

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN KORKEAKOULU
Kemiantekniikan osasto
Epäorgaanisen ja analyttisen kemian laboratorio

**SELLUN KUIVAUSKONEEN AJETTAVUUSONGELMAN
MONIMUUTTUJAINEN TARKASTELU**

Diplomityö

Diplomityön aihe on hyväksytty kemiantekniikan osaston osastoneuvoston kokouksessa 17. 5. 2000.

Työn tarkastaja Prof. Pentti Minkkinen
Työn ohjaajat DI Pekka Tiesalo
FT Matti Ristolainen
FK Viljo Muurikainen

Lappeenrannassa 7. 8. 2000

Jarmo Kilpeläinen
Punkkerikatu 7 B 22
53850 Lappeenranta
040 582 8715

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty UPM-Kymmene Oyj Kaukaan sellutehtaalla Lappeenrannassa 22.11.1999 – 1.7.2000.

Kiitän työni ja tarkastajaa prof. Pentti Minkkistä saaduista neuvoista ja ohjauksesta ja ennen kaikkea kemometriakärpäsen puremasta.

Kiitän myös työni ohjaajia DI Pekka Tiesaloa, FK Viljo Muurikaista ja FT Matti Ristolaista heiltä saaduista neuvoista ja kannustuksesta ja ylipäättään tilaisuudesta tehdä tämä työ. Kaukaalla viettämäni aika oli antoisaa ja opettavaista. Kiitos myös kaikille niille sellulaisille ja tutkimuskeskuksen väelle, jotka tavalla tai toisella olivat mukana tämän työn toteutuksessa.

Rakkaalle puolisololleni Pilville suuren suuri kiitos siitä, että jaksoit kuunnella minua niinäkin hetkinä kun työn tekeminen ei mennyt aivan putkeen.

Kiitos myös vanhemmilleni kaikesta matkan varrella saadusta tuesta ja kannustuksesta.

Kauan se kesti, mutta kyllä kannatti!

Jarmo Kilpeläinen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu
Kemiantekniikan osasto

Jarmo Kilpeläinen

Sellun kuivauskoneen ajettavuusongelman monimuuttujainen tarkastelu

Diplomityö, Lappeenranta 2000.
118 sivua, 65 kuvaa, 16 taulukkoa, 1 liite.

Tarkastaja: Professori Pentti Minkkinen

Hakusanat: sellu, sellun kuivauskone, kaksoisviirakone, ajettavuus, kemometria, monimuuttujamenetelmät, PCA, PLS.

Tässä työssä on tutkittu sellun kuivauskoneella koivusellua kuivattaessa esiintyvää ajettavuusongelmaa. Tähän ongelmaan on etsitty ratkaisua monimuuttujamenetelmien avulla.

Työn kirjallisuusosassa on lyhyesti käyty läpi sellun kuivauskoneiden historia lieriöviirakoneista nykyaikaisiin kaksoisviirasovelluksiin. Lisäksi kirjallisuusosassa on käsitelty tässä työssä käytettyjen monimuuttujamenetelmien perusteet ja käyty esimerkin omaisesti läpi joitakin kemometrian sovelluksia puunjalostusteollisuudessa.

Työn kokeellisessa osassa on haettu tiedonkeruujärjestelmästä massan ominaisuuksista ja kuivauskoneen ajoparametreista koostuvaa dataa vuoden 1999 ajalta. Tästä datasta on tehty PCA-mallit vuoden 1999 jokaisen kuukauden datasta ja diskriminoiva PLS-malli ajettavuuden kannalta hyvästä ja huonosta jaksosta koostuvasta datasta. Kuivauskoneelta on koottu dataa myös ottamalla kiertovesi- ja selluarkkinäytteitä. Kiertovesinäytteiden analyysituloksista on tehty PCA-mallit ja lisäksi analyysitulokset on tarkasteltu yksimuuttujaisesti. Selluarkkinäytteistä on määritetty UV-spektrit ja niistä on tehty PCA-mallit, jotta spektreistä saataisiin mahdollisimman paljon informaatiota.

Työssä on havaittu yhdeksi selitykseksi ajettavuusongelmalle kuivauskoneen kiertovesien likaantuminen. Kiertovesiä ja massarainan pintakemiaa tulisi kuitenkin tutkia laajemmassa mittakaavassa kuin tämän työn puitteissa on ollut mahdollista tutkia.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Department of Chemical Technology

Jarmo Kilpeläinen

Runnability Problem of a Pulp Drying Machine; a Multivariate Approach

Master of Science Thesis, Lappeenranta 2000.
118 pages, 65 pictures, 16 tables, 1 appendix.

Supervisor: Professor Pentti Minkkinen

Keywords: pulp, pulp drying machine, double wire machine, runnability, chemometrics, multivariate methods, PCA, PLS.

A runnability problem of a pulp drying machine was studied in this thesis. The problem appears while drying birch pulp. Multivariate methods were used to find the solution to the problem.

The first part of the thesis consists of a literature survey on the pulp drying machines from the early drum machines to the modern double-wire applications. Furthermore, the basic theories of the multivariate methods used in this thesis were discussed and some applications of the chemometrics in the wood processing industry were exemplified.

The data used in the experimental part of this thesis consisted of the properties of the pulp and running parameters during the whole year 1999. PCA-models from every month's data were calculated. In addition, discriminative PLS-model was calculated from data which consisted of good and bad runnability periods. Several wet chemical analyses of the white water samples were done and PCA-models from the results were calculated. The results were also studied univariately. The pulp sheet samples were analysed using UV-spectrophotometry and PCA-models were calculated from the spectral data in order to extract as much information out of the spectra as possible.

In this thesis, the fouling of the white water was found to be one explanation to the runnability problem. However, the white water and the surface chemistry of the web should be studied more extensively than was possible during this thesis.

SISÄLLYSLUETTELO	1
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO	4
KIRJALLISUUSOSA	7
1 JOHDANTO	7
2 SELLUN KUIVAUSKONEIDEN KEHITYS	8
2.1 Lieriöviirakone	8
2.2 Tasoviirakone	9
2.3 Sieppotelalla varustettu tasoviirakone	9
2.4 Kaksoisviirakone	10
2.4.1 Vedetöinnin jakautuminen kaksoisviirakoneella	11
2.4.2 Kaksoisviirakoneella kuivatun sellun laatu	12
2.4.3 Kaksoisviirakoneen ja tasoviirakoneen vertailu	13
2.4.3.1 Sähkön kulutus	13
2.4.3.2 Lämmön kulutus	14
2.4.4 Asennettujen kaksoisviirakoneiden tuotantonopeudet	15
2.5 Kaksoisviirapuristin	16
2.5.1 Kaksoisviirapuristimen toimintaperiaate	17
2.5.2 Kaksoisviirapuristimen ja tasoviirakoneen vertailu	18
3 MONIMUUTTUJAMENETELMIEN TEORIAA	19
3.1 Pääkomponenttianalyysi	20
3.2 PLS-regressio	23
3.3 Aineiston esikäsittelymenetelmiä	26
4 KEMOMETRIAN KÄYTTÖ PUUNJALOSTUSTEOLLISUUDESSA	28
4.1 Sellun monimuuttujainen karakterisointi	29
4.1.1 Mallinnukset	30
4.1.2 Tulosten tarkastelu	32
4.1.3 Validointi	37

4.2	Monimuuttujainen korrelaatio liuenneen ligniinin ja mustalipeän palamisominaisuuksien välillä	39
4.2.1	Mallinnukset	39
4.2.2	Tulosten tarkastelu	42
4.3	Mekaanisen massan laadun optimointi NIR-tekniologialla	45
4.3.1	Tehdaskoeajot	46
	KOKEELLINEN OSA	49
5	KAUKAAN SELLUTEHTAAN LYHYT PROSESSINKUVAUS	49
5.1	Puunkäsittely	49
5.2	Mäntysellulinja	49
5.3	Koivusellulinja	50
5.4	Talteenotto	50
5.5	Ongelman kuvaus	51
6	ONGELMAN MALLINNUS	53
6.1	Mallinnuksessa käytetyt muuttujat	53
6.2	Datan esikäsittely	54
6.3	PCA-mallit vuoden 1999 datasta	55
6.4	PLS-mallit vuoden 1999 datasta	85
7	UUDEN DATAN KERÄÄMINEN	89
7.1	Näytteenotto KK4:n kiertovesistä	89
7.2	Kiertovesinäytteiden analyysit	90
7.3	PCA-mallit kiertovesinäytteiden analyysidatasta	90
7.4	Selluarkkinäytteiden analyysit	95
7.5	PCA-mallit selluarkkinäytteiden UV-spektreistä	95
7.6	Kiertovesinäytteiden yksimuuttujainen tarkastelu	103
8	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	110
9	EHDOTUKSET TOIMENPITEISTÄ	113

10 LÄHDELUETTELO

114

LIITTEET (CD-levy)

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

ADt	tonni ilma-kuivaa sellua	
D	valkaisu- klooridioksidivaihe	
DD	ruskean massan pesuryyppi (drum displacement)	
E	jäännösmatriisi	
ECF	alkuainekloorivapaa	
EO	valkaisu- alkali-happivaihe	
EOP	valkaisu- alkali-happi-peroksidivaihe	
EP	valkaisu- alkali-peroksidivaihe	
ephoito	esipuristimen hoitopuolen nippipaine	kN/m
epkäyttö	esipuristimen käyttöpuolen nippipaine	kN/m
F	jäännösmatriisi	
FTIR	Fourier-muunnettu infrapuna	
huuli	perälaatikon huulen asento	mm
kon.nop	kuivauskoneen ajonopeus	m/min
kuumakv	kuuman kiertoveden virtaus (1-valkaisimo)	dm ³ /s
k-aine	kuivatun sellun kuiva-ainepitoisuus	%
LODP	polymeraatioaste	
lämminkv	lämpimän kiertoveden virtaus (1-valkaisimo)	dm ³ /s
m	muuttuja	
MLR	usean muuttujan lineaarinen regressio	
N	kohina	
nelpaino	kuivatun sellun neliöpaino	g/m ²
NIR	lähi-infrapuna	
NMR	ydinmagneettinen resonanssi	
NS-AQ	neutraali sulfiitti-antrakinonikeitto	
o	objekti	
OSC	ortogonaalinen signaalinkorjaus	
P'	latausmatriisi	
PC	pääkomponentti	
PCA	pääkomponenttianalyysi	
peräpain	perälaatikon paine	kPa

peräpH	massan pH perälaatikossa	
peräpint	massan pinnan korkeus perälaatikossa	%
peräsake	massan sakeus perälaatikossa	%
PLS	Partial Least Squares, Projection to Latent Structures	
PO	valkaisun peroksidi-happivaihe	
PRESS	ennustevirheen neliösumma	
PSS	polysulfidi-sulfiittikeitto	
Q'	latausmatriisi	
Q/A	valkaisun kelatointi ja hapan vaihe	
R ²	kumulatiivinen selitysaste	%
S	signaali eli informaatio	
SEC	kokoekskluusiokromatografia	
SEP	ennusteen standardivirhe	
S/N	signaalin ja kohinan suhde	
T	pistearvomatriisi	
TOC	kokonaisorgaaninen hiili	mg C/dm ³
U	pistearvomatriisi	
UV	ultravioletti	
vaO ₂ kapp	massan kappaluku valkaisun 1. happivaiheessa	
vatuvisk	valkaisuun tulevan massan viskositeetti	cm ³ /g
vp1hoito	1. viirapuristimen hoitopuolen nippipaine	kN/m
vp1käyttö	1. viirapuristimen käyttöpuolen nippipaine	kN/m
vp2hoito	2. viirapuristimen hoitopuolen nippipaine	kN/m
vp2käyttö	2. viirapuristimen käyttöpuolen nippipaine	kN/m
WRV	veden retentio	%
X	aineistomatriisi	
X	mitattu arvo	
\hat{X}	ennustettu arvo	
XIS	automaatiojärjestelmään liittyvä tiedonkeruujärjestelmä (expanding information system)	
Y	aineistomatriisi	
1-MSS AQ	yksivaiheinen minisulfidi-sulfiitti-antrakinonikeitto	
2-MSS AQ	kaksivaiheinen minisulfidi-sulfiitti-antrakinonikeitto	

5-spH	valkaisu 5-suotimelta lähtevän massan pH	
5-suute	valkaisu 5-suotimelta lähtevän massan uuteainepitoisuus	%
5-svaale	valkaisu 5-suotimelta lähtevän massan vaaleus	%
5-svisko	valkaisu 5-suotimelta lähtevän massan viskositeetti	cm ³ /g

KIRJALLISUUSOSA

1 JOHDANTO

Sellutehtaalla, minkä yhteydessä on paperitehdas, sellu pumpataan sulppuna suoraan paperikonetta edeltävälle jauhatusosastolle. Pidempiä kuljetusmatkoja varten sellu kuivataan ja kuljetetaan paperitehtaalte selluarkkeina. Paperitehtaan sijaitessa sellutehtaan lähistöllä, voidaan sellu kuljettaa märkänä massana, minkä kuiva-ainepitoisuus on noin 50 %. Tähän kuiva-ainepitoisuuteen päästään lieriöviirakoneella. Märkä massa on kuitenkin altis erilaisten sienien aiheuttamille tuhoille varastoinnin aikana. Yleensä onkin tapana kuivata sellu ilmakeivaksi, eli noin 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, mikä on sellun säilyvyyden lisäksi tarkoituksenmukaista myös kuljetuskustannusten kannalta /1/.

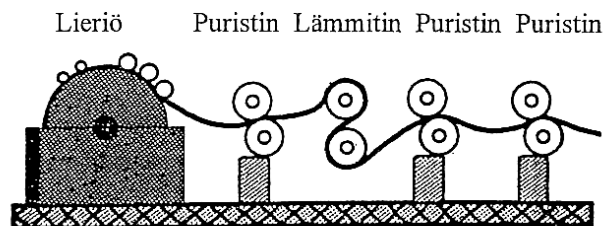
Tässä työssä etsittiin ratkaisuja sellun kuivauskoneen ajettavuusongelmiin monimuuttujamenetelmien avulla. Suurin ajettavuusongelma kyseisellä kuivauskoneella on massarainan tarttuminen koneen yläviiraan, mistä seuraa palstautuminen ja rainan katkeaminen. Näille katkeamisille etsittiin syitä tarkastelemalla kuivauskoneen ajoparametreista sekä massan fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista koostuvaa aineistoa pääkomponenttianalyysin ja PLS-regression (Partial Least Squares, Projection to Latent Structures) avulla. Monimuuttujamenetelmiä käyttämällä oli tarkoituksena maksimoida mittausaineistosta saatava informaatio ja löytää mahdolliset vuorovaikutukset kuivauskoneen ajoparametrien ja massan ominaisuuksien välillä. Lisäksi tutkittiin kuivauskoneen kiertovesissä ajon aikana tapahtuvia kemiallisia muutoksia ja etsittiin myös niistä selitystä ajettavuusongelmille.

2 SELLUN KUIVAUSKONEIDEN KEHITYS

Historiasta löytyy kuivausmenetelmältään neljän eri tyyppin sellun kuivauskoneita. Näistä konetyypeistä kaikki ovat yhä käytössä. Seuraavassa on esitetty konetyypit aikajärjestyksessä.

2.1 Lieriöviirakone

Lieriöviirakone perustuu samaan menetelmään kuin kuitulinjan massan sakeutusrumpu. Erona toimintaperiaatteessa on se, että kuivauskoneen lieriöltä sellu otetaan irti rainan muodossa /5/. Toimintaperiaate perustuu sulppuvirran kulkeutumiseen tasauslaatikon kautta imulieriölle, poistotelalle ja siltä puristinosaan, jolloin vesipitoisuus laskee. Lieriön ulkopinta on valmistettu rei'itetystä teräslevystä ja sen päälle on pingotettu viira. Tämän lieriön sisäpuolella on umpinainen sisälieriö. Lieriöiden välinen tila on jaettu väliseinillä lokeroiksi, mitkä yhtyvät lieriön päädyssä olevaan imukaappiin. Imukaappi on yhdistetty tyhjäpumppuun. Lieriö pyörii massalla täytetyssä altaassa. Kun lokerot kulkevat sulpun läpi, imeytyy vesi viiran läpi lokeroihin ja niistä edelleen imukaapin kautta pois. Massa jää viiran pinnalle muodostaen kerroksen, minkä paksuus kasvaa lieriön pyöriessä. Lieriön yläpuolella on 1-3 telaa, mitkä puristavat massakerroksesta vettä pois sen verran, että kerroksen kuiva-ainepitoisuus on imulieriön jälkeen 20-25 %. Tämän jälkeen raina voidaan ohjata puristinosaan /1-4/. Korkeamman kuiva-ainepitoisuuden aikaansaamiseksi ennen rainan johtamista kuivausosaan lisättiin imulieriön alipainetta ja koneen puristinosaan rainan lämmitystelat /5/. Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva



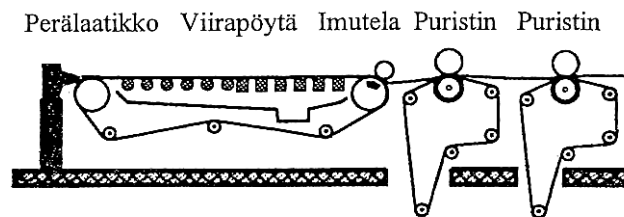
lieriöviirakoneesta /5/.

Kuva 1. Lieriöviirakone /5/.

2.2 Tasoviirakone

Seuraavaksi sellun kuivausprosessin kehittämiseksi keskityttiin kuivauskoneen kapasiteetin lisäämiseen. Vaikka lieriön vedenpoistokyvyn parantamisessa edistyiinkin, lieriön koosta tuli pullonkaula kapasiteetin lisäämiselle. Lieriö korvattiin liikkuvalla viiralla, mikä nosti huomattavasti koneen kapasiteettia. Tämä vaakatasossa oleva ”jatkettu lieriö” mahdollisti pidemmän ajan veden poistumiselle rainasta, koneen suuremman ajonopeuden sekä alhaisemman neliöpainon verrattuna lieriöviirakoneeseen. Alhaisemman neliöpainon ansiosta myös rainassa vielä olevan veden haihuttaminen oli helpompaa lopullisessa kuivausvaiheessa

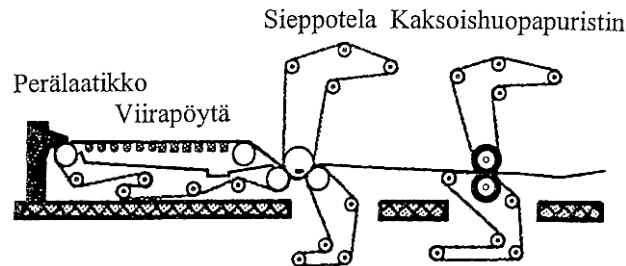
/2-5/. Kuvassa 2 on esitetty periaatekuva tasoviirakoneesta /5/.



Kuva 2. Tasoviirakone /5/.

2.3 Sieppotelalla varustettu tasoviirakone

Rainan vapaa vienti kannatustelatta viiraosalta puristinosalle muodostui ongelmaksi, kun tasoviirakoneen kapasiteettia yhä lisättiin. Viirapöydän jatkamisen sijaan lisättiin koneeseen viirapöydän jälkeen viiran ulkopuolelle sieppotela suuremman kuiva-ainepitoisuuden mahdollistamiseksi viiraosan jälkeen. Kuvassa 3 on esitetty periaatekuva sieppotelalla varustetusta tasoviirakoneesta /5/.



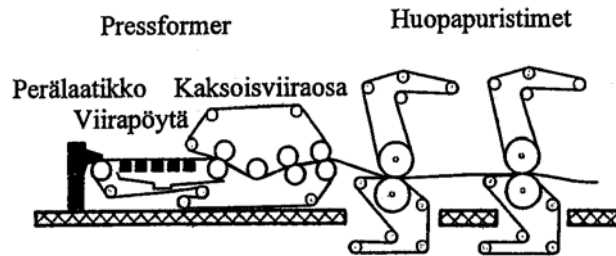
Kuva 3. Sieppotelalla varustettu tasoviirakone /5/.

2.4 Kaksoisviirakone

Kaksoisviirakoneen kehitys sai alkunsa energiakriisistä 1980-luvun alkuvuosina. Vuosien mittaan on kehitetty usean tyyppisiä kaksoisviirakoneita, joista seuraavassa tarkastellaan yksityiskohtaisemmin Pressformer kaksoisviirakoneen toimintaperiaatetta /5/.

Kehitettäessä kaksoisviiratekniikkaa sellun kuivaukseen rakennettiin 1980-luvun alkupuolella pilot-kone, minkä pituus vastasi tuotantomittakaavan kuivauskonetta, mutta leveys oli vain 800 mm. Tällä tavoin koneesta saatiin liikuteltava. Tämä kone mahdollisti tutkimustyön todellisissa prosessiolosuhteissa. Laitteella tehtiinkin koeajoja useilla sellutehtailla ja usean tyyppisillä selluilla. Ensimmäinen Pressformer kuivauskone käynnistettiin MoDo Skarblackan sellutehtaalla Ruotsissa vuonna 1986 /5, 7, 8/.

Pressformer sellun kuivauskone voidaan karkeasti jakaa seuraaviin pääosiin: perälaatikko, viirapöytä, esipuristin, ensimmäinen viirapuristin, toinen viirapuristin, ensimmäinen huopapuristin ja toinen huopapuristin /5-8/. Tämän kuivauskoneen periaatekuva on esitetty kuvassa 4 /5/.



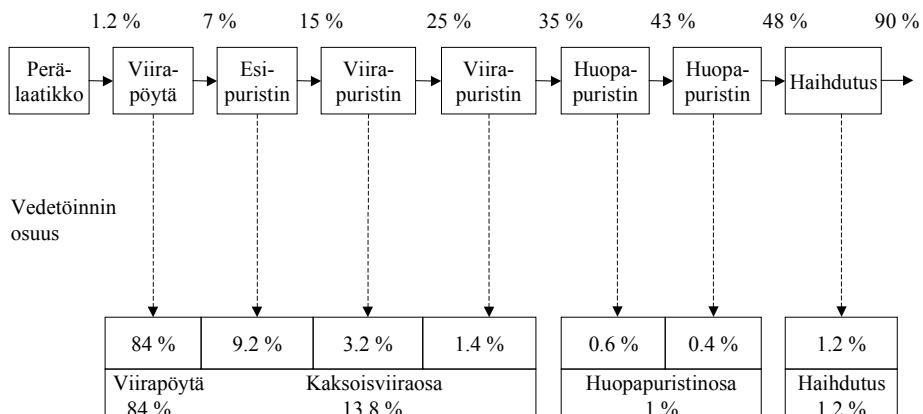
Kuva 4. Pressformer kaksoisviirakone /5/.

2.4.1 Vedetöinnin jakautuminen kaksoisviirakoneella

Kaksoisviirakoneen vedetöinti jaetaan matalasakeus- (1.2 → 7 %), keskisakeus- (7 → 15 %) ja korkeasakeusvaiheeseen (15 → 35 %). Matalasakeusvaiheen vedetöinti tapahtuu viirapöydällä, keskisakeusvaiheen esipuristimessa ja korkeasakeusvaiheen viirapuristimissa. Lopullinen kuivuus ennen rainan johtamista kuivausosaan saavutetaan viirapuristinosa jälkeisessä huopapuristinosa /5, 6/.

Kuvassa 5 on esitetty veden poistuminen rainasta kaksoisviirakoneella. Vedetöinti tulee teknisesti vaikeammaksi ja sen myötä kalliimmaksi rainan kuiva-ainepitoisuuden lisääntyessä /5/.

Sakeus / kuiva-ainepitoisuus:



Kuva 5. Vedetöinnin jakautuminen kaksoisviirakoneella /5/.

Rainan kuiva-ainepitoisuudessa toisen viirapuristimen jälkeen pyritään ylittämään 30 % ja usein käytännön arvot ovatkin 35 %:n luokkaa /5, 7/. Kuiva-ainepitoisuutta viirapuristinosan jälkeen voidaan kontrolloida säätämällä viirapuristimien nippipaineita. Kuiva-ainepitoisuuden maksimiarvo neliöpainolla 700 g/m^2 on noin 38 %. Tämä johtuu rainan uudelleenkastumisesta toisessa viirapuristimessa sen vuoksi, että sileäpintaisen ylätelan mukana rainasta poistuva vesi kulkeutuu telan pyöriessä takaisin nippiin ja sen myötä takaisin rainaan /5/.

Kaksoisviiraosan jälkeen raina on kyllin kestävä vietäväksi vapaasti huopapuristinosaan ja rainan vesipitoisuus on riittävän pieni ettei ensimmäisen huopapuristimen huopien vedenpoistokapasiteettia ylitetä /5/.

Tyypillisessä kaksoisviirakoneessa on viiraosan jälkeen kaksi kaksoishuopapuristinta. Vanhempiin kuivauskonetyyppeihin verrattuna niiden telat ovat halkaisijaltaan suurempia ja kumilaatujen kehityksen myötä telojen pinnat ovat pehmeämpiä. Näistä muutoksista johtuen huopapuristimien nipit ovat pidempiä vedetöntikyky parempi /5/.

Kahdella suurtehuopapuristimella varustetulla kaksoisviirakoneella saavutetaan korkeampi rainan kuiva-ainepitoisuus ennen kuivausosaa kuin sieppotelalla varustetulla nelihuopaisella tasoviirakoneella. Kuivattaessa pohjoismaisia sulfaattiselluja päästään perinteisillä kuivauskoneilla maksimissaan 45 %:n kuiva-aine-pitoisuuteen. Kaksoisviirakoneella ovat tyypillisiä kuiva-ainepitoisuuksia havupuumassalle 48 % ja koivumassalle 49 %. Ajoittain saavutetaan jopa yli 51 %:n pitoisuuksia /5, 6/.

2.4.2 Kaksoisviirakoneella kuivatun sellun laatu

Sellun kuivauskoneen märkää, eli perälaatikko, viira- ja puristinosaa, on tärkeä tekijä tuotettaessa korkealaatuista kuivattua sellua. Korkealaatuisen lopputuotteen

valmistukselle saadaan optimiolosuhteet käyttämällä rainan muodostamiseen ja vedetöintiin suljettua korkeaturbulenttista alipaineella ajettavaa perälaatikkoa, hellävaraista viirapöytää ja kaksoisviiraosaa. Tällä tavoin neliöpainon ja kuiva-ainepitoisuuden vaihtelut ovat helposti hallittavissa /5, 6, 9, 10/.

2.4.3 Kaksoisviirakoneen ja tasoviirakoneen vertailu

Energian kulutuksen vertailemiseksi laskettiin vuotuinen energiankulutus samantasoisien vuosituotantonopeuden omaaville tasoviirakoneelle ja kaksoisviirakoneelle. Seuraava tapaus perustuu Skandinaviassa tuotetun sulfaattikoivusellun kuivaukseen tuotantonopeudella 1000 ADt/d. Massan lämpötilaa perälaatikossa, massan pH:ta ja rainan kuiva-ainepitoisuutta koneen märkäänpään jälkeen pidettiin samoina. Todellisuudessa rainan kuiva-ainepitoisuus huopapuristimien jälkeen on korkeampi kaksoisviirakoneella kuin sieppotelalla varustetulla tasoviirakoneella missä on sama määrä huopia kuin kaksoisviirakoneessa /5/.

2.4.3.1 Sähkön kulutus

Taulukossa I on esitetty tasoviirakoneen ja kaksoisviirakoneen sähkönkulutukset koneiden eri osissa /5/.

Taulukko I. Tasoviirakoneen ja kaksoisviirakoneen sähkönkulutus (kWh/ADt) tuotantonopeudella 1000 ADt/d, kun kummankin koneen ajonopeus ja leveys ovat samoja /5/.

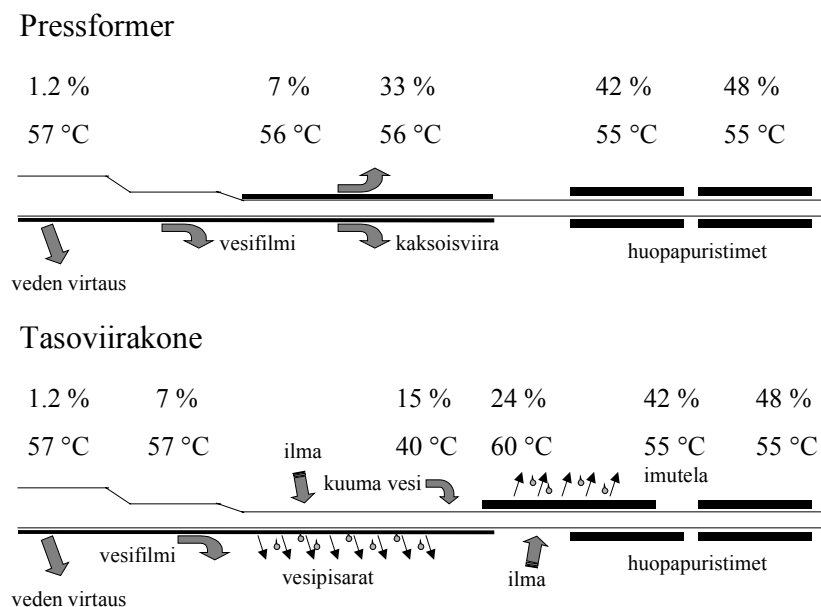
Sähkön kulutus, kWh/ADt	Tasoviirakone	Kaksoisviirakone
Perälaatikko	0.03	0.03
Viirapöytä	5.5	1.4
Sieppotela	12.2	-
Käytöt	7.2	7.2
Huopien tyhjä	5.3	5.3
Hydrauliikka	0.22	0.22
Pulpperit	1.0	1.0
Sekoittimet	2.0	2.0
Pumput	14.4	14.4

Yhteensä	47.9	31.5
----------	------	------

Kaksoisviirakoneen sähkön kulutus on 16.4 kWh/ADt pienempi kuin tasoviirakoneen sähkön kulutus. Tämä merkitsee vuositasolla 5600 MWh säästöä, kun vuosituotanto on 350000 ADt/a /5/.

2.4.3.2 Lämmön kulutus

Kuvassa 6 on esitetty kuinka rainan lämpötila laskee kummankin koneen eri vaiheissa /5/.



Kuva 6. Rainan lämpötila tasoviira- ja kaksoisviirakoneen eri vaiheissa /5/.

Kuvasta 6 nähdään, että rainan lämpötila alenee kaksoisviirakoneella ainoastaan 2 °C. Tasoviirakoneella rainan lämpötila alenee aluksi viirapöydällä ja sen jälkeen vielä imutelalla siten, että lämpötilan alenema kokonaisuudessaan noin 20 °C. Tästä johtuen tasoviirakoneella rainaa joudutaan lämmittämään jotta huopapuristinosalla päästäisiin riittävään kuiva-ainepitoisuuteen. Taloudellisin tapa lämmittää rainaa on käyttää lämmintä vettä, mikä on tuotettu kuivausosalta talteen otetulla lämmöllä. Tämän veden maksimilämpötila on kuitenkin vain 55 °C, joten sitä on lämmitettävä edelleen höyryllä. Tekemällä oletus, että rainan

lämmitykseen viirapöydällä käytetty vesi syrjäyttää rainassa olevan veden täysin voidaan laskea taulukossa II esitetty rainan lämmitykseen käytetyn energian määrä /5/.

Taulukko II. Rainan lämmitykseen käytetyn energian määrä tasoviirakoneen viirapöydällä /5/.

Tuotantonopeus	1000	ADt/d
Lämpötilan nousu	20	°C
Syrjäytyssakeus	12	%
Kuumen veden lämpötila	85	°C
Kuumen veden tarve	42.7	kg/s
Lämmitysteho	5352	kW
Energian kulutus	0.46	GJ/ADt

Kaksoisviirakoneella saavutettu taloudellinen etu voidaan laskea edellä esitettyjen tulosten perusteella. Vaikutus taloudellisuuteen riippuu vaihtelevasta energian hinnasta, sekä siitä mistä kullakin sellutehtaalla tuotetun energian kokonaiskustannukset muodostuvat. Taulukossa III on esitetty tyypillisen pohjoismaisen sellutehtaan hyötylaskelma /5/.

Taulukko III. Energian säästö kaksoisviirakoneella, kun vuosituotanto on 350000 ADt. Laskentaperusteina käytetyt sähkön hinta 0.18 FIM/kWh ja höyryn hinta 18 FIM/1 GJ /5/.

Sähkön säästö	1033000 FIM
Höyryn säästö	2913000 FIM
Säästöt yhteensä	3946000FIM

2.4.4 Asennettujen kaksoisviirakoneiden tuotantonopeudet

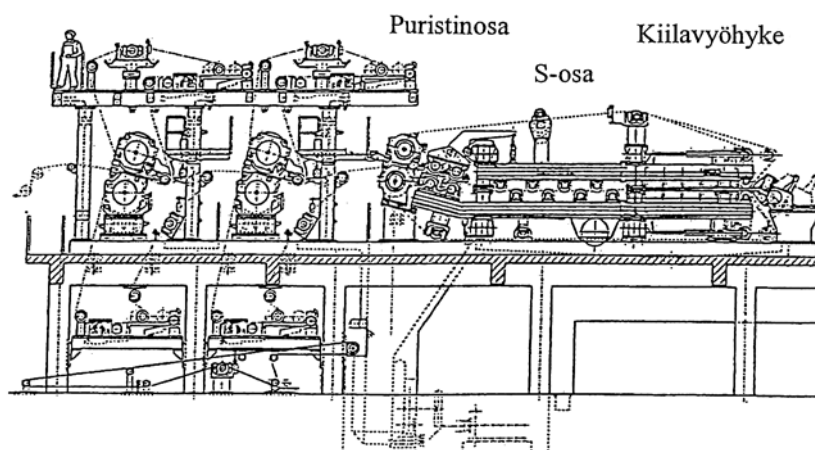
Pressformer kaksoisviirakoneita on ollut tuotannossa vuodesta 1986 lähtien. Nämä koneet on mitoitettu tuotantonopeudelle 150-160 ADt/d säädetyn koneen leveysmetriä kohti. Todellinen tuotantonopeus kullakin koneella riippuu suunnitellusta tuotannosta ja on tyypillisesti 185 ADt/d säädetyn koneen leveysmetriä kohti. Lyhyillä jaksoilla se on noussut jopa arvoon 215 ADt/d koneen leveysmetriä kohti. Kasvaneesta tuotantonopeudesta, jopa em. huippuarvoista huolimatta rainan kuiva-ainepitoisuus ei ole laskenut. Mahdolliset

tuotantoa rajoittavat tekijät ovat johtuneet muusta kuin kaksoisviirakoneella tehdystä kuivauksesta /5/.

Kaksoisviirakoneen ominaisnopeus on välillä 90-160 m/min. Tuotannossa olevien koneiden nopeudet ovat käytännössä välillä 130-140 m/min. Neliöpaino sellun kuivauslinjalla valitaan tyypillisesti kuivausosan ja leikkuriosan kapasiteettien mitoitusarvojen mukaan. Yleensä tuotannossa olevilla koneilla neliöpaino vaihtelee välillä 700-900 g/m² /5, 7/.

2.5 Kaksoisviirapuristin

Toinen kaksoisviirasovellus sellun kuivauksessa on itävaltalaisen Andritz AG:n valmistama kaksoisviirapuristin, mikä poikkeaa rakenteeltaan ja siten myös toiminnaltaan oleellisesti Pressformer kaksoisviirakoneesta. Siinä ei ole imulaatikoilla varustettua viirapöytää, vaan ylä- ja alaviiraosa ovat samanpituiset ja massa johdetaan perälaatikosta suoraan viirojen väliin. Tämän kuivauskoneen viiraosa voidaan karkeasti jakaa seuraaviin pääosiin: kiilavyöhyke, S-osa ja puristinosa. Kuvassa 7 on esitetty periaatekuva Andritz kaksoisviirapuristimesta /11, 12/.



Kuva 7. Kaksoisviirapuristin /11/.

2.5.1 Kaksoisviirapuristimen toimintaperiaate

Seuraavassa käydään tarkemmin läpi kaksoisviirapuristimen toimintaperiaate käyttäen esimerkkinä Indonesiassa sijaitsevaa vuonna 1989 käynnistynyttä sellutehdasta, missä on kaksoisviirapuristin ja kaksi raskasta huopapuristinta. Koneen märkävään leveys on 4.2 m ja rainan leveys 4 m /11/. Sulppu syötetään ylipaineisesta perälaatikosta leveyssuunnassa tasaisena kerroksena viiralle. Perälaatikon voimakkaan turbulenssin ansiosta muodostuu luja raina. Vedetöntiprosessi ei vaadi lainkaan alipainetta, ja näin ollen energiaa syötetään ainoastaan viirojen käytöille. Koneita voidaan ajaa suuremmalla neliöpainolla kuin tasoviirakonetta koska suodos poistuu rainasta sekä ylä- että alapuolelta. Tehokkaamman mekaanisen vedenpoiston ansiosta kuluu kuivausosalla vähemmän lämpöenergiaa /11, 13/.

Kiilavyöhykkeellä vesi poistuu rainasta hydraulisen paineen vaikutuksesta. Paine on kiilavyöhykkeen alkupäässä kunnollisen rainanmuodostuksen takaamiseksi alhainen ja nousee rainan kulkiessa kohti kiilavyöhykkeen loppupäätä. Viirat kulkevat reikälevyjien tukemina ja kiilavyöhykkeellä ei ole viiroja lukuun ottamatta liikkuvia osia. Kiilavyöhykettä seuraavalla S-osalla vesi poistuu rainasta edelleen paineen vaikutuksesta. Tätä painetta säädetään viirojen kireydellä ja telojen halkaisijoilla siten, että mitä kireämmät viirat ja mitä suuremmat telat, sitä suurempi on paine. Vedetöntiaikaa kontrolloidaan peittokulman avulla, mitä säädetään muuttamalla telojen pystysuuntaista sijaintia. Kaksoisviiraosan loppupään kolminippisessä puristinosassa rainan kuiva-ainepitoisuus nousee 35 %:iin /11, 12/.

Korkeamman kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi ennen kuivausosaa käytetään kahta raskasta yksinippistä huopapuristinta, joissa kummassakin on kaksi huopaa.

Näiden puristimien telojen suuret halkaisijat ja pehmeät pinnoitteet saavat aikaan pitkän nipin ja suhteellisen pitkän vedetöntiajan /11, 12/.

Kyseisen sellutehtaan kaksoisviirapuristimen tuotantonopeus lyhytkuituisella valkaistulla sulfaattimassalla on 500-550 t/d. Rainan kuiva-ainepitoisuus toisen huopapuristimen jälkeen on yli 50 %, mikä selittyy suhteellisen korkealla neliöpainolla /11/.

2.5.2 Kaksoisviirapuristimen ja tasoviirakoneen vertailu

Tehtaalla tuotetaan sellua myös sieppotelalla varustetulla tasoviirakoneella. Taulukossa IV on verrattu näitä kuivauskoneita toisiinsa /14/.

Taulukko IV. Indonesian sellutehtaan tasoviirakoneen ja kaksoisviirapuristimen vertailu /14/.

	Tasoviirakone	Kaksoisviirapuristin
Koneen leveys, m	3.6	4.8
Ominaistuotantonopeus, t/d	454	800
Syötön sakeus, %	2.2	1.7
Neliöpaino, g/m ²	740	1050
Tuotteen kuiva-ainepitoisuus, %	48	50
Höyryn kulutus, t/t sellua	1.34	1.02
Viirajärjestelmän käytöt, kW	83.6	102.4
Huopien käytöt, kW	109.4	120.6
Tyhjöpumput, kW	601.2	240.3
Energian kokonaiskulutus, kW	794.2	463.3
Energian ominaiskulutus, kW/t sellua	42	13.9
Ajettavuus, %	95.6	96.2

Kaksoisviirapuristimen energian ominaiskulutus on vain kolmasosa tasoviirakoneen energian ominaiskulutuksesta. Tämä on seurausta siitä, että kaksoisviirapuristimella on tyhjöpumppuja vain huopien kunnossapitojärjestelmissä. Kaksoisviirapuristimen ominaistuotantonopeus on 30 % suurempi. Neliöpaino on kaksoisviirapuristimella 50 % korkeampi, minkä johdosta rainan kuiva-ainepitoisuus ennen kuivausosaa on yli 50 %. Kaksoisviirapuristimella olisi mahdollista päästä korkeampaankin neliöpainoon, mutta kuivausosa rajoittaa neliöpainon tälle tasolle. Höyryn kulutus on

kaksoisviirapuristimella 25 % alhaisempi kahdesta syystä. Kuivausosaan menevän rainan kuiva-ainepitoisuus on korkeampi, minkä vuoksi höyryn kulutus kuivausosalla on pienempi ja tasoviirakoneella on höyryllä lämmitettävät esilämmityssylinterit /14/.

3 MONIMUUTTUJAMENETELMIEN TEORIAA

Monimuuttujamenetelmät ovat osa kemometriaa, mikä käyttää matematiikkaa ja tilastomatematiikkaa kemian ongelmien ratkaisuun, kokeiden ja mittausjärjestelmien suunnitteluun ja optimointiin sekä mittaustulosten tulkintaan. Monimuuttujamenetelmien tavoitteena on mittaustuloksista saatavan informaation maksimointi ja samalla informaation tiivistäminen helpommin tulkittavaan muotoon.

Monimuuttujamenetelmien avulla prosesseista saadaan usein paljon aikaisempaa laaja-alaisempi kuva. Monimutkaisten prosessien visualisoinnissa voidaan käyttää mm. pääkomponenttikuvaajia, joiden avulla voidaan tarkastella muuttujia ja näytteitä yhdessä. Näin saadaan parempi kuva siitä, millä muuttujilla on merkitystä prosessin kannalta. Kuvaajista nähdään näytepisteiden sijoittuminen toisiinsa nähden samoin kuin muuttujien keskinäiset korrelaatiot. Tarkastelemalla sekä näytepisteitä että muuttujia yhtäaikaan samassa kuvaajassa nähdään helposti, mitkä muuttujat erottelevat eri näyteryhmiä ja toisaalta mitkä aiheuttavat vain vaihtelua ryhmien sisällä. Monimuuttujaisen tarkastelun avulla saadaan yleiskuva tutkittavasta prosessista, minkä jälkeen huomio osataan suunnata tärkeimpiin tekijöihin /15/.

Taulukossa V on esitetty joitakin perinteisen tilastollisen prosessin valvonnan ja monimuuttujamenetelmien eroja. Eräs suurimmista muutoksista on menetelmien käyttäjien mielissä tapahtuva muutos, jonka myötä hyväksytään ongelmien moniulotteisuus /15/.

Taulukko V. Yksi- ja monimuuttujaisen tarkastelun ominaispiirteitä /15/.

SPC (Statistical Process Control)	MSPC (Multivariate Statistical Process Control)
<ul style="list-style-type: none"> •Seurataan muutamaa muuttujaa (jokaista erikseen). •Yksimuuttujainen tarkastelu. •Laadunvalvonta sitä vaikeampaa mitä enemmän muuttujia. •Muutama muuttuja ei välttämättä riitä kuvaamaan prosessia riittävän hyvin. •Prosessin tilan kuvaaminen vaikeaa. •Ei havaita kaikkia prosessisiirtymiä, koska ei tarkastella muuttujien korrelaatioita. •Yksinkertainen tulkinta. 	<ul style="list-style-type: none"> •Tarkastellaan mallin avulla kaikkia muuttujia yhtäaikaan. •Monimuuttujainen tarkastelu. •Kykenee käsittelemään suuriakin muuttujamääriä. •Koko prosessin tila voidaan kuvata 1-2 toisiaan täydentävällä kuvalla. •Havaitaan prosessisiirtymät, koska menetelmät huomioivat muuttujien väliset korrelaatiot. •Prosessisiirtymät aiheutuvat usein samanaikaisesti useissa muuttujissa tapahtuvien muutosten yhteisvaikutuksesta. •Myös yksinkertainen tulkinta ja tukena voidaan käyttää trendikuvaajia.

3.1 Pääkomponenttialyysi

Pääkomponenttiallyysille (PCA) on ominaista informaation tiivistäminen pääkomponentteihin (PC), joilla on kaksi tärkeää ominaisuutta:

- Ensimmäinen pääkomponentti selittää mahdollisimman paljon alkuperäisen aineiston vaihtelusta ja sitä seuraava kuvaa jäljelle jäänyttä vaihtelua mahdollisimman hyvin jne.
- Pääkomponentit ovat toisiinsa nähden lineaarisesti korreloimattomia eli ovat toisistaan riippumattomia ja kohtisuoraan toisiinsa nähden /15-17, 20-25/.

Menetelmän tavoitteena on aineiston riittävän tarkka kuvaaminen vähentäen samalla aineiston dimensionaalisuutta. Mitattuja muuttujia saattaa usein olla kymmeniä, jopa satoja. Keskenään voimakkaasti korreloivat muuttujat kuvaavat usein samaa ominaisuutta ja aineiston dimensionaalisuus on näin ollen pienempi kuin muuttujien lukumäärä /15, 16/.

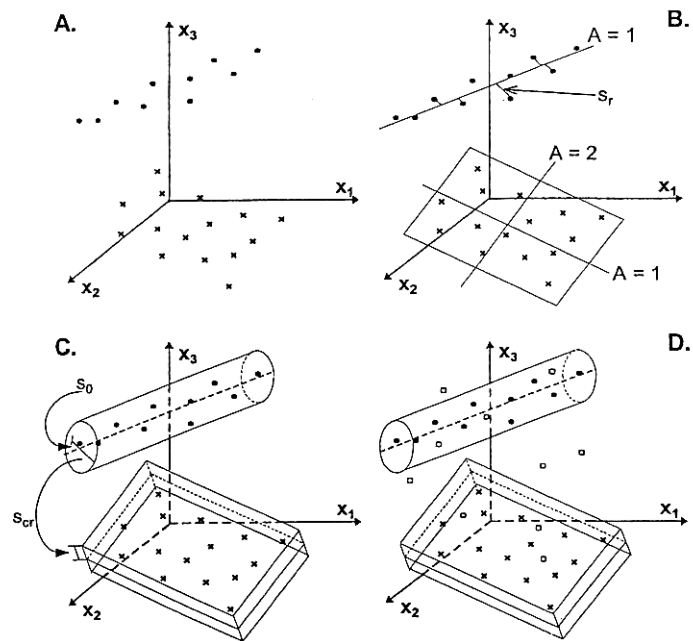
Keskenään korreloivat muuttujat esitetään muutaman keskenään korreloimattoman muuttujan avulla. Pääkomponenttianalyysiä voidaan käyttää mm. moniulotteisen aineiston rakenteen ja vaihtelun kuvaamisessa, luokittelussa, harha-arvojen etsimisessä sekä informaation tiivistämisessä /15, 16/.

Pääkomponenttianalyysissä muuttujia kuvataan latauksilla ja näytteitä pistearvoilla, mitkä molemmat lasketaan pääkomponentti kerrallaan. Mitä suurempi lataus sitä merkittävämpi muuttuja on kyseisessä pääkomponentissa. Lataukset kertovat pääkomponenttiakselin suunnan alkuperäisessä muuttujavaruudessa. Pistearvot ovat alkuperäisten havaintojen uudet koordinaatit pääkomponenttiakselilla ja ne saadaan projisoimalla näytepisteet pääkomponenttiakseleille /16, 17, 20, 23/. Pääkomponenttianalyysin geometrinen tulkinta on esitetty kuvassa 8 /15/.

PCA:ta kuvataan yhtälöllä /15, 17, 21, 25/:

$$X = TP' + E \quad (1)$$

missä E jäännösmatriisi (mittauskohina)
P' latausmatriisi
T pistearvomatriisi
X aineisto



Kuva 8. PCA:n geometrinen tulkinta. Kolmiulotteinen esimerkki monimuuttujaisessa avaruudessa:

- A. Jokainen kalibrointiaineiston objekti voidaan esittää pisteenä monimuuttujaisessa avaruudessa.
- B. Jokainen havaintoluokka approksimoidaan lineaarisella mallilla: $X = TP' + E$. Mallia voi kuvata suoralla ($A=1$), tasolla ($A=1, A=2$) tai hypertasolla, riippuen mallin dimensionaalisuudesta. Suhteellinen jäännösvirhe s_r kuvaa objektin etäisyyttä mallista.
- C. Jäännösvirhettä s_0 voidaan käyttää luokan luottamusrajan s_{cr} määrittelyssä.
- D. Uudet objektit voidaan luokitella kuuluvaksi johonkin mallinnetuista luokista tai tunnettuihin luokkiin kuulumattomiksi /15/.

Pääkomponenttien avulla pyritään erottamaan systemaattinen vaihtelu kohinasta. Liian monta pääkomponenttia huonontaa helposti mallin ennustuskykyä, koska viimeiset pääkomponentit kuvaavat usein vain kohinaa. Mallin ennustuskyky riippuu aineiston kattavuuden lisäksi myös pääkomponenttien lukumäärästä. Optimaalinen pääkomponenttien lukumäärä voidaan määrittää esimerkiksi ristivalidoinnin avulla [18]. Ristivalidoinnissa käytettävän kalibrointiaineiston näytteistä jätetään osa pois ja niille lasketaan ennustearvot mallin avulla. Ennusteita verrataan todellisiin arvoihin ja lasketaan ennustevirheen neliösumma, PRESS (Prediction Error Sum of Squares), pääkomponenttien lukumäärän funktiona. Tämän jälkeen valitaan se pääkomponenttien lukumäärä, millä ennustevirheen neliösumma on minimissään. Jos kaksi PRESS-arvoa on toisiaan lähellä, valitaan se mikä edustaa yksinkertaisempaa mallia eli millä pääkomponenttien lukumäärä on pienempi [16-18, 25].

Ennustevirheen neliösummaa kuvataan yhtälöllä [25]

$$PRESS = \sum_o \sum_m (X_{om} - \hat{X}_{om})^2 \quad (2)$$

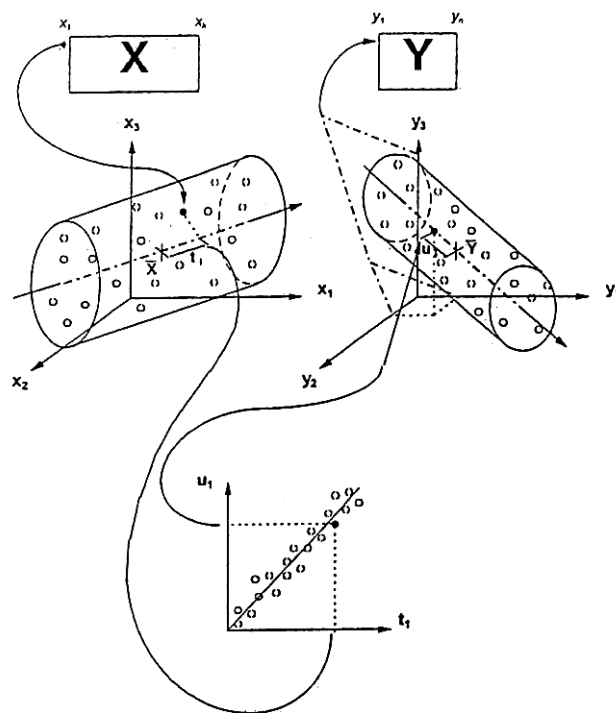
missä m muuttuja
o objekti
X mitattu arvo
 \hat{X} ennustettu arvo

3.2 PLS-regressio

PLS-regressio (Partial Least Squares, Projection to Latent Structures) on menetelmä, mikä tarjoaa paljon mahdollisuuksia etenkin aineiston havainnollistamisessa. Menetelmä on monissa sovelluksissa osoittautunut paljon tehokkaammaksi kuin tavallinen usean muuttujan lineaarinen regressio (MLR). MLR:ssa on ongelmana erityisesti kollineaarisuus; redundanssi muuttujien sisältäessä samaa informaatiota eli korreloidessa keskenään. Tällöin kahta keskenään voimakkaasti korreloivaa muuttujaa ei voi käyttää selittävinä

muuttujina (X), vaan toinen niistä täytyy poistaa. Näytteiden määrä on oltava suurempi kuin muuttujien, jotta pienimmän neliösumman ratkaisu olisi mahdollinen. Lisäksi MLR olettaa selittävien muuttujien olevan kohinattomia. Toisinaan on ongelmana myös se, että kullekin vasteelle on laadittava oma erillinen malli. MLR:sta poiketen PLS-regressio toimii edellä mainituissa tilanteissa usein erittäin hyvin. PLS poistaa redundanssin tiivistämällä korreloivien muuttujien informaation latentteihin muuttujiin ja erottaa samalla systemaattisen vaihtelun kohinasta. PLS:n avulla voidaan myös hyödyntää vasteiden mahdollista kollineaarisuutta regressiokertoimien stabiloimiseksi. Muuttujien lukumäärä voi olla pienempi kuin näytteiden ja monissa sovelluksissa, esimerkiksi spektroskopiassa näin onkin /15-19, 24-26/.

PLS on regressiomenetelmä, missä matriiseja on kaksi, kun taas PCA käsittelee yhtä matriisia. Toisessa matriisissa ovat selittävät muuttujat (X) ja toisessa vasteet (Y), mitkä pyritään ennustamaan. PLS-regressiossa X mallinnetaan siten, että Y selittyy mahdollisimman hyvin. PLS-mallinnuksen geometrinen tulkinta on esitetty kuvassa 9. PLS maksimoi X - ja Y -matriisien välisen kovarianssin eli yhteisvaihtelun. X -matriisi hajotetaan pistearvomatriisiin T ja latausmatriisiin P . Samalla tavoin Y -matriisi hajotetaan pistearvomatriisiin U ja latausmatriisiin Q . Lataukset P kertovat kuinka tärkeä mikäkin muuttuja on approksimoitaessa X -matriisia. Lataukset Q osoittavat, kuinka Y -muuttujat korreloivat X -matriisin pistearvojen välillä. X -matriisin painot W osoittavat, kuinka X -muuttujat ensimmäisessä latentissa muuttujassa ja residuaalit seuraavissa latenteissa muuttujissa korreloivat Y -matriisin pistearvojen kanssa. Latentti muuttuja on abstrakti piilomuuttuja, mikä maksimoi omalta osaltaan X - ja Y -matriisien kovarianssin. PCA:ssa pääkomponentti on myös abstrakti muuttuja ja se maksimoi omalta osaltaan X -matriisin kovarianssirakenteen selittymisen /15/.



Kuva 9. PLS-mallinnuksen geometrinen tulkinta. Selittävät ja selitettävät eli vastamuuttujat mallinnetaan erikseen siten, että mallin latenttien muuttujien välinen korrelaatio maksimoituu. Kun malli on laskettu voidaan objekteille, joille X-muuttujien arvot on mitattu, ennustaa Y-muuttujien arvot käyttäen kuvan esittämää projisointitekniikkaa. Jos objekti on mallin luottamusrajojen sisäpuolella, voidaan ennusteita pitää luotettavina /15/.

PLS-mallinnuksen perusyhtälöt ovat seuraavat /15, 17, 21, 25/:

$$X = TP' + E \quad (3)$$

$$Y = UQ' + F \quad (4)$$

missä F jäännösmatriisi (mittauskohina)
 Q' latausmatriisi
 U pistearvomatriisi
 Y aineisto

Piirtämällä X-matriisin painot ja Y-matriisin lataukset samaan kuvaajaan voidaan nähdä X- ja Y-muuttujien muodostaman systeemin korrelaatorakenteet eli kuinka muuttujat riippuvat toisistaan. Ennustuskyvyn varmistamiseen voidaan käyttää joko erillistä testisarjaa kalibrointisarjan rinnalla tai ristivalidointia. Molemmilla keinoilla voidaan määrittää optimaalinen latenttien muuttujien lukumäärä /15, 16/.

3.3 Aineiston esikäsittelymenetelmiä

Aineiston esikäsittely ennen varsinaista mallinnusta on monissa tapauksissa suotavaa. Yleensä esikäsittely koostuu muuttujien keskityksestä ja skaalauksesta. Skaalauksen avulla annetaan jokaiselle muuttujalle yhtä suuri mahdollisuus osallistua malliin. Erillisellä painottamisella puolestaan voidaan korostaa joidenkin muuttujien ja vähentää toisten muuttujien merkitystä mallissa. Joskus aineiston linearisointi sopivalla muunnoksella voi olla järkevää /16, 17/.

Niin sanotussa autoskaalauksessa muuttujat keskitetään nollan ympärille eli siirretään origo pistejoukon keskelle vähentämällä aineistosta kalibrointisarjan keskiarvo ja skaalataan yksikkövarianssiin jakamalla vähennyslaskun tuloksena saatava arvo kalibrointisarjan keskihajonnalla. Keskitys ei vaikuta pääkomponenttianalyysin tuloksiin, mutta skaalaus yksikkövarianssiin vaikuttaa. Skaalauksen tarkoituksena on poistaa absoluuttisten arvojen vaikutus. Skaalaamattomat, eri yksiköissä olevat muuttujat painottuvat epäsuotuisalla

tavalla, etenkin menetelmissä mitkä perustuvat kovarianssimatriisin käyttöön, kuten PCA ja PLS. Skaalausta käytetäänkin erityisesti silloin, kun muuttujat ovat eri yksiköissä, kuten esimerkiksi lämpötila, pH ja johtokyky. Autoskaalauksen yhteydessä on muistettava se, että autoskaalaus voimistaa kohinan vaikutusta malliin S/N-suhteeltaan heikommassa muuttujissa S/N-suhteeltaan suurempien muuttujien kustannuksella. Edellä mainitussa S/N-suhteessa S kuvaa signaalia eli informaatiota ja N kohinaa eli satunnaista vaihtelua /16, 17/.

S/N-suhteella on suuri merkitys laadunvalvonnallisissa sovelluksissa, sillä prosesseja pyritään pitämään mahdollisimman stabiileina. Tällöin voi mallin kannalta olla epäsuotuisaa antaa niille muuttujille, mitkä pysyvät likimain vakioina yhtä suuri mahdollisuus vaikuttaa malliin kuin muuttujille, joiden S/N-suhte on suurempi. Lähes vakioina pysyville muuttujille voidaan painottamalla antaa pienempi paino. Painotuksessa autoskaalauksesta saadut arvot kerrotaan joko ennalta määritellyillä tai kokeellisesti määritettävillä painoilla, mitkä voivat saada arvoja välillä 0-1 pois lukien nolla /16/.

4 KEMOMETRIAN KÄYTTÖ PUUNJALOSTUSTEOLLISUUDESSA

Kemometrian tarjoamia keinoja on tähän mennessä käytetty puunjalostusteollisuudessa ainakin sellun keiton tutkimiseen ja optimointiin. Pääkomponenttianalyysiä ja PLS-mallinnusta on sovellettu sellun fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien tutkimisessa ja ennustamisessa sekä keittokemikaalien ja esimerkiksi mustalipeän ominaisuuksien tutkimisessa.

Kemometriaan ja puunjalostusteollisuuteen liittyen on tehty myös useita väitöskirjoja. Mujusen /27/ väitöskirjassa on tutkittu mitkä tekijät vaikuttavat paperi- ja sellutehtaiden aktiivilietelaitosten puhdistustehokkuuteen. Työssä kehitettiin aktiivilietelaitosten toiminnan valvontajärjestelmän peruseriaate käyttäen apuna kolmelta sellu- ja paperitehtaalta mitattua dataa. Tavoitteena oli kehittää prosessin valvontajärjestelmä, mikä ilmaisee prosessin ajautumisen pois hallinnasta niin aikaisessa vaiheessa, että prosessi saadaan oikeilla toimenpiteillä vielä hallintaan. Kehitetty ohjelma perustuu pääkomponenttianalyysiin ja monimuuttujaisiin valvontakortteihin.

Teppolan /28/ väitöskirjassa on tutkittu aktiivilietelaitoksen toimintaa ja paperikoneen märkää päätä. Työn tavoitteena oli ymmärtää paremmin tutkittujen prosessien hallinnassa esiintyviä ongelmia käyttämällä monimuuttujamenetelmiä, sumeaa luokittelua ja multiresoluutioanalyysiä. Kaikki työssä esitetyt

ratkaisumallit perustuvat monimuuttujamenetelmien, kuten pääkomponenttiallyysin ja PLS-regression käyttöön.

Malkavaaran /29/ väitöskirjassa on käytetty kemometrisen data-analyysin keinoja tutkittaessa sulfaattisellun keittoon liittyen mustalipeän palamisominaisuuksia, kappaluvun määrittystä, saantoa, ISO vaaleutta ja korkeamoolimassaisen ligniinin rakennetta. Työssä tutkittiin spektroskooppista ja kromatografista dataa pääkomponenttiallyysin, pääkomponenttiregression, PLS-regression ja kaksidimensioisen ristikorrelaatiolaskennan avulla. Tehdyt mallinnukset toimivat hyvin antaen tarkkoja tuloksia ja yksityiskohtaista informaatiota luonnostaan monimutkaisesta datasta.

Heikan /30/ väitöskirjan kokeellisessa osassa on tehty prosessianalyttinen tutkimus sellun valkaisun D1-vaiheesta. Tutkittaessa mittausvirheen riippuvuutta näytteenoton tiheydestä data analysoitiin variografisesti käyttäen Pierre Gyn teoriaa. Tutkittaessa kloriittikonsentraation merkitystä vaaleuden ennustamisessa käytettiin mallinuksissa lineaarista PLS-regressiota.

Antin /31/ väitöskirjassa on yhdistetty NIR-spektroskopia ja monimuuttujainen data-analyysi. Työssä havaittiin, että NIR-spektroskopia ja monimuuttujakalibrointi minkä perustana ovat PCA ja PLS ovat yhdessä käyttökelpoinen ja tehokas menetelmä korvaamaan tehottomat, kalliit ja aikaa vievät standardimenetelmät puun ja sellun karakterisoinnissa. Ortogonaalinen signaalinkorjaus (OSC) havaittiin käyttökelpoiseksi työkaluksi poistettaessa ei-toivottua systemaattista vaihtelua NIR-spektridatasta.

Seuraavassa tarkastellaan esimerkin omaisesti kahta tapausta, joissa monimuuttujamenetelmiä on sovellettu sellutekniikkaan liittyvissä laboratoriotutkimuksissa. Lisäksi tarkastellaan monimuuttujamenetelmiin perustuvaa käytännön sovellusta hakkeen ja sellun ominaisuuksien on-line määrittelyssä. Sellun kuivaukseen liittyen kemometriaa ei aiemmin ole sovellettu tai jos on niin ainakaan julkaistua materiaalia ei aiheesta löytynyt.

4.1 Sellun monimuuttujainen karakterisointi

Spektroskooppisia menetelmiä on aiemmin käytetty yhdessä monimuuttujamenetelmien kanssa lähinnä turpeen fysikaalisten ominaisuuksien määrittämiseen, mutta tällainen lähestymistapa sellun karakterisoimiseen on saanut vain vähän huomiota. Jos spektroskooppista dataa voidaan käyttää tällä tavoin kuvaamaan fysikaalisten ja kemiallisten muuttujien vaihtelua, tämä ei ole ainoastaan vaihtoehtoinen menetelmä näytteen fysikaalisen tilan kuvaamiseksi, vaan samalla avautuu myös mielenkiintoisia mahdollisuuksia käyttää mallin parametrejä niiden signaalien tunnistamiseen, mitkä liittyvät erilaisiin fysikaalisiin ominaisuuksiin /32/.

Monet sellun karakterisoimiseen käytetyistä muuttujista korreloivat keskenään. Tämä kollineaarisuus on yleinen tilanne, kun mitataan monia muuttujia. Tällaisessa tilanteessa PCA toimii yleensä hyvin. Pohjimmiltaan PCA pienentää muuttujien lukumäärän muutamaa toisiaan vastaan kohtisuoraan muuttujaan, mitkä sisältävät suurimman osan alkuperäisten muuttujien systemaattisesta vaihtelusta. Näitä uusia muuttujia eli komponentteja kutsutaan latenteiksi muuttujiksi /32/.

Sellusta määritettävien ominaisuuksien lukumäärän vähentämisen ongelmaa on tutkittu pitkään. Vuonna 1963 Forgacs ehdotti, että mekaanisen massan fysikaalisten ominaisuuksien ennustamiseen käytettäisiin kahta mitattua ominaisuutta eli kuidun pituutta kuvaavaa L-tekijää ja muotoa kuvaavaa S-tekijää. Nytemmin Strand on osoittanut, että faktorianalyysin avulla on mahdollista laskea faktoreita, joita voidaan käyttää regressiomuuttujina mallinnettaessa mekaanisten massojen fysikaalisia ominaisuuksia /32/.

Forgacsin ja Strandin työt sekä muut raportoidut korrelaatiot osoittavat, että monet mitatuista fysikaalisista ominaisuuksista voidaan tiivistää muutamaa muuttujaan. Seuraavaksi tarkasteltavassa työssä /32/ fysikaaliset ja kemialliset muuttujat sulautetaan PCA- ja PLS-malleilla yhteen spektroskooppisen datan kanssa itsenäiseksi matriisiksi. Koska useimmat muuttujista voidaan olettaa keskenään korreloiviksi, minkä myös fysikaalisen ja kemiallisen datan PCA

osoitti todeksi, ilmaisee tämä lähestymistapa näytteiden väliset erot paremmin kuin yksimuuttujainen tarkastelu. PLS-mallien käyttö erillisten muuttujien kuvaamiseen on vähemmän luotettavaa kuin edellä kuvatun yhdistetyn fysikaalisen, kemiallisen ja spektroskooppisen datan mallintaminen, koska näytteiden lukumäärä on varsin rajallinen /32/.

4.1.1 Mallinnukset

Tutkimuksessa käytetyt seitsemän sellunäytettä valmistettiin viidellä eri keittomenetelmällä. Menetelmät olivat sulfaatti (näyte 6), polysulfidi-sulfiitti (PSS) (näytteet 1 ja 2), kaksivaiheinen minisulfidi-sulfiitti-antrakinoni (2-MSS AQ) (näytteet 3 ja 7), yksivaiheinen minisulfidi-sulfiitti-antrakinoni (1-MSS AQ) (näyte 5) sekä neutraali sulfiitti-antrakinoni (NS-AQ) (näyte 4). Kaikki näytteet valmistettiin samasta mäntypuuerästä ja valkaistiin samalla sekvenssillä 90 %:n ISO vaaleuteen laboratorio-olosuhteissa. Lukuun ottamatta kylmäkuivausta näytteitä ei esikäsitelty ennen spektroskooppisia määrittäyksiä /32/.

Fysikaalisia ja kemiallisia muuttujia sellunäytteistä määritettiin kaikkiaan 22 kappaletta (lukuun ottamatta muuttujaa 14 jauhamattomista näytteistä). Muuttujat on esitetty taulukossa VI /32/.

NMR-spektreistä käytettiin muuttujina 155 tasaisin välein jaettua datapistettä välillä 54-155 ppm. Jokainen spektri normalisoitiin määrittämällä muuttuja 71.6 ppm yhtä suureksi kuin 10. Tällä tavoin eliminoitiin suurin osa signaalien intensiteettien eroista. FTIR-spektrien muuttujiksi valittiin 148 tasaisin välein jaetun aaltoluvun absorbanssin arvot spektri-ikkunassa 1000-2000 cm^{-1} . Signaalien intensiteettien erojen eliminoimiseksi jokainen spektri normalisoitiin määrittämällä muuttuja 1939 cm^{-1} yhtä suureksi kuin 10. NIR-spektrien muuttujat, joita oli 19 esikäsiteltiin multiplikatiivisen eli tasoon verrannollisen sironnan korjauksella (MSC). Tämä on NIR dataa varten kehitetty menetelmä multiplikatiivisen sironnan aiheuttamien vaikutusten käsittelyyn /32/.

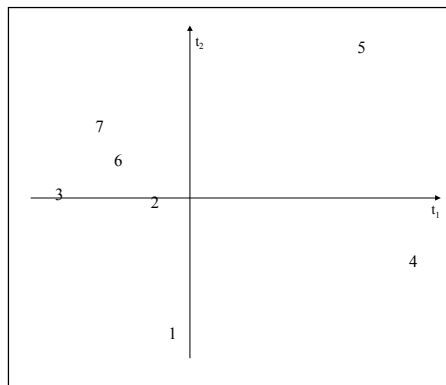
Taulukko VI. Mallinuksissa käytetyt muuttujat. Määritetty täysin valkaistuista näytteistä, ellei toisin mainita /32/.

- | |
|--|
| 1. kappaluku, keiton jälkeen |
| 2. viskositeetti , keiton jälkeen, dm^3/kg |
| 3. saanto, keiton jälkeen, % |
| 4. viskositeetti, dm^3/kg |
| 5. saanto, % |
| 6. LODP (polymeraatioaste) |
| 7. kokonaishappopitoisuus johtokykytitrauksella, $\mu\text{mol/g}$ |
| 8. galaktoosipitoisuus, % |
| 9. glukoosipitoisuus, % |
| 10. mannoosipitoisuus, % |
| 11. arabinoosipitoisuus, % |
| 12. ksyloosipitoisuus, % |
| 13. WRV, veden retentio, jauhamaton näyte, % |
| 14. WRV, jauhatu 4000 rev., PFI-mylly, % |
| 15. Shopper-Riegler-arvo, °SR |
| 16. neliöpaino, g/m^2 |
| 17. tiheys, kg/m^3 |
| 18. vetoindeksi, kNm/kg |
| 19. murtovenymä, % |
| 20. repäisyindeksi, Nm^2/kg |
| 21. vetoenergian adsorptio, J/kg |
| 22. vetolujuusindeksi, MNm/kg |

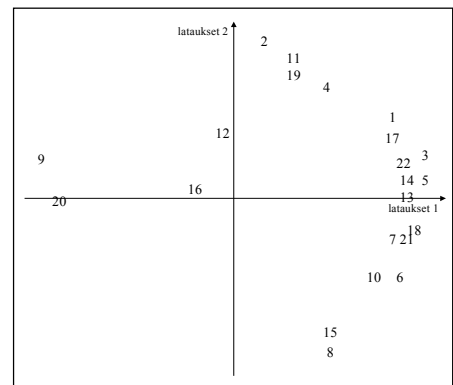
4.1.2 Tulosten tarkastelu

Pääkomponenttianalyysi 22:sta fysikaalisesta ja kemiallisesta muuttujasta (PCA 1) nostaa esiin kaksi pääkomponenttia. Kuvassa 10 on esitetty näytteiden piste- arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Ensimmäinen pääkomponentti, mikä selittää 43 % aineiston kokonaisvaihtelusta, pääasiassa erottaa näytteet 4 (NS-AQ) ja 5 (1-MSS AQ) muista näytteistä. Näytteet 4 (NS-AQ) ja 3 (2-MSS AQ) ovat ensimmäisen komponentin ääripäissä, kuten kuvasta 10 voidaan nähdä. Toinen pääkomponentti selittää vaihtelusta 18 % /32/.

Kuvasta 11, missä on esitetty ensimmäisen ja toisen pääkomponentin muuttujien lataukset nähdään, että suurin osa muuttujista liittyy ensimmäiseen pääkomponenttiin. Toista pääkomponenttia hallitsevat pääasiassa viskositeetti, Shopper-Riegler-arvo, murtovenymä, arabinoosi- ja galaktoosipitoisuudet /32/.

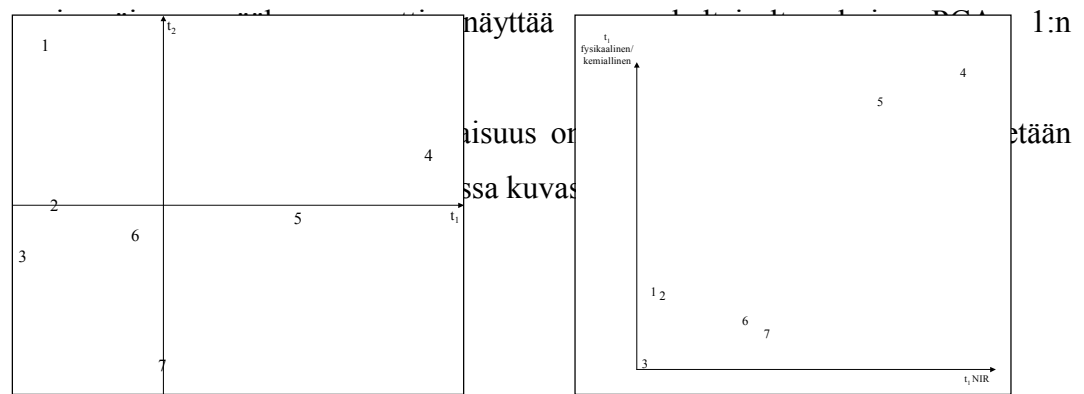


Kuva 10. PCA 1:n näytteiden piste- arvot (ensimmäinen (t_1) ja toinen (t_2) pääkomponentti) /32/.



Kuva 11. PCA 1:n muuttujien lataukset (ensimmäinen (t_1) ja toinen (t_2) pääkomponentti) /32/.

Kuvassa 12 on esitetty NIR datasta lasketun PCA:n (PCA 2) kahden ensimmäisen pääkomponentin näytteiden piste- arvot. Aineiston vaihtelusta 93 % selittävä



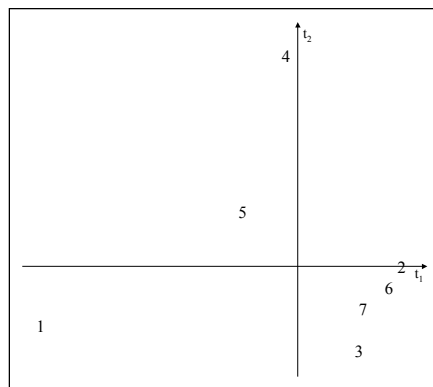
Kuva 12. PCA 2:n näytteiden piste- arvot (ensimmäinen (t_1) ja toinen (t_2) pääkomponentti) /32/.

Kuva 12. PCA 2:n näytteiden piste-
arvot (ensimmäinen (t_1) ja toinen
(t_2) pääkomponentti /32/.

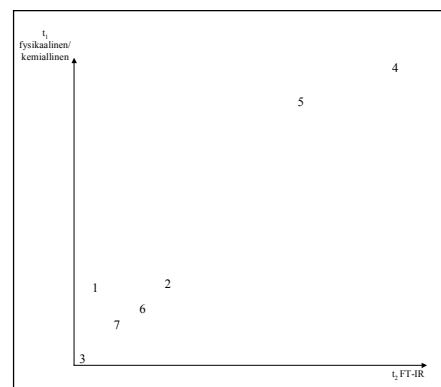
Kuva 13. PCA 1:n ja PCA 2:n
ensimmäisten pääkomponenttien
korrelaatio /32/.

FTIR datasta lasketun pääkomponenttianalyysin (PCA 3) ensimmäinen pääkomponentti selittää 96 % aineiston vaihtelusta, mutta ei ole lainkaan samankaltainen kuin PCA 1:n pääkomponentit. PCA 3:n näytteiden piste-
arvot on esitetty kuvassa 14. Toinen pääkomponentti, mikä kuvaa 1.5 % lisää aineiston vaihtelusta, on kuitenkin hyvin samankaltainen kuin PCA 1:n ensimmäinen pääkomponentti. Samankaltaisuus nähdään kuvasta 15, missä on esitetty PCA 1:n ensimmäisen ja PCA 3:n toisen pääkomponentin korrelaatio /32/.

PCA 3:n ensimmäinen pääkomponentti voi periaatteessa liittyä johonkin tuntemattomaan kemialliseen eroon näytteiden välillä. NIR ja NMR eivät kuitenkaan paljasta samankaltaista ilmiötä ja todennäköisin selitys on se, että PCA 3:n ensimmäinen pääkomponentti kuvaa pikemminkin eroja spektrien kuin näytteiden välillä. Tämän ”merkityksettömän” spektrien välisen vaihtelun ilmeneminen on hyvin yleistä, mutta käyttämällä PCA:ta ja erityisesti PLS-mallinnusta voidaan tätä häiriötekijää käsitellä helposti /32/.

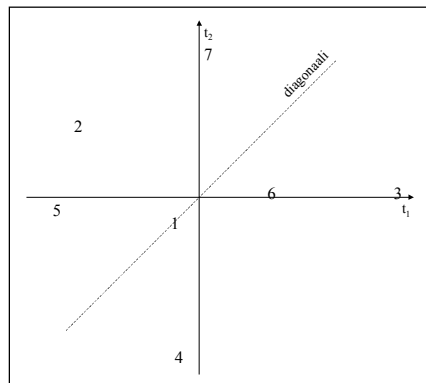


Kuva 14. PCA 3:n näytteiden
piste-
arvot (ensimmäinen (t_1) ja toinen
(t_2) pääkomponentti /32/.

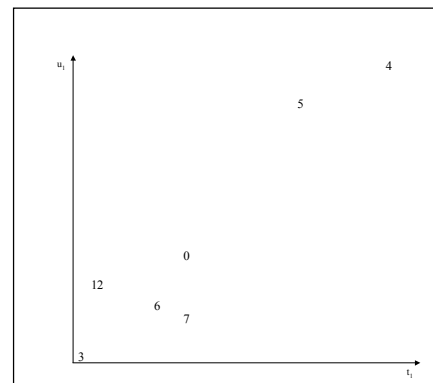


Kuva 15. PCA 3:n toisen ja PCA 1:n
ensimmäisen pääkomponentin
korrelaatio /32/.

NMR datasta lasketun pääkomponenttianalyysin (PCA 4) ensimmäinen komponentti selittää aineiston vaihtelusta 35 % ja toinen pääkomponentti 28 % lisää. Kuvasta 16 nähdään selvästi, että kumpikaan näistä pääkomponenteista ei ole suoraan verrannollinen PCA 1:n ensimmäiseen pääkomponenttiin. Objektien voidaan kuitenkin havaita jakautuvan diagonaalia (katkoviiva) pitkin samankaltaisesti kuin PCA 1:n ensimmäisessä komponentissa /32/.



Kuva 16. PCA 4:n näyttöjen pistearvot (ensimmäinen (t_1) ja toinen (t_2) pääkomponentti). Katkoviiva on diagonaali /32/.



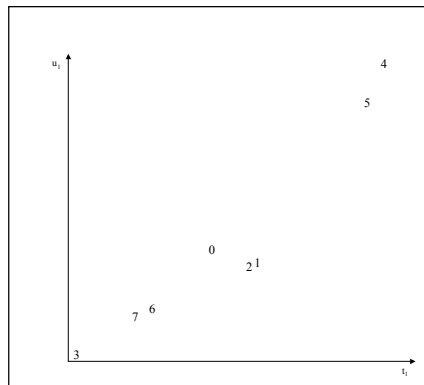
Kuva 17. PLS 1:n ensimmäiset PLS-komponentit. t_1 on NIR datan PLS-komponentti, u_1 fysikaalisen ja kemiallisen datan PLS-komponentti ja 0 edustaa kokonaiskeskiarvoa /32/.

Kahden komponentin PLS-mallissa, (PLS 1), missä käytettiin NIR dataa X-matriisina sekä fysikaalista ja kemiallista dataa Y-matriisina, ensimmäinen PLS-komponentti käytti 93 % NIR datan vaihtelusta selittämään 35 % fysikaalisen ja kemiallisen datan vaihtelusta. X:n ja Y:n ensimmäisten PLS-komponenttien pistearvot on esitetty kuvassa 17. Tämä kuva on odotetusti samankaltainen kuin kuva 13. Toinen PLS-komponentti käyttää 4 % lisää NIR datan vaihtelusta selittämään 16 % lisää fysikaalisen ja kemiallisen datan vaihtelusta /32/.

Kahden komponentin PLS-mallissa (PLS 2), missä käytettiin FTIR dataa X-matriisina ja fysikaalista ja kemiallista dataa Y-matriisina, ensimmäinen PLS-komponentti käytti 96 % FTIR datan vaihtelusta, muttei selittänyt yhtään fysikaalisen ja kemiallisen datan vaihtelusta. Toinen PLS-komponentti on tärkeä, sillä se käytti 1.5 % lisää FTIR datan vaihtelusta selittäen 46 % fysikaalisen ja kemiallisen datan vaihtelusta. Tämä esimerkki näyttää sen, että PLS todella kykenee hallitsemaan tilanteen, missä pääosa X-datan systemaattisesta vaihtelusta

ei selitä Y-matriisin vaihtelua. Kyseisessä tapauksessa tämä havaittiin pääkomponenttianalyyseissä, kun komponentteja verrattiin toisiinsa /32/.

Mallin monimutkaisuutta voitaisiin todennäköisesti vähentää sopivalla datan esikäsittelyllä, aivan kuten NIR datan esikäsittelyssä sovellettiin MSC:ta. Yhden komponentin PLS-mallissa (PLS 3), missä käytettiin NMR dataa X-matriisina ja fysikaalista ja kemiallista dataa Y-matriisina, PLS-komponentti käytti 27 % NMR datan vaihtelua selittämään 39 % fysikaalisen ja kemiallisen datan vaihtelusta. X- ja Y-matriisien PLS-komponenttien pistearvot on esitetty kuvassa 18. Kuvan perusteella NMR datan komponentti saattaa olla epälineaarisen relaation lineaarinen approksimaatio /32/.

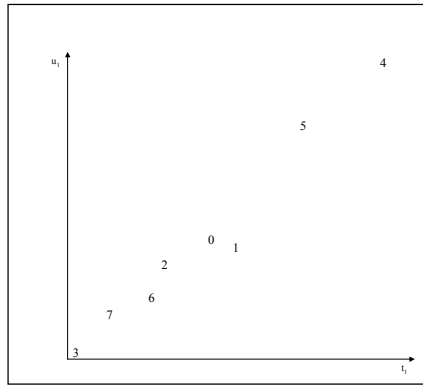


Kuva 18. PLS 3:n ensimmäiset PLS-komponentit. t_1 on NMR datan PLS-komponentti ja u_1 fysikaalisen ja kemiallisen datan PLS-komponentti ja 0 edustaa kokonaiskeskiarvoa /32/.

Yhdistämällä kaikki spektroskooppinen data yhdeksi datasarjaksi ja laskemalla PLS-malli fysikaalisen ja kemiallisen datan suhteen, oli odotettavissa stabiili malli. Peruste spektroskooppisten menetelmien yhdistämiselle on periaatteessa sama kuin yhdistettäessä muun tyyppisiä keskenään korreloivia muuttujia /32/.

Stabiili malli saatiin myös aikaan yhdistämällä NMR ja NIR datat. Tämä yhdistelmä antoi yhden komponentin mallin, mikä käytti 50 % spektroskooppisen datan vaihtelusta selittämään 42 % fysikaalisen ja kemiallisen datan vaihtelusta. FTIR datan lisääminen malliin ei enää parantanut sitä. Tämä selittyi sillä, että 96 % IR datan sisältämästä vaihtelusta aiheutti häiriöefektin FTIR dataan. Tätä

tulisikin verrata toiseen komponenttiin, mikä korreloi fysikaalisen ja kemiallisen komponentin kanssa käyttäen 1.5 % aineiston vaihtelusta (vertaa PCA 3). Tilanteen hallitsemiseksi ehdotettiin vaihtoehtoisia lähestymistapoja. Sen sijaan, että käytettäisiin alkuperäisiä muuttujia, otetaan kaksi pääkomponenttia kustakin spektroskooppisesta matriisista ja yhdistetään ne yhdeksi kuuden muuttujan matriisiksi. Tällä X-matriisilla laskettu yhden komponentin PLS-malli (PLS 4) selitti 42 % fysikaalisen ja kemiallisen datan vaihtelusta. Kuvassa 19 on esitetty X- ja Y-komponentit PLS 4:stä. Komponenttien välinen korrelaatio on parempi kuin niissä PLS-malleissa, joissa käytettiin erikseen NIR, FTIR ja NMR dataa /32/.



Kuva 19. PLS 4:n ensimmäiset PLS-komponentit. X-matriisina käytettiin kahta pääkomponenttia kustakin kolmesta spektroskooppisesta menetelmästä ja Y-matriisina 22 muuttujaa fysikaalisesta ja kemiallisesta datasta. t_1 on komponentti X-matriisista ja u_1 on komponentti Y-matriisista. 0 edustaa kokonaiskeskiarvoa /32/.

4.1.3 Validointi

Johdetun mallin oikeellisuus testataan yleensä uusia näytteitä ennustamalla. Koska tässä tapauksessa näytteiden lukumäärä on pieni, testattiin mallin ennustuskykyä jättämällä yksi kerrallaan jokainen näyte mallista pois ja laskemalla sille ennustettu arvo. Tämän testin arvioinnin yksinkertaistamiseksi käytettiin PCA 1:n ensimmäistä pääkomponenttia yksittäisenä Y-muuttujana eri spektroskooppisten matriisien PLS-malleissa. Ennustetut arvot olivat likimain samoja kuin sovitetut arvot eli ne arvot mitkä saatiin käyttämällä kaikkia näytteitä

mallin laskemisessa. Tämä osoitti, että ylisovittamisongelmaa ei esiintynyt ja että malleilla oli kyky ennustaa /32/.

Liittyen IR dataan näyte 1 ei ollut hyvin ennustettavissa. Tämä johtunee siitä, että kyseinen näyte on komponentin ääripäässä ja sen jättäminen mallista pois johtaa komponentin määrityksen huononemiseen (ks. kuva 14). Tällöin ennustuksen myötä ensimmäiseen komponenttiin tulee huomattava ekstrapolointi. Monimutkaisissa malleissa joissa on useita komponentteja tulisi ekstrapolointia välttää kussakin komponentissa /32/.

Kullekin mallille laskettiin ennustevirheen neliösummat (PRESS) jotta PLS-malleja voitiin verrata toisiinsa. Yhdistetyn mallin (PLS 4) PRESS-arvo oli näistä pienin. Tässä tapauksessa kun näytteiden määrä on pieni, on tämän tyyppinen vertailu tehtävä varovaisesti. Perusteellisempaan vertailuun tarvittaisiin lisää näytteitä /32/.

Taulukossa VII on esitetty ennustetut arvot 14:lle muuttujalle 22:sta. Nämä 14 muuttujaa liittyvät kuvan 11 mukaan ensimmäiseen pääkomponenttiin ja niiden pitäisi näin ollen olla jossain määrin ennustettavissa myös yhden komponentin PLS-mallilla. Näytteet 5 ja 6 valittiin, koska ne eivät edusta PCA 1:n ensimmäisen pääkomponentin ääripäitä mutta ovat kuitenkin selvästi erillään toisistaan tässä pääkomponentissa. Saman tasoisia ennustearvoja saataisiin jos mallista jätettäisiin pois muita objekteja /32/.

Taulukko VII. PLS 4:n ennustearvot. X-matriisina käytettiin kahta pääkomponenttia NIR, FTIR ja NMR datasta, kustakin erikseen ja Y-matriisina 22 muuttujaa fysikaalisesta ja kemiallisesta datasta /32/.

Muuttuja	Näyte 5		Näyte 6	
	mitattu	ennustettu	mitattu	ennustettu
LODP	196	205	162	179
WRV, %, jauhamaton näyte	162	147	142	136
WRV, %, jauhatus 4000 rev. PFI	216	202	183	184
Vetoindeksi, kNm/kg	55.7	52.8	36.9	39.9
Repäisyindeksi, Nm ² /kg	17.9	17.8	20.9	20.4
Vetoenergian adsorptio, J/kg	1574	1171	912	938

Vetolujuusindeksi, MNm/kg	5.92	5.8	4.54	4.9
Kappaluku keiton jälkeen	44	27.6	29.6	19.9
Saanto keiton jälkeen, %	54.4	49.9	45.9	46.4
Saanto valkaisun jälkeen, %	48.8	46.5	43.1	44.3
Kokonaishappopitoisuus, µmol/g	76.5	111.9	45.5	60.7
Glukoosipitoisuus, %	80.8	81.2	83.3	82.9
Mannosipitoisuus, %	10	10.2	6.6	8.5
Tiheys, kg/m ³	710	672	665	644

4.2 Monimuuttujainen korrelaatio liuenneen ligniinin ja mustalipeän palamisominaisuuksien välillä

Malkavaaran *et al.* tarkoituksena oli tutkia yhteyksiä liuenneen ligniinin kemiallisen rakenteen ja mustalipeän palamisominaisuuksien (palamisaika ja paisuminen) välillä. Lipeänäytteet saatiin pitkäkuitupuu- ja lyhytkuitupuukeittojen eri delignifikaatiovaiheista. Näytteitä kerättiin myös sekakeitoista, joissa männyn ja koivun massaosuudet olivat 80:20 ja 60:40. Seuraavassa taulukossa on esitetty eri keittojen saannot ja liuenneen ligniinin määrät keittoajan funktiona /33/.

Taulukko VIII. Keittojen saannot ja liuenneen ligniinin määrät keittoajan funktiona /33/.

Näyte	Keittoaika min	Saanto %	Liennut ligniini % kok.määrästä	Näyte	Keittoaika min	Saanto %	Liennut ligniini % kok.määrästä
<i>mänty:koivu</i> = 100:0				<i>mänty:koivu</i> = 60:40			
A1	115	55.6	51.4	C1	109	54.8	52.6
A2	140	50.5	71.1	C2	128	50.5	73.5
A3	165	48.6	75.2	C3	147	49.1	78.0
A4	190	47.2	81.2	C4	166	49.2	80.9
A5	215	46.4	78.1	C5	185	48.4	83.9
<i>mänty:koivu</i> = 80:20				<i>mänty:koivu</i> = 0:100			
B1	109	56.3	46.1	D1	105	54.8	65.8
B2	128	51.6	65.1	D2	120	51.9	82.4
B3	147	49.8	69.3	D3	135	51.7	82.6
B4	166	48.8	75.9	D4	150	51.9	84.6
B5	185	47.4	81.8	D5	165	51.2	82.4

4.2.1 Mallinnukset

Monimuuttuja-analyysit laskettiin seuraaville datasarjoille: sarja 1 eli analyysidata koostui 12 selittävästä muuttujasta eli ^{13}C NMR ja SEC tuloksista sekä selitettävistä muuttujista eli palamisominaisuuksista. SEC (size exclusion chromatography) on menetelmä, millä määritettiin ligniinin moolimassajakauma ja keskimääräiset moolimassat M_n , M_w ja M_z . Taulukoissa IX, X ja XI on esitetty analyysidata.

Taulukko IX. Palamisominaisuudet ja ^{13}C NMR data sarjassa 1 /33/.

Näyte	Palamisaika s/mg^{-1}	Paisuminen $\text{cm}^3/\text{g}^{-1}$	Primääriset alifaattiset hydroksyyliit % kaikista	Sekundaariset alifaattiset hydroksyyliit % kaikista	Fenoli- hydroksyyliit % kaikista
A1	1.21	26.35	30	38	32
A2	1.17	30.12	27	34	39
A3	1.12	37.13	27	30	43
A4	1.11	34.50	26	28	46
A5	1.14	31.46	27	30	43
B1	1.12	23.16	31	38	31
B2	1.12	29.93	31	36	33
B3	1.11	36.67	28	34	38
B4	1.08	40.43	29	36	35
B5	1.07	33.66	29	35	36
C1	1.18	22.53	24	30	46
C2	1.14	32.80	23	25	52
C3	1.10	33.60	24	25	51
C4	0.99	40.19	22	23	55
C5	0.98	40.68	24	30	46
D1	1.02	36.22	21	34	45
D2	0.97	35.47	21	26	53
D3	0.93	38.43	20	21	59
D4	0.89	45.62	17	18	65
D5	0.95	35.83	18	16	66

Taulukko X. ^{31}P NMR data sarjassa 1 /33/.

Näyte	Sekundaariset alifaattiset hydroksyyliit (erytro) % kaikista	Sekundaariset alifaattiset hydroksyyliit (treo) % kaikista	Primääriset alifaattiset hydroksyyliit % kaikista	Syringyyli- fenoli- hydroksyyliit % kaikista	Difenyyl- fenoli- hydroksyyliit % kaikista	Guajasyyli- fenoli- hydroksyyliit % kaikista
A1	2	9	56	0	8	25
A2	2	5	60	0	7	26
A3	1	6	57	0	9	27
A4	1	6	50	0	10	33
A5	0	0	51	0	8	41
B1	8	11	44	9	0	28
B2	8	9	51	8	0	24
B3	7	5	55	6	0	27
B4	3	5	72	4	3	13
B5	5	4	55	6	0	30
C1	15	17	31	14	0	23
C2	8	9	42	17	0	24
C3	8	9	43	17	1	22
C4	7	11	42	19	4	17
C5	4	4	51	17	4	20
D1	14	15	32	35	2	2
D2	8	9	29	44	2	8
D3	12	12	25	40	1	10
D4	6	6	31	48	4	5
D5	5	3	29	49	4	10

Sarja 2 eli spektridata koostui ^{31}P NMR spektridatasta, sisältäen 20 spektriä kussakin 813 pistettä, selittävinä muuttujina ja palamisominaisuuksista selitettävänä muuttujina /33/.

Kummallekin datasarjalle laskettiin joukko pääkomponentteja käyttäen yksikköarvoihin hajottamista selittävillä muuttujilla. Sarja 1:n selittävät muuttujat skaalattiin yksikkövarianssiin ja sarja 2:n selittävät muuttujat keskitettiin. PLS-mallit laskettiin käyttäen yksikkövarianssiin skaalattuja ligniinin analyysituloksia sarjasta 1 tai keskitettyä spektridataa sarjasta 2 X-matriisina ja keskitettyä palamisominaisuuksia eli palamisaikaa ja paisumista Y-matriisina /33/.

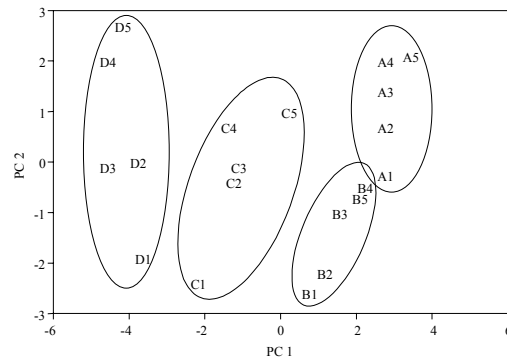
Taulukko XI. SEC data sarjassa 1 /33/.

Näyte	Mn, Da	Mw, Da	Mz, Da
A1	1309	3916	7592
A2	1410	4185	7967
A3	1450	4317	8261
A4	1468	4349	8565
A5	1510	4329	8564
B1	1102	2925	5416
B2	1226	3331	6371
B3	1317	3616	7050
B4	1348	3661	7051
B5	1382	3761	7414
C1	1161	2574	4699
C2	1218	2750	5053
C3	1205	2766	5178
C4	1228	2830	5252
C5	1253	3104	6027
D1	1015	1963	3457
D2	977	1931	3522
D3	982	1872	3494
D4	930	1862	3440
D5	984	1930	3709

4.2.2 Tulosten tarkastelu

Pääkomponenttianalyysin kahden komponentin malli sarjasta 1 jakoi mustalipeänäytteet selvästi eri ryhmiin syötetyn raaka-aineen (pääkomponentti 1) ja keittoajan (pääkomponentti 2) mukaan. Pääkomponenttianalyysin kahden komponentin mallin pistearvot on esitetty kuvassa 20. PLS-mallit ennustivat sekä palamisaikaa että paisumista kohtuullisen tarkasti. Taulukoissa XII ja XIII on

esitetty PLS-mallit palamisajalle ja paisumiselle. Taulukoissa R^2 on kumulatiivinen selitysaste prosentteina ja SEP (standard error of prediction) on ennusteen standardivirhe alkuperäisissä yksiköissä /33/.



Kuva 20. PCA-mallin pistearvot sarjalle 1 /33/.

Taulukko XII. PLS-mallit palamisajalle /33/.

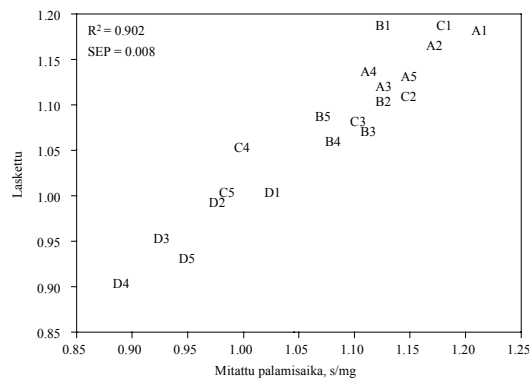
Komponentti	Sarja 1		Sarja 2	
	R^2	SEP	R^2	SEP
1	62.6	0.0555	43.1	0.0045
2	74.8	0.0456	46.6	0.0042
3	79.8	0.0408	57.8	0.0033
4	81.3	0.0393	77.6	0.0018
5	82.2	0.0384	82.0	0.0014
6	82.8	0.0376	90.0	0.0008
7	83.1	0.0373	90.2	0.0008
8	83.6	0.0368	90.9	0.0007

Taulukko XIII. PLS-mallit paisumiselle /33/.

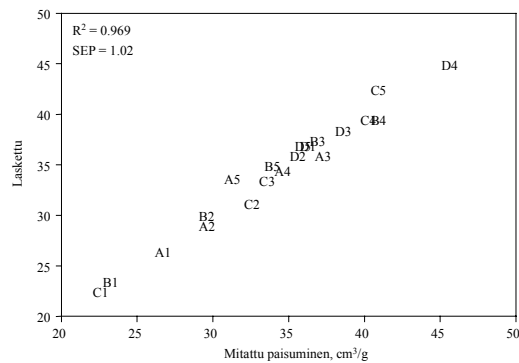
Komponentti	Sarja 1		Sarja 2	
	R^2	SEP	R^2	SEP
1	33.2	4.79	36.4	20.75
2	54.4	3.96	51.7	15.78
3	71.8	3.12	57.7	13.82
4	76.8	2.82	75.1	8.13
5	77.1	2.80	84.6	5.02

6	78.0	2.75	96.9	1.02
7	78.5	2.72	98.4	0.51
8	78.7	2.70	99.4	0.19

Pääkomponenttianalyysin kahden komponentin malli sarjasta 2 selitti yli 92 % aineiston kokonaisvaihtelusta ja jakoi mustalipeänäytteet syötetyn raaka-aineen mukaisesti. PLS-malli palamisajalle oli kohtuullisen tarkka antaen suhteellisen alhaisia SEP-arvoja, kuten taulukoista XII ja XIII voidaan havaita. Mustalipeäpisaroiden paisuminen ennustettiin tarkasti PLS-mallilla. Kuvissa 21 ja 22 on esitetty laskettujen ja ennustettujen arvojen korrelaatiot palamisajalle ja paisumiselle /33/.



Kuva 21. Palamisajan laskettujen ja mitattujen arvojen korrelaatio /33/.



Kuva 22. Paisumisen laskettujen ja mitattujen arvojen korrelaatio /33/.

Tulosten perusteella havaittiin, että ligniinifraktiolla on selvä vaikutus mustalipeän termokemiallisiin ominaisuuksiin eli palamisaikaan ja paisumiseen. Tarkasteltaessa erityisesti ligniininäytteiden ^{31}P NMR spektrejä havaittiin merkittäviä monimuuttujakorrelaatioita. Spektridatasta lasketut PLS-mallit ennustivat tarkasti mustalipeäpisaroiden paisumiset ja kohtuullisen tarkasti palamisajat /33/.

4.3 Mekaanisen massan laadun optimointi NIR-teknologialla

Hallstan paperitehtaalla Ruotsissa käytetään jauhatusprosessin on-line-säätämiseen TMPBOSS-järjestelmää jotta raaka-aine saataisiin paremmin hyödynnettyä. Järjestelmän avulla sellun laatu on tasaisempaa ja energian käyttö optimoitua. TMP-prosessin parantunut hallinta laskee kustannuksia ja parantaa laatua koko paperin valmistusprosessin läpi /34, 35/.

NIR-spektrometriaan perustuva BOSS-järjestelmä (Bestwood On-line Spectral System) mahdollistaa sellun tuotannon on-line-mittauksen, -valvonnan ja -optimoinnin. Mittapää on sijoitettu sellu- tai hakelinjan päälle. Yli 1000:sta eri aallonpituudesta koostuva valo tunkeutuu materiaaliin ja heijastuu takaisin spektrofotometriin. Sellusta tai hakkeesta saatava data tulkitaan tarkoitukseen suunnitellulla BOCAPS-ohjelmistolla (Bestwood On-line Calibration and Prediction System) kemometrian keinoin ja muunnetaan tehtaalte käyttökelpoiseksi informaati-oksi. Tuotetun sellun ominaisuuksista saadaan informaatiota mittaamalla samanaikaisesti useita muuttujia /34, 35/.

TMPBOSS-järjestelmän mittausyksikkö on sijoitettu vedenpoistoseulalle skannaamaan haketta. Sellun ominaisuudet riippuvat raaka-aineesta eli siten spektridatasta ja jauhatusolosuhteista. Sellun halutut ominaisuudet saadaan yhdistämällä spektridata jauhatuksesta saatavaan dataan kemometrian avulla. Vakioasetuksilla TMPBOSS määrittää sellun vetoindeksin, repäisyindeksin, valon sironnan ja jauhautuneisuustilan /34, 35/.

Mekaanisen massan tuotannossa on useita tärkeitä ominaisuuksia. Massan laatua kuvataan usein repäisyindeksin, vetoindeksin ja jauhautuneisuustilan avulla ja tietyllä materiaalilla nämä ominaisuudet ovat korreloivia. Raaka-aineen laatu voi vaihdella riippuen siitä, missä puu on kasvanut, kuinka vanhaa puu on, mistä puulajista on kyse ja käytetäänkö sahanpurua vai haketta. Näistä seikoista johtuen em. korrelaatiot ovat voimassa vain tietyllä raaka-ainekoostumuksella. Tämän vuoksi raaka-aineen koostumusta onkin pystyttävä valvomaan, jotta prosessi olisi kaiken aikaa optimoitavissa /34/.

4.3.1 Tehdaskoeajot

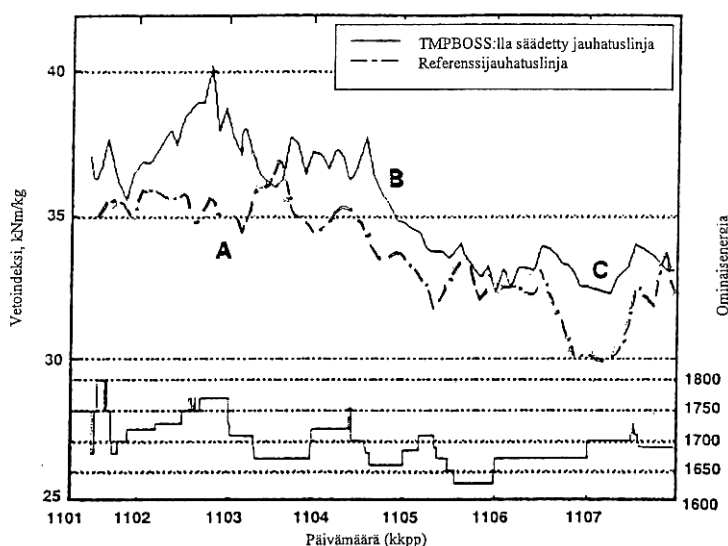
TMPBOSS:n vaikutusta jauhatuslinjan säätämiseen arvioitiin seitsemän päivää kestäneillä tehdaskokeilla Hallstan paperitehtaalla Hallstavikissa Ruotsissa. Hakkeen on-line NIR-mittaukset tehtiin kahta rinnakkaista jauhatuslinjaa syöttävän vedenpoistoseulan ylle asennetulla spektrofotometrillä. Molemmilta jauhatuslinjoilta otettiin näytteitä joka toinen tunti tavanomaisiin laboratorioanalyysiin koko koeajon ajan. Laboratoriossa näytteistä määritettiin vetoindeksi, repäisyindeksi, vaaleus, valon sirontakerroin ja jauhautuneisuustila. Näiden kokeiden avulla voitiin verrata toisiinsa jauhatuslinjaa, missä on on-line jauhautuneisuustilan säätö ja linjaa, missä säädön tekee TMPBOSS /34/.

TMPBOSS:n avulla säädettiin manuaalisesti jauhatuksen energiansyöttöä. Sellun ominaisuus, minkä perusteella jauhatusta säädettiin oli vetoindeksi. TMPBOSS:n avulla päätettiin, kuinka jauhatuksen ominaisenergiaa tulee muuttaa vetoindeksin pienentyessä hakkeen ominaisuuksissa tapahtuvien muutosten johdosta. Ominaisenergiaa muutettiin vain vetoindeksin pienentyessä, jotta pystyttäisiin pitämään vetoindeksi tietyllä tasolla tai ainakin hidastamaan sen pienentymistä /34/.

TMPBOSS oli varustettu simulaattorilla mikä ehdotti kuinka ominaisenergiaa tulisi muuttaa. Raaka-aineen koostumuksessa tapahtuvien muutosten seurauksena ominaisenergiaa tuli välillä laskea ja välillä nostaa jotta vetoindeksi pysyisi samalla tasolla. Tämä johtui siitä, että raaka-aineen ja vetoindeksin välinen yhteys ei ole vakio ajan funktiona, vaan muuttui raaka-aineen koostumuksessa ja

jauhatuksen ajoparametreissa tapahtuvien muutosten myötä. Simulaattori ehdotti ominais-energian muutoksen suunnan lisäksi myös muutoksen suuruuden /34/.

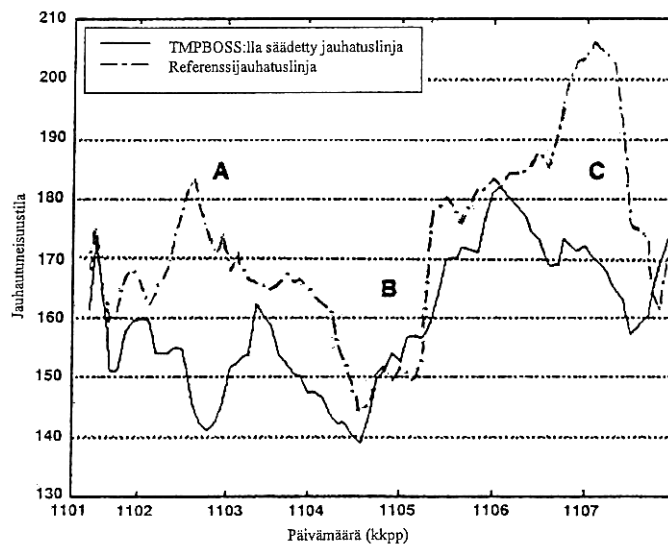
TMPBOSS:lla tehtävän säätämisen edut ilmenevät kuvissa 23 ja 24 esitetyn ajanjakson C, eli marraskuun kuudennen ja seitsemännen päivän välisenä yönä tapahtuvissa muutoksissa vetoindeksissä ja jauhautuneisuustilassa. Kuvassa 23 esitetty vetoindeksi laski kyseisellä ajalla tavanomaisesti säädetyllä jauhatuslinjalla lähes 4 kNm/kg. TMPBOSS:lla säädetyllä linjalla vetoindeksi pysyi lähempänä vakiota. Raaka-aineen ominaisuudet muuttuivat nopeasti tuona aikana. Muutoksille saatiin vahvistus määrittämällä kuvassa 24 esitetty jauhautuneisuustila otetuille näytteille /34/.



Kuva 23. Vetoindeksi kummallakin jauhatuslinjalla ja säädön aktivoitumiseen kulunut aika TMPBOSS:n säätämällä linjalla /34/.

Yksi syy tavanomaisesti säädetyllä linjalla tapahtuneeseen suurempaan vetoindeksin alenemiseen oli se, että jauhautuneisuustilan on-line mittari ei näyttänyt samaa merkittävää nousua jauhautuneisuustilassa eikä siten myöskään vetoindeksin alenemista. Jauhautuneisuustila ei korreloi vetoindeksin kanssa samalla tavalla koko viikkoa. Korrelaatio on aikaan sidottu ja riippuu raaka-aineesta ja jauhatuksen ajoparametreista /34/.

TMPBOSS:n säätämällä linjalla jauhautuneisuustila on suhteellisen matalalla ja vetoindeksi korkealla tasolla jaksolla A kuvissa 23 ja 24 eli marraskuun toisen päivän iltapäivällä. Kyseisellä jaksolla jauhautuneisuustilan ja vetoindeksin välillä on siis negatiivinen korrelaatio. Jaksolla C eli marraskuun kuudennen ja seitsemännen päivän välisenä yönä sekä jauhautuneisuustila että vetoindeksi ovat matalalla tasolla eli kyseessä on positiivinen korrelaatio /34/.



Kuva 24. Laboratoriossa määritetty jauhautuneisuustila /34/.

Tehtyjen koeajojen perusteella voidaan sanoa, että käyttämällä TMPBOSS:a on mahdollista säätää jauhatuslinjaa joko pelkästään vetoindeksin perusteella tai optimoimalla raaka-aineen käyttöä. TMPBOSS:n avulla voidaan määrittää useita tärkeitä sellun ominaisuuksia, kuten vetoindeksi, jauhautuneisuustila, repäisyindeksi, vaaleus ja valon sironta. Lisänä tavanomaisesti säädettyyn jauhatuslinjaan voidaan määrittää myös raaka-aineen jauhatuspotentiaali. Koeajoista saatujen kokemusten perusteella integroiduilla mekaanisen massan tehtäillä saavutetaan TMPBOSS:n avulla merkittävä parannus massan laadussa ja voidaan optimoida energian kulutus /34/.

KOKEELLINEN OSA

5 KAUKAAN SELLUTEHTAAN LYHYT PROSESSINKUVAUS

Kaukaan sellutehtaan uusintaprojekti valmistui vuoden 1996 lopulla. Uusitun tehtaan tuotantokapasiteetti on 660 000 tonnia ECF-valkaistua sulfaattisellua vuodessa. Tehdas on kuitulinjojen osalta kaksilinjainen tuottaen toisella linjalla pääosin männystä pitkäkuitusellua ja toisella koivusta ja purusta lyhytkuitusellua. Havusellun tuotantokapasiteetti on 365 000 t/a ja koivusellun 295 000 t/a /36, 37/.

5.1 Puunkäsittely

Kaksilinjaisen pöllipuun kuorimon rummuissa pölleistä poistetaan kuori ja pöllit haketetaan hakekasoihin ja -siiloihin. Kuusi- ja mäntysahahakkeet varastoidaan havuhakekasalla erikseen, mikä mahdollistaa keittoon menevän havuhakkeen homogenisoinnin. Kuoriaines ja hienoin puru ohjataan kuorikattiloihin, joissa tuotetaan höyryä ja sähköenergiaa tehtaan tarpeisiin /38/.

5.2 Mäntysellulinja

Uusi sellun keittämö perustuu jaksottaiseen syrjäytyskeittotekniikkaan (Superbatch). Tilavuudeltaan 400 m³:n keittimiä on yhteensä 12 kappaletta, joista kahdeksalla keitetään mäntysellua ja neljällä koivusellua. Keittotapa on energian kulutukseltaan hyvin edullinen, koska siinä kierrätetään edellisistä keitoista kuumaa lipeää seuraavien lämmitykseen syrjäytysten avulla. Keittämön tuotantokapasiteetti on yli 2000 tonnia sellua vuorokaudessa /36, 38/.

Keitetty mäntysellu pestään oksajakeen erotuksen jälkeen kahdella rinnakkaisella nelivaiheisella DD-pesurilla ja johdetaan happidelignifointiin, missä massasta poistetaan osa jäännösligniinistä. Seuraavaksi massa johdetaan lajittamoon, missä massasta poistetaan pienet kuitukimput. Tämän jälkeen massa johdetaan 4-vaihevalkaisimoon (EOP-D-PO-D), missä valkaisuaineina käytetään klooridioksidia ja vetyperoksidia. Valkaisuvaiheet ovat. Valkaisua edeltävässä sakeamassatornissa

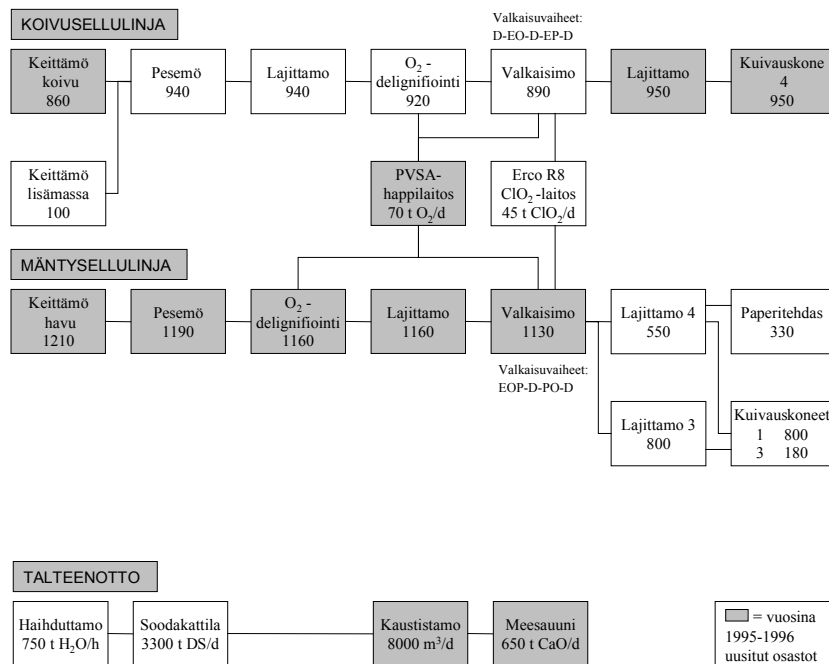
voidaan tehdä esikelatointi ja hapan vaihe (Q/A). Valkaisimon kaksi alkalivaihetta ovat paineellisia ja koostuvat kumpikin kahdesta reaktorista. Molempiin vaiheisiin voidaan annostella happea ja peroksidia. Valkaisun jälkeen massa johdetaan lajittamoiden kautta paperitehtaalle ja vuonna 1964 valmistuneelle kuivauskoneelle. Ennen kuivauskonetta valkaistusta massasta poistetaan raskaat ja keveät epäpuhtaudet kaksinkertaisessa pyörrepuhdistuksessa /36, 38/.

5.3 Koivusellulinja

Koivuhakkeen syrjäytyskeiton lisäksi koivusellulinjalla tuotetaan sellua purusta jatkuvatoimisella Bauer M&D –keittimellä. Purusta keitetty massa sekoitetaan koivumassaan, minkä jälkeen massa pestään DD-pesureilla samalla tavalla kuin mäntysellulinjallakin. Tämän jälkeen massasta erotetaan oksat ja kuitukimput, massa happidelignifioidaan ja valkaistaan 5-vaiheisessa valkaisimossa. Valkaisuvaiheet ovat D-EO-D-EP-D. Valkaistu massa johdetaan kaksinkertaisen pyörrepuhdistuksen kautta vuonna 1996 valmistuneelle kuivauskoneelle, mikä on 4.2 m leveä puhallinkuivattimella varustettu kaksoisviirakone /36, 38/.

5.4 Talteenotto

Soodakattilalaitos, minkä mitoitustuotanto on 3300 tonnia kuiva-ainetta vuorokaudessa, käsittää 7-vaiheisen haihduttamon täydennettynä puhallintyyppisellä esihaihduttimella ja konsentraattorilla, suuren soodakattilan, turbogeneraattorin ja hajukaasujen polttolaitoksen. Haihduttamoon sijoitetussa stripperissä lauhdeista erotetut rikkiyhdisteet ja metanoli poltetaan hajukaasupolttimissa, joista toinen on varalla. Soodakattilan savukaasut puhdistetaan neljällä rinnakkaisella sähkösuotimella, joita seuraa savukaasupesuri. Kaustistamon lipeäntuotantokyky on 8000 m³/d ja meesauunin kalkkituotanto 650 t CaO/d /38/. Kuvassa 25 on esitetty Kaukaan sellutehtaan lohkokaaavio. Sellulinjoilla esitetyt paljaat luvut ovat laitospohjaisia mitoitustuotantoja ADt/d.

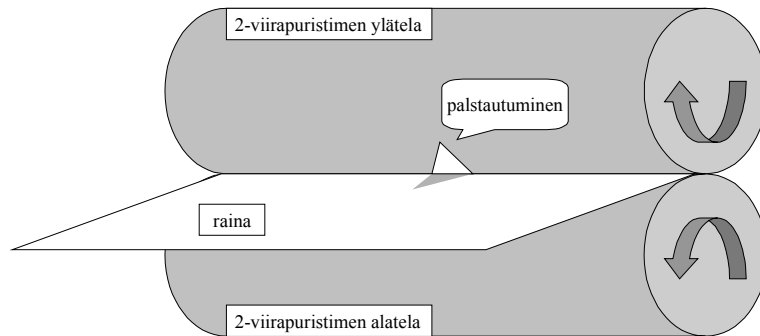


Kuva 25. Kaukaan sellutehtaan lohkokaavio /37/.

5.5 Ongelman kuvaus

Kaukaan sellutehtaan kuivauskone 4 (KK4) on Sunds Defibrator Pori Oy:n valmistama Pressformer kaksoisviirakone. Tällä kuivauskoneella ajetaan joko havusellua tai koivusellua. Ajettaessa havusellua ei kuivauskoneella ole esiintynyt merkittäviä ajettavuusongelmia mutta kun ajettava massa vaihdetaan koivuselluksi alkaa ongelmia esiintyä. Koneen kiertovedet, mitkä havusellua ajettaessa ovat kirkkaita eivätkä vaahtoa mainittavasti, alkavat muuttua väriltään vaaleiksi ja sameiksi. Veden vaahdonmuodostus lisääntyy myös voimakkaasti. Samalla kun kiertovesien väri muuttuu ja vaahtoaminen voimistuu, tulee rainan tarttuminen yläviiraan todennäköisemmäksi. Yläviiran mukaan lähtee aluksi koneen leveys suunnassa hyvin kapea kiilamainen suikale, minkä paksuus on noin viidesosa koko rainan paksuudesta eli tapahtuu ns. palstautuminen. Yläviiran mukaan lähtenyt alue levenee, kunnes lopulta koko raina katkeaa tarttumisen johdosta.

Tarttuminen ja rainan katkeaminen tapahtuu toisen viirapuristimen jälkeen kohdassa, missä yläviira ja alaviira erkanevat toisistaan ja rainan tulisi irrota viiroista ja jatkaa kulkuaan huopapuristinosaan. Kuvassa 26 on havainnollistettu palstautumisen alkutilanne.



Kuva 26. Yksinkertaistettu kaaviokuva palstautumisesta.

Kuivattaessa koivumassaa näitä rainan katkeamisia esiintyy runsaimmillaan jopa 3-4 tunnin välein ja ne ovat yleensä seurausta siitä, että raina on tarttunut yläviiraan. Koska näitä katkoja esiintyy näinkin usein, ne aiheuttavat sellutehtaalle huomattavat tuotantotappiot. Tässä työssä pyritäänkin selvittämään tarttumisongelman syitä ja etsimään ongelmalle mahdollisia ratkaisuja.

6 ONGELMAN MALLINNUS

6.1 Mallinnuksessa käytetyt muuttujat

XIS-tiedonkeruujärjestelmästä (expanding information system) haettiin dataa mallinnuksia varten kaikkiaan 23:sta eri muuttujasta vuoden 1999 ajalta. Tämä data on esitetty liitteenä I olevalla CD-levyllä. Taulukossa XIV on esitetty ne KK4:ään liittyvät muuttujat, mitkä otettiin mukaan tarkasteluun. Taulukossa XV on esitetty tarkasteluun mukaan otetut 1-valkaisimoon liittyvät muuttujat.

Taulukko XIV. KK4:ään liittyvät muuttujat joista haettiin dataa.

Muuttuja	Yksikkö	Määrittystapa	Määrittystiheys
massan sakeus perälaatikossa	%	laboratorio	kerran/arkipäivä
massan pH perälaatikossa		laboratorio	kerran/arkipäivä
perälaatikon paine	kPa	on-line	jatkuva
perälaatikon pinnan korkeus	%	on-line	jatkuva
perälaatikon huulen asento	mm	on-line	jatkuva
koneen ajonopeus	m/min	on-line	jatkuva
nippipaineet: esipuristin, hoitopuoli	kN/m	on-line	jatkuva
esipuristin, käyttöpuoli	kN/m	on-line	jatkuva
1. viirapuristin, hoitopuoli	kN/m	on-line	jatkuva
1. viirapuristin, käyttöpuoli	kN/m	on-line	jatkuva
2. viirapuristin, hoitopuoli	kN/m	on-line	jatkuva
2. viirapuristin, käyttöpuoli	kN/m	on-line	jatkuva
kuivan massan kuiva-ainepitoisuus	%	laboratorio	6-10 kertaa/vrk
kuivan massan neliöpaino	g/m ²	laboratorio	6-10 kertaa/vrk
höyryn kulutus puhallinkuivattimella	kg/s	on-line	jatkuva

Taulukko XV. 1-valkaisimoon liittyvät muuttujat joista haettiin dataa.

Muuttuja	Yksikkö	Määrittystapa	Määrittystiheys
valkaisuun tulevan massan viskositeetti	cm ³ /g	laboratorio	kerran/arkipäivä
massan kappaluku 1-happivaiheessa		laboratorio	kerran/arkipäivä
1-valkaisimon 5-suotimelta		laboratorio	kerran/vuoro
lähtevän massan: viskositeetti	cm ³ /g		
uuteainepitoisuus	%	laboratorio	kerran/vuoro
vaaleus	%	laboratorio	joka toinen tunti

	pH		laboratorio	joka neljäs tunti
	kuuman kiertoveden virtaus	dm ³ /s	on-line	jatkuva
	lämpimän kiertoveden virtaus	dm ³ /s	on-line	jatkuva

6.2 Datan esikäsittely

Data haettiin tiedonkeruujärjestelmästä Excel taulukkolaskentaohjelmiston taulukoiksi tuntitason tietona. Ennen mallinnuksia data käytiin läpi ja havaittiin, että joissakin muuttujissa määritysten väli on niin suuri, että tuntitasolla puuttuvien arvojen määrä oli huomattavasti suurempi kuin olemassa olevien arvojen. Muuttujia joissa puuttuvien arvojen määrä oli yli 80 % ei otettu malleihin mukaan. Tällaisia muuttujia olivat koko vuoden 1999 osalta massan sakeus ja pH kuivauskoneen perälaatikossa, valkaisuun tulevan massan viskositeetti, massan kappaluku 1-happivaiheessa, 5-suotimelta lähtevän massan viskositeetti ja 5-suotimelta lähtevän massan uuteainepitoisuus. Näiden lisäksi 5-suotimelta lähtevän massan pH:n puuttuvien arvojen määrä ylitti 80 % vuoden 1999 huhtikuussa ja toukokuussa joten myös se jätettiin pois kyseisten kuukausien mallinnoista.

KK4:n ajopäiväkirjan merkintöjen perusteella data eriteltiin mänty- ja koivumassan ajoihin ja mäntymassan ajot poistettiin. Lisäksi datasta poistettiin huoltoseisokkeja ja ratakatkoja edustavat jaksot, etteivät ne vääristäisi mallinnoista. Puhallinkuivattimen höyryn kulutusta käytettiin ilmaisemaan huoltoseisokkien ja ratakatkojen ajankohdat tunnin tarkkuudella. Höyryn kulutus on normaaliajossa tasolla 10-12 kg/s. Katkon aikana höyryn kulutus loppuu, joten sen avulla saatiin katkot poistettua datasta. Höyryn kulutusta ei käytetty muuttujana mallinnoissa, koska se ei vaikuta KK4:n määränpään toimintaan.

Tässä yhteydessä selvitettiin myös onko vuoden 1999 aikana ollut jaksoja, joiden aikana koivumassan ajettavuus on ollut poikkeuksellisen hyvä tai huono. Taulukossa XVI on esitetty kuukausittain, kuinka pitkään on ajettu koivumassaa ja paljonko ratakatkoja on esiintynyt koivumassaa ajettaessa. Tämän selvityksen perusteella elokuu on ollut koivumassan ajettavuuden kannalta paras ja loka- ja marraskuu huonoimmat. Syyskuun lyhyen ajoajan selittää syyskuun 14. päivään

kestänyt syysseisokki. Joulukuussa ajettiin pääasiassa mäntyä. Koivumassaa ajettiin vain 6-8 tunnin pätkissä mäntyajon lomassa.

Taulukko XVI. Koivumassan ajoaika ja ratakatojen määrä vuonna 1999.

	Ajoaika koivumassalla, h	Ratakatojen määrä, kpl
tammikuu	584	1
helmikuu	649	4
maaliskuu	491	22
huhtikuu	581	15
toukokuu	598	18
kesäkuu	534	8
heinäkuu	629	15
elokuu	658	3
syyskuu	282	15
lokakuu	572	36
marraskuu	505	39
joulukuu	148	32

Mallinnukset tehtiin SIMCA-P 8.0 ohjelmistolla, minkä oletusarvona on data-aineiston autoskaalaus, kun aineistoon sovitetaan malli. Tästä johtuen kappaleessa 3.3 esitetyt esikäsittelymenetelmiä ei käytetty erikseen ennen mallinnuksia.

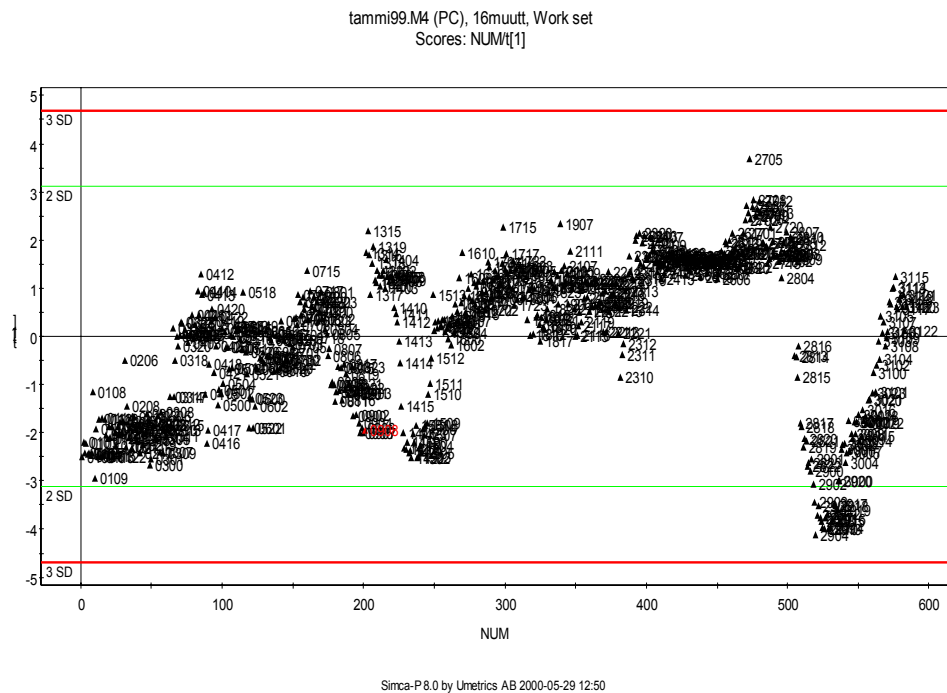
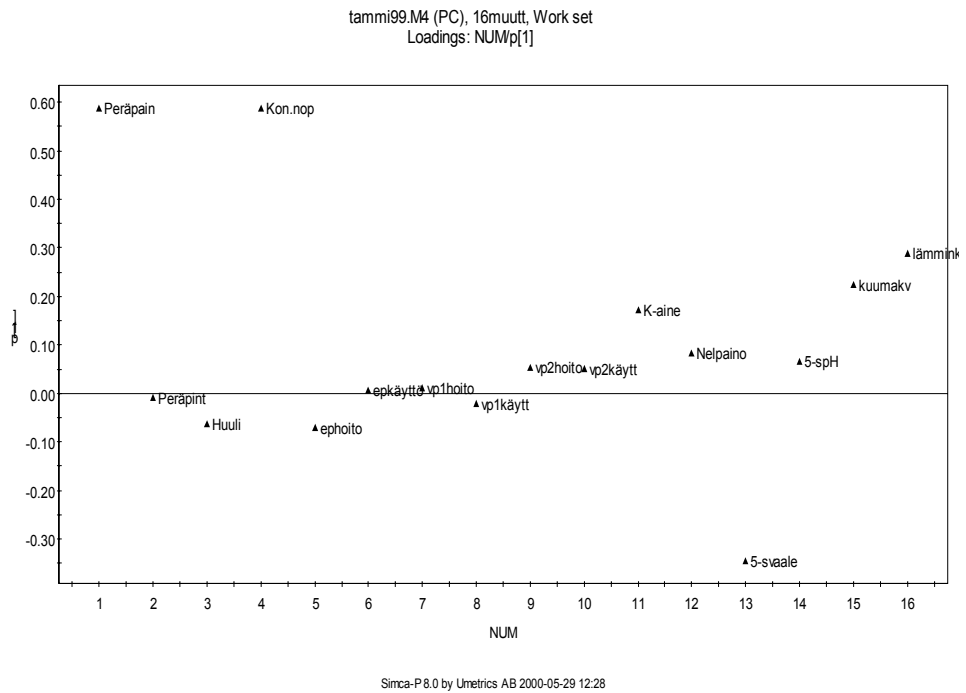
6.3 PCA-mallit vuoden 1999 datasta

Vuoden 1999 datasta laskettiin PCA-mallit jokaiselle kuukaudelle erikseen. PCA-mallit on esitetty liitteenä I olevalla CD-levyllä. Huhti- ja toukokuun malleja lukuun ottamatta mallinuksissa käytetyt muuttujat olivat perälaatikon paine, perälaatikon pinnan korkeus, perälaatikon huulen asento, koneen ajonopeus, esipuristimen, 1. viirapuristimen ja 2. viirapuristimen nippipaineet erikseen hoito- ja käyttöpuolella, kuivan massan kuiva-ainepitoisuus ja neliöpaino, 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleus ja pH ja kuumen ja lämpimän kiertoveden virtaukset 1-valkaisimossa. Huhti- ja toukokuun malleista jätettiin 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan pH pois. Jokaisen kuukauden dataan sovitettiin PCA-malli käyttämällä SIMCA-ohjelmiston Autofit-toimintoa, mikä sovittaa ristivalidoinnin avulla aineistoon optimaalisen määrän pääkomponentteja.

Tammikuun dataan sovitettiin yhden pääkomponentin malli, missä ainoa komponentti selitti vain 16.7 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 584. Voimakkaimmin ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta ja koneen ajonopeutta. Kuvassa 27 on esitetty tammikuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä pääkomponentissa.

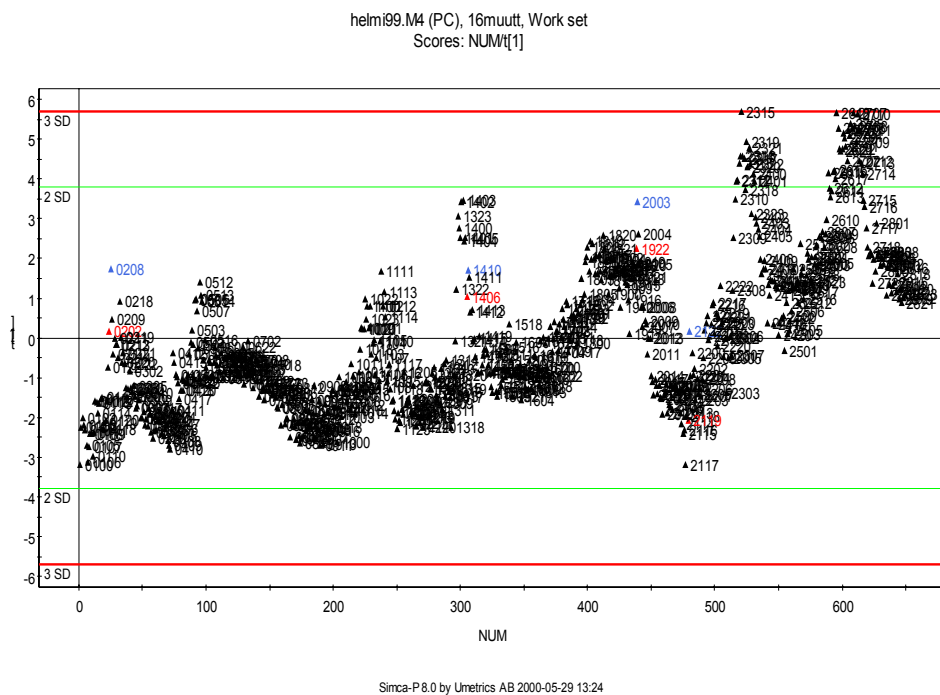
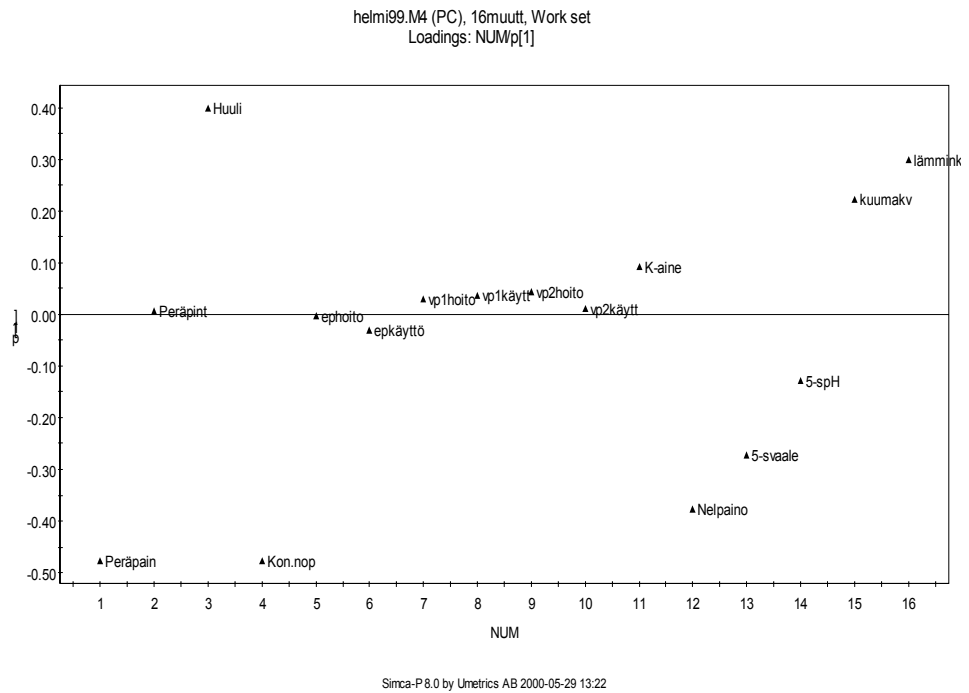
Helmikuun dataan sovitettiin myös yhden pääkomponentin malli, missä ainoa komponentti selitti 22.8 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 649. Voimakkaimmin ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, perälaatikon huulen asentoa, koneen ajonopeutta ja kuivan massan neliöpainoa. Kuvassa 28 on esitetty helmikuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä pääkomponentissa.

Maaliskuun dataan sovitettiin myös yhden pääkomponentin malli, missä ainoa komponentti selitti 40 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 491. Voimakkaimmin ensimmäinen pääkomponentti kuvasi esipuristimen käyttöpuolen nippipainetta, 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta, 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleutta ja 1-valkaisimon kuuman ja lämpimän kiertoveden virtauksia. Kuvassa 29 on esitetty maaliskuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä pääkomponentissa.

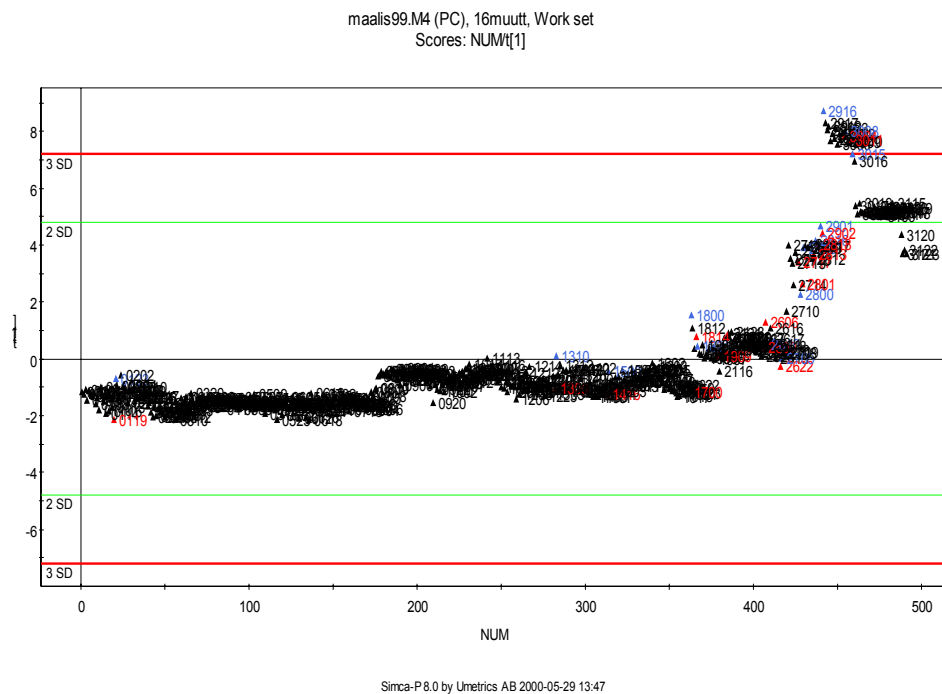
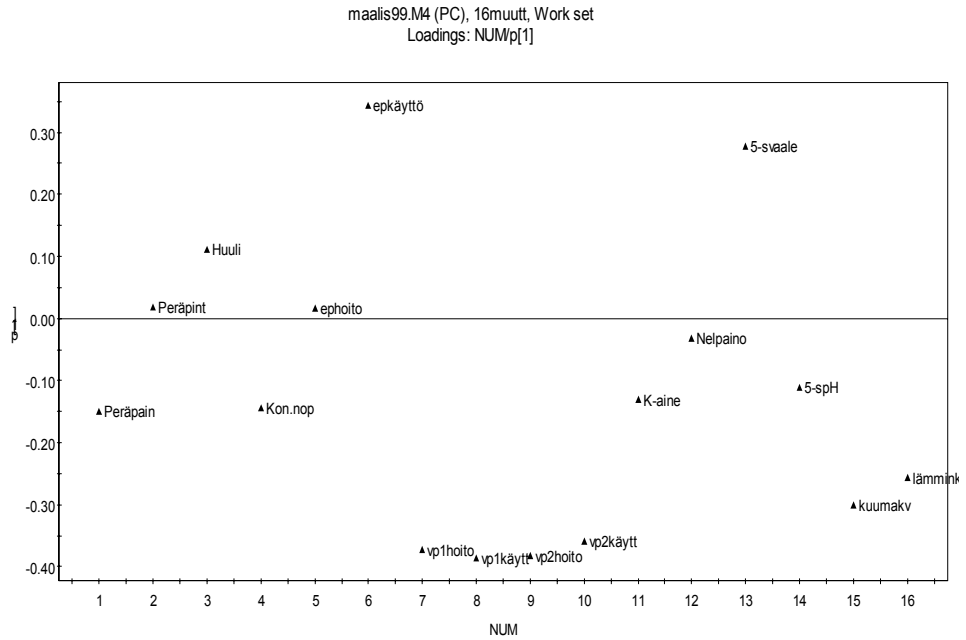


Kuva 27. Tammikuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-
arvot ensimmäisessä pääkomponentissa. Punaisella merkityt pisteet edustavat
tilannetta juuri ennen ratakatkoa ja sinisellä merkityt tilannetta juuri
katkon jälkeen. Pisteiden kaksi ensimmäistä numeroa kertovat päivä-

määrän ja kaksi jälkimmäistä tunnin.



Kuva 28. Helmikuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-
arvot ensimmäisessä pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



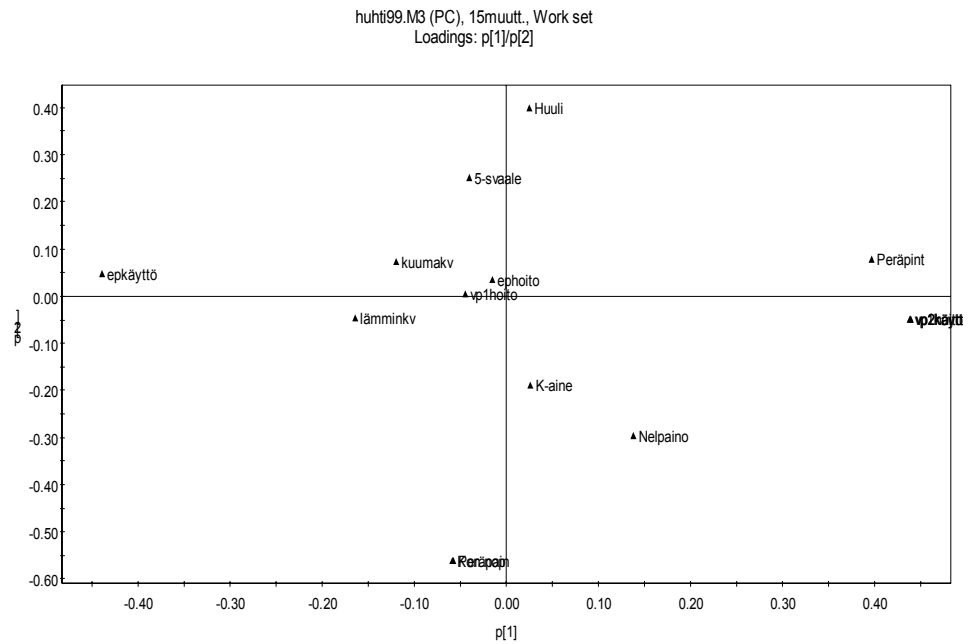
Kuva 29. Maaliskuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-
arvot ensimmäisessä pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)

Huhtikuun dataan sovitettiin kahden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 38 % ja toinen komponentti 19 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 15 ja havaintoja 581. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon pintaa ja esipuristimen ja 1. viirapuristimen käyttöpuolen ja

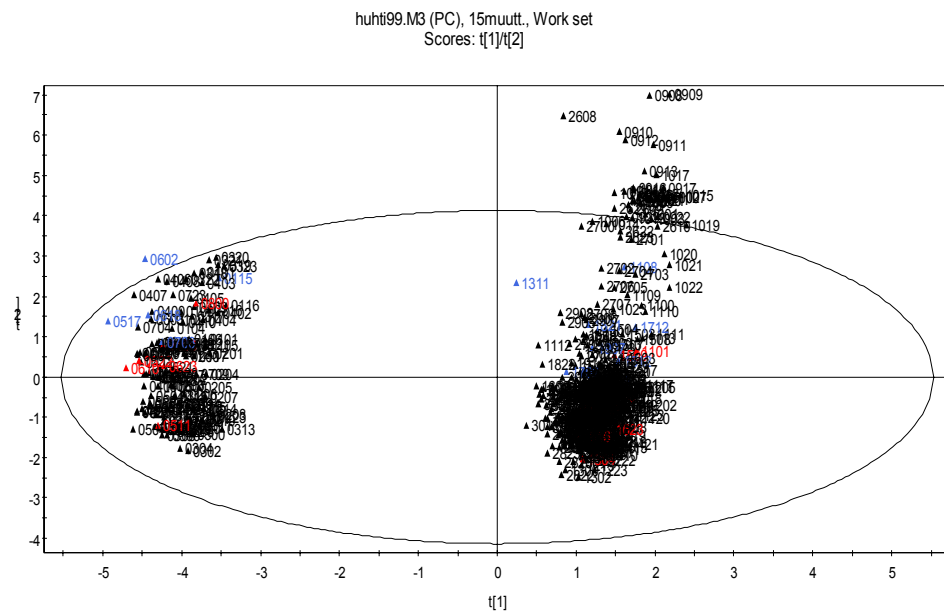
2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita. Toinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, perälaatikon huulen asentoa ja koneen ajonopeutta. Kuvassa 30 on esitetty huhtikuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa.

Kuvasta 30 havaitaan, että huhtikuun pistearvot jakautuvat selvästi kahteen ryhmään. Vasemman puoleinen ryhmä edustaa huhtikuun kahdeksaa ensimmäistä päivää. Katkoa edeltäneitä pisteitä ryhmässä on kuusi kappaletta. Tämän ryhmän erottumista selittää kuvassa esitettyjen muuttujien latausten perusteella esipuristimen käyttöpuolen nippipaine. Oikean puoleinen ryhmä edustaa aikaa huhtikuun 9. päivän aamusta huhtikuun loppuun ja katkoa edeltäneitä pisteitä siinä on kahdeksan kappaletta. Tämän ryhmän erottumista selittää muuttujien latausten perusteella perälaatikon pinta ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaine.

Ajettavuus on ollut parempi huhtikuun kahdeksannen päivän jälkeen koska oikean puoleinen pistearvoryhmä kattaa lähes kolme kertaa niin pitkän ajan kuin vasemman puoleinen ryhmä. Näiden kahden ryhmän välissä KK4:llä kuivattiin mäntymassaa 8.4. klo 16:02 ja 9.4. klo 7:40 välisenä aikana. Lisäksi kuvasta havaitaan, että oikean puoleisesta ryhmästä hajaantuu miltei kaikki 9. ja 10. päivän pistearvot ellipsin ulkopuolelle. Tämä selittynee sillä, että koneen ajoparametrejä on jouduttu hakemaan oikeisiin arvoihinsa koivumassan ajon jatkuttua n. 15 tunnin mäntymassan ajon jälkeen.



Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-29 14:50



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-29 14:53

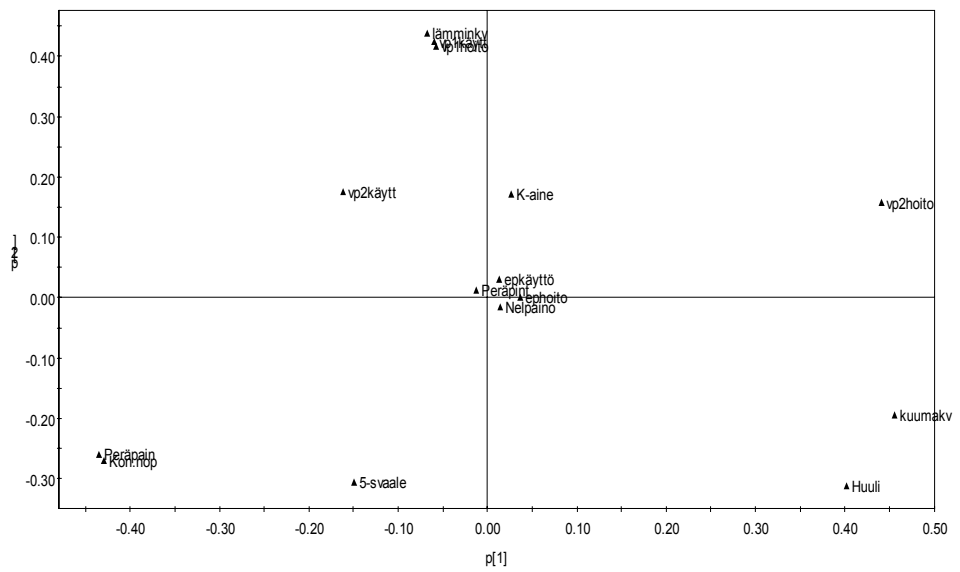
Kuva 30. Huhtikuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)

Toukokuun dataan sovitettiin viiden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 24.1 %, toinen 14 %, kolmas 12.6 %, neljäs 9.5 % ja viides komponentti 8.3 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 15 ja havaintoja 598. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, perälaatikon huulen asentoa, koneen ajonopeutta, 2. viirapuristimen hoitopuolen nippipainetta ja kuumen kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa. Toinen pääkomponentti kuvasi lähinnä 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta ja lämpimän kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa. Kolmas pääkomponentti kuvasi myös 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Neljäs pääkomponentti kuvasi esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta ja viides pääkomponentti lähinnä perälaatikon pintaa, kuivan massan kuiva-ainepitoisuutta ja

1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleutta. Kuvassa 31 on esitetty toukokuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa.

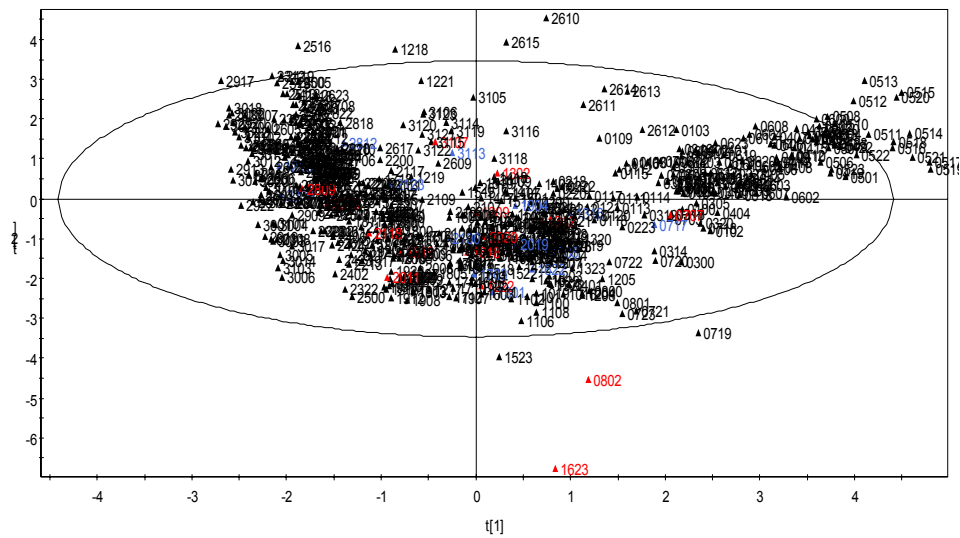
Kuvan 31 perusteella toukokuussa ei ole havaittavissa huhtikuun kaltaista ryhmiin jakautumista. Toukokuun ensimmäinen viikko näyttää sijoittuvan piste arvo joukon oikeaan laitaan ja kuun loppu vasempaan laitaan. Katkoja edeltäneitä pisteitä kuvassa on kaikkiaan 15 kappaletta ja ne jakautuvat tasaisesti lähes koko kuukauden ajalle seitsemännestä päivästä alkaen. Näistä pisteistä kaksi on selkeästi ellipsin ulkopuolella. Näille kahdelle katkolle ei kuitenkaan löydy selittäviä muuttujia muuttujien latausten vastaavalta alueelta. Toukokuun viidennen päivän piste arvoista puolet on ellipsin ulkopuolella ja sen perusteella prosessi ei tuona aikana olisi ollut hyvin hallinnassa. Katkoja ei tuona aikana kuitenkaan ollut yhtään.

touko99.M3 (PC), 15muutt., Work set
Loadings: p[1]/p[2]



Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-29 15:37

touko99.M3 (PC), 15muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-29 15:40

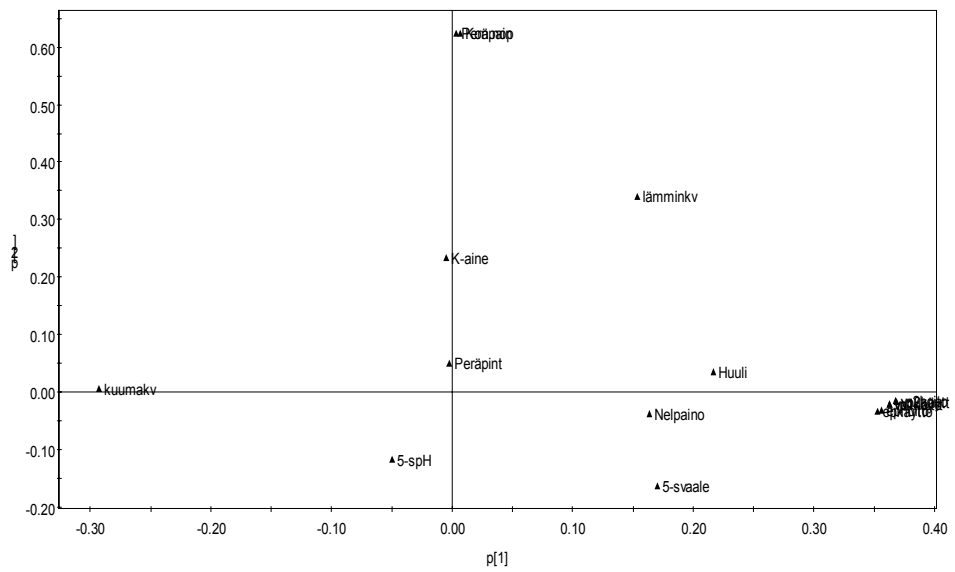
Kuva 31. Toukokuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)

Kesäkuun dataan sovitettiin kahden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 52.7 % ja toinen 17.2 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 534. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi esipuristimen, 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita ja kuuman kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa. Toinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta ja koneen ajonopeutta. Kuvassa 32 on esitetty kesäkuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Kuvassa 32 esitetyt katkoja edeltävät punaiset ja katkojen jälkeiset siniset pisteet jäävät suurelta osin muiden pisteiden peittämiksi, joten ne on esitetty erikseen kuvassa 33.

Kesäkuussa tapahtuneet katkot sijoittuvat kuvien 32 ja 33 perusteella suurimmaksi osaksi sille alueelle, millä prosessi on ollut hyvin hallinnassa. Kuvassa 33 esitettyä tiheää kuuden katkon rypästä (pisteet 0107, 1206, 1416, 1601, 1618, 2209)

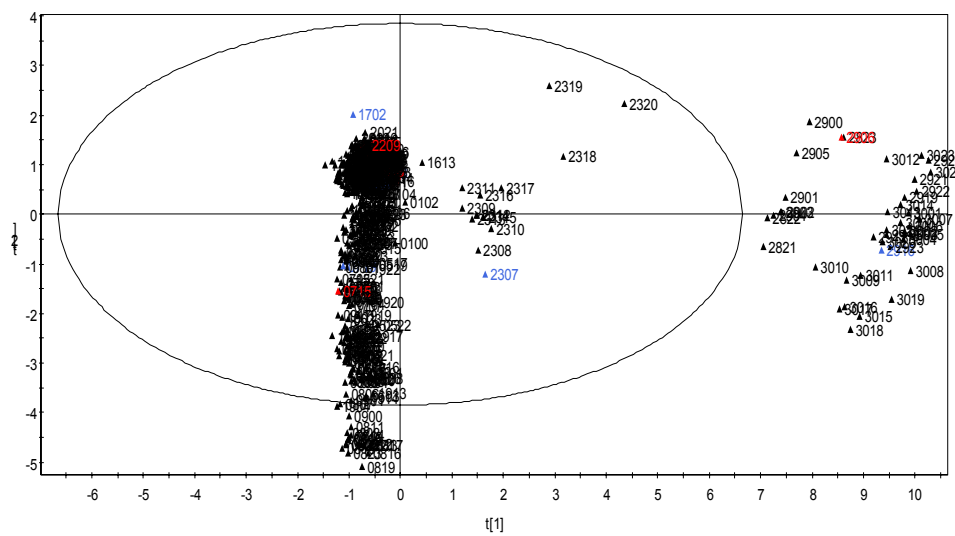
selittää kuvassa 32 esitettyjen muuttujien latausten perusteella perälaatikon paine ja koneen ajonopeus. Ellipsin ulkopuolelle sijoittuvaa katkoa (piste 2906) selittää nippipaineet. Kuvista 32 ja 33 nähdään lisäksi, että kesäkuun lopun piste-arvot 28. päivän klo 21:stä alkaen ovat voimakkaasti muista erillään ja ellipsin ulkopuolella. Tämä selittyy 23.6. klo 21 ja 28.6. klo 20 välisenä aikana pidetyllä juhannusseisokilla. Tuolloin koko sellutehdas on ollut alasajettuna ja heti käynnistyksen jälkeen ei massan laatu ole paras mahdollinen eivätkä kuivauskoneen ajoparametrit ole optimaalisissa arvoissaan.

kesä99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Loadings: p[1]/p[2]



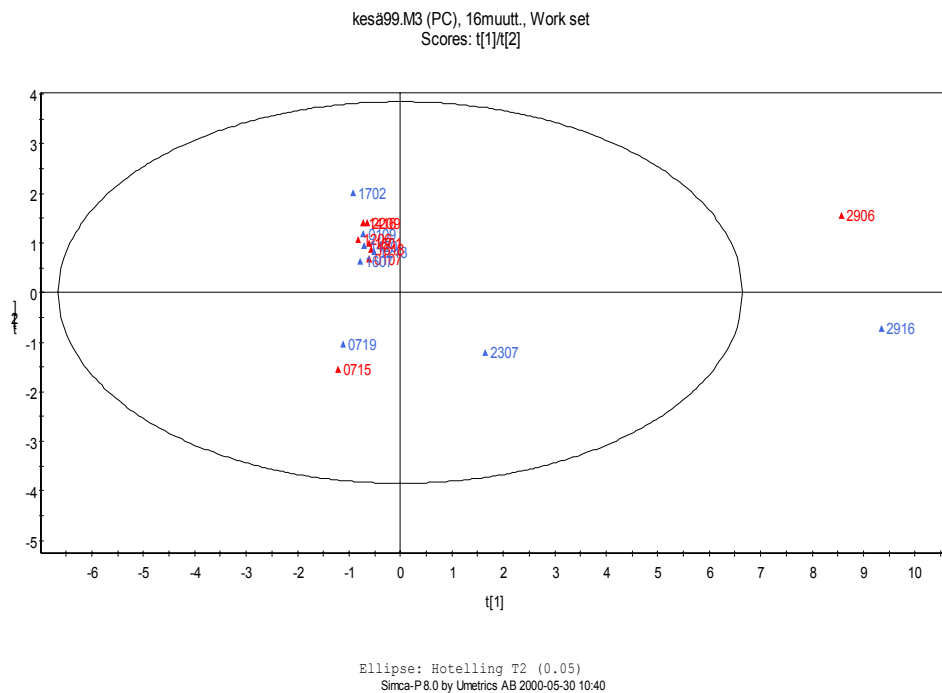
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-30 10:28

kesä99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-30 10:40

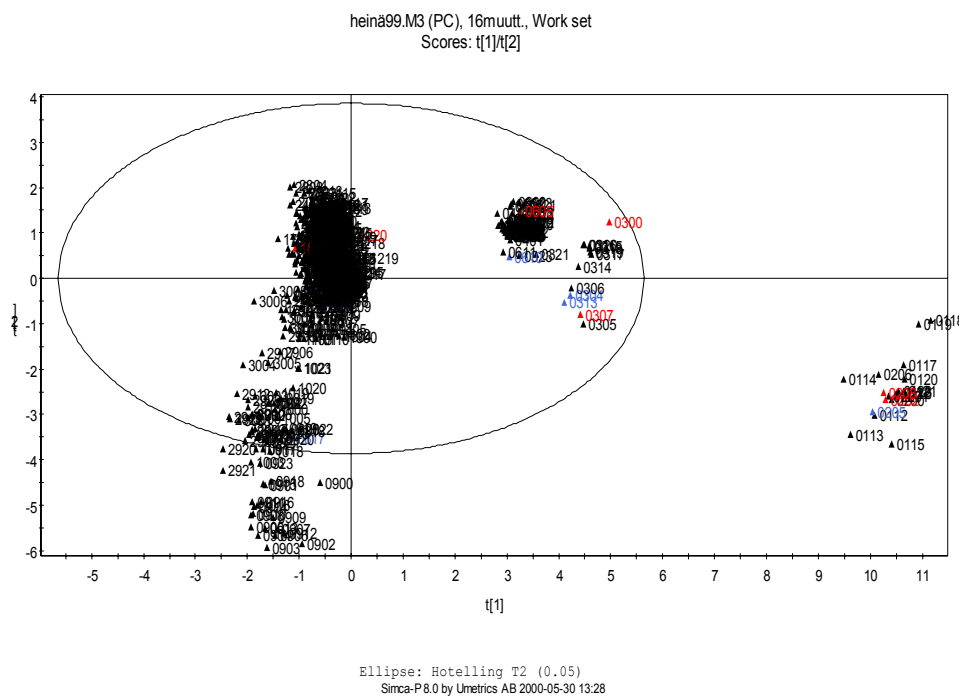
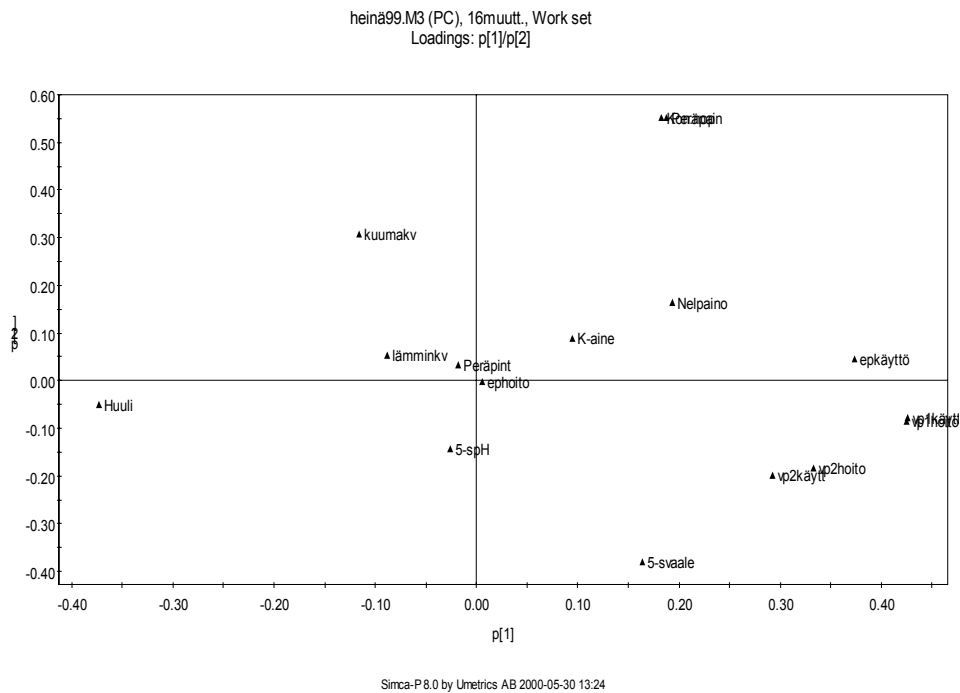
Kuva 32. Kesäkuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



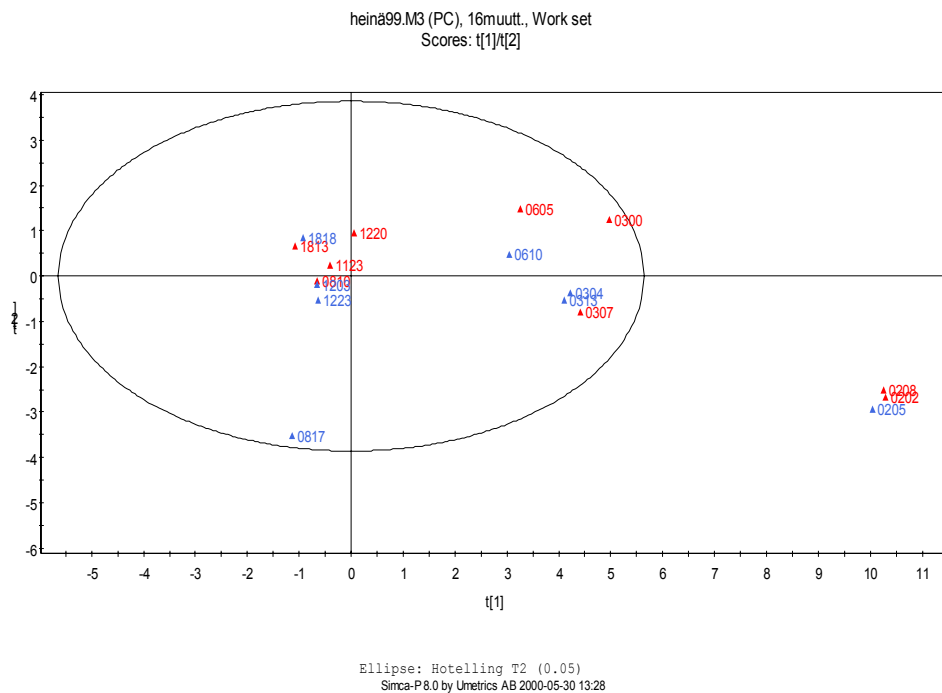
Kuva 33. Kesäkuun PCA:n havaintojen pistearvot tilanteissa juuri ennen katkoa ja juuri katkon jälkeen. (Merkinnät ks. kuva 27.)

Heinäkuun dataan sovitettiin kolmen pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 37.9 %, toinen 16.4 % ja kolmas 12.3 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 629. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon huulen asentoa, esipuristimen käyttöpuolen nippipainetta ja 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita. Toinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta ja koneen ajonopeutta. Kolmas pääkomponentti kuvasi perälaatikon huulen asentoa, esipuristimen käyttöpuolen nippipainetta, 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta, kuivan massan kuiva-ainepitoisuutta, 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan pH:ta, ja kuuman ja lämpimän kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa. Kuvassa 34 on esitetty heinäkuun PCA:n muuttujien lataukset ja

havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Kuvassa 34 esitetyt katkoja edeltävät punaiset ja katkojen jälkeiset siniset pisteet jäävät suurelta osin muiden pisteiden peittämiksi, joten ne on esitetty erikseen kuvassa 35.



Kuva 34. Heinäkuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste- ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



Kuva 35. Heinäkuun PCA:n havaintojen pistearvot tilanteissa juuri ennen katkoa ja juuri katkon jälkeen. (Merkinnät ks. kuva 27.)

Kuvien 34 ja 35 perusteella heinäkuun 1. ja 2. päivä erottuvat omaksi kaksi katkoa sisältäväksi ryhmäkseen kuvien oikeaan laitaan. Tämä selittynee sillä, että juhannusseisokin päättymisestä on kulunut vasta vähän aikaa, eikä kuivausprosessia ole vielä saatu täysin hallintaan. Tätä tilannetta selittävät muuttujat ovat kuvan 34 muuttujien latausten perusteella nippipaineet lukuun ottamatta esipuristimen hoitopuolen painetta.

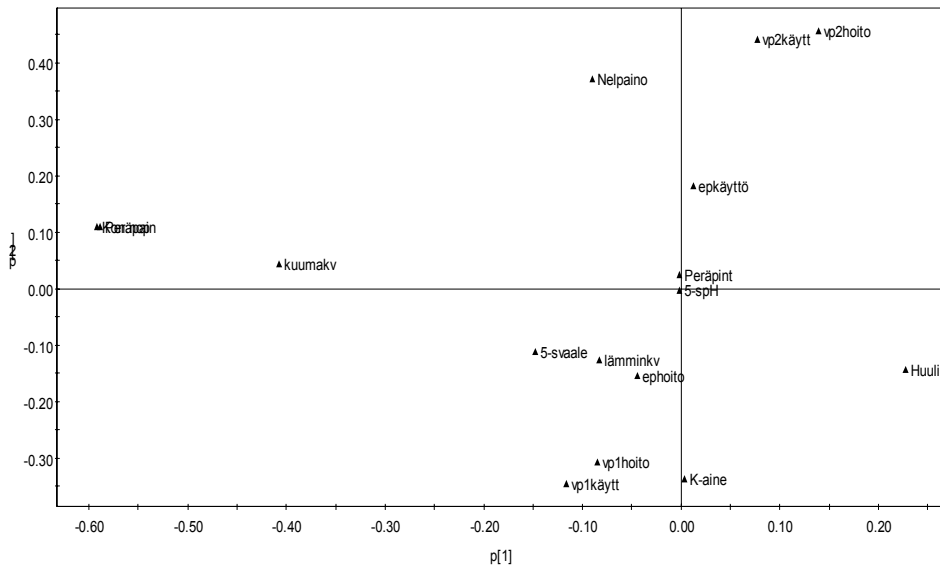
Kuvassa 34 näkyy myös kolme muuta ellipsin keskellä olevasta pääryhmästä erottuvaa pienempää ryhmää. Ellipsin oikeassa reunassa on omina ryhmään heinäkuun 3. ja 6. päivän pistearvot, joissa 3. päivän ryhmässä on kaksi katkoa ja 6. päivän ryhmässä 1 katko. Näitä katkoja selittänee kuvan 34 muuttujien

latausten perusteella neliöpaino ja mahdollisesti myös perälaatikon paine ja koneen ajonopeus. Pääryhmän alapuolella olevassa ryhmässä on 8., 9., 10., 29., ja 30. päivän pistearvoja. Katkoja tähän ryhmään ei sisälly, mutta sen erottuminen pääryhmästä selittyy 8., 9. ja 10. päivän osalta mäntyjaksolla, mikä ajettiin 6.7. klo 19 ja 8.7. klo 2 välisenä aikana.

Elokuun dataan sovitettiin kahden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti vain 18.3 % ja toinen 12.7 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 658. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi enimmäkseen perälaatikon painetta ja koneen ajonopeutta ja vähäisemmässä määrin kuumen kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa. Toinen pääkomponentti kuvasi 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita, kuivan massan kuiva-ainepitoisuutta ja neliöpainoa. Kuvassa 36 on esitetty elokuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Kuvassa 36 esitetyt katkoja edeltävät punaiset ja katkojen jälkeiset siniset pisteet jäivät suurelta osin muiden pisteiden peittämiksi, joten ne on esitetty erikseen kuvassa 37.

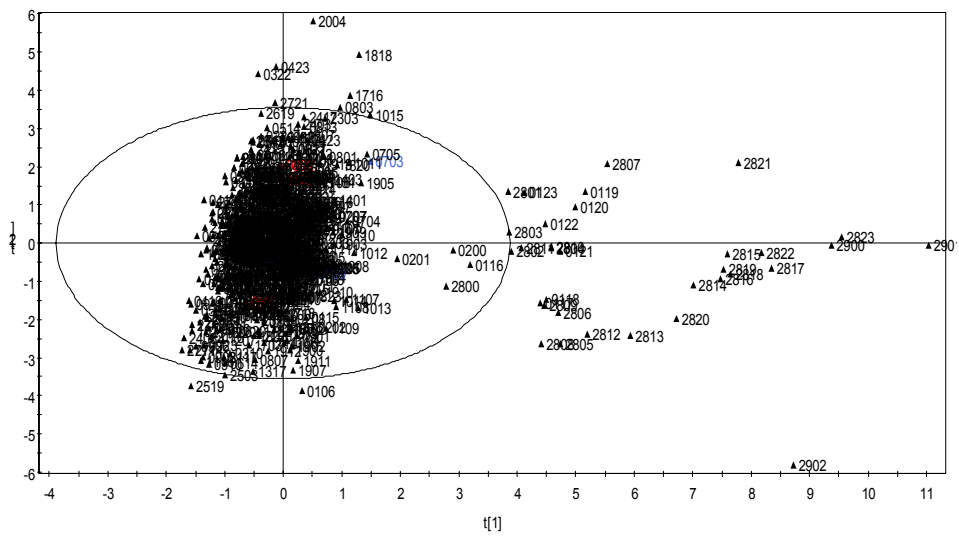
Kuvassa 36 esitettyjen havaintojen pistearvojen perusteella on kuivausprosessi ollut hyvin hallinnassa koko elokuun lukuun ottamatta tiiviistä pääryhmästä oikealle erottuvia 1. päivän illan, 28. päivän ja 29. päivän aamun pistearvoja. Tämän haaran erottuminen pääryhmästä selittynee 28. ja 29. päivän osalta koneen hallitulla alasajolla 29. päivä klo 3:45 syysseisokkia varten. Katkoja tähän hajanaiseen sivuhaaraan ei sisälly, vaan elokuun kolme katkoa ovat tiiviin pääryhmän sisällä, kuten kuvasta 37 nähdään. Elokuun katkoille ei kuvassa 36 esitettyjen muuttujien latausten perusteella löydy selkeästi niitä selittäviä muuttujia. Katkoja on kuitenkin ollut vähän ja elokuu edustaakin ajettavuudeltaan parasta jaksoa vuoden 1999 ajalta.

elo99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Loadings: p[1]/p[2]



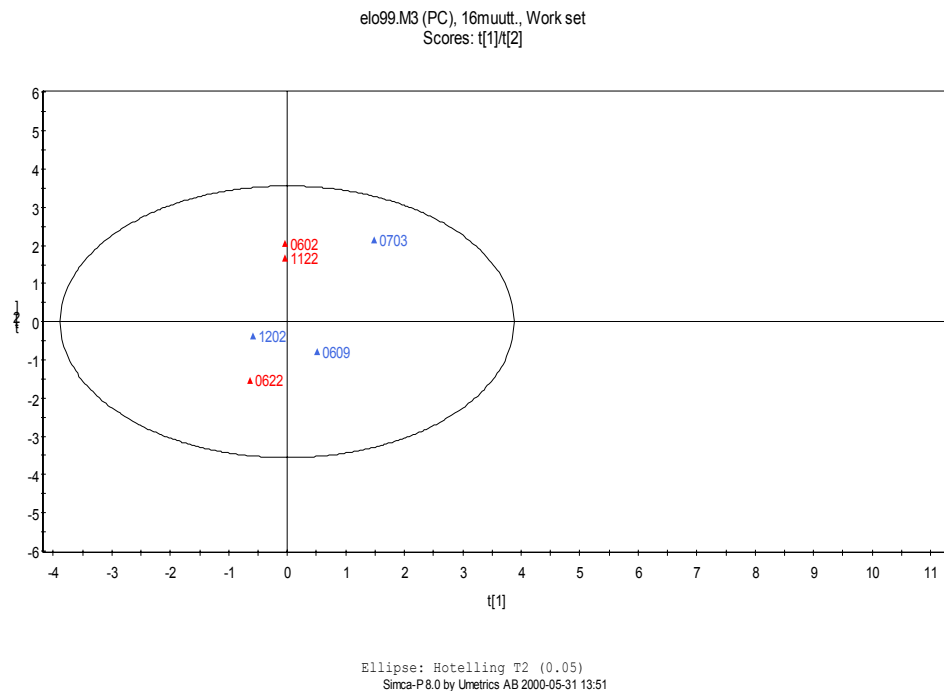
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-31 13:48

elo99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-31 13:51

Kuva 36. Elokuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste- ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



Kuva 37. Elokuun PCA:n havaintojen pistearvot tilanteissa juuri ennen katkoa ja juuri katkon jälkeen. (Merkinnät ks. kuva 27.)

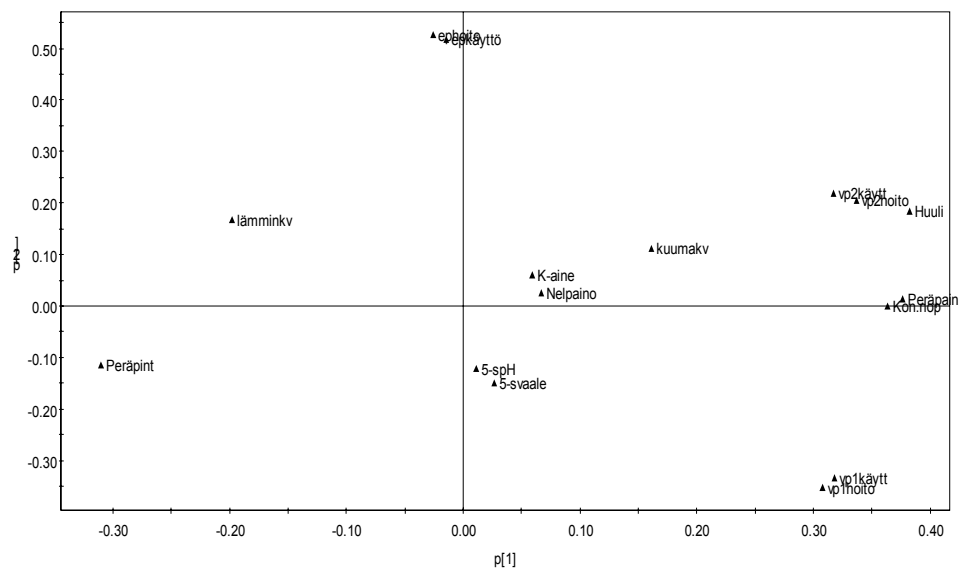
Syyskuun dataan sovitettiin kuuden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 39.4 %, toinen 23.9 %, kolmas 12.6 %, neljäs 7.9 %, viides 5.3 % ja kuudes 3.2 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 282. Havaintojen pieni määrä muihin kuukausiin johtuu syyskuun 14. päivään klo 13:een jatkuneesta syysseisokista. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, pintaa ja huulen asentoa, koneen ajonopeutta ja 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita. Toinen pääkomponentti kuvasi enimmäkseen esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta ja jonkin verran 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Kolmas pääkomponentti kuvasi 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleutta ja pH:ta ja lämpimän kiertoveden virtausta 1-valkaisimolla. Neljäs pääkomponentti kuvasi kuumen kiertoveden virtausta 1-valkaisimolla. Viides pääkomponentti

kuvasi perälaatikon painetta ja pintaa, koneen ajonopeutta, kuivan massan kuiva-ainepitoisuutta ja neliöpainoa ja 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleutta. Kuudes pääkomponentti kuvasi perälaatikon pintaa, kuivan massan neliöpainoa ja

1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan pH:ta. Kuvassa 38 on esitetty syyskuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Kuvassa 38 esitetyt katkoja edeltävät punaiset ja katkojen jälkeiset siniset pisteet jäävät osittain muiden pisteiden peittämiksi, joten ne on esitetty erikseen kuvassa 39.

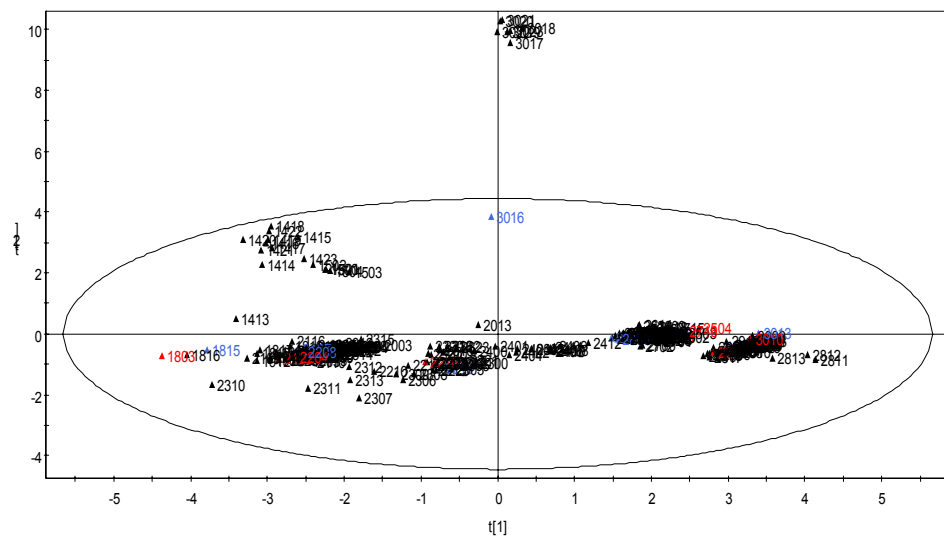
Kuvasta 38 havaitaan, että syyskuun pistearvot jakautuvat kuudeksi selkeästi toisistaan erottuvaksi ryhmäksi. Pistearvot syysseisokin jälkeisestä käynnistyksestä 14 tuntia eteenpäin (pisteet 1414-1503) erottuvat omaksi ryhmäkseen. Kuvan 38 muuttujien latausten perusteella tätä erottumista selittänee lämpimän kiertoveden virtaus 1-valkaisimossa. Tähän ryhmään ei kuitenkaan sisälly katkoja. Syyskuun 30. päivän iltaa edustava pistearvoryhmä (pisteet 3017-3023) ei myöskään sisällä katkoja, vaikka se on muista ryhmistä voimakkaasti erillään. Tämän ryhmän erottumista muista selittää muuttujien latausten perusteella esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaine. Kuvan 38 pistearvoryhmistä vasemman puoleisin sisältää kolme katkoa, joista ainakin ensimmäistä (piste 1803) selittänee muuttujien latausten perusteella perälaatikon pinta. Syyskuussa ajettiin myös mäntymassaa 16.9. klo 12 ja 17.9. klo 24 välisenä aikana, joten myös kuivattavan massan vaihtaminen mäntymassasta takaisin koivumassaksi on saattanut aiheuttaa kyseisen katkon. Vasemmalta lukien toinen pistearvoryhmä kuvassa 38 sisältää yhden katkon (piste 2216), mille ei muuttujien latausten perusteella löydy selkeää selittävää muuttujaa. Kuvan 38 kaksi oikeanpuoleisinta pistearvoryhmää sisältää yhteensä viisi katkoa (pisteet 2421, 2504, 2716, 2821 ja 3010). Näitä katkoja selittänee muuttujien latausten perusteella ainakin perälaatikon paine ja koneen ajonopeus sekä mahdollisesti myös perälaatikon huulen asento ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaine.

sys99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Loadings: p[1]/p[2]



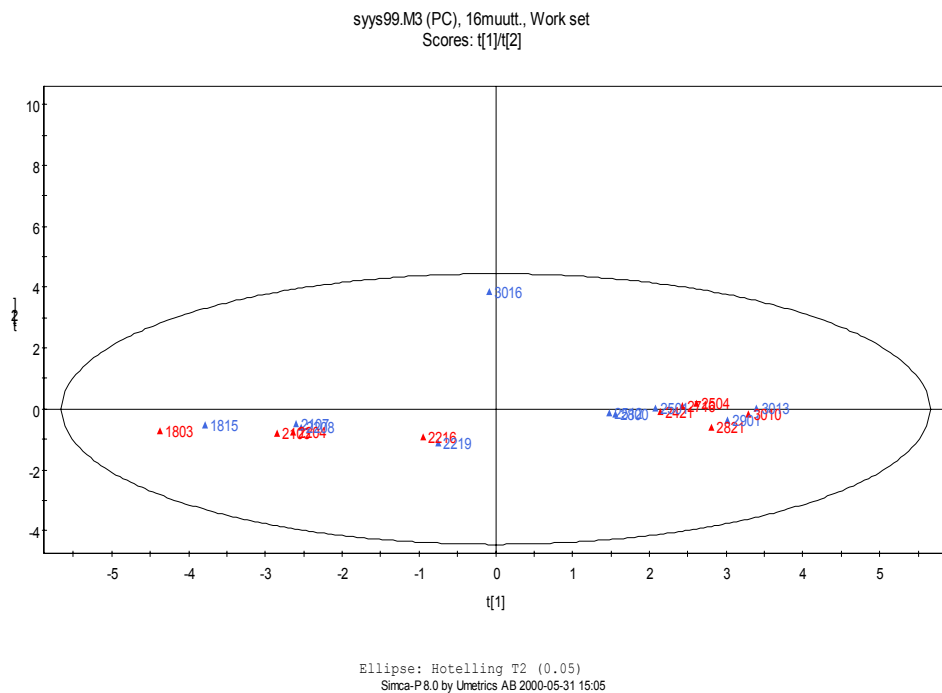
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-31 14:48

sys99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-05-31 15:05

Kuva 38. Syyskuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



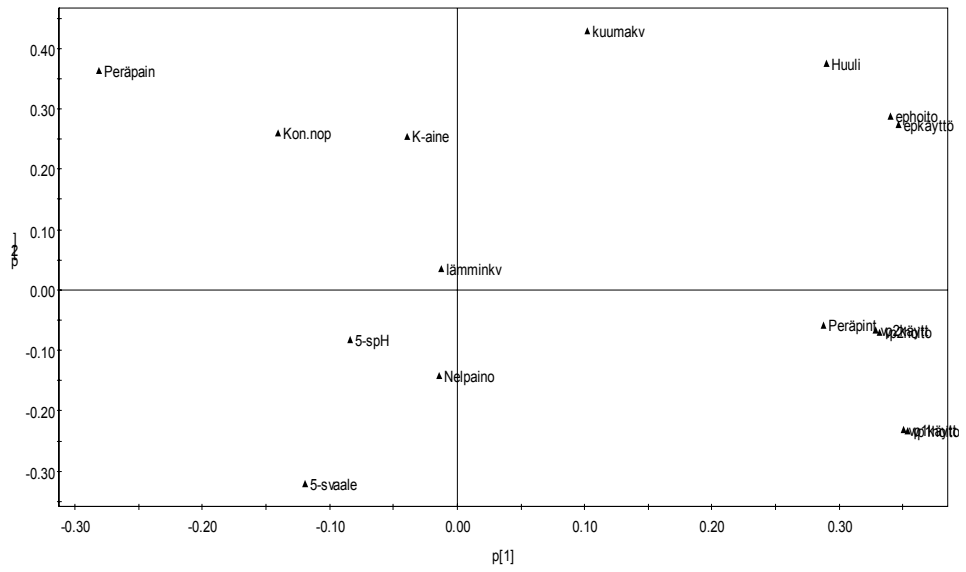
Kuva 39. Syyskuun PCA:n havaintojen pistearvot tilanteissa juuri ennen katkoa ja juuri katkon jälkeen. (Merkinnät ks. kuva 27.)

Lokakuun dataan sovitettiin kuuden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 35.7 %, toinen 16.2 %, kolmas 14 %, neljäs 9 %, viides 7.5 % ja kuudes 5.1 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 572. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, pintaa ja huulen asentoa ja esipuristimen, 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita. Toinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta ja huulen asentoa, koneen ajonopeutta, esipuristimen ja 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita, kuivan massan kuiva-ainepitoisuutta, 1-valkaisimon 5-suoti-melta lähtevän massan vaaleutta ja kuumen kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa. Kolmas pääkomponentti kuvasi voimakkaimmin koneen ajonopeutta, 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta ja kuivan

massan neliöpainoa ja jonkin verran perälaatikon painetta ja esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Neljäs pääkomponentti kuvasi lämpimän kiertoveden virtausta 1-valkai-simolla. Viides pääkomponentti kuvasi koneen ajonopeutta, kuivan massan neliöpainoa ja 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan pH:ta. Kuudes pääkomponentti kuvasi lähinnä kuivan massan kuiva-ainepitoisuutta ja vähäisemmissä määrin perälaatikon pintaa. Kuvassa 40 on esitetty lokakuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pisteervot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Kuvassa 40 esitetyt katkoja edeltävät punaiset ja katkojen jälkeiset siniset pisteet jäävät suurelta osin muiden pisteiden peittämiksi, joten ne on esitetty erikseen kuvassa 41.

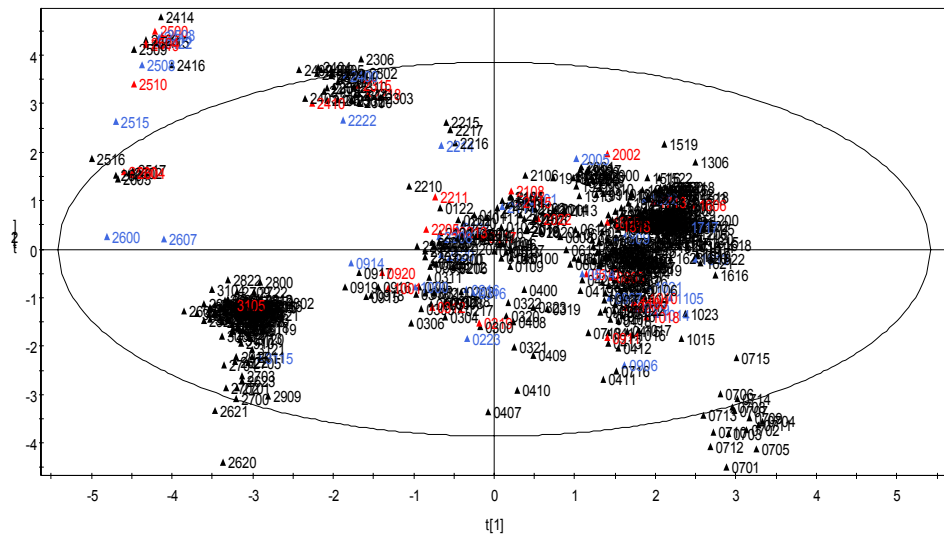
Kuvista 40 ja 41 havaitaan, että lokakuu on ollut hajanainen useaan ryhmään jakautunut jakso. Lokakuussa tapahtuneen katkot jakautuvat tasaisesti koko kuukauden ajalle lukuun ottamatta kuvan 40 oikeaan alareunaan sijoittuvaa 7. päivää klo 14:ään saakka kuvaavaa pisteervoryhmää, missä katkoja ei ole ollut. Tämän ryhmän erottumista muista selittänee kuvassa 40 esitettyjen muuttujien latausten perusteella 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaine. Lokakuun 23. päivän ja 24. päivän aamun pisteervot erottuvat omaksi kolme katkoa sisältäväksi ryhmäkseen ja muuttujien latausten perusteella näitä katkoja selittänee koneen ajonopeus. Kuvan 41 vasempaan ylänurkkaan sijoittuvaa neljää katkoa (pisteet 2419, 2500, 2504, 2510) selittää muuttujien latausten perusteella perälaatikon paine. Lokakuussa on ollut kaikkiaan 36 katkoa ja se edustaakin ajettavuudeltaan huonointa jaksoa vuoden 1999 osalta.

loka99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Loadings: p[1]/p[2]



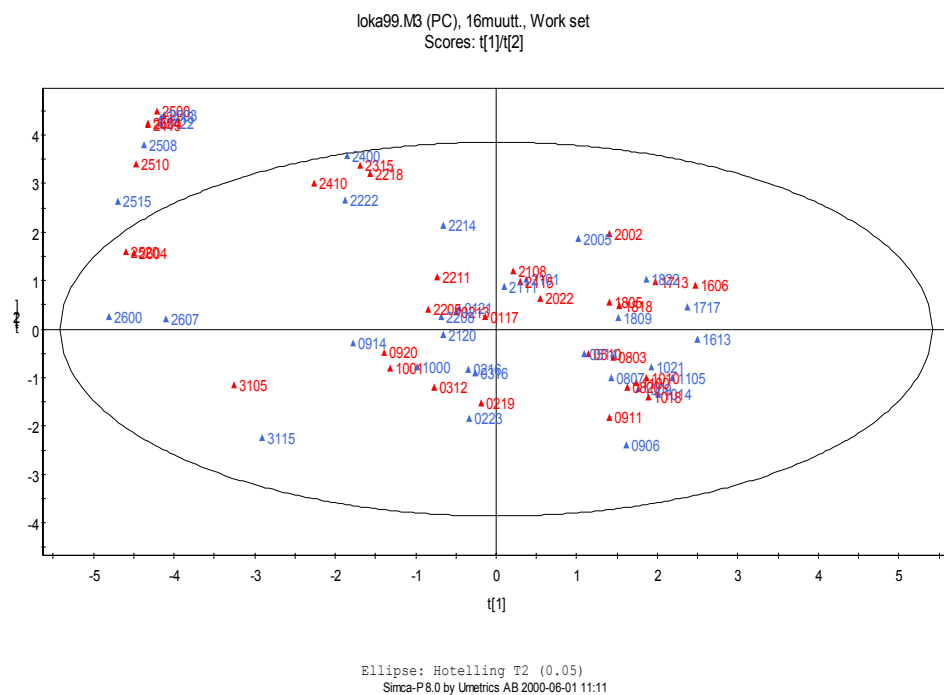
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-01 11:00

loka99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-01 11:05

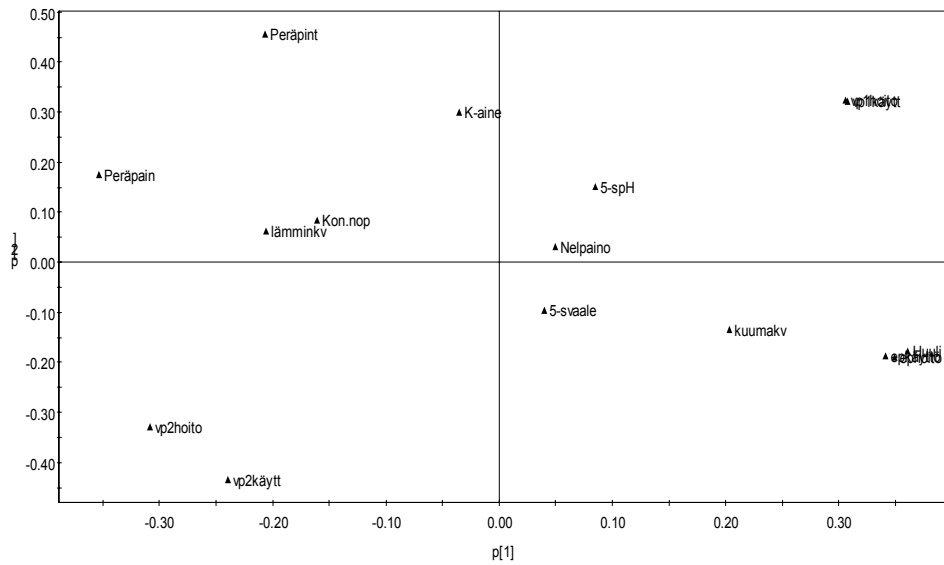
Kuva 40. Lokakuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



Kuva 41. Lokakuun PCA:n havaintojen piste-arvot tilanteissa juuri ennen katkoa ja juuri katkon jälkeen. (Merkinnät ks. kuva 27.)

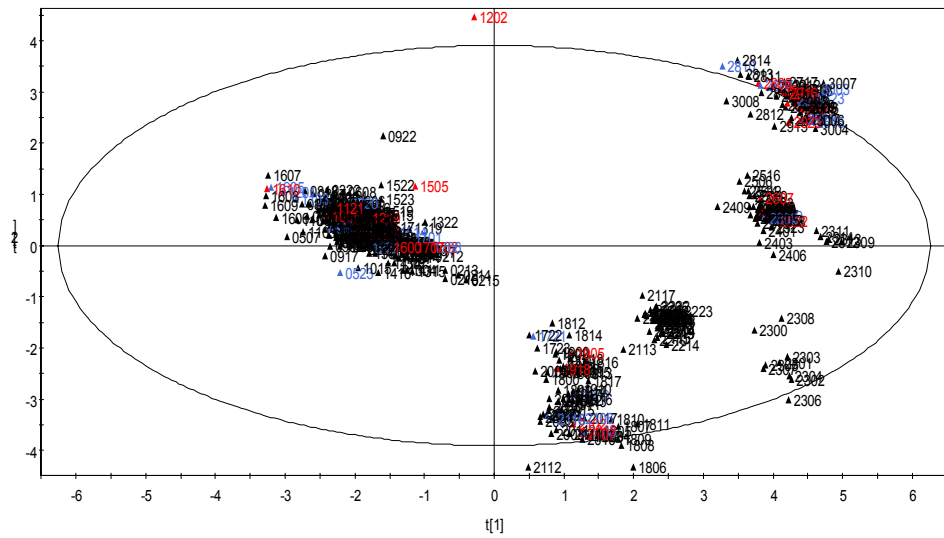
Marraskuun dataan sovitettiin kahden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 47.2 % ja toinen 17.2 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 505. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta ja huulen asentoa ja esipuristimen, 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita. Toinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon pintaa ja 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita, etenkin 2. viirapuristimen käyttöpuolen nippipainetta. Kuvassa 42 on esitetty marraskuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Kuvassa 42 esitetyt katkoja edeltävät punaiset ja katkojen jälkeiset siniset pisteet jäivät suurelta osin muiden pisteiden peittämiksi, joten ne on esitetty erikseen kuvassa 43.

marras99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Loadings: p[1]/p[2]



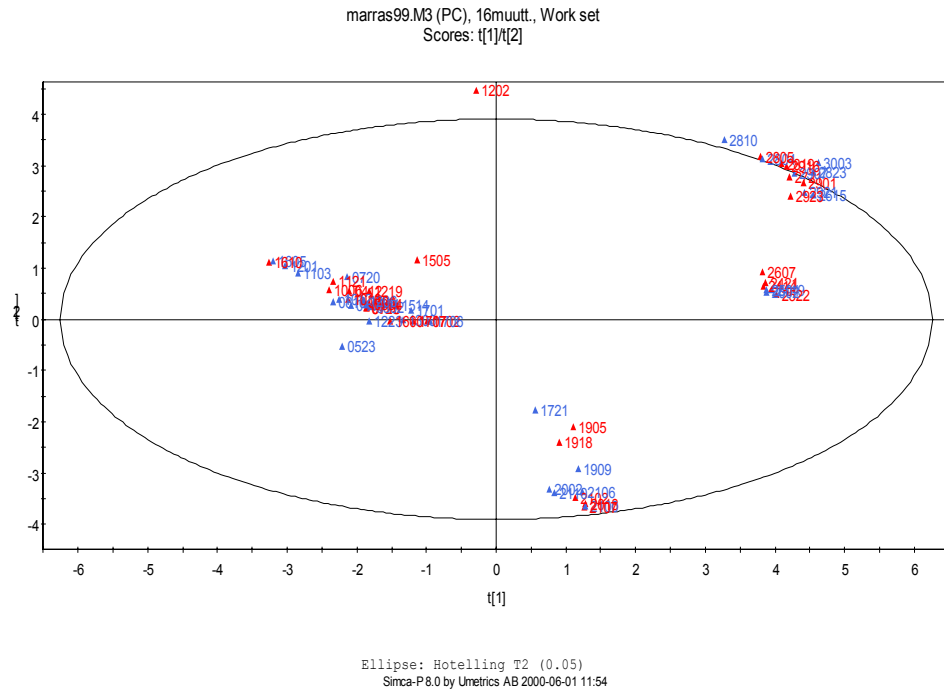
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-01 11:51

marras99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-01 11:54

Kuva 42. Marraskuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste- arvat ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



Kuva 43. Marraskuun PCA:n havaintojen piste- arvat tilanteissa juuri ennen katkoa ja juuri katkon jälkeen. (Merkinnät ks. kuva 27.)

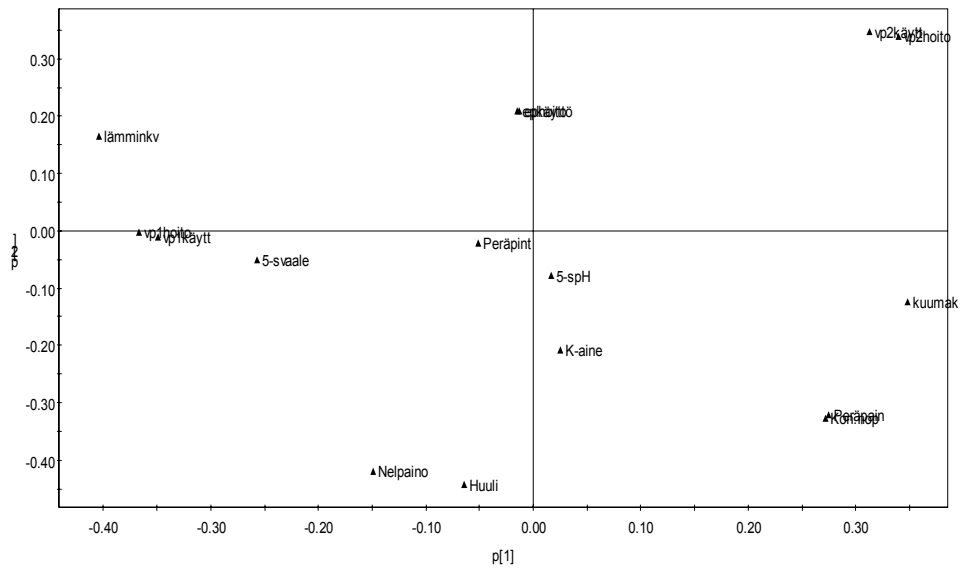
Kuvista 42 ja 43 havaitaan, että myös marraskuu on lokakuun tavoin ollut hajanainen useaan ryhmään jakautunut jakso. Kuvassa 42 esitettyjen piste- arvojen suurin yhtenäinen ryhmä kuvaa aikaa marraskuun alusta 17. päivän aamuun ja tuohon aikaan sisältyy kaikkiaan 15 katkoa. Kuvassa 42 esitettyjen muuttujien latausten perusteella näitä katkoja selittää perälaatikon paine, koneen ajonopeus ja lämpimän kiertoveden virtaus 1-valkaisimossa. Kuvassa 42 esitettyjen piste- arvojen alimpana oleva ryhmä kuvaa aikaa 17. päivän illasta 21. päivän iltapäivään. Katkoja tähän ryhmään sisältyy viisi kappaletta ja muuttujien latausten perusteella ei löydy niitä selkeästi selittäviä muuttujia. Kuvassa 42 esitettyjen piste- arvojen oikeassa laidassa olevassa 23., 24. ja 25. päivää kuvaavassa ryhmässä on neljä katkoa ja myöskään näille katkoille ei löydy selitystä muuttujien latausten perusteella. Marraskuussa ajettiin mäntymassaa

26.11. klo 19 ja 27.11. klo 12 välisenä aikana. Marraskuun loppu tämän mäntyjakson jälkeen erottuikin pistearvojoukossa omaksi ryhmäkseen oikeaan ylänurkkaan. Tuossa ryhmässä on kuusi katkoa ja niitä selittää muuttujien latausten perusteella 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet. Marraskuussa on ollut kaikkiaan 39 katkoa ja se edustaa lokakuun tavoin ajettavuudeltaan huonointa jaksoa vuoden 1999 osalta.

Joulukuun dataan sovitettiin kuuden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 32 %, toinen 21.1 %, kolmas 14 %, neljäs 10.5 %, viides 7.4 % ja kuudes 4.9 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 16 ja havaintoja 148. Havaintojen vähäinen määrä johtuu siitä, että joulukuun ajot painottuivat mäntymassalle. Mäntymassaa ajettiin yksitoista jaksoa; 4.12. klo 9 – 5.12. klo 8, 6.12. klo 10 – 6.12. klo 24, 8.12. klo 20 – 10.12. klo 3, 10.12. klo 13 – 11.12. klo 13, 11.12. klo 17 – 13.12. klo 9, 13.12. klo 13 – 14.12. klo 5, 16.12. klo 1 – 16.12. klo 24, 17.12. klo 16 – 18.12. klo 19, 19.12. klo 1 – 20.12. klo 9, 20.12. klo 16 – 22.12. klo 18 ja 29.12. klo 6 – 31.12. klo 23. Lisäksi kone oli pysäytettyä jouluseisokin vuoksi 23.12. klo 1 ja 27.12. klo 20 välisen ajan.

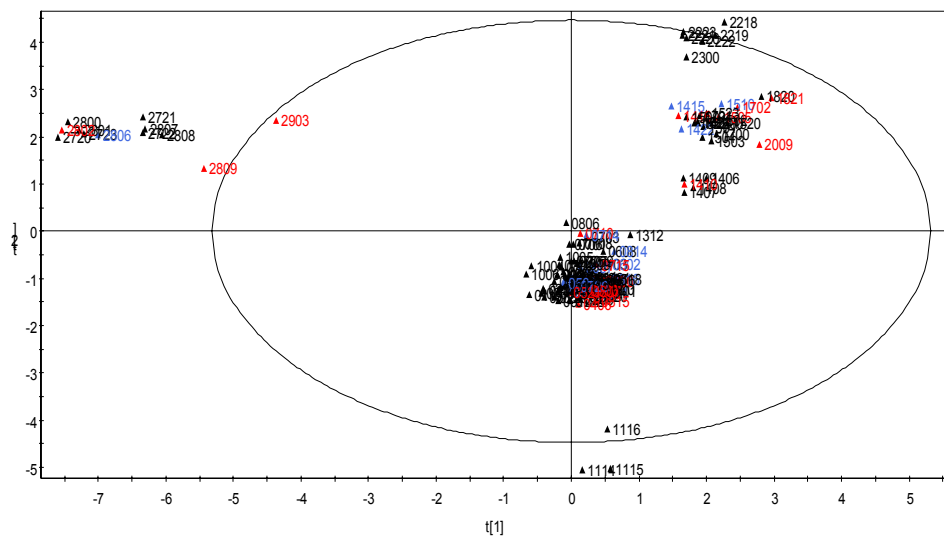
Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, koneen ajonopeutta, 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineita, 1- Valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleutta ja kuuman ja lämpimän kiertoveden virtausta 1- Valkaisimossa. Toinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta ja huulen asentoa, koneen ajonopeutta, 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta ja kuivan massan neliöpainoa. Kolmas pääkomponentti kuvasi esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Neljäs pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, koneen ajonopeutta ja 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Viides pääkomponentti kuvasi perälaatikon pintaa ja kuivan massan kuiva-ainepitoisuutta. Kuudes pääkomponentti kuvasi kuivan massan kuiva-aine-pitoisuutta ja neliöpainoa ja 1- Valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleutta ja pH:ta. Kuvassa 44 on esitetty joulukuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Kuvassa 44 esitetyt katkoja edeltävät punaiset ja katkojen jälkeiset siniset pisteet jäävät suurelta osin muiden pisteiden peittämiksi, joten ne on esitetty erikseen kuvassa 45.

joulu99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Loadings: p[1]/p[2]



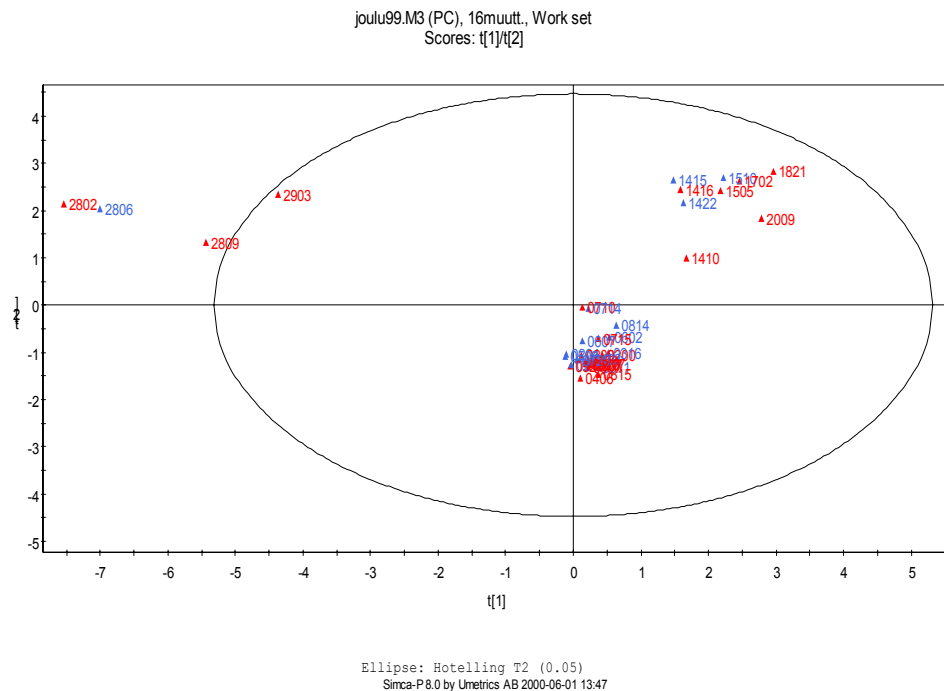
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-01 13:43

joulu99.M3 (PC), 16muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-01 13:47

Kuva 44. Joulukuun PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste- arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 27.)



Kuva 45. Joulukuun PCA:n havaintojen piste- arvot tilanteissa juuri ennen katkoa ja juuri katkon jälkeen. (Merkinnät ks. kuva 27.)

Kuvista 44 ja 45 havaitaan, että joulukuussa lyhyimmillään 4 ja pisimmillään 30 tuntia kestäneet koivumassan ajot muodostavat yhden pääryhmän ellipsin keskelle. Tämä ryhmä kuvaa aikaa joulukuun alusta 8. päivän aamuun ja sisältää 13 katkoa. Näitä katkoja selittänee kuvassa 44 esitettyjen muuttujien latausten perusteella kuivan massan kuiva-ainepitoisuus ja mahdollisesti myös 1-valkaisimon

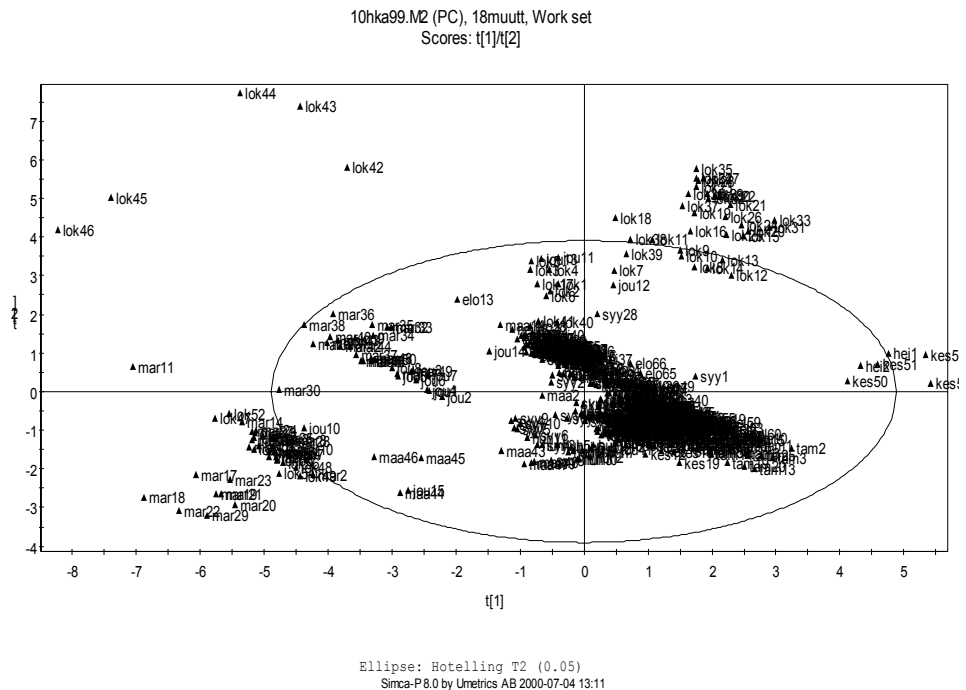
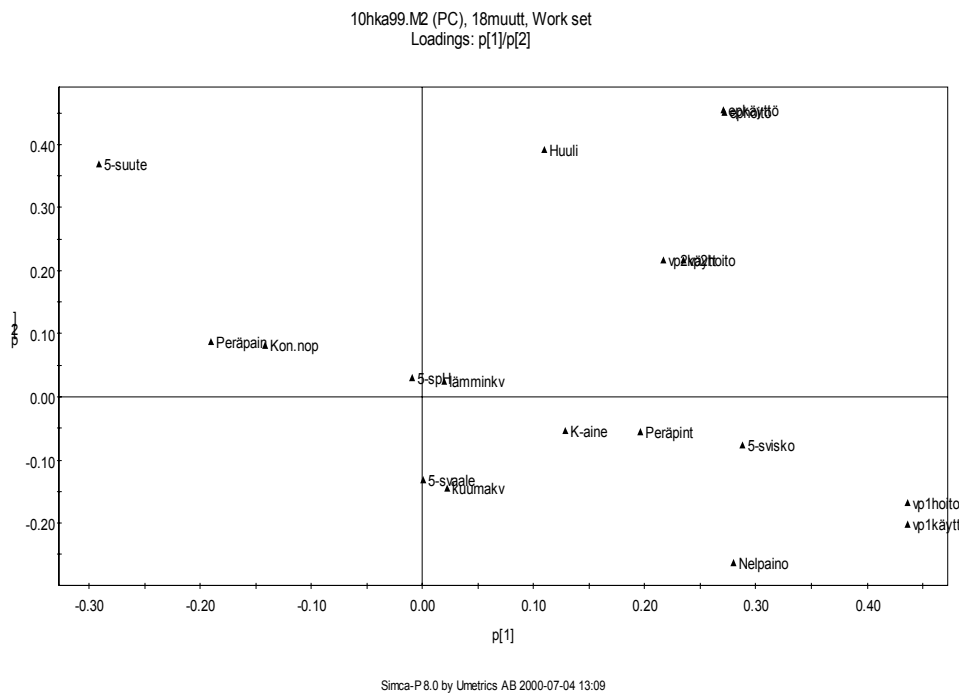
5-suotimelta lähtevän massan pH. Kuvassa 44 esitetyn piste- arvojoukon oikeassa yläkulmassa on piste- arvot 14:stä 22:een päivään omana ryhmänään. Tämä ryhmä sisältää kuusi katkoa, joita muuttujien latausten perusteella selittänee 2. viirapuri- hoito- ja käyttöpuolen nippipaine. Lisäksi jouluseisokin jälkeisen ajan piste- arvot muodostavat oman ryhmänsä. Tähän ryhmään sisältyy kolme katkoa ja niitä selittänee muuttujien latausten perusteella lämpimän kiertoveden virtaus

1-valkaisimolla ja mahdollisesti myös 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet. Joulukuu oli koivumassan ajettavuuden kannalta varsin huono jakso. Vaikka koivumassaa ajettiin vain 148 tuntia, oli katkoja kaikkiaan 32 kappaletta. Katkojen suurta määrää joulukuussa selittänee myös lukuisat massan vaihdot mäntymassasta koivumassaksi ja takaisin. Koneen ajoparametrejä ei todennäköisesti ole saatu muutamassa tunnissa optimiarvoihinsa kun massa on vaihdettu koivumassaksi ja kun katko on tapahtunut niin kuivattava massa on sen jälkeen vaihdettu takaisin männyksi.

Pitkän aikavälin vaihtelusta ei kuukausittaisista malleista saa selkeää kuvaa. Kunkin kuukauden tuntitason datasta laskettiin kymmenen tunnin keskiarvot jokaisesta kymmenestä peräkkäisestä havainnosta. Keskiarvojen lukumäärät olivat kuukausittain 58, 65, 49, 58, 60, 53, 63, 66, 28, 57, 50 ja 15 kappaletta. Nämä keskiarvot yhdistettiin yhdeksi koko vuoden 1999 kattavaksi matriisiksi. Tähän keskiarvodataan sovitettiin PCA-malli käyttämällä SIMCA-ohjelmiston Autofit-toimintoa. Tämä malli on esitetty liitteenä I olevalla CD-levyllä. Mallissa käytetyt muuttujat olivat perälaatikon paine, perälaatikon pinnan korkeus, perälaatikon huulen asento, koneen ajonopeus, esipuristimen, 1. viirapuristimen ja 2. viirapuristimen nippipaineet erikseen hoito- ja käyttöpuolella, kuivan massan kuiva-ainepitoisuus ja neliöpaino, 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan viskositeetti, uuteainepitoisuus, vaaleus ja pH ja kuuman ja lämpimän kiertoveden virtaukset 1-valkaisimossa.

Koko vuoden 1999 keskiarvodataan sovitettiin viiden pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 21.8 %, toinen 13.9 %, kolmas 12.7 %, neljäs 11.6 % ja viides 8.5 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 18 ja havaintoja 622. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi lähinnä 1. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta ja myös jonkin verran esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta, kuivan massan neliöpainoa ja 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan viskositeettia ja uuteainepitoisuutta. Toinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon huulen asentoa ja esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Kolmas pääkomponentti kuvasi perälaatikon pintaa ja huulen asentoa ja kuuman ja lämpimän kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa.

Neljäs pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta ja koneen ajonopeutta. Viides pääkomponentti kuvasi lähinnä 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Kuvassa 46 on esitetty vuoden 1999 PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa.



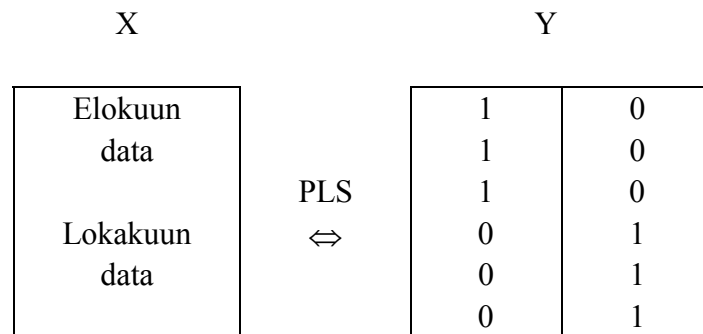
Kuva 46. Koko vuoden 1999 PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Pistearvojen kirjaimet kertovat kuukauden ja numerot sen monesko 10 tunnin keskiarvo on kyseessä.

Kuvassa 46 esitetyistä havaintojen pistearvoista havaitaan, että pitkällä aikavälillä tarkasteltuna kuivausprosessin tila liikkuu melko suurella alueella. Ajettavuuden kannalta huonoimmat loka- ja marraskuu eivät muodosta edes omia ryhmiään, vaan jakautuvat hajalleen eri puolille pistearvokuvaajaa. Myös maaliskuu-, kesä-, heinä- ja joulukuun pistearvoja erottuu voimakkaasti pääjoukosta. Tätä voimakasta hajontaa selittää kuvassa 46 esitettyjen muuttujien latausten perusteella esipuristimen, 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet, perälaatikon pinta, paine ja huulen asento, koneen ajonopeus, kuivan massan neliöpaino ja kuiva-ainepitoisuus ja 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan viskositeetti.

6.4 PLS-mallit vuoden 1999 datasta

PCA-mallien lisäksi vuoden 1999 datasta laskettiin diskriminoiva PLS-malli. Tämä malli on esitetty liitteenä I olevalla CD-levyllä. Malliin valittiin koivumassan ajettavuuden kannalta hyvää jaksoa edustamaan elokuun data ja huonoa jaksoa edustamaan lokakuun data. Mallissa käytetyt muuttujat olivat perälaatikon paine, pinta ja huulen asento, koneen ajonopeus, nippipaineet esipuristimen, 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolilla, kuivan massan kuiva-ainepitoisuus ja neliöpaino, 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleus ja kuumen ja lämpimän kiertoveden virtaus 1-valkaisimossa. Diskriminoivassa PLS-mallissa muuttujia ei jaeta erikseen X- ja Y-matriisiin, vaan kaikki järjestetään X-matriisiin siten, että matriisin yläosassa on hyvää jaksoa edustava data ja alaosassa huonoa jaksoa edustava data. Y-matriisi muodostuu kahdesta sarakkeesta ykkösiä ja nollia. Kuvassa 47 on havainnollistettu diskriminoivan PLS-mallin matriisien rakenne. Myös tämän

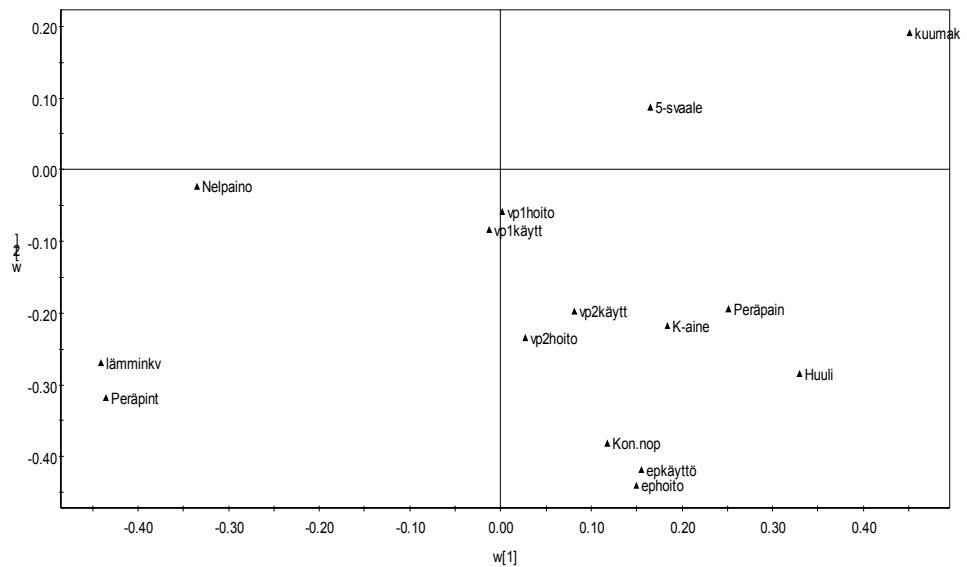
mallin sovituksen käytettiin Autofit-toimintoa, eli optimaalinen pääkomponenttien lukumäärä määrittyi ristivalidoinnin perusteella.



Kuva 47. Diskriminoivan PLS-mallin matriisien rakenne.

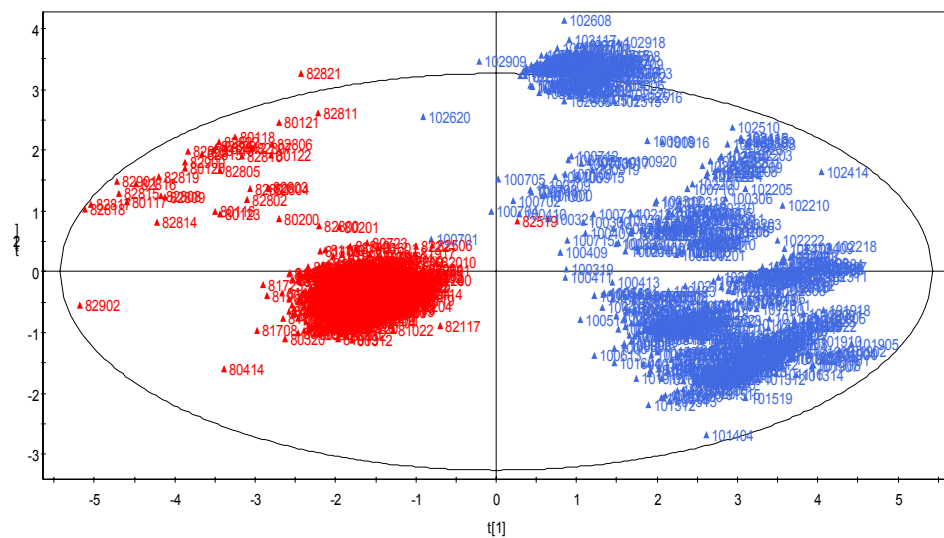
Yhdistettyyn elo- ja lokakuun dataan sovitettiin kolmen pääkomponentin malli, missä ensimmäinen komponentti selitti 33.8 %, toinen 19.6 % ja kolmas 17.4 % aineiston sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 15 ja havaintoja yhteensä 1230, joista havainnot 1-658 edustivat elokuuta ja havainnot 659-1230 lokakuuta. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, pintaa ja huulen asentoa, kuivan massan neliöpainoa ja kuuman ja lämpimän kiertoveden virtausta 1-valkaisimossa. Toinen pääkomponentti kuvasi nippipaineita, etenkin esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Kolmas pääkomponentti kuvasi perälaatikon painetta, koneen ajonopeutta ja 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipainetta. Kuvassa 48 on esitetty elo- ja lokakuun datasta lasketun diskriminoivan PLS-mallin muuttujien lataukset ja havaintojen piste arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Piste arvo kuvaajassa punaiset pisteet ovat elokuun piste arvoja ja siniset lokakuun piste arvoja.

eloloka.M1 (PLS), 15muutt., Work set
Loadings: w[1]/w[2]



Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-05 13:38

eloloka.M1 (PLS), 15muutt., Work set
Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)

Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-05 13:38

Kuva 48. Elo- ja lokakuun diskriminoivan PLS:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Punaiset pisteet ovat elokuun ja siniset lokakuun piste-arvoja. Punaisten pisteiden kaksi ensimmäistä ja sinisten pisteiden kolme ensimmäistä numeroa kertovat päivämäärän ja molempien kaksi viimeistä tunnin.

Kuvasta 48 havaitaan, että elokuu ja lokakuu jakautuvat selkeästi omiksi ryhmikseen. Elokuun piste-arvot ovat yhtä lukuun ottamatta ellipsin pystyakselin vasemmalla ja lokakuun piste-arvot kolmea lukuun ottamatta ellipsin pystyakselin oikealla puolella. Elokuun piste-arvojen sijoittumista ellipsin vasempaan laitaan selittänee muuttujien latausten perusteella perälaatikon pinta ja lämpimän kiertoveden virtaus 1-valkaisimolla ja jossain määrin myös kuivan massan neliöpaino. Elokuussa oli kaksi katkoa 6. päivänä ja yksi katko 11. päivänä. Piste-arvot juuri ennen näitä katkoja ja juuri niiden jälkeen sijoittuvat elokuun tiiviiseen pääryhmään. Elokuun piste-arvoista erottuu omaksi hajanaiseksi ryhmäkseen 28. ja 29. päivän piste-arvot, mikä selittynee koneen hallitulla alasajolla 29. päivä klo 3:45 syysseisokkia varten. Lokakuun piste-arvot jakautuvat kolmeen ryhmään, joista kuvassa 48 alimpana olevassa pääryhmässä on piste-arvot 4:stä 22:een päivään. Tätä ryhmää selittänee muuttujien latausten perusteella koneen ajonopeus ja esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet ja vähäisemmissä määrin perälaatikon paine ja huulen asento, kuivan massan kuiva-ainepitoisuus ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet. Kuvassa 48 esitettyjen piste-arvojen ylimpänä olevassa ryhmässä on piste-arvot lokakuun 26:sta 31:een päivään ja tätä ryhmää selittänee muuttujien latausten perusteella 1-valkaisimon 5-suotimelta lähtevän massan vaaleus. Katkoja lokakuussa oli 36 kappaletta ja ne jakautuvat tasaisesti koko kuukaudelle lukuun ottamatta kuukauden ensimmäistä viikkoa, mikä oli katkoton.

7 UUDEN DATAN KERÄÄMINEN

XIS-tiedonkeruujärjestelmästä haetun datan lisäksi katkoille etsittiin selityksiä tutkimalla KK4:n kiertovesiä ja KK4:llä tuotettuja selluarkkeja.

7.1 Näytteenotto KK4:n kiertovesistä

Kiertovesistä otettiin kaksi näytesarjaa; ensimmäinen tammikuun 13. päivä ja toinen maaliskuun 23. päivä vuonna 2000. Näytteenottopisteet olivat samat kummassakin sarjassa. Alaviiran läpi suotautuneesta vedestä otettiin näytteet kolmannen ja neljännen märkäimulaatikon välistä viirapöydän alla olevasta vedenkeräys-altaasta, mihin märkäimulaatikoiden kautta rainasta poistettu vesi kerätään ennen sen johtamista viirakaivoon. Yläviiran läpi suotautuneesta vedestä otettiin näytteet 1. viirapuristimen ylätelan telakaavarin vesikaukalon poistoputken alapäästä. Kummassakin näytesarjassa otettiin näytteitä kustakin näytteenottopisteestä tunnin välein kahdentoista tunnin ajan.

Tammikuun 13. päivän näytesarjan ensimmäiset näytteet otettiin klo 11. Tuolloin kuivattavaa massaa oltiin juuri vaihtamassa mäntymassasta koivumassaksi ja massassa oli vielä mäntyä mukana. Massa oli täysin vaihtunut koivumassaksi klo 11:25. Ensimmäinen katko tapahtui klo 11:46 ja sen syy oli massarainan tarttuminen yläviiraan. Katkon jälkeen ajot saatiin uudelleen päälle koivumassalla klo 13:45. Toinen katko tapahtui klo 15:15 ja sen syy oli myös yläviiraan tarttuminen. Toisen katkon jälkeen ajot saatiin päälle klo 17:40. Kuivattava massa vaihdettiin mäntymassaksi klo 16 jälkeen, joten koivumassan ajoa edustavat klo 12, klo 13, klo 14, klo 15 ja klo 16 otetut näytteet. Ajojen ollessa poikki kuivauskoneen viiraosaa ajetaan normaalisti. Raina johdetaan pysähdyksissä

olevien huopapuristimien ja puhallinkuivattimen sijaan huopapuristimien alapuolella olevaan märkämässapulppiin.

Maaliskuun 23. päivän näytesarjan ensimmäiset näytteet otettiin klo 7:30. Tuolloin kuivattava massa oli mäntyä. Massa vaihdettiin koivumassaksi sen jälkeen, kun kolmannet näytteet oli otettu klo 9:30. Koivumassan ajoa jatkettiin näytesarjan loppuun asti. Viimeiset näytteet otettiin klo 18:30 ja heti niiden ottamisen jälkeen klo 18:35 raina tarttui yläviiraan aiheuttaen katkon. Tämän näytesarjan klo 10:30 ja sen jälkeen otetut näytteet siis edustavat koivumassan ajoa.

7.2 Kiertovesinäytteiden analyysit

Kiertovesinäytteistä analysoitiin johtokyky, pH, kokonaisuuteaineiden pitoisuus, rasva- ja hartsihappojen, steryyliesterien, triglyseridien, lignaanin (vain tammikuun sarjasta) ja sterolien (vain maaliskuun sarjasta) pitoisuudet, kokonaishiilihydraattipitoisuus, galaktoosin, glukoosin, mannoosin, arabinoosin, ksyloosin, galakturonihapon ja glukuronihapon pitoisuudet, haihdutusjäännös 105 °C:ssa, hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa, sameus, TOC, kalsiumpitoisuus ja sulfaattipitoisuus.

7.3 PCA-mallit kiertovesinäytteiden analyysidatasta

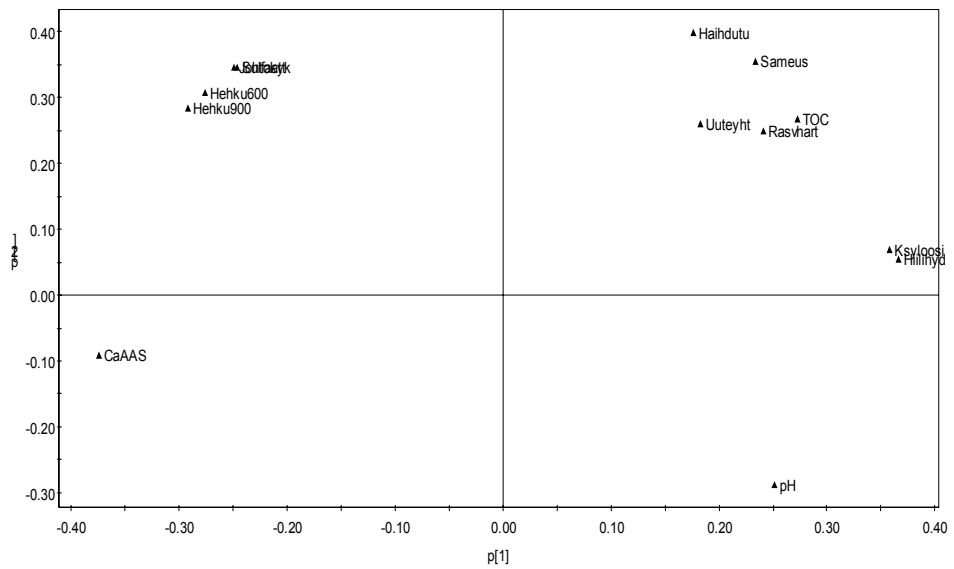
Kiertovesinäytteistä tehtyjen analyysien tulokset käytiin ensin läpi yksitellen. Ne muuttujat, joiden vaihtelulla ei näyttänyt olevan mitään yhteyttä katkoihin ja ne muuttujat, joissa ei ollut merkittävää vaihtelua jätettiin mallinnuksien ulkopuolelle. Analyysitulosten yksimuuttujaisesta tarkastelusta tarkemmin kappaleessa 7.6. Myös näiden mallien sovitukseen käytettiin Autofit-toimintoa, eli optimaalinen pääkomponenttien lukumäärä määrittyi ristivalidoinnin perusteella. Kiertovesinäytteiden analyysitulokset ja niistä tehdyt PCA-mallit on esitetty liitteenä I olevalla CD-levyllä.

Tammikuun kiertovesinäytesarjan analyysidataan sovitettiin neljän pääkomponentin malli, missä ensimmäinen pääkomponentti selitti 48.5 %, toinen 39.2 %, kolmas 7.3 % ja neljäs 2.3 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 13 ja ne olivat johtokyky, pH, kokonaisuuteaineiden, rasva- ja hartsihappojen, hiilihydraattien ja ksyloosin pitoisuudet, haihdutusjäännös 105 °C:ssa, hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa, sameus, TOC, kalsiumpitoisuus ja sulfaattipitoisuus. Havaintoja mallissa oli 10 eli malliin otettiin mukaan vain koivumassan ajoa edustanut jakso. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi kaikkia muuttujia, joskin voimakkaimmin hiilihydraatti-, ksyloosi- ja kalsiumpitoisuutta. Toinen pääkomponentti kuvasi kaikkia muita muuttujia paitsi hiilihydraatti-, ksyloosi- ja kalsium-pitoisuutta. Kolmas pääkomponentti kuvasi voimakkaimmin kokonaisuuteainepitoisuutta ja sen lisäksi rasva- ja hartsihappojen, hiilihydraattien ja ksyloosin pitoisuuksia. Neljäs pääkomponentti kuvasi TOC:ta. Kuvassa 49 on esitetty tammikuun kiertovesinäytesarjan PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa.

Kuvassa 49 esitetyistä muuttujien latauksista havaitaan, että keskenään korreloivat muuttujat erottuvat omiksi ryhmikseen. Kuvassa vasemmalla ylhäällä ovat johtokyky, sulfaattipitoisuus ja hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa omana ryhmänään ja oikealla ylhäällä haihdutusjäännös 105 °C:ssa, sameus, kokonaisuuteaine-pitoisuus, TOC ja rasva- ja hartsihappopitoisuus omana ryhmänään. Lisäksi havaitaan, että ksyloosipitoisuus korreloi hiilihydraattipitoisuuden kanssa, mikä on selvää ilman monimuuttujaista tarkasteluakin.

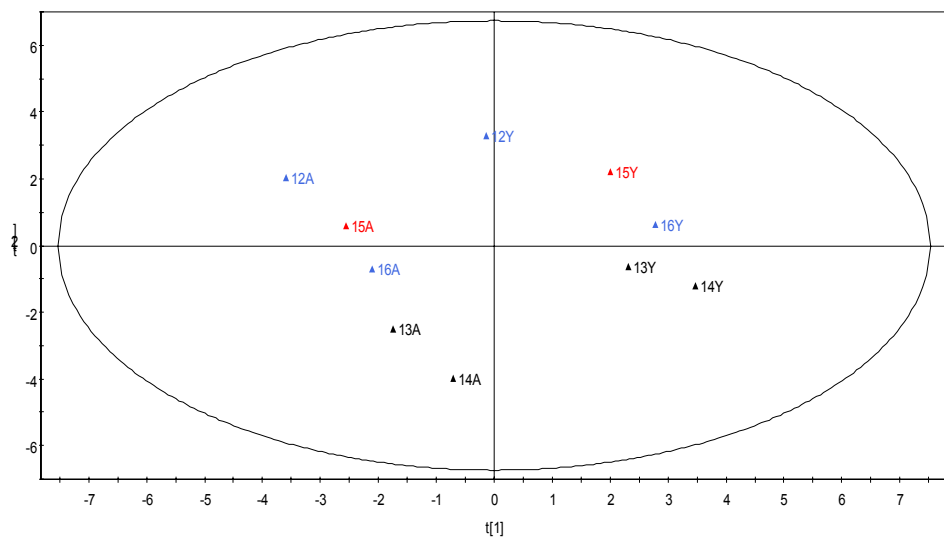
Kuvassa 49 esitetyistä havaintojen pistearvoista havaitaan, että yläviiran ja alaviiran suodosten pistearvot erkanevat toisistaan. Tämä johtunee siitä, että ylä- ja alaviiran suodosten näytteenottopisteet olivat koneen pituussuunnassa eri kohdissa. Alaviiran suodosten näytteenottopiste oli matalasakeusvaiheella ja yläviiran suodosten piste korkeasakeusvaiheella (vrt. kpl 2.4.1). Katkoja edeltäneet ja niiden jälkeiset pisteet eivät ole selvästi erillään muista pisteistä, joten tämän PCA-mallin kahden ensimmäisen pääkomponentin perusteella ei katkoille löytynyt selvää selitystä.

1301vesi.M3 (PC), 13muutt., Work set
 Loadings: p[1]/p[2]



Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-07 11:29

1301vesi.M5 (PC), 13muutt., Work set
 Scores: t[1]/t[2]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
 Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-07 11:46

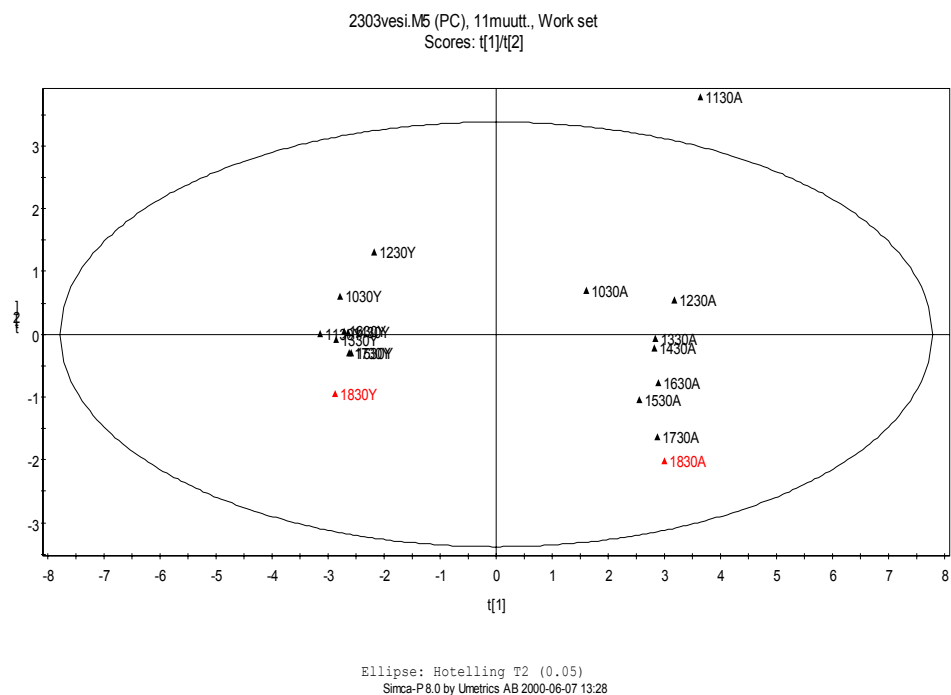
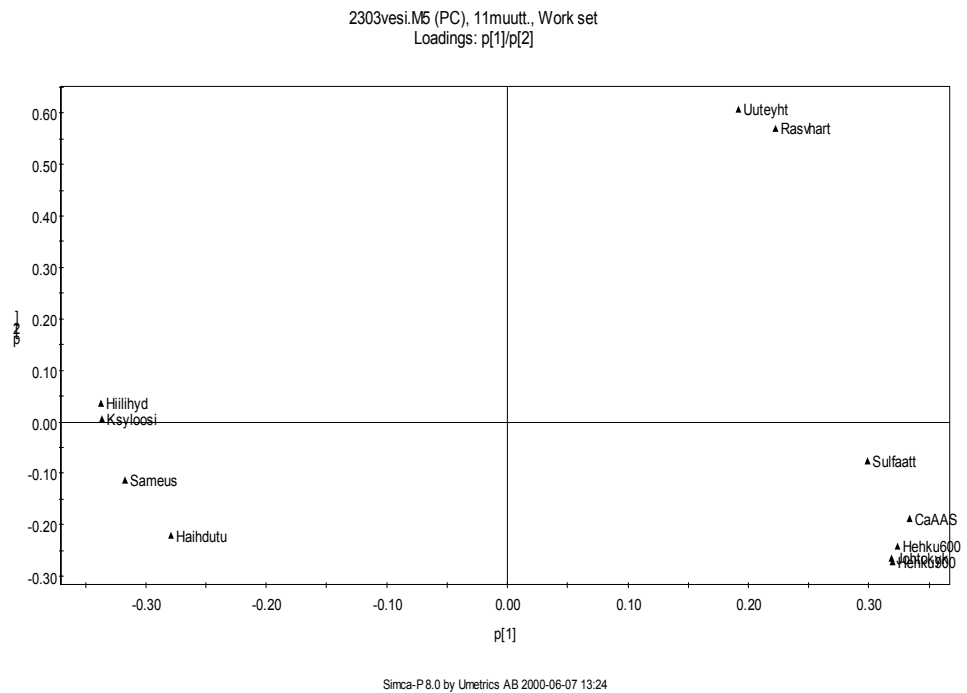
Kuva 49. Tammikuun kiertovesinäytesarjan PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste- arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Punaisella merkityt pisteet edustavat tilannetta juuri ennen ratakatkkoa ja sinisellä merkityt tilannetta juuri katkon jälkeen. Pisteiden numerot kertovat näytteenottohetken ja kirjaimet sen, onko kyseessä yläviiran (Y) vai alaviiran (A) suodos.

Maaliskuun kiertovesinäytesarjan analyysidataan sovitettiin neljän pääkomponentin malli, missä ensimmäinen pääkomponentti selitti 75.6 %, toinen 14.5 %, kolmas 7.2 % ja neljäs 1.4 % datan sisältämästä vaihtelusta. Muuttujia mallissa oli 11 ja ne olivat johtokyky, kokonaisuuteaineiden, rasva- ja hartsihappojen, hiilihydraattien ja ksyloosin pitoisuudet, haihdutusjäännös 105 °C:ssa, hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa, sameus, kalsiumpitoisuus ja sulfaattipitoisuus. Havaintoja mallissa oli 18 eli malliin otettiin mukaan vain koivumassan ajoa edustanut jakso. Ensimmäinen pääkomponentti kuvasi kaikkia muuttujia, joskin kokonaisuuteainepitoisuutta ja rasva- ja hartsihappojen pitoisuutta heikommin kuin muita. Toinen pääkomponentti kuvasi pääasiassa kokonaisuuteainepitoisuutta ja rasva- ja hartsihappojen pitoisuutta. Kolmas pääkomponentti kuvasi pääasiassa haihdutusjäännöstä 105 °C:ssa. Neljäs pääkomponentti kuvasi sulfaattipitoisuutta. Kuvassa 50 on esitetty maaliskuun kiertovesinäytesarjan PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste- arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa.

Kuvassa 50 esitetyistä muuttujien latauksista havaitaan samankaltainen keskenään korreloivien muuttujien erottuminen omiksi ryhmikseen kuin kuvasta 49. Ensimmäisessä keskenään korreloivien muuttujien ryhmässä ovat hiilihydraattipitoisuus, ksyloosipitoisuus, sameus ja haihdutusjäännös 105 °C:ssa. Toisessa keskenään korreloivien muuttujien ryhmässä ovat sulfaattipitoisuus, kalsiumpitoisuus, hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa ja johtokyky. Lisäksi muuttujien latauksista havaitaan, että kokonaisuuteainepitoisuus korreloi rasva- ja hartsihappopitoisuuden kanssa.

Kuvassa 50 esitetyistä havaintojen piste- arvoista nähdään, kuinka yläviiran ja alaviiran suodosten piste- arvot erkanevat toisistaan. Tämä johtunee siitä, että ylä-

ja alaviiran suodosten näytteenottopisteet olivat koneen pituussuunnassa eri kohdissa. Alaviiran suodosten näytteenottopiste oli matalasakeusvaiheella ja ylaviiran suodosten piste korkeasakeusvaiheella (vrt. kpl 2.4.1). Katkoa edeltäneet pisteet eivät ole selvästi erillään muista pisteistä, joten tämän PCA-mallin kahden ensimmäisen komponentin perusteella ei katkoille löytynyt selvää selitystä.



Kuva 50. Maaliskuun kiertovesinäytesarjan PCA:n muuttujien lataukset ja havaintojen piste-arvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkinnät ks. kuva 49.)

7.4 Selluarkkinäytteiden analyysit

Maaliskuun 23. päivä otetun kiertovesinäytesarjan yhteydessä otettiin myös selluarkeista näytesarja. Välittömästi jokaisten tunnin välein otettujen kiertovesinäytteiden jälkeen otettiin paalipöydältä yksi selluarkkinäyte. Kolme ensimmäistä arkinäytettä olivat mäntysellua ja loput koivusellua. Neljänsien kiertovesinäytteiden yhteydessä eli klo 10:30 ei arkinäytettä voitu ottaa, koska massan vaihdosta johtuen kyseisellä hetkellä ajettu sekamassa johdettiin puhallinkuivattimelta suoraan kuivamassapulperiin arkkileikkurin sijaan.

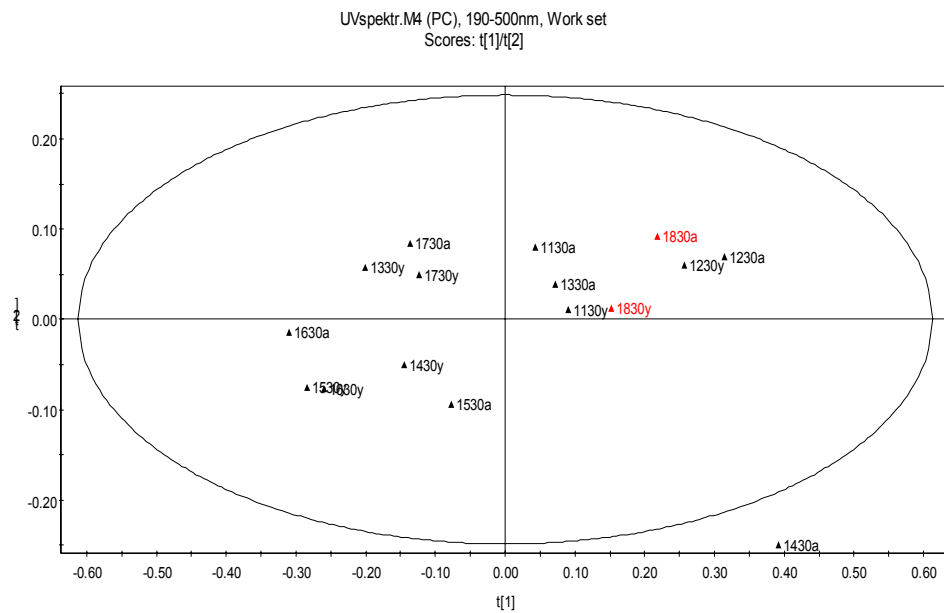
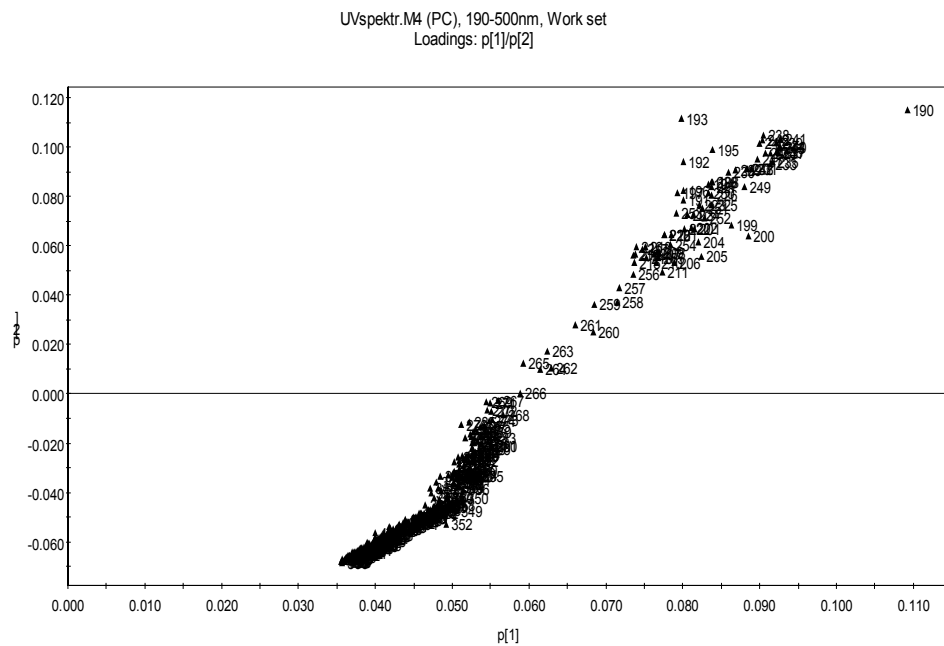
Jokaisen koivuarkin molemmilta pinnoilta määritettiin UV-spektrit aallonpituusalueella 190-500 nm. Tällä tavoin etsittiin ylä- ja alapinnan väliltä mahdollisia eroja, mitkä selittäisivät rainan tarttumisen juuri yläviiraan. Lisäksi tutkittiin erottuuko juuri ennen katkoa otettu selluarkkinäyte muista näytteistä. Selluarkkinäytteistä määritetyt UV-spektrit ja niistä tehdyt PCA-mallit on esitetty liitteenä I olevalla CD-levyllä.

7.5 PCA-mallit selluarkkinäytteiden UV-spektreistä

Sovitettaessa PCA-malleja UV-spektrien dataan kappaleessa 6.2 esitetyn automaattisesti tapahtuvan datan autoskaalauksen sijaan käytettiin tässä tapauksessa keskitystä. Mallit sovitettiin Autofit-toiminnolla, mikä sovittaa ristivalidoinnin avulla aineistoon optimaalisen määrän pääkomponentteja.

UV-spektrien dataan sovitettiin kaksi PCA-mallia, joista ensimmäisessä käytettiin muuttujina 311 aallonpituutta välillä 190-500 nm. Havaintoja tässä kuuden pääkomponentin mallissa oli 16 eli jokaisen koivuselluarkin ylä- ja alapinta

erikseen. Ensimmäinen pääkomponentti selitti 82.4 %, toinen 13.5 %, kolmas 2.7 %, neljäs 0.6 %, viides 0.3 % ja kuudes 0.1 % datan sisältämästä vaihtelusta. Kuvassa 51 on esitetty tämän mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa.



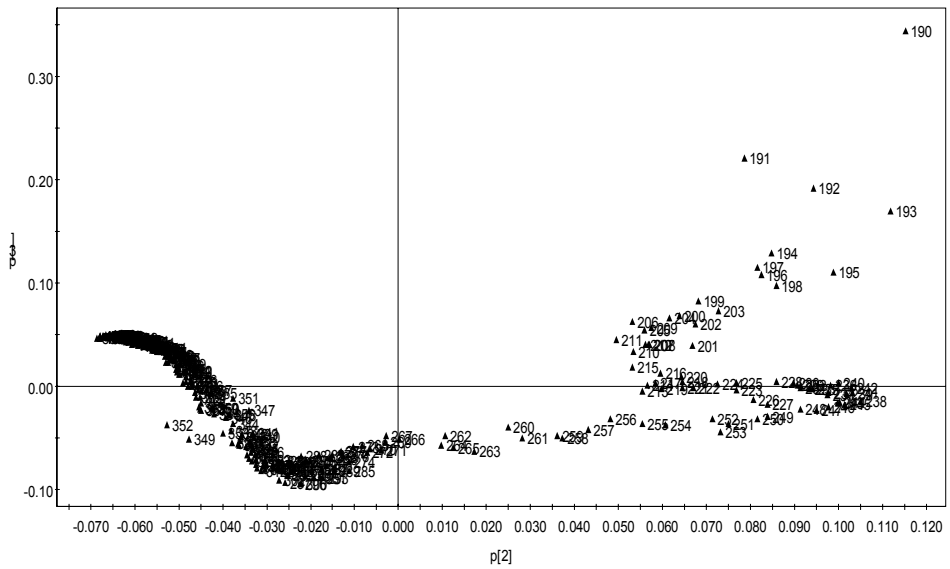
Kuva 51. UV-spektridatan 311 muuttujan mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. Latauspisteiden numerot kertovat aallonpituuden nanometreinä. Punaisella merkityt pistearvopisteet edustavat tilannetta juuri ennen ratakatkoa. Pistearvopisteiden numerot kertovat näytteenottohetken ja kirjaimet sen, onko kyseessä selluarkin yläpinta (Y) vai alapinta (A).

Kuvasta 51 havaitaan, että selluarkkien ylä- ja alapintojen pistearvot eivät erottuneet omiksi ryhmikseen. Tämän perusteella ylä- ja alapintojen välillä ei ole merkittäviä eroja mitkä selittäisivät rainan tarttumisen yläviiraan. Lisäksi havaitaan, että juuri ennen katkoa otetun selluarkkinäytteen pistearvot eivät erottuneet muusta pistearvojoukosta. Muuttujien latauksista nousee kuitenkin esiin 190 nm aallonpituutta edustava piste ja tämä antaa aiheita tarkastella vielä mallin muita pääkomponentteja. Kuvassa 52 on esitetty 311 muuttujan mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot toisessa ja kolmannessa pääkomponentissa.

Kuvasta 52 havaitaan, että muuttujien latauksista erottuu 190 nm aallonpituutta edustava piste muista voimakkaammin kuin kuvassa 50. Kuvassa 52 esitetyistä havaintojen pistearvoista piste 1830Y on muista pisteistä erillään ja sen lisäksi ellipsin ulkopuolella. Tämä piste edustaa sellurainan yläpintaa juuri ennen katkoa. Näiden seikkojen perusteella sellurainan yläpinnassa on juuri ennen katkoa ollut jotain sellaista, mikä absorboi UV-säteilyä 190 nm aallonpituudella.

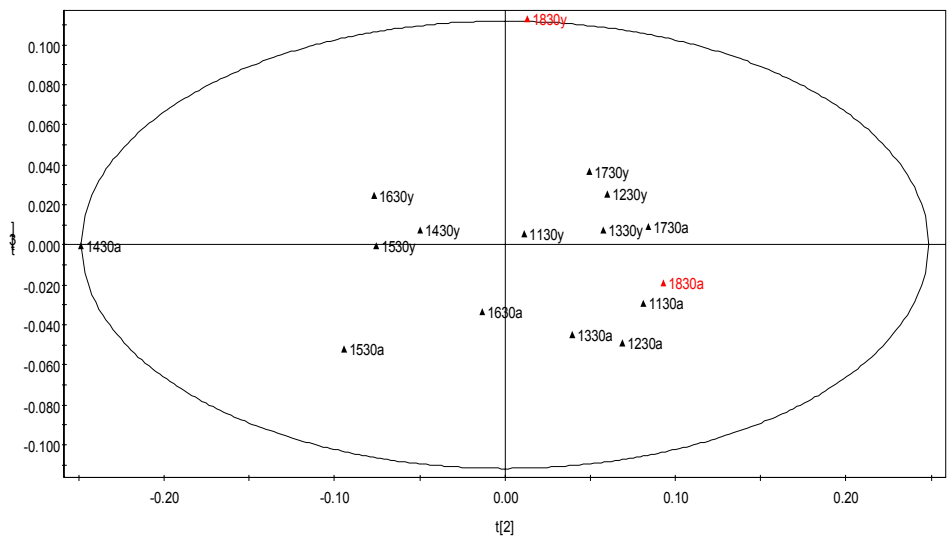
Toisessa UV-spektriin dataan sovitetussa mallissa muuttujina käytettiin 61 aallonpituutta välillä 190-250 nm. Havaintoja tässä viiden pääkomponentin mallissa oli 16 eli jokaisen koivuselluarkin ylä- ja alapinta erikseen. Ensimmäinen pääkomponentti selitti 95.7 %, toinen 2.5 %, kolmas 0.7 %, neljäs 0.3 % ja viides 0.2 % datan sisältämästä vaihtelusta. Kuvassa 53 on esitetty 61 muuttujan mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa.

UVspektr.M4 (PC), 190-500nm, Work set
 Loadings: p[2]/p[3]



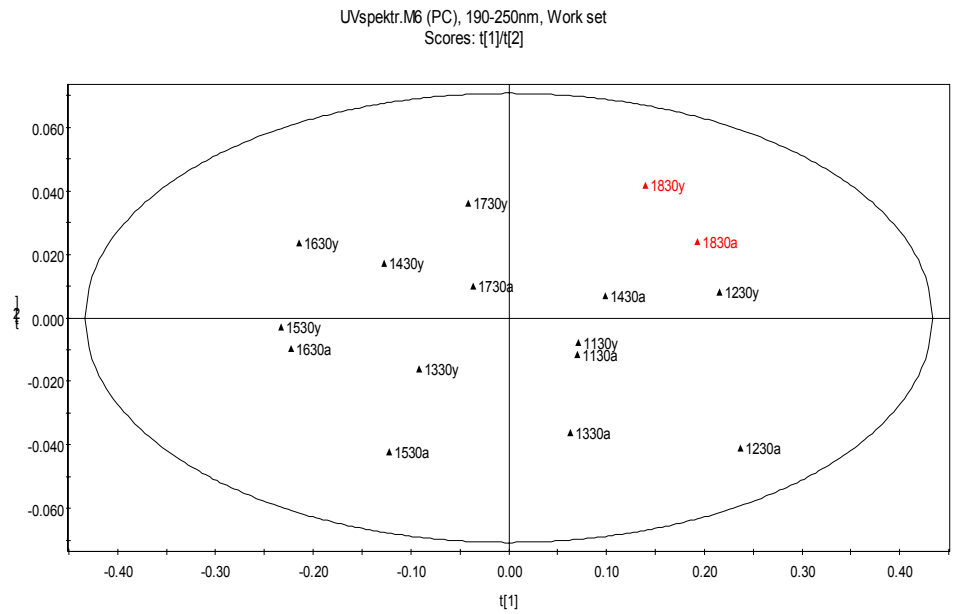
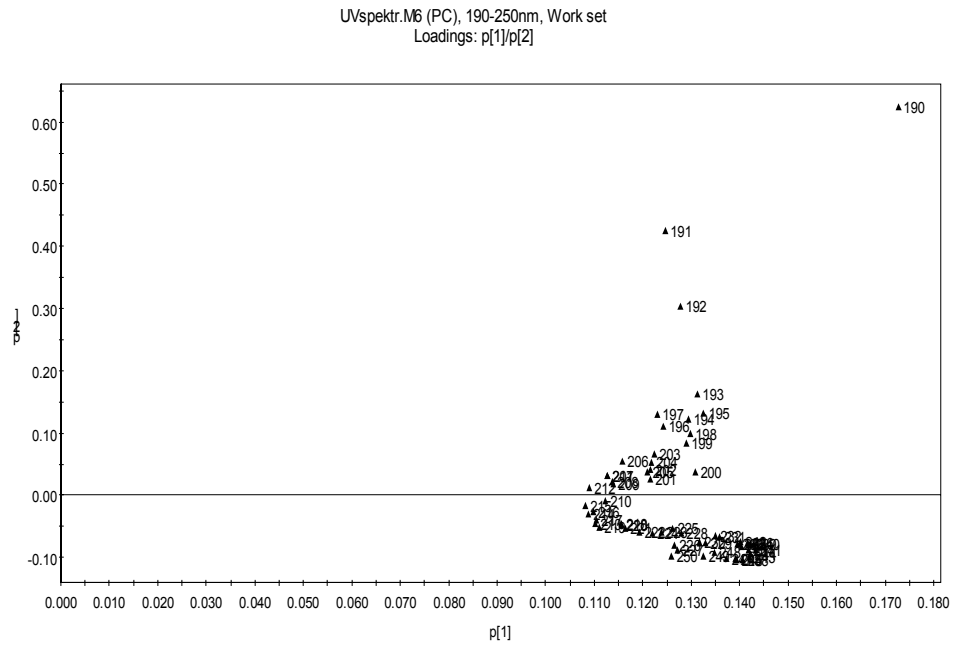
Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-13 14:39

UVspektr.M4 (PC), 190-500nm, Work set
 Scores: t[2]/t[3]



Ellipse: Hotelling T2 (0.05)
 Simca-P 8.0 by Umetrics AB 2000-06-13 14:40

Kuva 52. UV-spektridatan 311 muuttujan mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot toisessa ja kolmannessa pääkomponentissa. (Merkin-
nät ks. kuva 51.)



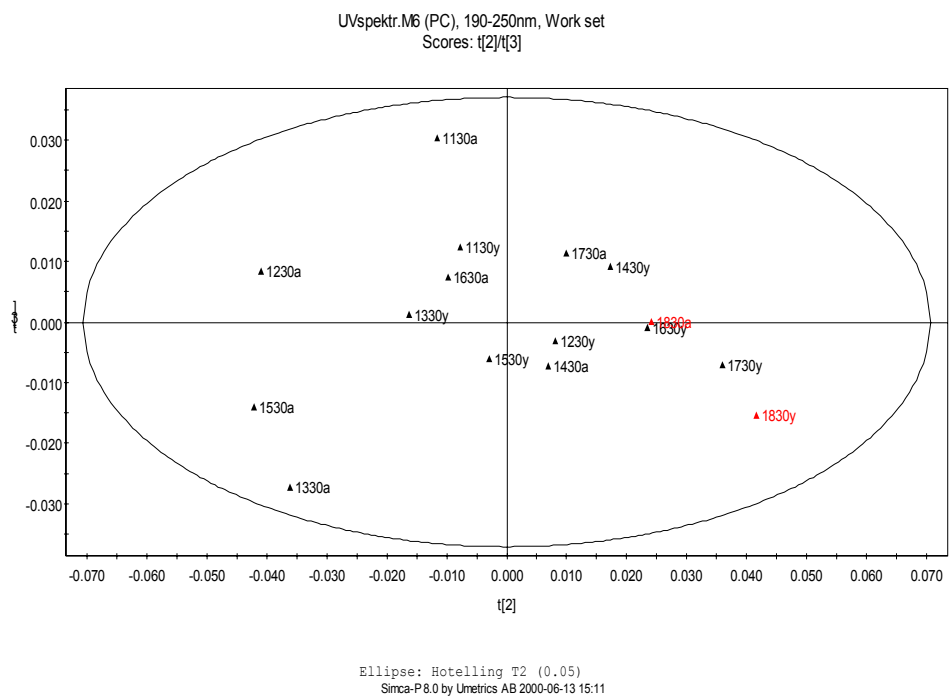
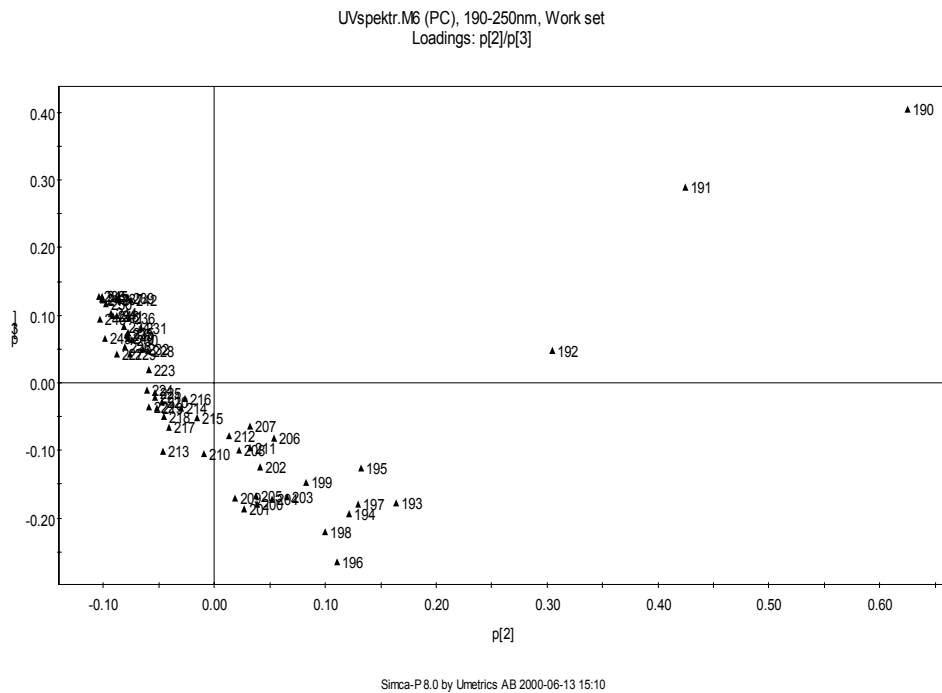
Kuva 53. UV-spektridatan 61 muuttujan mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot ensimmäisessä ja toisessa pääkomponentissa. (Merkin­nät ks. kuva 51.)

Kuvasta 53 havaitaan, että selluarkkien ylä- ja alapintojen pistearvot eivät erottuneet omiksi ryhmikseen. Tämän perusteella ylä- ja alapintojen välillä ei ole merkittäviä eroja mitkä selittäisivät rainan tarttumisen yläviiraan. Lisäksi havaitaan, että juuri ennen katkoa otetun selluarkkinäytteen pistearvot eivät erottuneet muusta pistearvojoukosta. Muuttujien latauksista nousee kuitenkin esiin 190 nm aallonpituutta edustava piste vielä voimakkaammin kuin kuvissa 51 ja 52. Tämä antaakin aiheetta tarkastella myös 61 muuttujan mallin muita pääkomponentteja. Kuvassa 54 on esitetty 61 muuttujan mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot toisessa ja kolmannessa pääkomponentissa.

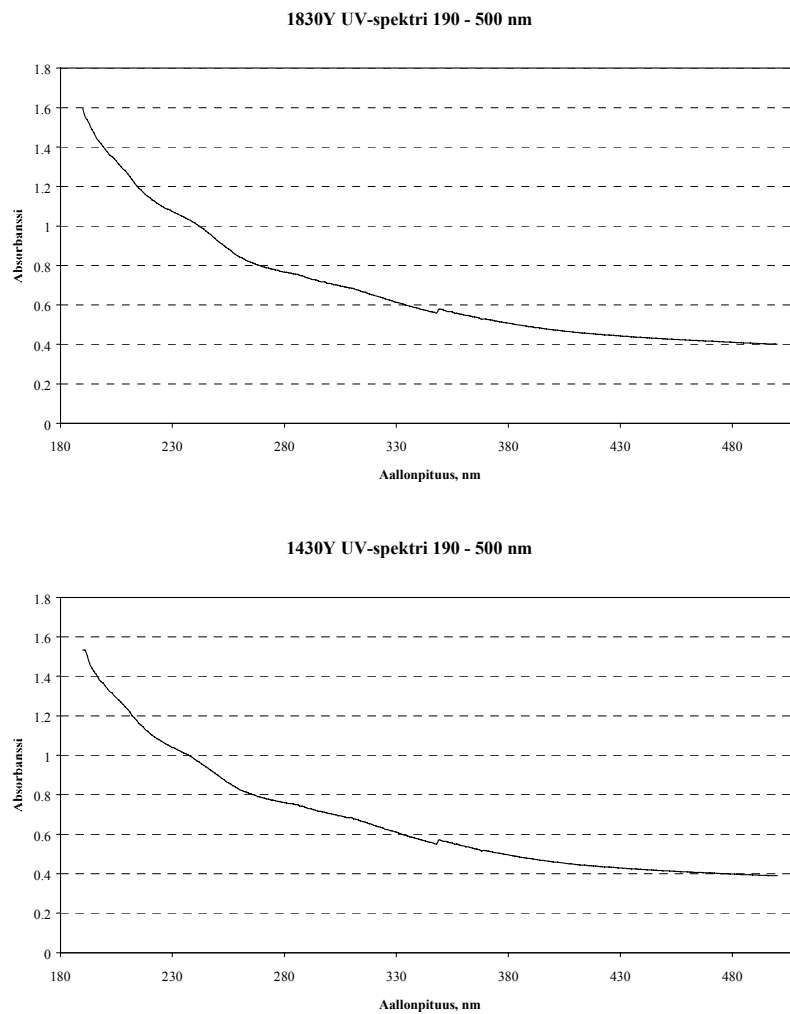
Kuvassa 54 esitetyistä muuttujien latauksista aallonpituuksia 190, 191 ja 192 nm edustavat pisteet ovat muista pisteistä erillään. Kuvassa 54 esitetyistä havaintojen pistearvoista ei kuitenkaan havaita samanlaista pisteen 1830Y erottumista muusta pistearvojoukosta. Kyseinen piste on tosin joukon laidalla mutta ellipsin sisäpuolella, eikä edes niin kaukana joukon keskustasta kuin piste 1330A. Näin ollen tästä mallista ei havaita vastaavaa yhteyttä pisteen 1830Y ja aallonpituuden 190 nm välillä kuin 311 muuttujan mallissa. Muuttujien latauksista esiin nousevien kolmen aallonpituuden perusteella tulee kuitenkin selvittää mikä selluarkissa absorboi UV-säteilyä juuri noilla aallonpituuksilla.

Kuvissa 51-54 esitettyjen muuttujien latausten perusteella etenkin aallonpituus 190 nm ja jossain määrin aallonpituudet 191 ja 192 nm erottuivat muista aallonpituuksista ja kuvassa 52 esitettyjen havaintojen pistearvojen perusteella klo 18:30 otetun selluarkkinäytteen yläpinta poikkesi muista näytteistä. Näistä seikoista huolimatta yksittäisiä spektrejä tarkasteltaessa ei niiden välillä havaittu merkittäviä eroja. Yhdessäkään spektrissä ei ollut muista poikkeavaa piikkiä

aallonpituudella 190 nm eikä klo 18:30 otetun selluarkkinäytteen yläpinnan spektri eronnut merkittävästi muista spektreistä. Kuvassa 55 on esitetty klo 14:30 ja 18:30 otettujen selluarkkinäytteiden yläpintojen UV-spektrit.



Kuva 54. UV-spektridatan 61 muuttujan mallin muuttujien lataukset ja havaintojen pistearvot toisessa ja kolmannessa pääkomponentissa. (Merkin-
nät ks. kuva 51.)

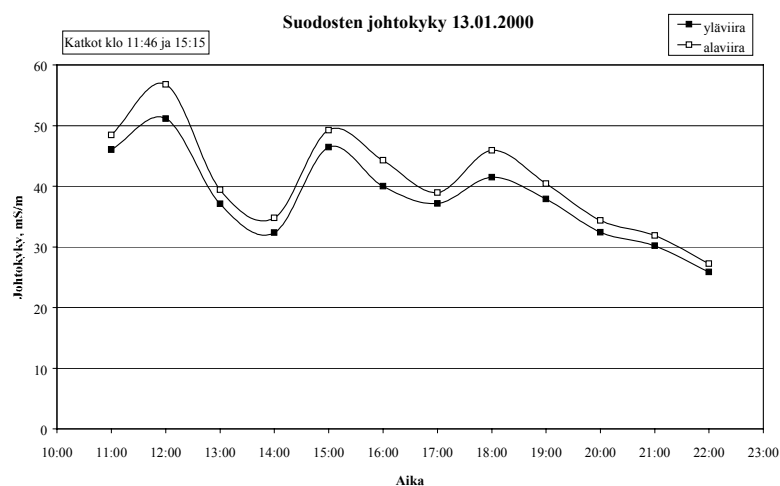


Kuva 55. UV-spektrit aallonpituusalueella 190-500 nm klo 14:30 ja 18:30 otettujen selluarkkinäytteiden yläpinnoista.

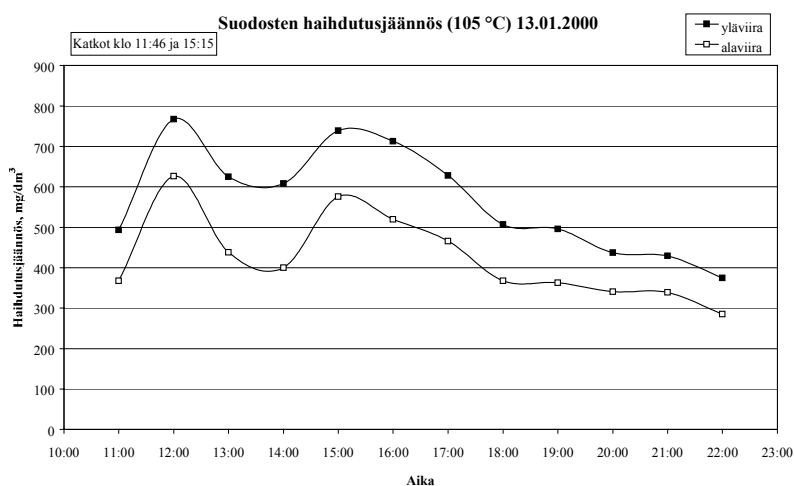
7.6 Kiertovesinäytteiden yksimuuttujainen tarkastelu

Tarkasteltaessa kiertovesinäytteiden analyysituloksia havaittiin, että osalla muuttujista näyttäisi olevan selkeä yhteys katkojen kanssa. Tällaisia muuttujia olivat johtokyky, haihdutusjännös 105 °C:ssa, hehkutusjännökset 600 ja 900 °C:ssa, sameus ja sulfaattipitoisuus. Seuraavassa on tarkasteltu näitä muuttujia yksitellen.

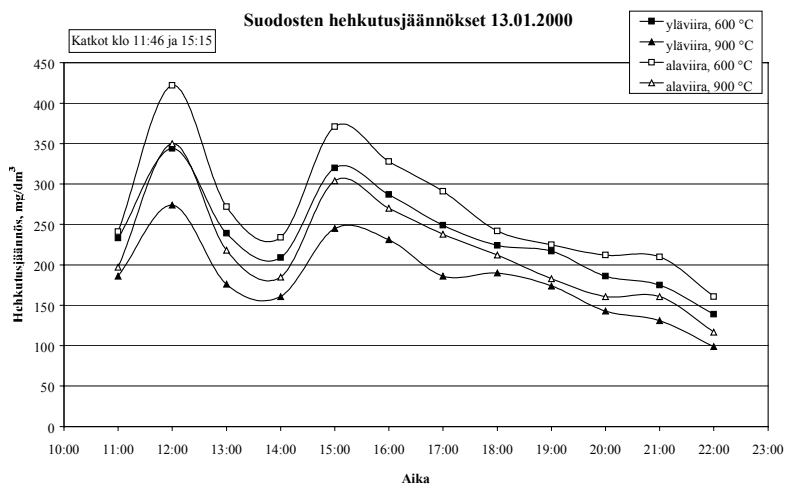
Tammikuun 13. päivä otetun kiertovesinäytesarjan ensimmäiset näytteet otettiin klo 11. Näytteitä otettiin tunnin välein, viimeiset klo 22. Kuivattavaa massaa oltiin vaihtamassa mäntymassasta koivumassaksi ja siinä oli vielä mäntyä mukana kun ensimmäiset näytteet otettiin. Massa oli täysin vaihtunut koivumassaksi klo 11:25. Ensimmäinen katko tapahtui klo 11:46 ja johtui massarainan tarttumisesta yläviiraan. Katkon jälkeen ajoa jatkettiin koivumassalla klo 13:45. Toinen katko tapahtui klo 15:15 ja johtui myös yläviiraan tarttumisesta. Toisen katkon jälkeen ajoa jatkettiin klo 17:40. Kuivattava massa vaihdettiin männyksi klo 16 jälkeen, joten koivumassan ajoa edustavat klo 12, klo 13, klo 14, klo 15 ja klo 16 otetut näytteet. Kuvissa 55-60 on esitetty tammikuussa otetuista kiertovesinäytteistä määritetty johtokyky, haihdutusjännös 105 °C:ssa, hehkutusjännökset 600 ja 900 °C:ssa, sameus ja sulfaattipitoisuus.



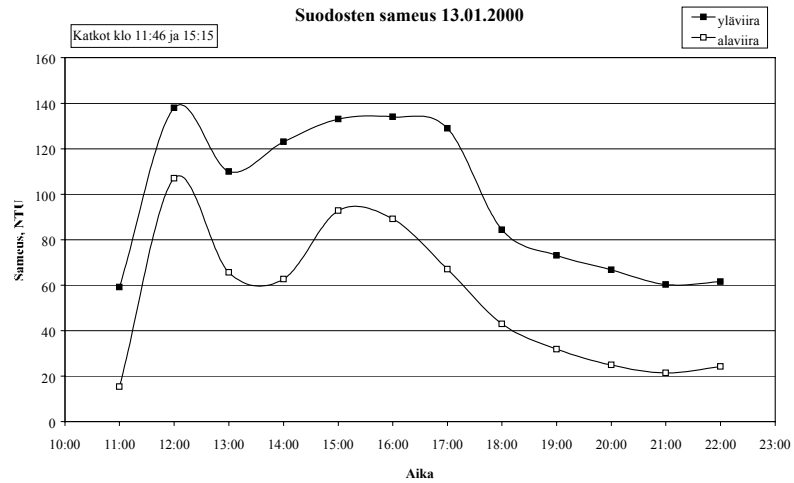
Kuva 56. Tammikuussa otettujen kiertovesinäytteiden johtokyky. Näytesarjaa otettaessa tapahtui kaksi katkoa, joista ensimmäinen klo 11:46 ja toinen 15:15.



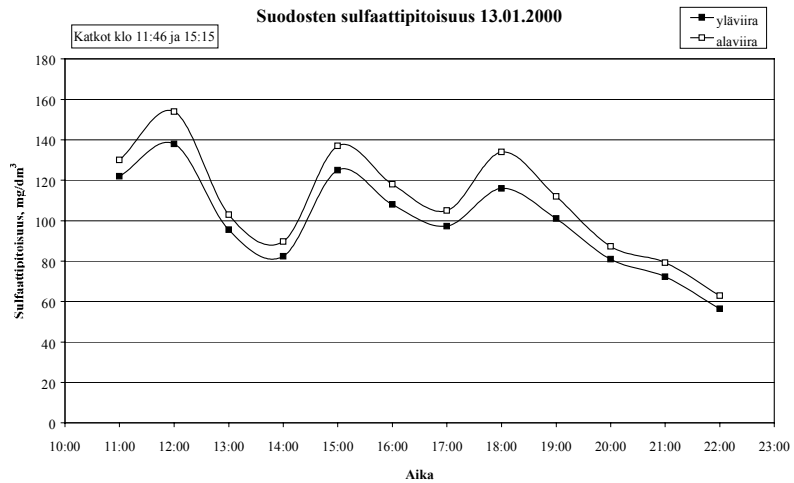
Kuva 57. Tammikuussa otettujen kiertovesinäytteiden haihdutusjäännös 105 °C:ssa. Näytesarjaa otettaessa tapahtui kaksi katkoa, joista ensimmäinen klo 11:46 ja toinen 15:15.



Kuva 58. Tammikuussa otettujen kiertovesinäytteiden hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa. Näytesarjaa otettaessa tapahtui kaksi katkoa, joista ensimmäinen klo 11:46 ja toinen 15:15.



Kuva 59. Tammikuussa otettujen kiertovesinäytteiden sameus. Näytesarjaa otettaessa tapahtui kaksi katkoa, joista ensimmäinen klo 11:46 ja toinen 15:15.



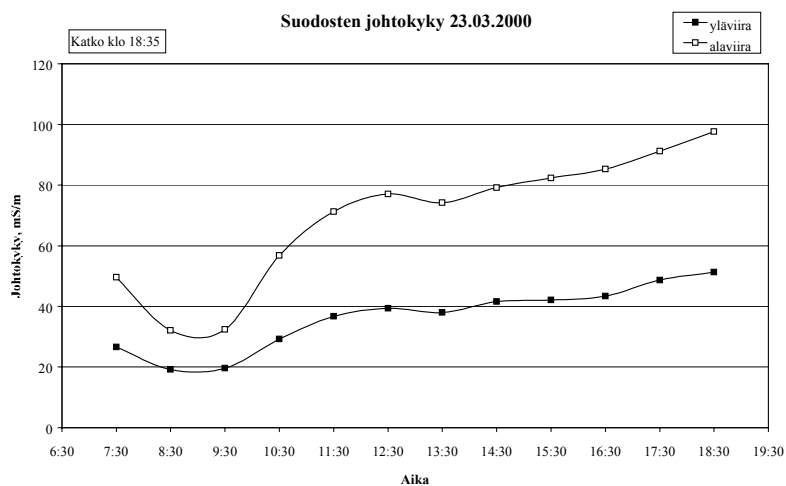
Kuva 60. Tammikuussa otettujen kiertovesinäytteiden sulfaattipitoisuus. Näytesarjaa otettaessa tapahtui kaksi katkoa, joista ensimmäinen klo 11:46 ja toinen 15:15.

Kuvista 56-60 havaitaan, että johtokyky, haihdutus- ja hehkutusjännökset, sulfaattipitoisuus ja etenkin sameus ovat koivumassan ajolla korkeammalla tasolla kuin mäntyajolla. Lisäksi havaitaan, että jokaisen kuuden muuttujan paikalliset

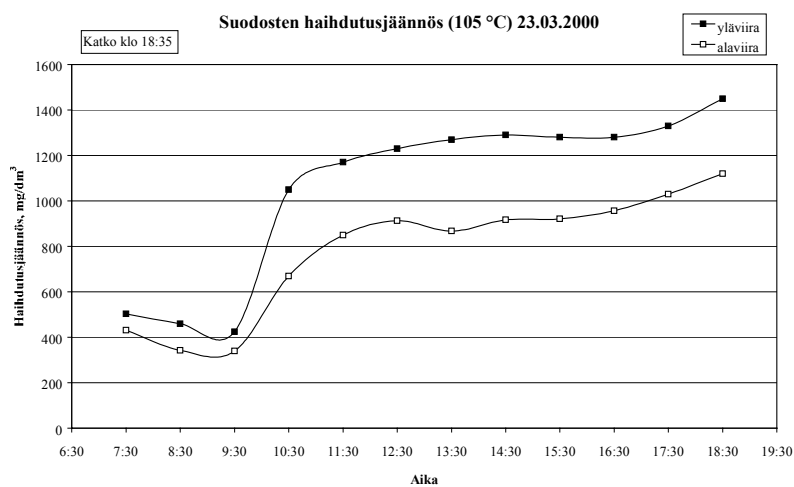
huippuarvot ja näytesarjaa otettaessa tapahtuneet katkot osuvat ajallisesti kohdakkain. Tämän perusteella kuivauskoneen kiertoveteen rikastuu koivumassan ajolla jotain, mikä nostaa veden johtokykyä ja sameutta ja lisää haihdutus- ja hehkutusjäännösten ja sulfaatin pitoisuutta.

Tammikuussa otettujen kiertovesinäytteiden analyysituloksista lasketun PCA-mallin muuttujien latausten perusteella todettiin, että johtokyky korreloi hehkutusjäännösten 600 ja 900 °C:ssa ja sulfaattipitoisuuden kanssa ja haihdutusjäännös korreloi sameuden kanssa. Kuvien 56-60 perusteella johtokyky on voimakkaimmin riippuvainen sulfaattipitoisuudesta, sillä johtokyvyssä ja sulfaattipitoisuudessa havaittavaa käyrien kolmatta huippua klo 18 kohdalla ei havaita haihdutus- ja hehkutusjäännöksissä eikä sameudessa.

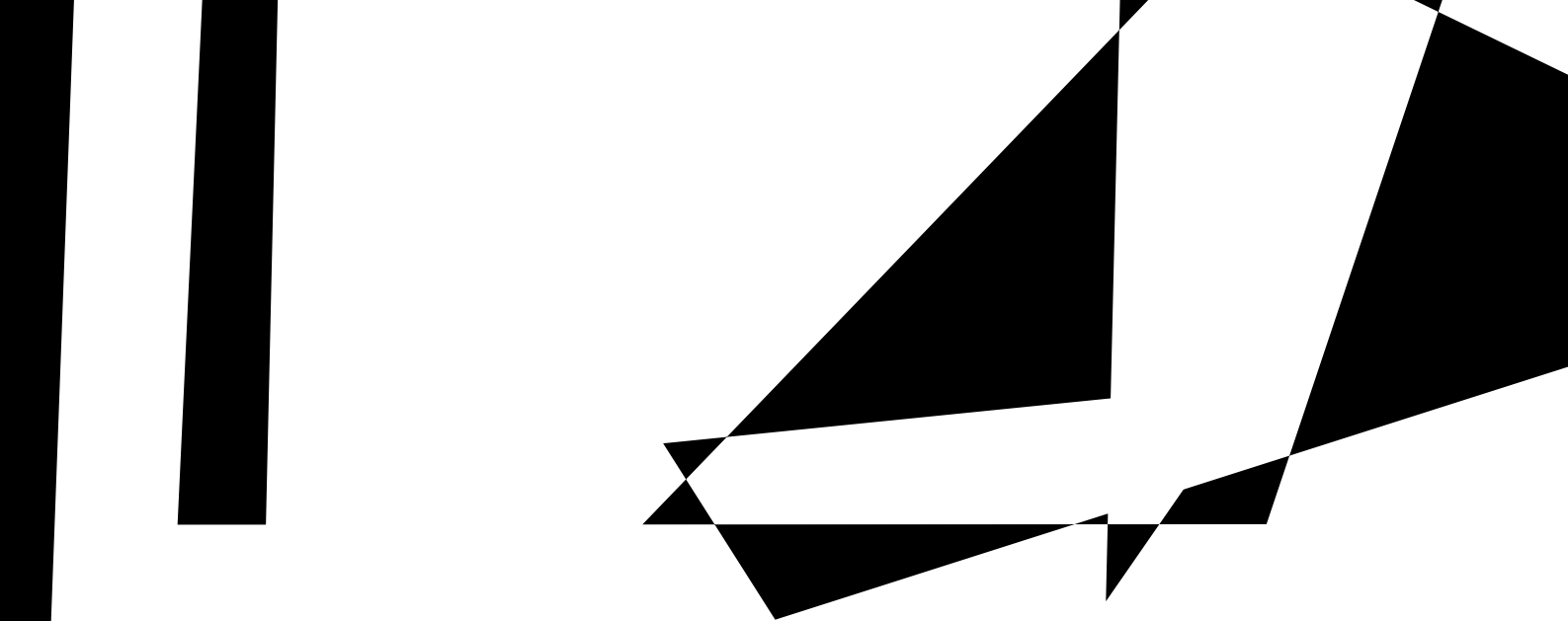
Maaliskuun 23. päivän näytesarjan ensimmäiset näytteet otettiin klo 7:30. Näytteitä otettiin tunnin välein, viimeiset klo 18:30. Kuivattava massa oli mäntymassaa kun ensimmäiset näytteet otettiin ja se vaihdettiin koivumassaksi sen jälkeen, kun kolmannet näytteet oli otettu klo 9:30. Koivumassan ajoa jatkettiin näytesarjan loppuun asti, eli klo 10:30 ja sen jälkeen otetut näytteet edustavat koivumassan ajoa. Viimeiset näytteet otettiin klo 18:30 ja heti niiden ottamisen jälkeen klo 18:35 raina tarttui yläviiraan aiheuttaen katkon. Kuvissa 61-65 on esitetty maaliskuussa otetuista kiertovesinäytteistä määritetty johtokyky, haihdutusjäännös 105 °C:ssa, hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa, sameus ja sulfaattipitoisuus.

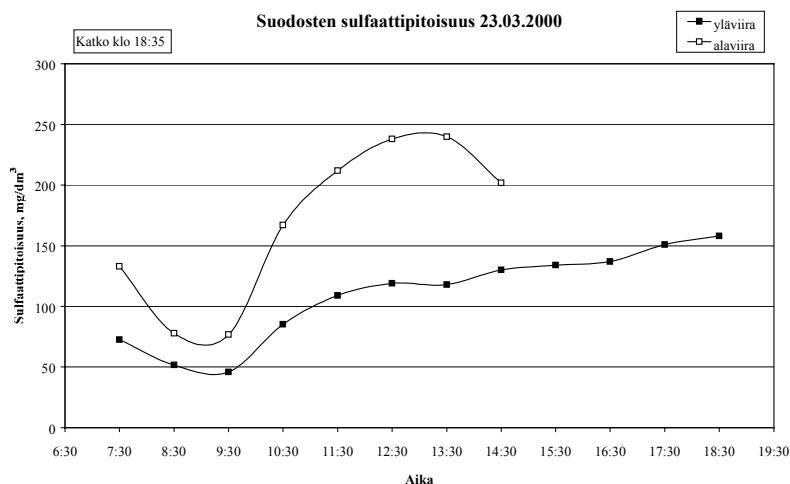


Kuva 61. Maaliskuussa otettujen kiertovesinäytteiden johtokyky. Näytesarjaa otettaessa tapahtui yksi katko klo 18:35.



Kuva 62. Maaliskuussa otettujen kiertovesinäytteiden haihdutusjäännös 105 °C:ssa. Näytesarjaa otettaessa tapahtui yksi katko klo 18:35.





Kuva 65. Maaliskuussa otettujen kiertovesinäytteiden sulfaattipitoisuus. Näytesarjaa otettaessa tapahtui yksi katko klo 18:35.

Kuvista 61-65 havaitaan, että johtokyky, haihdutus- ja hehkutusjäännökset, sulfaattipitoisuus ja sameus ovat koivumassan ajolla korkeammalla tasolla kuin mäntyajolla. Lisäksi havaitaan, että kaikki kuusi muuttujaa ovat nousujohteisia ennen katkoa. Etenkin ylaviiran suodosten sameus nousee voimakkaasti ennen katkoa. Myös tämän perusteella kuivauskoneen kiertoveteen rikastuu koivumassan ajolla jotain, mikä nostaa veden johtokykyä ja sameutta ja lisää haihdutus- ja hehkutusjäännösten ja sulfaatin pitoisuutta.

Maaliskuussa otettujen kiertovesinäytteiden analyysituloksista lasketun PCA-mallin muuttujien latauksista nähdään myös, että johtokyky korreloi hehkutusjäännösten 600 ja 900 °C:ssa ja sulfaattipitoisuuden kanssa ja haihdutusjäännös korreloi sameuden kanssa. Tämän ja tammikuun kiertovesinäytesarjan yhteydessä esitettyjen samanlaisten korrelaatioiden perusteella johtokyvyssä tapahtuvan nousun aiheuttaja on epäorgaanista ja sameudessa tapahtuvan nousun aiheuttaja orgaanista.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

XIS-tiedonkeruujärjestelmästä vuoden 1999 ajalta haetusta datasta tehtiin 13 PCA-mallia, yksi vuoden jokaista kuukautta kohti ja yksi koko vuotta kohti. Lisäksi tehtiin yksi diskriminoiva PLS-malli, minkä aineistona käytettiin koivumassan kuivauksen kannalta hyvänä jaksena elokuun dataa ja huonona jaksona lokakuun dataa. Näiden mallien perusteella ei KK4:llä koivumassaa kuivattaessa esiintyvälle palstautumisongelmalle löytynyt selkeää yksiselitteistä syytä.

PCA-mallien pääkomponentteja kuvaavat muuttujat vaihtelivat eri kuukausien välillä. Esimerkiksi huhtikuun ensimmäistä pääkomponenttia kuvasi perälaatikon pinta ja esipuristimen käyttöpuolen, 1. viira-puristimen käyttöpuolen ja 2.

viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet. Elokuun ensimmäistä pääkomponenttia kuvasi perälaatikon paine ja koneen ajonopeus. Huhtikuun toista pääkomponenttia puolestaan kuvasi perälaatikon paine, perälaatikon huulen asento ja koneen ajonopeus. Elokuun toista pääkomponenttia kuvasi 1. ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaine, kuivan massan kuiva-ainepitoisuus ja neliöpaino.

Mallit sovitettiin Simca-P 8.0 ohjelmiston Autofit-toiminnolla, mikä sovittaa aineistoon optimaalisen määrän pääkomponentteja ristivalidoinnin perusteella. Myös pääkomponenttien lukumäärä vaihteli PCA-mallien välillä tammi-, helmi- ja maaliskuun yhdestä pääkomponentista syys-, loka- ja joulukuun kuuteen pääkomponenttiin. Lisäksi mallien kokonaisselitysasteet vaihtelivat tammikuun mallin 16.7 %:sta syyskuun mallin 92.4 %:iin.

Koko vuoden ajalta lasketuista kymmenen tunnin keskiarvoista tehdyn PCA-mallin perusteella kuivausprosessin tila näyttää nykyisellään liikkuvan melko suurella alueella. Monimuuttujainen prosessin monitorointi auttaisi pitämään prosessin tilan vakaampana.

Elo- ja lokakuun datasta tehdyn kolmen pääkomponentin diskriminoivan PLS-mallin kokonaisselitysaste oli 70.8 %. Tämän mallin perusteella elokuu ja syyskuu erosivat selkeästi toisistaan. Elokuun datassa esiintynyttä vaihtelua selitti perälaatikon pinta ja lämpimän kiertoveden virtaus 1-valkaisimolla ja jossain määrin myös kuivan massan neliöpaino. Lokakuun datan vaihtelua selitti koneen ajonopeus, esipuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet ja 1-valkaisimon 5-suoti-melta lähtevän massan vaaleus ja vähäisemmissä määrin perälaatikon paine ja huulen asento, kuivan massan kuiva-ainepitoisuus ja 2. viirapuristimen hoito- ja käyttöpuolen nippipaineet.

KK4:ltä otettujen kiertovesinäytteiden analyysituloksista tehtyjen PCA-mallien perusteella havaittiin, että keskenään korreloivat muuttujat erottuivat omiksi ryhmikseen. Ensimmäisessä keskenään korreloivien muuttujien ryhmässä ovat johtokyky, hehkutusjäännökset 600 ja 900 °C:ssa, sulfaattipitoisuus ja kalsiumpitoisuus. Toisessa ryhmässä ovat haihdutusjäännös 105 °C:ssa, sameus,

kokonaisuuteainepitoisuus, TOC ja rasva- ja hartsihappopitoisuus. Lisäksi havaittiin, että ksyloosipitoisuus korreloi hiilihydraattipitoisuuden kanssa, mikä on selvää ilman monimuuttujaista tarkasteluakin.

KK4:ltä otettujen selluarkkinäytteiden ylä- ja alapinnoista määritettiin UV-spektrit aallonpituusalueella 190-500 nm. Tällä tavoin etsittiin ylä- ja alapinnan väliltä mahdollisia eroja, mitkä selittäisivät rainan tarttumisen yläviiraan. Lisäksi tutkittiin erottuuko juuri ennen katkoa otettu selluarkkinäyte muista näytteistä. UV-spektreistä tehtiin kaksi PCA-mallia, joista ensimmäisessä käytettiin muuttujina 311 aallonpituutta alueella 190-500 nm. Pääkomponentteja mallissa oli kuusi ja mallin kokonaisselitysaste oli 99.6 %. Toisessa mallissa käytettiin muuttujina 61 aallonpituutta alueella 190-250 nm. Pääkomponentteja tässä mallissa oli viisi ja mallin kokonaisselitysaste oli 99.5 %. Kummassakin mallissa etenkin aallonpituus 190 nm ja myös aallonpituudet 191 ja 192 nm erosivat muista muuttujista. Lisäksi ensimmäisen mallin toista ja kolmatta pääkomponenttia tarkastellessa juuri ennen katkoa otetun selluarkkinäytteen yläpinnan spektri erottui muista.

Absorptio aallonpituudella 190 nm johtuu todennäköisesti joko sellun sisältämistä karboksyyliryhmistä tai kiertovedestä selluun jääneistä epäorgaanisista yhdisteistä. Epäorgaanisten yhdisteiden aiheuttama absorptio on tässä tapauksessa todennäköisempää kiertovesinäytteiden analyysitulosten perusteella. Tammikuun kiertovesinäytesarjaa otettaessa koivumassan ajolla tapahtui kaksi yläviiraan tartumisesta johtunutta katkoa. Kiertovesinäytteiden johtokyky, haihdutusjäännökset, hehkutusjäännökset, sulfaattipitoisuus ja sameus saavuttavat korkeimmat arvonsa juuri ennen kumpaakin katkoa. Myös maaliskuussa otettujen kiertovesinäytteiden johtokyky, haihdutusjäännökset, hehkutusjäännökset, sulfaattipitoisuus ja sameus saavuttavat korkeimmat arvonsa juuri ennen katkoa. Hehkutusjäännösten ja sulfaattipitoisuuden korkeimmat arvot ennen katkoja tukevat sitä, että epäorgaanisten yhdisteiden rikastuminen KK4:n kiertoveteen on ainakin yksi osatekijä siinä mekanismissa, millä raina tarttuu yläviiraan aiheuttaen katkon.

9 EHDOTUKSET TOIMENPITEISTÄ

KK4:n kiertoveden johtokykyä tulisi seurata säännöllisesti. Sopivaan paikkaan, esimerkiksi kiertovesisäiliöön asennettu on-line johtokykymittari ja mittarin näyttö KK4:n ohjaamossa saattaisi toimia eräänlaisena katkon ennustajana. Jos johtokyky lähtee nousemaan voitaisiin kiertoveden joukkoon lisätä puhtaampaa alhaisemman johtokyvyn omaavaa vettä, sikäli kun se on mahdollista. Tällä tavoin tulossa oleva katko voitaisiin siirtää ajallisesti eteenpäin tai katkolta voitaisiin kokonaan välttyä.

Kuivattavan massan pintakemiaa tulisi tutkia tarkemmin. Tällä tavoin voitaisiin saada selville mekanismi, millä massa tarttuu yläviiraan. Jos kappaleessa 8 esitetty epäorgaanisten yhdisteiden ja katkojen välinen mahdollinen yhteys osoittautuu todeksi, tulisi selvittää johtuuko epäorgaanisten yhdisteiden kerääntyminen KK4:n kiertoveteen ja massarainan pintaan jonkin valkaisimossa annosteltavan kemikaalin, esimerkiksi magnesiumsulfaatin mahdollisesti liian suuresta annostelusta.

KK4:n kiertoveden kemiallisissa ominaisuuksissa tulisi saavuttaa tasapainoisempi tilanne. Johtokyvyssä, haihdutus- ja hehkutusjäännösten ja sulfaatin pitoisuuksissa ja sameudessa katkojen yhteydessä esiintyvät korkeat arvot tulisi saada alhaisemmiksi. Yksi keino tasapainoisemman tilanteen saavuttamiseksi on vesikiertojen avaaminen. KK4:llä tehtiinkin 19.5.2000 putkimuutostyö, minkä seurauksena koneen kaksoisviiraosalla rainasta poistettu ja aiemmin takaisin vesikiertoon johdettu vesi johdetaan kanaaliin pois vesikierrosta. Vesikiertojen avaamisesta tällä tavoin on todennäköisesti apua, sillä muutostyön jälkeen on koivumassaa kuivattu yhtäjaksoisesti ilman katkoja maksimissaan 12 tunnin jaksoja. Muutostyön todellinen hyöty tulisi kuitenkin todentaa kuivaamalla koivumassaa yhtäjaksoisesti niin pitkään, että tapahtuu palstautuminen tai ratkaisun palstautumisongelmaan voidaan todeta löytyneen. Vaihtoehtona vesikiertojen avaamiselle on kiertoveden puhdistaminen jollakin sopivalla erotusmenetelmällä, esimerkiksi ultra- tai nanosuodatuksella. Sopivan erotusmenetelmän valitsemisessa kannattanee Kaukaan paperitehtaalta ja Lappeenrannan Teknilliseltä Korkeakoululta tiedustella konsulttiapua jos kiertoveden puhdistamiseen päätetään investoida.

10 LÄHDELUETTELO

1. Anon., Puusta paperiin, Sellun rainaus, kuivatus ja varastointi, Metsäteollisuuden Työnantajaliiton opetusaineisto, julkaisu M-410, Etelä-Saimaan Kustannus Oy, Lappeenranta, 1980 s. 3.
2. Newell Stephenson, J., Pulp & Paper Manufacture vol. 1, Preparation & Treatment of Wood Pulp, McGraw-Hill, Toronto, 1950, s. 757-798.
3. Calkin, J., B., Modern Pulp and Paper Making, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1960, s. 2, 33-34.
4. Lee, H., Newell Stephenson, J., Hovey, R., Turner, S., Johnsen, B., Larchar, A., Thorsen, K., Mason, J., Kloss, T., Hanson, H., Cline, M., Buncke, H., The Manufacture of Pulp and Paper, A Textbook of Modern Pulp and Paper Mill Practice, vol. 3, McGraw-Hill, New York, 1922, s. 81-88.
5. Perälä, J., Sämpi, J., Double Wire Application in Pulp Drying Process, 1993 Engineering Conference, Book 3, TAPPI Proceedings, s. 1215-1223.
6. Ekebro Graeve, I., Sämpi, J., Operation Experiences of a Double Wire Pulp Dewatering Machine, 1994 Engineering Conference, Book 1, TAPPI Proceedings, s. 117-124.
7. Wahlberg, T., K., Oppäng, E., Presentation of the New Pulp Dryer Machine at Holmens Bruk Ab, Skaerblacka Mill, New Available Techniques and Current Trends, The World Pulp & Paper Week, SPCI, Stockholm, 1987, s. 625-631.
8. Perälä, J., Ericksson, C., Toivanen, J., Sheet Formation, Pressing and Drying of Low Freeness Recycled Pulp – Results from a Mill Scale Test Run, 1995 Recycling Symposium, TAPPI Proceedings, s. 377-383.

9. Kiviranta, A., Sheet Forming on the Fourdrinier: Optimization of Drainage and Table Activity to Improve the Sheet Formation, A Literature Review, Paper and Timber, vol. 74, No. 2, 1992, s. 145-156.
10. Kallmes, O., J., Understanding the Role of Turbulence Should Lead to Improved Formation, Paper Trade Journal, vol. 161, No. 4, 1977, s. 44, 51-52.
11. Kappel, J., Brogyanyi, E., Double Wire Press for Sheet Drying, World Pulp & Paper Technology, 1992, s. 71-74.
12. Kappel, J., Petschauer, F., Sbaschnigg, J., Improved Technology for Dewatering of Low-freeness Pulps, 5th International Conference on New Available Techniques, part 1, 1996, SPCI, Stockholm, Sweden, s. 256-262.
13. Ryan, R., Pulping's Future: Clean and Bright, European Papermaker, vol. 5, No. 7, 1997, s. 30-32.
14. Petschauer, F., Brogyanyi, E., Kappel, J., New Concept for Pulp Sheet Formers Based on the Double Wire Press Principle, 5th International Conference on New Available Techniques, part 2, 1996, SPCI, Stockholm, Sweden, s. 867-874.
15. Mujunen, S.-P., Teppola, P., Minkkinen, P., Metsäteollisuuden aktiivilietelaitosten toiminnan monimuuttujainen seuranta ja mallintaminen, Suomen ympäristö: julkaisu 141, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 1997, s. 12-21.
16. Teppola, P., Mujunen, S.-P., Minkkinen, P., Wirkkala, R.-S., Monimuuttujamenetelmien käyttö sellu- ja paperitehtaiden aktiivilietelaitosten toiminnan seurantaan; Pääkomponenttianalysipohjaiset menetelmät sekä sumea luokittelu, Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun julkaisu 84, 1997, s. 11-25.

17. Martens, H., Naes, T., *Multivariate Calibration*, John Wiley & Sons, 1993, s. 91-165, 254-258.
18. Wold, S., Cross-validatory Estimation of the Number of Components in Factor Analysis and Principal Components Models, *Technometrics* 20, 1978, s. 397-406.
19. Massart, D.L., Vandeginste, B.G.M., Deming, S.N., Michotte, Y., Kaufman, L., *Chemometrics: A textbook*, Elsevier, 1988.
20. Jackson, J.E., *A User's Guide to Principal Components*, John Wiley & Sons, 1991, s. 21-49, 123-132, 342-344.
21. Jackson, J.E., Mudholkar, G.S., Control Procedures for Residuals Associated with Principal Component Analysis, *Technom.*, vol. 21, num. 3, 1979, s. 341-349.
22. Meglen, R.R., Examining Large Databases: A Chemometric Approach Using Principal Component Analysis, *J. Chemom.*, 1991, vol. 5, s. 163-179.
23. Smith, G.L., Principal Component Analysis: An Introduction, *Anal. Proc.*, vol. 28, 1991.
24. Skagerberg, B., Sundin, L., Multidimensional Monitoring of Complex Industrial Processes, Reprint from *ABB Review* 4/93
25. Sharaf, M.A., Illman, D.L., Kowalski, B.R., *Chemometrics*, John Wiley & Sons, 1986, s. 193-194, 254-255, 281-292.
26. Brown, P.J., Partial Least Squares in Perspective, *Anal. Proc.*, vol. 27, 1990.

27. Mujunen, S.-P., *Multivariate Monitoring of Wastewater Treatment Processes in Pulp and Paper Industry*, Acta Polytechnica Scandinavica, Chemical Technology Series No. 264, The Finnish Academy of Technology, Espoo, 1999.
28. Teppola, P., *Multivariate Process Monitoring of Sequential Process Data – A Chemometric Approach*, Acta Polytechnica Scandinavica, Chemical Technology Series No. 270, The Finnish Academy of Technology, Espoo, 1999.
29. Malkavaara, P., *Chemometric Adaptations in Wood Processing Chemistry*, Department of Chemistry, University of Jyväskylä, Research Report No. 74, Jyväskylä, 2000.
30. Heikka, R., *Sampling and Calibration in Process Analytical Chemistry*, Acta Polytechnica Scandinavica, Chemical Technology Series No. 259, The Finnish Academy of Technology, Espoo, 1998.
31. Antti, H., *Multivariate Characterization of Wood Related Materials*, Research Group for Chemometrics, Department of Chemistry, Organic Chemistry, Umeå University, Sweden, 1999.
32. Wallbäcks, L., Edlund, U., Nordén, B., *Multivariate Characterization of Pulp: Part 1. Spectroscopic Characterization of Physical and Chemical Differences Between Pulp Using ^{13}C CP/MAS NMR, FTIR, NIR and Multivariate Data Analysis*, Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2, 1991, s. 74-80.
33. Malkavaara, P., Alén, R., Kolehmainen, E., *Multivariate Correlation Between ^{13}C and ^{31}P NMR Spectral Data on Dissolved Lignin and the Combustion Properties of Kraft Black Liquor*, Magn. Reson. Chem. 37, 1999, s. 407-412.
34. Karlsson, M., Wancke Ståhl, C., *Hallsta Installs NIR Technology to Optimise TMP Quality*, Paper Technology, February 2000, s. 25-27.

35. Sjöberg, K., Björklund, C., Ericsson, D., Karlsson, M., Thelaus, J., Torgrip, R., The Bestwood System – Unique Platforms for a Holistic Business Approach, 6th International Conference on New Available Technologies 1999, SPCI, Stockholm, Sweden, s. 389-391.
36. Seppänen, I., T., Uusitun Kaukaan sellutehtaan lyhyt prosessikuvaus, UPM-Kymmene Oyj Kaukas, Lappeenranta, 1999.
37. Simpura, E., Ympäristöselonteko 1998, UPM-Kymmene Oyj Kaukas, Lappeenranta, 1999, s. 9.
38. Anon., Kaukaan sellusta lujutusta paperiin, UPM-Kymmene Oyj Kaukas, Lappeenranta 1999.