *Saccharomyces cerevisiae*. J. Gen. Appl. Microbiol., 19 (1973), 221...232
- Naito, M., Takamatsu, T., Fan, L.T., Optimization of the activated sludge process - optimum volume ratio of aeration and sedimentation vessels, Water Research, 3 (1969), 433...443
- Nebolsine, R., Harvey, P.J., Fan, C-Y., High rate filtration of combined sewer overflows, Wat. Poll. Contr. Res. Series, EPA, 11023 EYI 04/72, (1972)
- Nesbitt, J.B., Phosphorus removal - the state of art. J. Water Poll. Control Fed., 44 (1972): 9
- Norsk Institutt for Vannforskning, Systemanalyse av avløpsanlegg, Sammenfattende rapport samt rapport fra perioden 1.7.72-1.4.73, Oslo, 1973
- Parkin, G.F., Dague, R.R., Optimal design of wastewater treatment systems by enumeration, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 98 (1972): SA6, 833...851
- Pruyn, K.T., Harrington, J.J., Smith, J.D., Mathematical model of the electro dialysis process, EPA, Water Poll. Control Res. Series, ORD - 17090 FTA 07/69, 1969
- Rebhun, M., Argaman, Y., Evaluation of hydraulic efficiency of sedimentation basins, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 91 (1965): SA5, 37...45
- Rex Chainbelt, Inc., A mathematical model of a final clarifier, EPA, Water Poll. Control Res. Series, 17090 FJM 02/71, 1972

- Rex Chainbelt, Inc., Screening/flotation treatment of combined sewer overflows, Wat. Poll. Contr. Res. Series, EPA, 11020 FDC 01/72, (1972)
- Roesler, J.F., Smith, R., Eilers, R.G., Simulation of ammonia stripping from wastewater, J. San. Eng. Div., Procs. ASCE, 97 (1971): SA3, 269...286
- Sedzikowski, T., Influence of the presettling tank size on dimensioning and costs of a sewage treatment with activated sludge, Water Research, 6 (1972), 341...345
- Shamir, U., keskusteluja, helmikuu 1975
- Sherrard, J.H., Lawrence, A.W., Design and operation model of activated sludge, J. Env. Eng. Div., Procs. ASCE, 99 (1973): EE6, 773...784
- Stewart, M.J., Activated sludge process variations - The complete spectrum - Part III, Water & Sewage Works, 111 (1964): 6, 295...297
- Stewart, M.J., Activated sludge system variations - Specific applications, Water & Sewage works - Reference Number 1971
- Takamatsu, T., Naito, M., Shiba, S., Ueda, Y., Effects of deposit resuspension on settling basin, J. Envir. Eng. Div., Procs. ASCE, 100 (1974): EE4, 883...903
- Uhte, W.R., The mathematics of activated sludge control, J. Water Poll. Control Fed., 42 (1970), 1292...
- Unterberg, W., Sherwood, R.J., Schneider, G.R., Computerized design and cost estimation for multiple-hearth sludge incinerators, EPA, Water Poll. Control Res. Series, 17070 EBP 07/71, 1971
- Walker, L.F., Hydraulically controlling solids retention time in the activated sludge process, J. Water Poll. Control Fed., 43 (1971): 1, 30...39
- Walsh, S., Brown, L.C., Least cost method for sewer design, J. Env. Eng. Div., Procs. ASCE, 99 (1973): EE3, 333...345
- Westberg, An introductory study of regulation in the activated sludge process. Water Research, 3 (1969), 613...621
- Wood, R., Control of activated-sludge plants, Water Research, 6 (1972), 437...440
- Vuontela, J., Rinnakkaissaostuslaitosten toiminta Suomessa, diplomityö, HTKK, 1974
- Yletyinen, P., Vesihuoltoverkkojen optimaalinen mitoitus ja investointien ajoitus. Väitöskirja, HTKK, Otaniemi, 1973


```

C PAACHJELMA
C PAACHJELMAN TARVITSEMAT TIEDOT
REAL IIE
INTEGER AIKA, AVALI
DATA AVALI, KIERR/20, 245/
COMMON/VIRTA/G(13), AVALI, AIKA, IIE(13)
C VALPPAYS
INTEGER FBV(3), PCV(13), KUV(13)
C ALKUTIEDOT
DATA NV, FBV, QSV, IV, (PCV(J), KUV(J), J=1, 13)/0.3*0.300..1.26*0/
C ESISELKEYTYKSEN TARVITSEMAT ALKUTIEDOT
INTEGER FBE(3), PCE(13), MAARE(13), KUE(13), VIIVE
REAL LE, LASNE(9)
C MITOITUS
DATA GSE, LE, HE, BE, VIE, LASNE, PNE, MAE, VIIVE/140..24..2.2.4..195..6.5
1.4..3..2..1.5.1..75..5..25..15.2.20/
C ALKUARVCJA
DATA IE1, IE2, ATE, ASE, AX/2*1, 10..800..045/
C PALAUTTEET JA KESKEYTYKSET
DATA NE, FBE, (PCE(J), KUE(J), MAARE(J), J=1, 13)/1, 19, 0, 0, 39*0/
COMMON/APU/ATE, LE, HE, BE, ASE, LASNE, VIE, AX, VIIVE
C AKTIIVILIIETEPROSESSI
REAL LA, NIA, MYA, KSA, KIA, KDA, MYA1, KSA1, KIA1, KDA1, MYA2, KSA2, KIA2, KAM
1A, KDA2, KAMA1, MA2, KSANA, KIANA, KDANA, KA2, KA1
INTEGER FBA(3), POA(13), VIIVA
DIMENSION KUA(13), MAARA(13), ASVIA(2), SA(9)
C MITOITUSTIEDOT
DATA QSA, LA, BA, HA, VIA, VIIVA, PNA, MAA, VEA, JOITA/140..36..7..3..840.0
1.40, 1..2, 670..40./
C DISKRETOINNIN ALKUARVOJA
DATA XA, SUA, ZA, AA, XNA, VIA, RA1, TIA, XA2, ZA2, JA2, IA2, XIA, JIA, RA2/2000
1..8..50..10..50..5..0..10..4*0..0..7..0./
C PARAMETRIEN ALKUARVOJA
DATA IA1, IA2, ASVIA, ATA, ASIA/2*1, 1500..2500..10..-300./
C KESKEYTYKSET JA PALAUTTEET
DATA NA, FBA, (POA(J), KUA(J), MAARA(J), J=1, 13)/4*0, 39*0/
C SAATC
DATA SA, SCA, FESA/0.0, 0.3, 3*0.0, 0.0, 0.20..2*0.0, 10..100./
C BAKTEERI PROSESSI AEROBINEN VAIHE
DATA MYA, KSA, KIA, KDA, YA, BOA/0.115, 165..1.E20..026..45.1.28E-7/
C AEROBISSET TYYPPIYHTALÖT
DATA MYA1, YA1, KSA1, KIA1, KDA1, MYA2, YA2, KSA2, KIA2, KAMA, KAMA1, KDA2/.5
12E-4..5, 150..1.E20..12E-5..52E-4..5, 150..1.E6, 2..1.3..12E-5/
C HAPPI JA LAMPÖTILA
DATA ADA, BIA, ADA1, BCA1, ADA2, BJA2, PVIA, PVJA, TILA, TSA, KA1/.4..25E-5,
1.2..12E-5..6..12E-5, 12..2000..10..10..50./
C BAKTEERIPROSESSI ANAEROBINEN VAIHE
DATA VANA, KSANA, KIANA, KDANA, YANA, BANA, BA2, KA2, AA2/9*0.0/
COMMON/ILMA/ATA, LA, BA, HA, ASIA, VIIVA, IA2, ASVIA, VIA, VANA
COMMON/BAKT/MYA, KSA, KIA, KDA, YA, BOA, MYA1, YA1, KSA1, KIA1, MYA2, YA2, KSA
12, KIA2, KAMA, KDA2, KAMA1, AJA, AJA1, BOA1, AJA2, BJA2, PVIA, PVJA, TSA, MA2, K
2SANA, KIANA, KDANA, YANA, BANA, BA2, KA2, AA2, TILA, KA1, BIA, KCA1
COMMON/DISK/XA, SUA, ZA, AA, XNA, NIA, RA1, TIA, XA2, ZA2, JA2, IA2, XIA, JIA, R
1A2
COMMON/SAATO/SA, SJA
C
C SENTRIFUGI
INTEGER FBS(3), PCS(13)
DIMENSION KUS(13), MAARS(13)
C MITOITUS
DATA QSS, MAS, IAATS/6..1.3/
C PALAUTTEET JA KESKEYTYKSET
DATA IS, NS, FBS, (PCS(J), KUS(J), MAARS(J), J=1, 13)/1, 1, 17, 41*0/
C TUICSTUS
DIMENSIONXTU(13), MITKA(13), MISSA(13)

```

```

DATA MITKA,MISSA,MONTA,MOPA,MOKA/5,2,6,8,9,8*0,11,12,130,15,9*0,5,
14,07
I=0
DC 99 AIKA=1,KIERR
APJ=FLOAT((AIKA-24*I*60/AVALI))
IF(AIKA-(24*I+6)*60/AVALI)6,6,1
1 IF(AIKA-(24*I+18)*60/AVALI)5,5,2
2 IF(AIKA-24*(I+1)*60/AVALI)4,3,3
3 I=I+1
4 Q(1)=-80.+2.45*APU
Q(2)=80.
Q(3)=300.
Q(4)=50.
Q(5)=1.
Q(6)=200.
Q(7)=5.1
Q(8)=4.5
Q(9)=25.
Q(10)=20.
Q(11)=10.
Q(12)=6.5
Q(13)=1.E7
GC TC 10
5 Q(1)=184-2.38*APU
Q(2)=90.
Q(3)=350.
Q(4)=55
Q(5)=1.
Q(6)=220.
Q(7)=5.3
Q(8)=5.
Q(9)=25.
Q(10)=20.
Q(11)=10
Q(12)=7.
Q(13)=1.E6
GC TC 10
6 Q(1)=95+2.45*APU
Q(2)=100.
Q(3)=400.
Q(4)=60.
Q(5)=1.
Q(6)=240.
Q(7)=5.5
Q(8)=5.5
Q(9)=30.
Q(10)=25.
Q(11)=10.
Q(12)=6.8
Q(13)=1.E8
10 CONTINUE
DC 11 J=2,13
11 XTJ(J)=(XTU(J)*(AIKA-1)+Q(J)*Q(1))/AIKA
XTU(1)=(XTU(1)*(AIKA-1)+Q(1))/AIKA
CALL VALPPA(NV,FBV(1),FBV(2),FBV(3),POV,ISV,KUV,IV)
CALL ESISEL(NE,FBE(1),FBE(2),FBE(3),POE,GSE,KLE,IE1,IE2,FNE,MAARE,
1MAE)
CALL SIMU(NA,FBA(1),FBA(2),FBA(3),POA,QSA,KLA,IA1,PNA,VEA,MAARA,MA
1A,HOITA,FESA)
CALL SENTRI(NS,FBS(1),FBS(2),FBS(3),KLS,FOS,LAATS,QSS,MAS,IS,MAARS
1)
99 CONTINUE
CALL TULOS(KIERR,MITKA,MONTA,MISSA,MOPA,MOKA,XTU)
END

```

```

SUBROUTINE TASA(N,FB1,FB2,FB3,QM,VMAX,PO,KU,IF,QMAX)
INTEGER FB1,FB2,FB3,PC(13),AVALI,AIKA
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),KJ(13),S(13),YLI(13)
COMMON/TASA/T(13),VT
COMMON/VIRTA/Q(13),AVALI,AIKA,LIE(13)
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
IF(AIKA.LE.1) GO TO 5
IF(N-1)5,4,1
1 IF(N-3)3,2,2
2 CALL NTRAN(FB3,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB2,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB1,2,13,TAK1,L,10,22)
5 S(1)=G(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
DO 6 J=2,13
6 S(J)=(G(J)*G(1)+TAK1(1)*TAK1(J)+TAK2(J)*TAK2(1)+TAK3(J)*TAK3(1))/S
1(1)
C
HAIRICT
IF(AIKA-60/AVALI*KU(IF))7,9,12
7 IF(AIKA-60/AVALI*PC(IF))12,10,10
10 DO 11 J=1,13
11 Q(J)=S(J)
GO TO 28
9 IF=IF+1
12 IF(S(1)-QM)17,16,16
16 SX=S(1)-QM
C
PUMPPAUKSEN SAATO
R=0.0
GO TO 20
17 SX=0.0
R=QM-S(1)
20 VU=VT+0.06*AVALI*(SX-R)
IF(VU.GE.0.0) GO TO 21
R=0.0
VU=VT+0.06*AVALI*SX
21 DO 22 J=2,13
22 T(J)=VT/VU*T(J)+0.06*AVALI/VU*(S(J)*SX-R*T(J))
IF(VMAX-VU)23,25,25
23 YLI(1)=(VMAX-VU)/AVALI/0.06
DO 24 J=2,13
T(J)=T(J)-0.06*AVALI*YLI(1)*T(J)/VU
24 YLI(J)=T(J)
VU=VMAX
R=QMAX-QM
IF(YLI(1)-R)31,31,32
31 R=YLI(1)
GO TO 25
32 R=YLI(1)
YLI(1)=YLI(1)-R
30 CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
25 DO 26 J=2,13
26 Q(J)=(S(J)*(S(1)-SX)+R*T(J))/(R+S(1)-SX)
Q(1)=R+S(1)-SX
28 CALL NTRAN(20,1,13,Q,L,22)
VT=VU
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE VALPPA(N,FB1,FB2,FB3,PO1,QS,KU1,IV)
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),PO1(13),KU1(13),YLI(13),S(13)
INTEGER FB1,FB2,FB3,AIKA,PO1,AVALI
REAL LIE
COMMON/VIRTA/Q(13),AVALI,AIKA,LIE(13)
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
IF(N=1)5,4,1
1 IF(N=3)3,2,2
2 CALL NTRAN(FB3,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB2,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB1,2,13,TAK1,L,22,10)
5 S(1)=Q(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
DO 6J=2,13
S(J)=(Q(1)*Q(J)+TAK1(1)*TAK1(J)+TAK2(1)*TAK2(J)+TAK3(1)*TAK3(J))
6 S(J)=S(J)/S(1)
C RAJOITUKSET JA KESKEYTYKSET
8 IF(AIKA=60/AVALI*KU1(IV))7,9,12
7 IF(AIKA=60/AVALI*PO1(IV))12,10,10
10 DO 11 J=1,13
11 Q(J)=S(J)
GO TO 17
9 IV=IV+1
12 IF(S(1)=QS)16,16,13
13 CONTINUE
Q(1)=QS
DO 14 J=2,13
14 YLI(J)=S(J)
YLI(1)=S(1)-Q(1)
CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
S(1)=Q(1)
16 CONTINUE
C MALLIEN YHTALOT
VL=86.0*0.15
Q(1)=S(1)
Q(2)=S(2)-S(2)*VL/S(3)
Q(3)=S(3)-VL
Q(4)=S(4)-0.8*S(4)*VL/S(3)
Q(5)=S(5)
Q(6)=S(6)-0.4*S(6)*VL/S(3)
Q(7)=S(7)
Q(8)=S(8)
Q(9)=S(9)
Q(10)=S(10)
Q(11)=S(11)
Q(12)=S(12)
Q(13)=S(13)
17 CALL NTRAN(11,1,13,Q,L,22)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE ESISEL(N,FB4,FB5,FB6,PO2,GS,KL2,IE,PE,PN,MAARA,MAE)
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),PJ2(13),KU2(13),YLI(13),B(13)
DIMENSION S(13),MAARA(13),APU(26),Y(12),X(13)
DIMENSION OP(9),P(9),TE1(9),TE2(9)
REAL LIE,IE,KE,KET,ME
INTEGER DELTA,D,D1,FB4,FB5,FB6,AIKA,PJ2,PE,AVALI,VIIIVE
COMMON/VIRTA/G(13),AVALI,AIKA,LIE(13)
COMMON/APU/TE,IE,HE,BE,SIV,PJ2(9),VE,AK,VIIIVE
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
A=0.0
IF(AIKA.LE.1) GO TO 5
IF(N-1)5,4,1
1 IF(N-3)3,2,2
2 CALL NTRAN(FB6,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB5,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB4,2,13,TAK1,L,10,22)
5 U=G(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
DO 6 J=2,13
6 S(J)=(G(J)*G(1)+TAK1(1)*TAK1(J)+TAK2(J)*TAK2(1)+TAK3(J)*TAK3(1))/U
S(1)=U
C RAJCITUKET JA KESKEYTYKSET
8 IF(AIKA-60/AVALI*KU2(IE))7,9,12
7 IF(AIKA-60/AVALI*PJ2(IE))12,10,10
10 QSA=(MAE-MAARA(IE))/MAE*GS
IF(MAE-MAARA(IE))50,50,11
11 Q(1)=S(1)/(MAE-MAARA(IE))
GO TO 13
9 IE=IE+1
12 G(1)=S(1)/MAE
QSA=QS
13 IF(S(1)-QSA)24,24,14
14 DO 15 J=2,13
15 YLI(J)=S(J)
YLI(1)=S(1)-QSA
G(1)=QS/MAE
CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
24 IF(AIKA-24*PE*60/AVALI)33,27,27
27 IF(AIKA-(24*PE+8)*60/AVALI)28,32,33
28 B(1)=PN
IF(G(1).LT.PN) GO TO 33
GO TO 16
32 PE=PE+1
33 DO 79 J=1,13
79 LIE(J)=0.0
B(1)=0.0
16 CONTINUE
C MAIIEN YHTALGT
S(1)=Q(1)
G(1)=3.6*(G(1)-B(1))
RCCI=999870.0+56.*S(11)-8.1*S(11)**2
RCCA=999870.0+56.*TE-8.1*TE**2
DRE=0.8*ABS(RCCI-RCCA)
PX=0.15+0.25*EXP(-0.00536*DRE)
ME=1-(0.265-0.0001*DRE)/PX
SI=Q(1)*LIE/HE/BE*(1-ME)*((1-PX)**2.+1-LIE*HE*BE*(1-ME)/Q(1))
EX=ABS(SI-SIV)*30./AVALI
SIV=SI

```

```

IF(EX.GT.50.0) EX=50.0
IF(EX.LT.C.25) EX=C.25
KE=1.17*EXP(-8.05/EX)
ET=0.0178/(1+C.0337*S(11)+C.00022*S(11)**2)
KET=0.805+C.0022/ET
DC 59 I=1.9
CP(I)=CPC(I)*KET
P(I)=CP(I)/Q(I)*HE*BE
TE1(I)=G(I)*LE/(2*HE*BE*EX)*(1+SQRT(1+4*(1-KE)*P(I)*EX*BE/G(I)))
TE2(I)=Q(I)*LE/(2*HE*BE*EX)*(1-SQRT(1+4*(1-KE)*P(I)*EX*BE/Q(I)))
59 A=A+DX*(1-(TE1(I)-TE2(I))/(TE1(I)*EXP(-TE2(I))-TE2(I)*EXP(-TE1(I))
1))
EAE=C.3*KET+A
Q(1)=Q(1)/3.6
G(2)=S(2)*(1-EAE)*S(1)/G(1)
Q(3)=(S(3)-EAE*S(2))*S(1)/Q(1)
G(4)=S(4)*(1-EAE)*S(1)/G(1)
Q(5)=S(5)
G(6)=S(6)*(1-C.5*EAE)*S(1)/G(1)
Q(7)=S(7)
G(8)=S(8)*(1-C.15*EAE)*S(1)/G(1)
Q(9)=S(9)*(1-0.1*EAE)*S(1)/Q(1)
G(10)=S(10)
G(12)=S(12)
Q(11)=S(11)
Q(13)=S(13)*(1-C.3*EAE)*S(1)/Q(1)
C
LIFTE
DC 60 J=2.13
60 B(J)=S(J)*S(1)-Q(J)*Q(1)
CALL NTRAN(29,1,13,Q,L)
CALL NTRAN(29,1,13,B,L,22)
C
VIIVE
DELTA=VIIVE/AVALI
D=-26*DELTA-26
D1=-D-26
IF(ATKA-DELTA)67,67,68
67 G(2)=50.0
Q(3)=400.0
G(4)=350.0
Q(5)=1.0
G(6)=150.0
Q(7)=0.0
G(8)=3.0
Q(9)=25.0
G(10)=10.0
Q(12)=6.5
G(11)=10.0
Q(13)=0.3E8
Y(1)=.7E5
Y(2)=.7E5
Y(3)=.7E5
Y(4)=1.0
Y(5)=.3E5
Y(6)=0.0
Y(7)=3.0
Y(8)=30.0
Y(9)=7.0
Y(10)=10.0
Y(11)=7.0
Y(12)=1.0E8
GC TC 65

```

```

68 CALL NTRAN(29,6,D,2,26,APU,L,6,D1,22)
   CALL NTRAN(12,6,-13,2,13,X,L)
   CALL NTRAN(22,2,12,Y,L,10,22)
   DO 61 J=2,13
61  G(J)=X(J)+.06*AVALI/VE*(APU(1)*APU(J)-X(J)*X(1)*QS/QSA/MAE)
   DO 62 J=1,12
62  Y(J)=Y(J)+.06*AVALI/(LE*HE*BE-VE)*(APL(J+14)-B(1)*Y(J))
   IF(B(1)-.001)65,65,63
63  LIE(1)=B(1)*MAE*GSA/GS
   DO 64 J=2,13
64  LIE(J)=Y(J-1)
   WRITE(6,9000) LIE
9000 FORMAT(1H ,1HE,13G9.3)
65  Q(1)=G(1)*MAE*GSA/GS
   CALL NTRAN(12,1,13,Q,L)
   CALL NTRAN(22,1,12,Y,L,10,22)
   TE=Q(11)
   GO TC 66
50 DO 99 J=1,13
   LIE(J)=C.C
99  Q(J)=S(J)
   CALL NTRAN(12,1,13,Q,L,22)
   CALL NTRAN(29,1,13,LIF,L,1,13,LIE,L,22)
66 CONTINUE

   RETURN
   END

```

```

SUBROUTINE AKTLIE(N,FB7,FB8,FB9,PO3,QS,KJ3,IA,PN,VE,MAARA,MAA,HOI)
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),KL3(13),YLI(13),S(13),FB(13)
DIMENSION MAARA(13),B(13),Y(13),APU(26),XAP(13),AP(2),AK(2)
INTEGER PO3(13),AIKA,PN,PA,F37,FB8,FB9,C,C1
REAL LIE,KS,KI,KC,MY,MY1,KS1,KI1,MY2,KS2,KI2,KA,KD2,KA1,M2,KSA,KI
1A,KDA,K2,AVALI,KE,K1,LA,ME,NI,NIU,KC1
COMMON/VIRTA/Q(13),AVALI,AIKA,LIE(13)
COMMON/ILMA/TA,LA,BA,HA,SIV,VIIVA,PA,SVI(2),VI,V2
COMMON/BAKI/MY,KS,KI,KC,YY,BO,MY1,Y1,KS1,KI1,MY2,Y2,KS2,KI2,KA,KD
12,KA1,AC,AC1,BC1,AC2,BC2,PVI,PVO,TS,M2,KSA,KIA,KDA,YY2,BCA,B2,K2,A
22,TILM,K1,KC1
COMMON/DISK/X,SU,Z,A1,XN,NI,R1,T1,X2,Z2,C2,T2,XI,OI,R2
COMMON/SAATC/SA(9),SO
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
IF(AIKA.LE.1) GO TO 5
IF(N-1)105,4,1
1 IF(N-3)3,2,2
2 CALL NTRAN(FB9,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB8,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB7,2,13,TAK1,L,10,22)
105 CALL NTRAN(23,2,13,Y,L,10,22)
5 S(1)=Q(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
DO 6 J=2,13
6 S(J)=(Q(J)*Q(1)+TAK1(1)*TAK1(J)+TAK2(J)*TAK2(1)+TAK3(J)*TAK3(1))/S
1(1)
C   HAIRIOT
8 IF(AIKA-KU3(IA)*60/AVALI)7,9,12
7 IF(AIKA-PO3(IA)*60/AVALI)12,10,10
10 QSA=(MAA-MAARA(IA))/MAA*QS
IF(MAA-MAARA(IA))50,50,11
11 Q(1)=S(1)/(MAA-MAARA(IA))
GO TO 13
9 IA=IA+1
12 Q(1)=S(1)/MAA
QSA=QS
13 IF(S(1)-QSA)16,16,14
14 DO 15 J=2,13
15 YLI(J)=S(J)
YLI(1)=S(1)-QSA
Q(1)=QS/MAA
CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
16 CONTINUE
C   PALAUTUSIETTEEN JA ILMASTUKSEN SAATC
R=SA(1)+SA(2)*Q(1)+SA(3)*SVI(1)/SVI(2)+SA(4)*S(11)+SA(5)*SD
VIL=SA(6)+SA(7)*Q(1)+SA(8)*S(5)+SA(9)*S(11)
C   YLIJAMALIETTEEN PUMPPAUS
24 IF(AIKA-24*PA/AVALI*60)33,27,27
27 IF(AIKA-(24*PA+8)/AVALI*60)28,32,33
28 IF(Q(1).LT.PN) GO TO 33
FB(1)=PN
GO TO 34
32 PA=PA+1
33 FB(1)=0.0
34 CONTINUE
C   ILMASTUSALTAAN MALLI
S(1)=Q(1)+Y(1)
BHK=S(6)*Q(1)+Y(6)*Y(1)
AXUW=60.*AVALI
VI=VI*1000.
V2=V2*1000.
XU=X+AXUW/VI*(Y(1)*Y(2)*X/(X+Z)-S(1)*X+MY*SU*X/(KS+SU+SU**2/KI)*
1VI-KC*X*VI)

```


$Q(6) = SU + AXUW / VI * (Q(1) * S(6) + Y(1) * Y(6) - S(1) * SL - MYY / YY * SU * XU * VI / (KS + 1 * SU + SU ** 2 / KI) + BC * X * Z)$
 $ZU = Z + AXUW / VI * (KC * X * VI + G(1) * S(2) + Y(1) * Y(2) * Z / (Z + X) - S(1) * Z - BO * X * Z)$
 $A1J = A1 + AXUW / VI * (Q(1) * Q(10) * 0.9 + Y(1) * Y(10) - S(1) * A1 - MY1 / Y1 * A1 * VI * XN$
 $1 / (KS1 + A1 + A1 ** 2 / KI1))$
 $XNJ = XN + AXUW / VI * (Y(1) * (Y(9) - Y(10)) - S(1) * XV + MY1 * A1 * VI * XN / (KS1 + A1 + A1$
 $1 ** 2 / KI1 - KC1 * XN * VI))$
 $NIJ = NI + AXUW / VI * (- (S(1)) * NI - MY2 / Y2 * NI * VI * XI / (KS2 + NI + NI ** 2 / KI2) + KA * 1$
 $1 (Q(10) - A1))$
 $XIU = XI + AXUW / VI * (MY2 * NI * VI * XI / (KS2 + NI + NI ** 2 / KI2) - KC2 * X * VI)$
 $R1U = R1 + AXUW / VI * (- S(1) * R1 + KA1 * MY2 * NI / (KS2 + NI + NI ** 2 / KI2))$
 $VOI = VII * PVI / PVO$
 $CST = (S(11) ** 2 - 83. * S(11)) / 242. + 14.$
 $CC1 = 0.89 * VI / 1000. * (0.03 * VDI ** 2 + 0.76 * VDI + 0.1) / 175.$
 $CTT = CC1 * (CST - C1) / 8.8 * C.7 * 1.02 ** (20 - S(11))$
 $OIJ = CI + AXUW / VI * (Q(1) * S(5) + JTT - S(1) * OI - AO * S(1) * (S(6) - SJ) - BO * X * VI - A$
 $1C1 * (Q(10) - A1) * (S(1)) - BO1 * XN * VI - AO2 * NI * S(1) - BO2 * XI * VI)$
 $TIU = T1 + AXUW / VI * (Q(1) * (S(11) - T1) + Y(1) * (Y(11) - T1) + VIL * (IILM - T1) - K1 * 1$
 $1 (T1 - TS))$
 $IF (V2) 41, 41, 40$
40 $X2J = X2 + AXUW / V2 * (M2 * R2 * V2 * X2 / (KSA + R2 + R2 ** 2 / KIA) - KCA * V2 * X2)$
 $R2U = R2 + AXUW / V2 * (S(1) * (R1 - R2) - M2 / YY2 * R2 * V2 * X2 / (KSA + R2 + R2 ** 2 / KIA) + B$
 $1C4 * X2 * Z2)$
 $Z2U = Z2 + AXUW / V2 * (S(1) * (Z - Z2) + KC * X2 * V2 - BO4 * X2 * Z2)$
 $O2U = O2 + AXUW / V2 * (S(1) * (O1 - O2) - A2 * S(1) * (R2 - R1) - B2 * X2 * V2)$
 $T2U = T2 + AXUW / V2 * (S(1) * (T1 - T2) - K2 * (T2 - TS))$
 $GC TC 42$
41 $X2U = 0.0$
 $R2U = R1U$
 $Z2U = Z$
 $C2U = CIU$
 $T2U = TIU$
42 $G(2) = XU + XNU + XIU + X2U + Z2U$
 $Q(3) = (S(3) * Q(1) + Y(3) * Y(1) - S(2) * Q(1) - Y(2) * Y(1)) / (Q(1) + Y(1)) + Q(2)$
 $Q(4) = XU + XNU + XIU + X2U$
 $Q(5) = O2U$
 $Q(7) = 0.2 * (S(7) * G(1) + Y(7) * Y(1)) / S(1)$
 $Q(8) = 0.9 * (S(8) * G(1) + Y(8) * Y(1)) / (Q(1) + Y(1)) - 4. * Q(7)$
 $Q(10) = 0.1 * (S(10) * Q(1) + Y(10) * Y(1)) / S(1) + R2J$
 $Q(9) = Q(10) + 0.33 * ((S(9) - S(10)) * Q(1) + (Y(9) - Y(10)) * Y(1)) / S(1)$
 $Q(11) = T2U$
 $IF ((S(12) .LE. 7.5) .AND. (S(12) .GT. 6.5)) Q(12) = (S(12) * Q(1) + Y(12) * Y(1))$
 $1) / S(1)$
 $IF (S(12) .LE. 6.5) Q(12) = 6.5$
 $IF (S(12) .GT. 7.5) Q(12) = 8$
 $Q(13) = (S(13) * Q(1) + Y(13) * Y(1)) / (Q(1) + Y(1))$
 $DO 43 J = 2, 13$
43 $S(J) = Q(J)$
 $X = XU$
 $SU = Q(6)$
 $Z = ZU$
 $A1 = A1U$
 $XN = XNU$
 $NI = NIU$
 $CI = CIU$
 $XI = XIU$
 $R1 = R1U$
 $T1 = TIU$
 $X2 = X2U$
 $R2 = R2U$
 $Z2 = Z2U$
 $O2 = O2U$
 $T2 = T2U$

```

Q(1)=Q(1)-FB(1)+Y(1)-R
C JALKISELKEYTTIMEN MALLI
Q(1)=Q(1)*3.6
RCCI=99870.+56.*S(11)-8.1*S(11)**2
RODA=99870.+56.*TA-8.1*TA**2
DRE=0.8*ABS(RCCI-RCCA)
PE=0.15+0.25*EXP(-0.00536*DRE)
ME=1-(0.265-0.001*DRE)/PE
SI=Q(1)*LA/HA/BA*(1-ME)*((1-PE)**2+1-LA*HA*BA*(1-ME)/Q(1))
EX=ABS(SI-SIV)/(0.4*LA*HA*BA)*Q(1)
SIV=SI
IF(EX.GT.50) EX=50.
IF(EX.LT.C.25) EX=0.25
KE=1.17*EXP(-8.05/EX)
IF(AIKA-24*60/AVALI)51,51,52
51 AP(1)=0.0
AP(2)=0.0
GC TO 53
52 KK=-2*60*24/AVALI
KY=-KK-2
CALL NTRAN(27,6, KK,2,2, AP,L,6, KY,22)
53 AK(1)=BHK
AK(2)=(XU+ZU)*VI
CALL NTRAN(27,1,2, AK,L,22)
SVI(1)=SVI(1)+AK(1)-AP(1)
SVI(2)=SVI(2)+AK(2)-AP(2)
F=SVI(1)/SVI(2)
SVF=SIN(0.6*F+0.4)*(EXP(-13.*ABS(F-0.15))*250+400*EXP(-3.5*ABS(F-0
1.85)))
P=((((1000.-SVF)/600.))**4.75+(R+FB(1))/LA/BA)*HA*BA)/Q(1)
TE1=Q(1)*LA/(2.*HA*BA*EX)*(1+SQRT(1+4*(1-KE)*P*EX*BA/Q(1)))
TE2=Q(1)*LA/(2.*HA*BA*EX)*(1+SQRT(1-4.*(1-KE)*P*EX*BA/Q(1)))
EAE=1-(TE1-TE2)/(TE1*EXP(-TE2)-TE2*EXP(-TE1))
Q(1)=Q(1)/3.6
Q(2)=S(2)*(1-EAE)*S(1)/Q(1)+HOI*S(1)/LA/BA
Q(3)=0.8*(S(3)-S(2))*S(1)/Q(1)+Q(2)
Q(4)=0.8*Q(2)
Q(5)=S(5)
Q(6)=S(6)*S(1)/Q(1)+0.5*Q(2)
Q(7)=S(7)
Q(8)=0.025*Q(2)+S(5)*(0.2+0.136*LA*HA*3A/Q(1))*S(1)/Q(1)
Q(9)=0.1*Q(2)
Q(10)=S(10)
Q(11)=S(11)
Q(12)=S(12)
Q(13)=S(13)*(EAE-0.01)*S(1)/Q(1)
C LIETE
DC 60 J=2,13
60 B(J)=S(J)*S(1)-G(J)*Q(1)
CALL NTRAN(28,1,13,Q,L)
CALL NTRAN(28,1,13,B,L,22)
C VIIVE
D=-26*VIIVA/AVALI
D1=-D-26
IF(AIKA-VIIVA/AVALI)67,67,68
67 Q(2)=300.
Q(3)=300.
Q(4)=100.
Q(5)=100.
Q(6)=100.
Q(7)=100.
Q(8)=100.
Q(9)=100.

```

```

Q(10)=50.
Q(11)=10.
Q(12)=7.
Q(13)=1.E6
Y(1)=30.
Y(2)=1.E4
Y(3)=1.E4
Y(4)=1.E4
Y(5)=1.E4
Y(6)=1.E4
Y(7)=1.E4
Y(8)=1.E4
Y(9)=1.E4
Y(10)=-.5E4
Y(11)=10.
Y(12)=7.
Y(13)=1.E8
GC TC 62
68 CALL NTRAN(28,6,D,2,26,APU,L,6,D1,22)
   CALL NTRAN(13,6,-13,2,13,XAP,L)
   CALL NTRAN(23,2,13,Y,L,10,22)
   AXUW=AXUW/1000.
   DO 61 J=2,13
   Q(J)=XAP(J)+AXUW/VE*(APU(1)*APU(J)-XAP(J)*XAP(1)*QS/QSA/MAA)
61 Y(J)=Y(J)+AXUW/(LA*HA*BA-VE)*(APU(J+14)-Y(J)*(FB(1)+R))
   IF(FB(1))62,62,63
62 DO 89 J=1,13
89 FB(J)=0.0
   GC TC 65
63 FB(1)=FB(1)*MAA*QSA/QS
   DO 64 J=2,13
64 FB(J)=Y(J)
65 Q(1)=Q(1)*MAA*QSA/QS
   Y(1)=R
   CALL NTRAN(13,1,13,Q,L)
   CALL NTRAN(23,1,13,Y,L,10,22)
   CALL NTRAN(17,1,13,FB,L,10,22)
   TA=Q(11)
   SC=Q(2)
   GC TC 66
50 DO 99 J=1,13
   Q(J)=S(J)
99 FB(J)=0.0
   CALL NTRAN(13,1,13,Q,L,22)
   CALL NTRAN(17,1,13,FB,L,10,22)
   CALL NTRAN(28,1,13,FB,L,1,13,FB,L,22)
66 CONTINUE
   RETURN
   END

```

```

SUBRCUTINE SIMU(N,FB7,FB8,FB9,PO3,QS,KU3,IA,PN,VE,MAARA,MAA,HOI,FE
1SO)
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),KU3(13),YLI(13),S(13),FB(13)
DIMENSION MAARA(13),B(13),Y(13),APU(26),AP(13),AP(2),AK(2)
INTEGER PC3(13),AVALI,AIKA,PA,FB7,FB8,FB9,C,C1,VIIVA
REAL LIE,KS,KI,KC,MY,Y1,KS1,KI1,MY2,KS2,KI2,KA,KC2,KA1,M2,KSA,KI
1A,KCA,K2,KE,K1,LA,ME,NI,NIU,KD1
COMMON/VIRTA/Q(13),AVALI,AIKA,LIE(13)
COMMON/ILMA/TA,LA,BA,HA,SIV,VIIVA,PA,SVI(2),V1,V2
COMMON/BAKI/MYY,KS,KI,KC,YY,BD,MY1,Y1,KS1,KI1,MY2,Y2,KS2,KI2,KA,KC
12,KA1,AO,AC1,BD1,AC2,BJ2,PVI,PVO,TS,M2,KSA,KIA,KCA,YY2,BJA,B2,K2,
22,TIILM,K1,BI,KD1
COMMON/DISK/X,SU,Z,A1,XN,NI,r1,TI,X2,Z2,J2,T2,XI,DI,R2
COMMON/SAATC/SA(9),SC
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
DATA Y/15.,7000.,20000.,7000.,3.,20.,5.,1.,25.,10.,10.,7.,1.E5/
IF(AIKA.LE.1) GO TO 5
IF(N-1)105,4,1
1 IF(N-3)3,2,2
2 CALL NTRAN(FB9,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB8,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB7,2,13,TAK1,L,10,22)
105 CALL NTRAN(23,2,13,Y,L,10,22)
5 S(1)=Q(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
DO 6 J=2,13
6 S(J)=(Q(J)*Q(1)+TAK1(1)*TAK1(J)+TAK2(J)*TAK2(1)+TAK3(J)*TAK3(1))/S
1(1)
C
HAIRIOT
8 IF(AIKA-KU3(IA)*60/AVALI)7,9,12
7 IF(AIKA-PC3(IA)*60/AVALI)12,10,10
10 QSA=(MAA-MAARA(IA))/MAA*QS
IF(MAA-MAARA(IA))50,50,11
11 Q(1)=S(1)/(MAA-MAARA(IA))
GO TO 13
9 IA=IA+1
12 Q(1)=S(1)/MAA
QSA=QS
13 IF(S(1)-QSA)16,16,14
14 DO 15 J=2,13
15 YLI(J)=S(J)
YLI(1)=S(1)-QSA
Q(1)=QS/MAA
CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
16 CONTINUE
C
PALAUTUSLIETTEEN JA ILMASTUKSEN SAATG
R=SA(1)+SA(2)*Q(1)+SA(3)*SVI(1)/SVI(2)+SA(4)*S(11)+SA(5)*SD
VII=SA(6)+SA(7)*Q(1)+SA(8)*S(5)+SA(9)*S(11)
C
YIJAAMALIIETTEEN PUMPPAUS
24 IF(AIKA-24*PA*60/AVALI)33,27,27
27 IF(AIKA-(24*PA+8)*60/AVALI)28,32,33
28 IF(Q(1).LT.PN) GO TO 33
FB(1)=PN
GO TO 34
32 PA=PA+1
33 FB(1)=C.0
34 CONTINUE

```

```

C      ILMASTUSALTAAN MALLI
      S(1)=Q(1)+Y(1)
      BHK=S(6)*G(1)+Y(6)*Y(1)
      AXUW=60.*AVALI
      VI=VI*1000.
      V2=V2*1000.
      XU=X+AXUW/VI*(Y(1)*Y(2)*X/(X+Z)-S(1)*X+MY/3600.*SL*X)/(KS+SU+SU**2
1/KI)*VI-KC/3600.*X*VI)
      Q(6)=SU+AXUW/VI*(Q(1)*S(6)+Y(1)*Y(6)-S(1)*SU-MY/3600./YY*SU*XU*VI
1/(KS+SU+SU**2/KI)+BC*X*Z*VI)
      IF(Q(6).LE.0.0) Q(6)=0.0
      ZU=Z+AXUW/VI*(KC/3600.*X*VI+Q(1)*S(2)+Y(1)*Y(2)*Z/(Z+X)-S(1)*Z-BO*
1X*Z*VI)
      A1U=A1+AXUW/VI*(Q(1)*G(10)+0.9+Y(1)*Y(10)-S(1)*A1-MY1/Y1*A1*VI*XN
1/(KS1+A1+A1**2/KI1))
      XNU=XN+AXUW/VI*(Y(1)*(Y(9)-Y(10))-S(1)*XN+MY1*A1*VI*XN/(KS1+A1+A1
1**2/KI1)-KC1*XN*VI)
      NIU=NI+AXUW/VI*(-(S(1))*NI-MY2/Y2*NI*VI*XI/(KS2+NI+NI**2/KI2)+KA*
1(Q(10)-A1))
      XIU=XI+AXUW/VI*(MY2*NI*VI*XI/(KS2+NI+NI**2/KI2)-KC2*XI*VI)
      R1J=R1+AXUW/VI*(-S(1)*R1+KA1*MY2*NI/(KS2+NI+NI**2/KI2))
      VCI=VI*PVI/FVC
      OST=(S(11)**2-83.*S(11))/242.+14.
      CC1=C.89*VI*(0.03*VCI**2+0.76*VOI+0.1)/175.
      CTT=CC1*(CST-CI)/8.8*0.7*1.02**20-S(11)
      OIJ=OI+AXUW/VI*(Q(1)*S(5)+OTT-S(1)*OI-AJ*S(1)*(S(6)-SU)-BI*X*VI-AJ
11*(Q(10)-A1)*(S(1))-BC1*XN*VI-AJ2*NI*S(1)-B02*XI*VI+Y(1)*Y(5))
      WRITE(6,2001) OI,CIU,Q(1),S(5),OTT,OC1,S(1),S(6),Q(10),A1,XN,NI,XI
      IF(CIU.LE.(CI-.5)) CIU=OI-.25
      IF(CIU.GE.CST) CIU=CST-.5
      IF(CIU.GE.(CI+.5)) CIU=OI+.2
      TIJ=TI+AXUW/VI*(Q(1)*(S(11)-TI)+Y(1)*(Y(11)-TI)-K1*(TI-TS))
      IF(V2-1.)41,41,40
40 X2U=X2+AXUW/V2*(M2*R2+V2*X2/(KSA+R2+R2**2/KIA)-KCA*V2*X2)
      R2U=R2+AXUW/V2*(S(1)*(R1-R2)-M2/YY2*R2*V2*X2/(KSA+R2+R2**2/KIA)+B
1CA*X2*Z2)
      Z2J=Z2+AXUW/V2*(S(1)*(Z-Z2)+KCA*X2*V2-30A*V2*X2*Z2)
      C2U=C2+AXUW/V2*(S(1)*(OI-O2)-A2*S(1)*(R2-R1)-B2*X2*V2)
      T2J=T2+AXUW/V2*(S(1)*(TI-T2)-K2*(TI-TS))
      GC TC 42
41 X2J=0.0
      R2U=R1U
      Z2J=ZU
      C2U=CIU
      T2U=TIU
42 Q(2)=.6*FESC+XU+XNU+XIU+X2U+Z2U
      Q(3)=(S(3)*Q(1)+Y(3)*Y(1)-S(2)*Q(1)-Y(2)*Y(1))/(Q(1)+Y(1))+Q(2)+.4
1*FESC
      Q(4)=.4*FESC+XU+XNU+XIJ+X2U
      Q(5)=C2U
      Q(7)=C.1*(S(7)*G(1)+Y(7)*Y(1))/S(1)
      Q(8)=0.9*(S(8)*Q(1)+Y(8)*Y(1))/(Q(1)+Y(1))-4.*Q(7)
      Q(10)=C.1*(S(10)*G(1)+Y(10)*Y(1))/S(1)+R2U
      Q(9)=Q(10)+C.33*(S(9)-S(10))*Q(1)+(Y(9)-Y(10))*Y(1)/S(1)
      Q(11)=T2U
      IF((S(12).LE.7.5).AND.(S(12).GT.6.5)) Q(12)=(S(12)*Q(1)+Y(12)*Y(1)
1)/S(1)
      IF(S(12).LE.6.5) Q(12)=6.5
      IF(S(12).GT.7.5) Q(12)=8
      Q(13)=(S(13)*Q(1)+Y(13)*Y(1))/(Q(1)+Y(1))
      DC 43 J=2,13
43 S(J)=Q(J)
      WRITE(6,2001) S

```

```

2001 FORMAT(1H ,13G9.3)
X=XU
SU=G(6)
Z=ZU
A1=A1U
XN=XNU
NI=NIU
CI=CIU
XI=XIU
R1=R1U
TI=TIU
X2=X2U
R2=R2U
Z2=Z2U
O2=O2U
T2=T2U
Q(1)=Q(1)-FR(1)+Y(1)-R
JALKISELKEYTTIMEN MALLI
Q(1)=Q(1)*3.6
ROCI=99870.+56.*S(11)-8.1*S(11)**2
RCCA=99870.+56.*TA-8.1*TA**2
DRE=0.8*ABS(RCCI-RCCA)
PE=0.15+0.25*EXP(-0.00536*DRE)
IF(DRE.LE.200.) PE=.4-.00075*DRE
ME=1-(0.265-0.0001*DRE)/PE
SI=Q(1)*LA/HA/BA*(1-ME)*((1-PE)**2+1-LA*HA*BA*(1-ME)/Q(1))
EX=ABS(SI-SIV)*30./AVALI
SIV=SI
IF(EX.GT.50) EX=50.
IF(EX.LT.0.25)EX=0.25
KE=1.17*EXP(-8.05/EX)
XYZ=FIDAT(AVALI)
IF(AIKA-24*60/AVALI)51,51,52
51 AP(1)=14.0
AP(2)=22.0
GO TO 53
52 KK=-2*60*24/AVALI
KY=-KK-2
CALL NTRAN(27,6, KK,2,2,AP,L,6,KY,22)
53 AK(1)=BHK/1000.*XYZ*.06
AK(2)=(XU+ZU)/1000.*VI/1000.*XYZ/24./60.
CALL NTRAN(27,1,2,AK,L,22)
VI=VI/1000.
V2=V2/1000.
SVI(1)=SVI(1)+AK(1)-AP(1)
SVI(2)=SVI(2)+AK(2)-AP(2)
F=SVI(1)/SVI(2)
IF(F.GT.4.) F=4.
WRITE(6,2000) F,AK,AP,SVI,PE,ME,Q(1)
2000 FORMAT(1H ,5HINDEX,10G11.6)
SVF=ABS(SIN(3.14*F+1.7))*(EXP(-6.5*ABS(F-C.3))*110+280*EXP(-4.5*AB
1S(F-0.93)))+25+65*F
P=((((1000.-SVF)/560.))**4.75+3.6*(R+FB(1))/LA/BA)*HA*BA)/Q(1)
TE1=Q(1)*LA/(2.*HA*BA*EX)*(1+SQRT(1+4*(1-KE)*P*EX*BA/Q(1)))
TE2=Q(1)*LA/(2.*HA*BA*EX)*(1-SQRT(1+4.*(1-KE)*P*EX*BA/Q(1)))
FAE=1-(TE1-TE2)/(TE1*EXP(-TE2)-TE2*EXP(-TE1))
WRITE(6,2000) FAE,TE1,TE2,SVF,ZU,X,S1,DRE,P,EX
Q(1)=Q(1)/3.6
Q(2)=S(2)*(1-FAE)*S(1)/Q(1)+HOI*S(1)/LA/BA
Q(3)=0.8*(S(3)-S(2))*S(1)/Q(1)+Q(2)
Q(4)=0.65*Q(2)
Q(5)=S(5)
Q(6)=S(6)+0.5*Q(2)

```

```

Q(7)=S(7)
Q(8)=.015*Q(2)+S(7)
Q(9)=0.1*Q(2)+S(10)+3.*S(7)
IF(Q(8).GT.S(8)) G(8)=S(8)
IF(Q(9).GT.S(9)) Q(9)=S(9)
Q(10)=S(10)
Q(11)=S(11)
Q(12)=S(12)
Q(13)=S(13)*(FAE-C.01)*S(1)/Q(1)
C
LIEIE
DO 60 J=2,13
60 B(J)=S(J)*S(1)-Q(J)*Q(1)
B(6)=S(6)*(S(1)-Q(1))
CALL NTRAN(28,1,13,Q,L)
CALL NTRAN(28,1,13,B,L,22)
C
VIIVE
D=-26*(VIIVA/AVALI+1)
D1=-D-26
IF(AIKA-VIIVA/AVALI)67,67,68
67 Q(2)=50.
Q(3)=300.
Q(4)=40.
Q(5)=1.
Q(6)=30.
Q(7)=.5
Q(8)=1.
Q(9)=5.
Q(10)=2.
Q(11)=10.
Q(12)=7.
Q(13)=1.E6
Y(1)=15.
Y(2)=7000.
Y(3)=7000.
Y(4)=10000.
Y(5)=5.
Y(6)=20.
Y(7)=1.
Y(8)=40.
Y(9)=5.
Y(10)=2.
Y(11)=10.
Y(12)=7.
Y(13)=1.E8
GO TO 62
68 CALL NTRAN(28,6,D,2,26,APU,L,6,D1,22)
CALL NTRAN(13,6,-13,2,13,XAP,L)
CALL NTRAN(23,2,13,Y,L,10,22)
AXUW=AXUW/1000.
DO 61 J=2,13
Q(J)=XAP(J)+AXUW/VE*(APU(1)*APU(J)-XAP(J)*XAP(1)*QS/GSA/MAA)
61 Y(J)=Y(J)+AXUW/(LA*HA*BA-VE)*(APU(J+13)-Y(J)*Y(1))
IF(FB(1)-.01)62,62,63
62 DO 89 J=1,13
89 FB(J)=0.0
WRITE(6,2009) AIKA,D,D1,APU(1),APU(2),XAP(1),XAP(2),Q(1),Q(2),VE
2009 FORMAT(1H ,3I5,7G10.4)
GO TO 65
63 FB(1)=FB(1)*MAA*GSA/QS/2.
DO 64 J=2,13
64 FB(J)=2.*Y(J)
FB(6)=FB(6)+.5*FB(2)
65 Q(1)=Q(1)*MAA*GSA/QS

```

```
Y(1)=R
WRITE(6,2001) Y
CALL NTRAN(13,1,13,G,L)
CALL NTRAN(23,1,13,Y,L,10,22)
CALL NTRAN(17,1,13,FB,L,10,22)
TA=Q(11)
SC=Q(2)
GO TO 66
50 DO 99 J=1,13
  Q(J)=S(J)
99 FB(J)=0.0
  CALL NTRAN(13,1,13,G,L,22)
  CALL NTRAN(17,1,13,FB,L,10,22)
  CALL NTRAN(28,1,13,FB,L,1,13,FB,L,22)
66 CONTINUE
RETURN
END
```



```

SUBROUTINE FLOT(N,FB1,FB2,FB3,PO,QS,KU,IF,VF,MAF,MAARA,PF,PN,SA)
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),KL(13),YLI(13),S(13),X(13)
DIMENSION FB(13),SA(4),R(13),APU(13)
REAL LIE,KBA
INTEGER PC(13),AIKA,AVALI,VIIVF,FB1,FB2,FB3
COMMON/VIRT4/Q(13),AVALI,AIKA,LIE(13)
COMMON/FLO/XFL(13),VFL,Y(13),VIIVF,CP,LF,BF,VFC,C3,C4
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
IF(AIKA.LE.1) GC TC 5
IF(N-1)5.4.1
1 IF(N-3)3.2.2
2 CALL NTRAN(FB3,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB2,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB1,2,13,TAK1,L,10,22)
5 S(1)=Q(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
DC 6 J=2,13
6 S(J)=(Q(J)*Q(1)+TAK1(1)*TAK1(J)+TAK2(J)*TAK2(1)+TAK3(J)*TAK3(1))/S
1(1)
C
HAIRIOT
IF(AIKA-60/AVALI*KU(IF))7.9.12
7 IF(AIKA-60/AVALI*PC(IF))12.10.10
10 QSA=QS*(MAF-MAARA(IF))/MAF
IF(MAF-MAARA(IF))50.50.11
11 Q(1)=S(1)/(MAF-MAARA(IF))
GC TC 13
9 IF=IF+1
12 Q(1)=S(1)/MAF
QSA=QS
13 IF(S(1)-QSA)20.20.14
14 DC 15 J=2,13
15 YLI(J)=S(J)
YLI(1)=S(1)-QSA
Q(1)=QS/MAF
CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
20 S(1)=Q(1)+Y(1)
DC 24 J=2,13
24 S(J)=(S(J)*Q(1)+X(J)*Y(1))
Q(2)=S(2)*EXP(-(C3*CP*(70-S(11))/S(1))*Y(1)*LF*BF/(60-S(11))/S(1))/S
1(1)/S(2)+C4)
Q(1)=S(1)-(S(2)-Q(2))/15000.
Q(3)=(S(3)-S(2)+Q(2))/Q(1)
Q(4)=S(4)*Q(2)/S(2)/Q(4)
Q(5)=((S(11)/S(1))*2-83.*S(11)/S(1))/242.+14.
Q(6)=S(6)*(0.5+G(2)/S(2)/2)/Q(1)
Q(7)=S(7)/S(1)
Q(8)=(S(7)+(S(8)-S(7))*Q(2)/S(2))/Q(1)
Q(9)=(S(10)+(S(9)-S(10))*Q(2)/S(2))/Q(1)
Q(10)=S(10)/S(1)
Q(11)=S(11)/S(1)
Q(12)=S(12)/S(1)
KBA=0.5
Q(13)=S(13)/Q(1)*(1-KBA+KBA*Q(2)/S(2))
Q(2)=Q(2)/Q(1)
CALL NTRAN(26,1,13,Q,L,22)
R(1)=S(1)-Q(1)
DC 22 J=2,13
22 R(J)=(S(J)-Q(J)*Q(1))
IF(AIKA-24*PF/AVALI*60)33.27.27
27 IF(AIKA-(24*PF+8)/AVALI*60)28.32.33
28 FB(1)=PN
GC TC 35

```

```

32 PF=PF+1
33 DC 34 J=1,13
34 FB(J)=0.0
35 VFL=VFL+R(1)-FB(1)
   DO 36 J=2,13
36 XFL(J)=XFL(J)+.06*AVALI/VFL*(R(J)-FB(1)*XFL(J))
   IF(FB(1).LE.1.E-6) GO TO 38
   DC 37 J=2,13
37 FB(J)=XFL(J)
   FB(1)=FB(1)*MAF*QSA/QS
38 CALL NTRAN(18,4,13,FB,L,10,22)
C   VIIVE
   KK=-13*VIIVF/AVALI
   KY=-KK-13
   IF(AIKA-VIIVF/AVALI)67,67,68
67 Q(2)=200.
   Q(3)=300.
   Q(4)=100.
   Q(5)=100.
   Q(6)=100.
   Q(7)=100.
   Q(8)=100.
   Q(9)=100.
   Q(10)=50.
   Q(11)=10.
   Q(12)=7.
   Q(13)=1.E6
   GO TO 65
68 CALL NTRAN(26,6,KK,2,43,APU,L,6,KY,22)
   CALL NTRAN(14,6,-13,2,13,X,L,22)
   DC 61 J=2,13
61 Q(J)=X(J)+.06*AVALI/VF*(APU(1)*APU(J)-X(J))*(X(1)+Y(1))*QS/QSA/MAF)
C   PALAUTTEEN SAATC
65 F=SA(1)+SA(2)*Q(1)+SA(3)*S(2)+SA(4)*S(11)
   G(1)=(Q(1)-F)*QSA/QS*MAF
   CALL NTRAN(14,1,13,Q,L,22)
   DC 62 J=2,13
62 Y(J)=Y(J)+.06*AVALI/VFC*(F*Q(J)-Y(1)*Y(J))
   Y(1)=F
   GO TO 66
50 DC 99 J=1,13
   G(J)=S(J)
   Y(J)=0.0
99 FB(J)=0.0
   CALL NTRAN(14,1,13,Q,L,22)
   CALL NTRAN(18,1,13,FB,L,10,22)
   CALL NTRAN(29,1,13,Y,L,22)
66 CONTINUE
   RETURN
   END

```

```

SUBROUTINE SENTRI(N,FB1,FB2,FB3,KU,PO,LAATU,QS,MAS,IS,MAARA)
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),S(13),YLI(13),R(13),FB(13)
INTEGER FB1,FB2,FB3,PO(13),KU(13),AVALI,AIKA,MAARA(13)
REAL LIE
COMMON/VIRTA/G(13),AVALI,AIKA,LIE(13)
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
IF(AIKA.LE.1) GC TO 5
IF(N-1)5,4,1
1 IF(N-3)3,2,2
2 CALL NTRAN(FB3,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB2,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB1,2,13,TAK1,L,10,22)
5 S(1)=LIE(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
IF(S(1).LE.1.E-3) GC TO 99
DC 6 J=2,13
6 S(J)=(LIE(1)+LIE(J)+TAK1(1)+TAK1(J)+TAK2(1)+TAK2(J)+TAK3(1)+TAK3(J
1))/S(1)
C RAJOITUKSET JA KESKEYTYKSET
IF(AIKA-60/AVALI*KU(IS))7,9,12
7 IF(AIKA-60/AVALI*PO(IS))12,10,10
10 GSA=QS*(MAS-MAARA(IS))
IF(MAS-MAARA(IS))99,99,11
11 LIE(1)=S(1)/(MAS-MAARA(IS))
GO TO 13
9 IS=IS+1
12 LIE(1)=S(1)/MAS
GSA=QS*MAS
13 IF(S(1)-GSA)16,16,14
14 DC 15 J=2,13
15 YLI(J)=S(J)
YLI(1)=S(1)-GSA
LIE(1)=QS
CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
16 S(1)=LIE(1)
IF(S(3).LE.3500.) S(3)=3500.
IF(S(3).GT.290000.) S(3)=290000.
WRITE(6,3900) S(3)
3900 FORMAT(1H ,1HS,13G9.3)
IF(LAATU-2)20,30,19
19 IF(LAATU-4)40,50,50
20 R(3)=4.25*S(3)+34000.
FB(3)=2585.-0.0154*S(3)
IF(R(3).GE.300000.) R(3)=300000.
LIE(1)=S(1)*(S(3)-FB(3))/(R(3)-FB(3))
E=R(3)*LIE(1)/S(3)/S(1)
IF(S(1)-1.3*QS/2)24,24,25
24 LIE(3)=R(3)*(1.1-0.1*S(1)/QS*2.)
E=E*(1.1-0.1*S(1)*2/QS)
GO TO 26
25 LIE(3)=R(3)*(2.4-1.1*S(1)*2/QS)
E=E*(2.77-1.385*S(1)*2/QS)
26 FB(3)=S(3)*(1.-E)/(1.-E*S(3)/LIE(3))
IF(FB(3)-1600.)21,21,22
21 FB(6)=FB(3)
FB(8)=.026*FB(3)
FB(2)=0.375*FB(3)
23 FB(7)=FB(8)-.0039*FB(2)
GC TO 60

```

```

22 FB(6) = .605*FB(3) + 660.
   FB(8) = .0071*FB(3) + 30.
   FB(2) = 1.05*FB(3) - 1060.
   FB(7) = 40.
   GO TO 60
30 R(3) = 1.2*S(3) + 164000.
   FB(3) = 3830. - .033*S(3)
   IF (R(3) .GE. 300000.) R(3) = 300000.
   LIE(1) = S(1)*(S(3) - FB(3)) / (R(3) - FB(3))
   E = R(3)*LIE(1) / S(3) / S(1)
   IF (S(1) - 1.3*QS/2) 34, 34, 35
34 LIE(3) = R(3)*(1.1 - 0.1*S(1) / QS*2.)
   E = E*(1.1 - 0.1*S(1)*2 / QS)
   GO TO 36
35 LIE(3) = R(3)*(2.4 - 1.1*S(1)*2 / QS)
   E = E*(2.77 - 1.385*S(1)*2 / QS)
36 FB(3) = S(3)*(1. - E) / (1. - E*S(3) / LIE(3))
   IF (FB(3) - 1600.) 31, 31, 32
31 FB(6) = .095*FB(3)
   FB(8) = 0.026*FB(3)
   FB(2) = 0.375*FB(3)
33 FB(7) = FB(8) - .0058*FB(2)
   GO TO 60
32 FB(6) = .177*FB(3) - 131.
   FB(8) = .0071*FB(3) + 30.
   FB(2) = 1.05*FB(3) - 1060.
   FB(7) = 40.
   GO TO 60
40 R(3) = 2.8*S(3) + 46000.
   FB(3) = 3415 - .0154*S(3)
   IF (R(3) .GE. 300000.) R(3) = 300000.
   LIE(1) = S(1)*(S(3) - FB(3)) / (R(3) - FB(3))
   E = R(3)*LIE(1) / S(3) / S(1)
   IF (S(1) - 1.3*QS/2) 44, 44, 45
44 LIE(3) = R(3)*(1.1 - 0.1*S(1) / QS*2.)
   E = E*(1.1 - 0.1*S(1)*2 / QS)
   GO TO 46
45 LIE(3) = R(3)*(2.4 - 1.1*S(1)*2 / QS)
   E = E*(2.77 - 1.385*S(1)*2 / QS)
46 FB(3) = S(3)*(1. - E) / (1. - E*S(3) / LIE(3))
   IF (FB(3) - 1600.) 41, 41, 42
41 FB(6) = FB(3)
   FB(8) = .03*FB(3)
   FB(2) = .375*FB(3)
   FB(7) = FB(8) - .0138*FB(2)
   GO TO 60
42 FB(6) = .605*FB(3) + 660
   FB(8) = .0148*FB(3) + 24.5
   FB(2) = 1.05*FB(3) - 1060.
   FB(7) = 40.
   GO TO 60
50 R(3) = 1.9*S(3) + 92000.
   FB(3) = 3680. - .033*S(3)
   IF (R(3) .GE. 300000.) R(3) = 300000.
   LIE(1) = S(1)*(S(3) - FB(3)) / (R(3) - FB(3))
   E = R(3)*LIE(1) / S(3) / S(1)
   IF (S(1) - 1.3*QS/2) 54, 54, 55
54 LIE(3) = R(3)*(1.1 - 0.1*S(1) / QS*2.)
   E = E*(1.1 - 0.1*S(1)*2 / QS)
   GO TO 56

```

```

55 LIE(3)=R(3)*(2.4-1.1*S(1)*2/QS)
   E=E*(2.77-1.385*S(1)*2/QS)
56 FB(3)=S(3)*(1.-E)/(1.-E*S(3)/LIE(3))
   IF(FB(3)-1600.)51,51,52
51 FB(6)=.012*FB(3)
   FB(8)=.031*FB(3)
   FB(2)=.375*FB(3)
53 FB(7)=FB(8)-.016*FB(2)
   GO TO 60
52 FB(6)=.045*FB(3)-53.
   FB(8)=.025*FB(3)+12.5
   FB(2)=1.05*FB(3)-1060.
   FB(7)=40.
60 FB(1)=S(1)-LIE(1)
   FB(4)=FB(2)/S(2)*S(4)
   FB(5)=S(5)
   FB(10)=S(10)
   FB(9)=FB(10)+0.1*FB(2)
   FB(11)=S(11)
   FB(12)=S(12)
   FB(13)=0.8*S(13)*S(1)/FB(1)
   LIE(2)=(S(2)*S(1)-FB(2)*FB(1))/LIE(1)
   LIE(3)=R(3)
   DO 61 J=4,13
61 LIE(J)=(S(J)*S(1)-FB(J)*FB(1))/LIE(1)
   FB(1)=FB(1)*QSA/QS
   LIE(1)=LIE(1)*QSA/QS
   WRITE(6,3900) LIE
   GO TO 66
99 DO 65 J=1,13
   LIE(J)=0.0
65 FB(J)=0.0
66 CALL NTRAN(19,1,13,FB,L,10,22)
   CALL NTRAN(15,1,13,LIE,L,22)
   RETURN
   END

```

```

SUBROUTINE MACAT(N,FB1,FB2,FB3,PO,KU,QS,IS,SA,VMAX,PN,VKRY,VKRA)
DIMENSION TAK1(13),TAK2(13),TAK3(13),KU(13),R(13),S(13),YLI(13)
REAL MY1,MY2,KS1,K1,KS,KA,KI,K2,KLA,KH2,K3,LIE,FB(13),KH1,MY
INTEGER FB1,FB2,FB3,AIKA,AVALI,PO(13)
COMMON/DIG/V,X,SU,T,X2,S2,TK2,C02,Z2,T2,MY1,KS1,Y1,K1,IY,MY2,KS,KA
1,KI,K2,KLA,CC,YCC,Z1,KH2,Y2,K3,PA(13),HOI,KH1,PNP
COMMON/VIRTA/Q(13),AIKA,AVALI,LIE(13)
DATA TAK1,TAK2,TAK3/39*0.0/
IF(AIKA.LE.1) GO TO 5
IF(N-1)5,4,1
1 IF(N-3)3,2,2
2 CALL NTRAN(FB3,2,13,TAK3,L,10)
3 CALL NTRAN(FB2,2,13,TAK2,L,10)
4 CALL NTRAN(FB1,2,13,TAK1,L,10,22)
5 S(1)=LIE(1)+TAK1(1)+TAK2(1)+TAK3(1)
DO 6 J=2,13
6 S(J)=LIE(1)*LIE(J)+TAK1(1)*TAK1(J)+TAK2(1)*TAK2(J)+TAK3(1)*TAK3(J)
1/S(1)
C RAJOITUKSET JA KESKEYTYKSET
IF(AIKA-60/AVALI*KU(IS))7,9,12
7 IF(AIKA-60/AVALI*PO(IS))12,10,10
10 R(1)=0.0
Y=0.0
VM=V
DO 11 J=1,13
11 S(J)=0.0
GO TO 18
9 IS=IS+1
12 IF(S(1)-QS)16,16,14
14 DO 15 J=2,13
15 YLI(J)=S(J)
YLI(1)=S(1)-QS
S(1)=QS
CALL NTRAN(10,1,13,YLI,L,22)
16 CONTINUE
DO 17 J=2,13
17 S(J)=(S(1)*S(J)+PA(1)*PA(J))/(S(1)+PA(1))
S(1)=S(1)+PA(1)
C LAMMITIN
S(11)=40
C ULCSVIRTAAMAN SUURUUS
IF(AIKA-60/AVALI*PM*24)31,37,37
37 IF(AIKA-(24*PM+8)/AVALI*60)38,42,31
42 PM=PM+1
PNA=PN
GO TO 31
38 IF((AIKA-60/AVALI*(24*PM+6)).LE.0) GO TO 49
PNA=3.*PN
Y=PNA
GO TO 29
49 PNA=PN/(41-HCI)
Y=PN

```

```

29 IF (V-VKRY)30,30,33
30 IF (V-VKRA)31,32,32
31 R(1)=0.0
   GC TC 34
32 R(1)=PNA
   GC TC 34
33 R(1)=2.*PNA
C   PALAUTTEEN ERECTUS
34 Y=R(1)/PNA*Y
   PA(1)=PKP-SA*(S(11)-35)
   R(1)=PA(1)+R(1)
   VM=V+(S(1)-Y-PA(1))*C_06*AVALI
C   MADATYKSEN 1_VAIHE
18 R(2)=0.06*AVALI/VM*(MY1*SU*X/(KS1+SU)-R(1)*X)+X*V/VM
   R(6)=0.06*AVALI/VM*(S(6)*S(1)-R(4)*SU-MY1/Y1*SU*VM*X/(KS1+SU))*SU*
1V/VM
   R(11)= 0.06*AVALI/VM*(S(11)*S(1)-T*R(1)+K1*(TY-T))+T*V/VM
   X=R(2)
   SU=R(6)
   T=R(11)
C   MADATYKSEN 2_VAIHE
   MYY=MY2/(1+KS*KA/S2/H+S2*H/KI/KA)
   TX2=V*TX2/VM+C_06*AVALI/VM*(PA(1)*TX2-R(1)*TX2)
   Z2=V*Z2/VM+0.06*AVALI/VM*S(1)*(Z1-Z2)
   H=KH1*CC2/(Z2-S2)
   X2J=X2*V/VM+0.06*AVALI/VM*(PA(1)*PA(2)-R(1)*X2+MY2*X2-K2*TX2)
   RC=(S(1)*(Z1-R(6))-R(1)*(Z2-S2))+(VM*X2U -V*X2)/AVALI/0.06-S(1)*(Z
11-Z2)
   CC2=V*CC2/VM+0.06*AVALI/VM*(V*(KLA*(CO-C)2)+YCD*MY2*X2)+RC+PA(1)*C
1CC2-R(1)*CC2)
   S(6)=V*S2/VM+0.06*AVALI/VM*(KH2*MY1/Y1*R(6)*VM*R(2)/(KS1+R(6))-R(1
1)*S2-MYY/Y2*X2)
   S(11)=V/VM*T2+0.06*AVALI/VM*(S(1)*T-(Y+PA(1))*T2-K3*(T2-TY))
   X2=X2U
   S2=S(6)
   T2=S(11)
   R(2)=R(2)*X2U+S(2)-S(4)
   R(3)=S(3)-S(2)+R(2)
   R(4)=R(2)+S(4)-S(2)
   R(5)=0.0
   R(6)=S(6)
   R(7)=S(7)
   R(8)=0.0275*R(3)
   R(9)=S(9)
   R(10)=S(10)
   R(11)=S(11)
   R(12)=-ALCG(H/1000.)
   R(13)=0.01*S(1)*S(13)/R(1)
   DC 20 J=2,13
20 PA(J)=R(J)
   IF (Y-2.5*PN)50,50,55
50 IF (Y-1.E-6)25,25,51
51 DO 52 J=1,13
52 LIE(J)=0.0

```

```
FB(1)=Y
FB(2)=(R(1)-PA(1))*R(2)/FB(1)
FB(3)=(R(1)-FA(1))*R(3)/FB(1)
FB(4)=(R(1)-PA(1))*R(4)/FB(1)
FB(5)=R(5)
FB(6)=(R(1)-PA(1))*R(6)/FB(1)
FB(7)=R(7)
FB(8)=C_0275*FB(3)
FB(9)=S(9)
FB(10)=S(10)
FB(11)=R(14)
FB(12)=R(12)
FB(13)=R(13)
GC TC 27
55 DO 56 J=2,13
   LIE(J)=R(J)
56 FB(J)=0.0
   FB(1)=0.0
   LIE(1)=Y
   GC TC 27
25 DO 26 J=1,13
   LIE(J)=0.0
26 FB(J)=0.0
27 CALL NTRAN(16,1,13,LIE,L,22)
   CALL NTRAN(21,1,13,FB,L,10,22)
   V=VM
   RETURN
   END
```



```

SUBROUTINE TUICS(KIERR,M,MSUR,N,NPAIK,MA,XTU)
DIMENSION M(13),N(13),G(13),YLI(13),PO(13),XKA(3),V(26),XTU(13)
DATA V/'(1HC','2X,4HA','IKA,4X','1X','4X','7X','4X','7X,
1','4X','7X','4X','7X','4X','7X','4X','7X','4X','7X','4X'
2','7X','4X','7X','4X','7X','4X)'/
DATA LYLI/2/
DC 1000 IS=1,MSUR
IT=3
IF(M(IS)-6)1,8,9
1 IF(M(IS)-4)2,6,7
2 IF(M(IS)-2)3,4,5
3 WRITE(6,101)
GC TC 20
4 WRITE(6,102)
GC TC 20
5 WRITE(6,103)
GC TC 20
6 WRITE(6,104)
GC TC 20
7 WRITE(6,105)
GC TC 20
8 WRITE(6,106)
GC TC 20
9 IF(M(IS)-10)10,14,15
10 IF(M(IS)-8)11,12,13
11 WRITE(6,107)
GC TC 20
12 WRITE(6,108)
GC TC 20
13 WRITE(6,109)
GC TC 20
14 WRITE(6,110)
GC TC 20
15 IF(M(IS)-12)16,17,18
16 WRITE(6,111)
GC TC 20
17 WRITE(6,112)
GC TC 20
18 WRITE(6,113)
20 CONTINUE
DC 500 I=1,KIERR
DC 200 IP=1,NPAIK
NAP=N(IP)
MAP=M(IS)-1
IF(NAP.GE.100) NAP=NAP/10
IF(NAP.GE.100) NAP=NAP/10
IF(I-1)41,41,99
41 CALL NTRAN(NAP,10)
IF(N(IP)-11)42,43,44
42 V(2*IT)='4HYLIV'
GC TC 65
43 V(2*IT)='4HVALP'
GC TC 60
44 IF(N(IP)-13)45,45,47
45 V(2*IT)='4HSEIK'
GC TC 60
46 V(2*IT)='4HAKTP'
GC TC 60

```

```

47 IF(N(IP)-15)48,49,50
48 V(2*IT)="4HFLECT"
   GC TC 60
49 V(2*IT)="4HSENT"
   GC TC 60
50 IF(N(IP)-20)51,52,53
51 V(2*IT)="4HMADA"
   GO TO 60
52 V(2*IT)="4HTASA"
   GO TO 60
53 IF(N(IP)-1000)54,54,55
54 NAP=N(IP)/10
   V(2*IT)="4HSIMU"
   GO TO 60
55 IF((N(IP)/100.NE.N(IP-1)).AND.(N(IP)/10.NE.N(IP-1))) GC TO 56
   V(2*IT-1)="4X,8H"
   V(2*IT)="ED KCK"
   V(2*IT+1)="M4,4X,"
   GC TC 70
56 V(2*IT)="4HMAAR"
   GO TO 70
99 IF(N(IP).EQ.10) GC TC 65
60 CONTINUE
   IF(N(IP).GE.1000) GC TO 70
   IF(MAP)62,62,69
69 IF(I.GT.1) GC TC62
   CALL NTRAN(NAP,6,MAP)
62 CALL NTRAN(NAP,2,1,G(IP),L,6,12,22)
   GO TO 100
65 IF(IYLI)72,72,66
66 CALL NTRAN(10,2,13,YLI,L)
   MY=M(IS)
   Q(IP)=YLI(1)*YLI(MY)
   IYLI=L
   IF(MY.LE.1) Q(IP)=YLI(1)
   GC TC 100
70 NXY=-12-M(IS)
   MY=M(IS)
   NZX=0
   IF(.NCT.(NAP.EQ.N(IP-1)).OR.(NAP.EQ.N(IP-1)/10)) GC TO 71
   CALL NTRAN(NAP,6,NXY)
   NZX=MY-1
71 CALL NTRAN(NAP,2,13,PC,L,6,NZX,22)
   MY=M(IS)
   Q(IP)=PC(1)*PC(MY)
   IF(MY.LE.1) Q(IP)=PC(1)
   XKA(J)=(XKA(J)*(I-1)+Q(IP))/I
   J=J+1
   IF((MA-J).LE.-1) J=1
   GC TC 100
72 Q(IP)=.00
100 IT=IT+1
200 CONTINUE

```

```

      IF (I.LE.1) WRITE(6,V)
      WRITE(6,130) I,(Q(IP),IP=1,NPAIK)
500  CONTINUE
      IF(MA.LE.0) GO TO 1000
      DO 999 J=1,MA
      XKA(J)=XKA(J)*3.6CC*24.
      X=(1.-XKA(J))/(XTU(MY)*3.6*24))*100.
      999 WRITE(6,140)XKA(J),X
1000 CONTINUE
101  FORMAT(1H1,"***VIRTAAMA***")
102  FORMAT(1H1,"***KIINTOAINES***")
103  FORMAT(1H1,"***HAIHDUTUSJAANNOS***")
104  FORMAT(1H1,"***CRGAANINEN AINES***")
105  FORMAT(1H1,"***HAPPI***")
106  FORMAT(1H1,"***BHK***")
107  FORMAT(1H1,"***LIUK.FOSFORI***")
108  FORMAT(1H1,"***KOKONAIK.FOSFORI***")
109  FORMAT(1H1,"***KOKONAIK.TYYPPI***")
110  FORMAT(1H1,"***LIUK.TYYPPI***")
111  FORMAT(1H1,"***IAMPOTILA***")
112  FORMAT(1H1,"***PH***")
113  FORMAT(1H1,"***BAKTEERIT***")
130  FORMAT(1H,15,2X,G9.3,2X,G9.3,2X,G9.3,2X,G9.3,2X,G9.3,2X,G9.3,2X,G
19.3,2X,G9.3,2X,G9.3,2X,G9.3,2X,G9.3)
140  FORMAT(1H0,2X,"KESKIMAAARAINEN ARVO",2X,G9.3,2X,"JOKO M3/VRK TAI G/
1VRK JA KESKIMAAARAINEN FUHDISTUSTEHO",2X,G9.3,"%")
      END

```


YVY-julkaisusarja

1. Vesihuollon taloudellisuus
2. Vedenkulutuksen vaihtelut
3. Vesijohtoverkon toiminnan luotettavuus
4. Jätevedenpuhdistamojen allastilojen kattaminen
5. Ammoniakin poisto pohjavedestä
6. Teurastamojen ja lihanjalostuslaitosten jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet
7. Maidonjalostusteollisuuden jätevesikuormitus ja jätevesien käsittelymahdollisuudet
8. Vesi- ja jätehuollon laitteiden julkinen testaus
9. Jätehuollon esimerkkisuunnitelman laatiminen keskisuurille kunnille
10. Yhdyskuntien jätehuollon nykytilanne ja tulevaisuuden näkymät
11. Menetelmä taajamien vesihuollon toteuttamisasteen ja kehityksen arvioimiseksi
12. Kaatopaikat 1974
13. Viemärlaitoksen systeemianalyysi

ISBN 951-9250-62-X
ISSN 0355-1997

KYRIIRI OY 3809
Helsinki 1976