

Jari Kajava

Etanolix-prosessin laadunhallinta

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kemiantekniikka
Insinöörityö
28.11.2012

Tekijä(t) Otsikko	Jari Kajava Etanolix-prosessin laadunhallinta
Sivumäärä Aika	31 sivua 28.11.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessien suunnittelu ja käyttö
Ohjaaja(t)	Lehtori Fil.tri. Ismo Halonen Tuotantopäällikkö Janne Posio
<p>Insinööriyöni tarkoituksena oli tutkia Vantaan Etanolix-prosessin operointipikkeamia. Työn otsikko muuttui työn edetessä Etanolix-prosessin laadunhallinnaksi.</p> <p>Laadunhallinta vaatii prosessin ymmärtämisen, järjestelmällisen prosessin vaiheiden läpikäymisen ja ongelmakohtien selvittämisen. Analysoitaessa ongelmakohtia on ymmärrettävä ongelman vaikutuksen tärkeys koko prosessin kannalta. Ongelmista on valittava tuotantoon eniten vaikuttavat tekijät. Kehityksen työmäärä kasvaa liian suureksi, jos valittuja tekijöitä on liikaa. Prosessiin eniten vaikuttavien ongelmien hallintaan saamisen jälkeen valitaan seuraavaksi tärkeimmät tekijät. Nämä analysoidaan ja mietitään keinot ongelmien ratkaisemiseksi. Hyvä laadunhallinta vaatii jatkuvaa parantamista. Yrityksessä täytyy kehittää toimintaa, ja se onnistuu vain hyvin toteutetulla suunnittelulla, tekemisellä, seurannalla ja analysoimisella. Seuraaminen vaatii mittaamista. Mittaustuloksia täytyy analysoida ja mittareita kehittää toiminnan kehittyessä. Kaiken toiminnan tulee tukea yrityksen strategiaa.</p> <p>Insinööriyössä prosessin eri vaiheet käytiin läpi kalanruotomallin ajatusta hyväksi käyttäen. Kalanruotomallista poimittiin tärkeimmät vaiheet kehitettäväksi kohteiksi. Jokaisesta kehityskohteesta tehdään aloite kohteiden kehittämiseksi. Lisäksi kartoitettiin poikkeamien määrää ja tehtiin näytteiden analyysituloksille automatisoidut trendit Core-järjestelmään ala- ja ylärajoineen.</p> <p>Insinööriyön yleisesti julkaistavasta versiosta on poistettu yrityksen salassapidettävät tiedot. Nämä tiedot on esitetty yrityksen omassa versiossa.</p>	
Avainsanat	laadunhallinta, Etanolix-prosessi

Author(s) Title	Jari Kajava The Quality Control of the Etanolix-Process
Number of Pages Date	31 pages 28 November 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Engineering
Instructor(s)	Ismo Halonen, Senior Lecturer, Ph.D. Janne Posio, Production manager
<p>The purpose of this thesis project was to check the operate deviation of Vantaa Etanolix-process. The title of thesis project has changed to the quality control of Etanolix-process.</p> <p>In the quality control you have to understand the process. Quality control requires systematic examining of the process and problem points. When the trouble points are analyzed you have to understand how important problems are in the whole process. It is important to choose the main problems, which have the biggest effect on the process. If you choose too many problems, your count of developing work grows. When the main problems have been resolved, then you have to choose next important problems about the process. The second problems have to be analyzed and think over a solution to the problems. Good quality control requires continual improvement. Operation has to improve in the company. That can be managed only by good planning, good implementation, monitoring requires and analyzing. The monitoring insists some measurement. Findings have to be analyzed and indicators have to be developed. All actions have to serve the company strategy.</p> <p>In this thesis project all process stages were went through with "fishbone analysis". From that analysis the main problems of the process were chosen. It was attempted to find repair proposals and initiatives for all problems that were chosen. In addition, the amount of deviation was checked and trends were created with lower and upper limits to the Core system.</p> <p>From the version of the thesis project which is generally published the confidential information of the company has been removed. This information has been presented in the own version of the company.</p>	
Keywords	quality control, Etanolix-process

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Etanolix-prosessi	1
2.1	Prosessilaitteet	1
2.2	Hydrolyysi	1
2.3	Käyminen	2
2.3.1	Käymishäiriöt	6
2.3.2	Epäpuhtaudet	7
2.4	Haihdutus	9
2.5	Tislaus	10
3	Prosessin operointi	15
3.1.1	Paikan päällä tapahtuva operointi	15
3.1.2	Etäoperointi	15
3.2	Poikkeamatilanteet	15
3.2.1	Poikkeaman tunnistaminen	15
3.2.2	Poikkeamaan reagointi	16
4	Tietojärjestelmät	17
4.1	Automaatiojärjestelmä	17
4.2	Kunnossapitojärjestelmä	17
4.3	Tiedonkeruujärjestelmä	18
4.3.1	Analyysitulokset	19
4.3.2	Tuotannoseurantaan kirjaukset	19
4.3.3	Häiriöilmoitukset	19
4.4	Tiedonvälitysjärjestelmät	19
4.5	Jatkuva parantaminen	19
5	Tuloksellisuusmittarit	22
5.1	Tuottavuus	22
5.2	Kustannustehokkuus	22
5.3	Laatu ja käyttövarmuus	23

6	Prosessimittarit	24
6.1	Mittaaminen	25
6.2	Analysointi	25
7	Työn tulokset	29
	Lähteet	30

1 Johdanto

St1 Biofuels Oy on perustettu vuonna 2006. Yhtiö tuottaa etanolia jättepohjaisista raaka-aineista. Raaka-aineiden lähteinä ovat elintarviketeollisuuden laitosten, kuten leipomoiden taikinajätteet. Leipomojätteillä toimivia Etanolix-laitoksia yhtiöllä on Vantaalla, Lahdessa ja Haminassa. (Tietoa St1:stä) Etanolix-prosessi on St1:n yhdessä VTT:n kanssa kehittämä prosessi (Tietoa VTT:stä). Tässä insinööriyössä keskitytään Vantaan laitoksen laadunhallintaan operointipointeiden näkökulmasta.

2 Etanolix-prosessi

Etanolix-prosessi on kuvattu yrityksen omassa käytössä olevassa insinööriyöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

2.1 Prosessilaitteet

Etanolix-prosessin prosessilaitteet on esittely yrityksen omassa insinööriyöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

2.2 Hydrolyysi

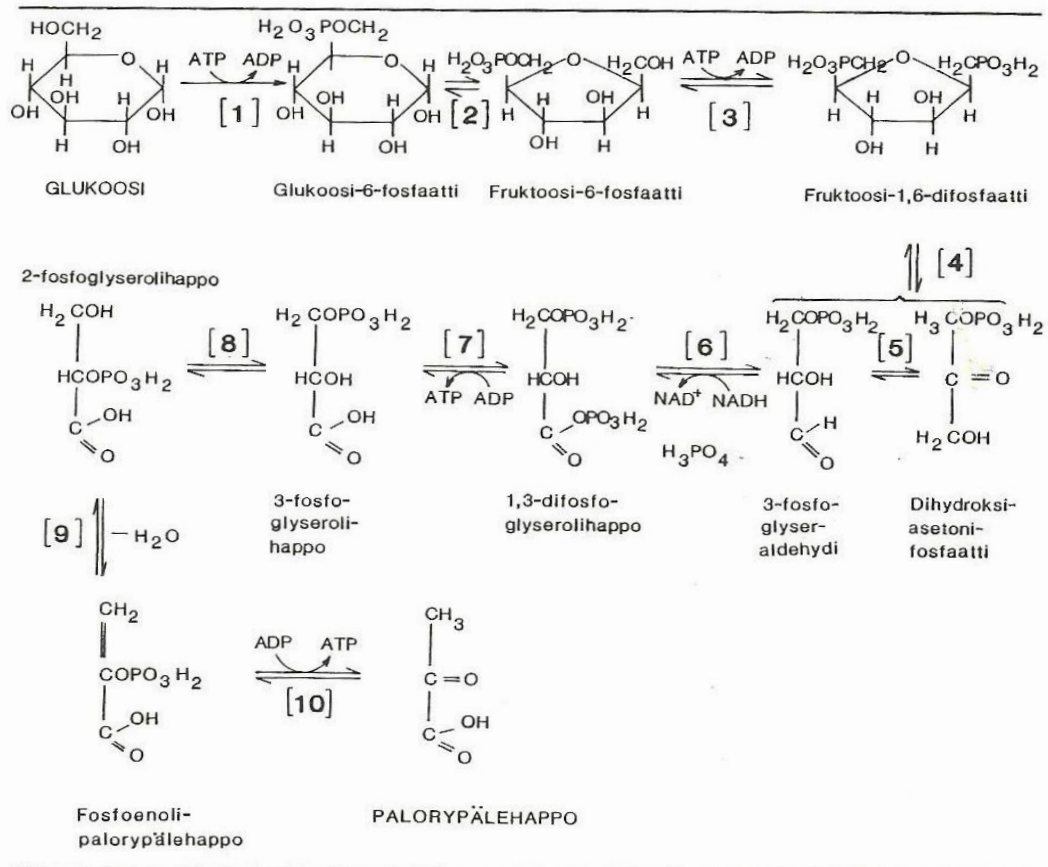
Hydrolyysin tarkoituksena on pilkkoa tärkkelys maltoosiksi. Tärkkelyksen rakenne on kiinteä ja kiteinen. Se on kestävä amylaasien toimintaa vastaan. Kuumennettaessa tärkkelyksen amylopektiini saadaan turpoamaan ja muodostumaan geeli, jolloin amylaasit kykenevät hydrolyyttiseen toimintaan. Liisteröitynyt tärkkelys saadaan pilkottua α - ja β -amylaasin avulla. Entsyymien toiminnan kannalta niillä on optimilämpötila ja pH-arvot. Optimilämpötila α -amylaasilla on 72 -75 °C ja optimipH on 5,7. Vastaavasti β -amylaasin optimilämpötila on 62 – 65 °C sekä optimi-pH 5,5. β -amylaasi entsyymit inaktivoituvat jo alle 70 °C:ssa, ja muutkin entsyymit tuhoutuvat nopeasti 100 °C:ssa. Haluttaessa tärkkelyksen täydellistä sokeroitumista voidaan lisäksi käyttää mikrobiperäistä entsyymiä glukoamylaasia. Se pilkkoo tärkkelystä siten, että lopputuotteeksi saadaan glukoosi ja käymisaste saadaan korkeammalle. Liisteröitymislämpötilat vaihtelevat

eri tärkkelyslähteillä. Liisteröitymislämpötilat ovat perunalla 55 – 60 °C, vehnällä 60 – 85 °C, maissilla 65 – 75 °C, ohralla 70 – 80 °C ja riisillä 80 – 85 °C. (Enari 1993, 77 – 78, 84)

Lämpötilastabiileilla α -amylaaseilla prosessoitaessa käymisliuos voidaan esimerkiksi lämmittää 60 – 70 °C:seen, jolloin tärkkelys turpoo ja liisteröityy. Viskositeetti nousee voimakkaasti ja tärkkelyksen kiteinen rakenne häviää. Tämä vaihe kestää yleensä 30 – 45 minuuttia. Seuraavana vaiheena on käytetty normaalisti kolmea eri tapaa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa entsyymi lisätään käymisliuokseen ja kuumennetaan 85 – 95 °C:seen. Toisessa vaihtoehdossa käymisliuos lämmitetään jet cookerilla 110 – 120 °C:seen ja 5 -7 minuutin jälkeen käymisliuos johdetaan ilmanpaineessa olevaan tankkiin. Samalla lämpötila lasketaan noin 90 °C:seen ja pidetään siinä noin kolme tuntia. Joissakin prosesseissa entsyymi lisätään aluksi ja muissa vasta, kun käymisliuos on ilmanpaineessa olevassa tankissa. Kolmannessa vaihtoehdossa noin puolet entsyymistä lisätään alkuvaiheessa ja tämän jälkeen käymisliuos lämmitetään 150 °C:seen. Tämän jälkeen käymisliuos jäädytetään 85 – 95 °C:seen ja loput entsyymit lisätään lietteeseen. (Drapcho 2008, 119 - 120)

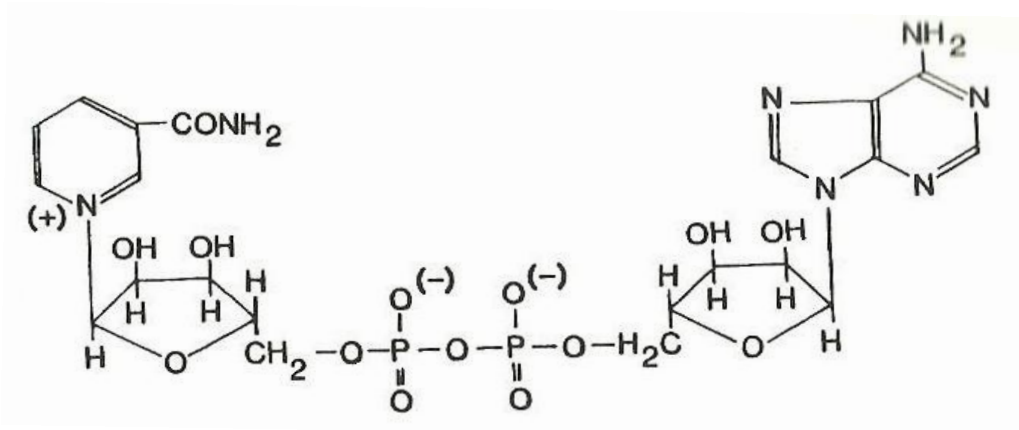
2.3 Käyminen

Solujen energian hankintatapana on glukoosin eli rypälesokerin hajottaminen. Tapahtuman ollessa hapellisissa olosuhteissa sitä kutsutaan glykolyysiksi, johon kuuluu 10 erilaista vaihetta ja johon osallistuu yhtä monta eri entsyymiä. Seuraavassa kuvassa on esitetty glykolyysin tapahtumaketju. (Enari 1993, 118 – 120)



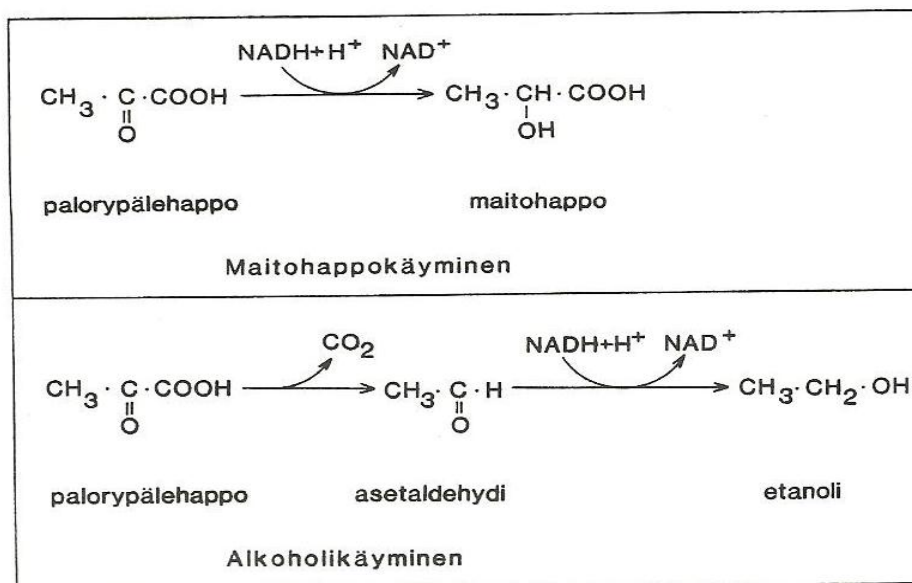
Kuvio 1. Glykolyysin tapahtumaketju (Enari 1993, 119)

Osa bakteereista ja hiivoista kykenee toimimaan sekä aerobisissa että anaerobisissa olosuhteissa. Käymistä tapahtuu, kun solulla on kyky hapettaa nikotiinihappoamidiadeniinidinukleotidin pelkistynyt muoto NADH takaisin hapettuneeseen muotoon NAD⁺:ksi hapettomissa olosuhteissa eli anaerobisesti. Tämä on välttämätöntä, jotta glykolyysi voisi toimia jatkuvasti. Tällöin solu pystyy hankkimaan energiaa glukoosista ilman hapen läsnäoloa, jolloin tapahtumaa kutsutaan käymiseksi eli fermentaatioksi. Seuraavassa kuvassa on esitetty nikotiinihappoamidiadeniinidinukleotidin NAD⁺ rakennekaava. (Enari 1993, 120)



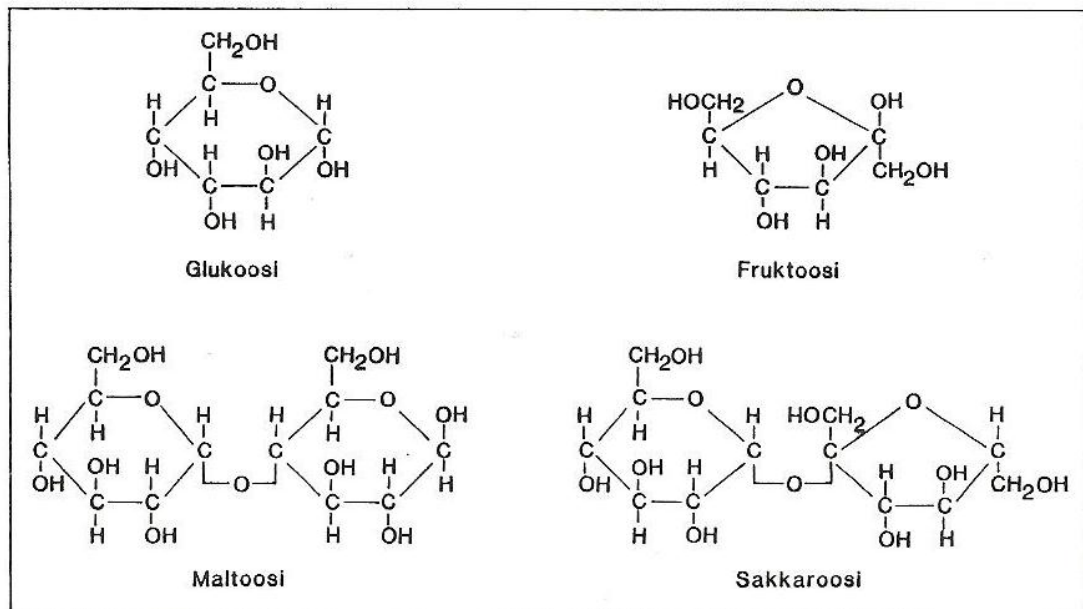
Kuvio 2. Nikotiinihappoamidiadeniinidinukleotidi NAD⁺ rakennekaava (Enari 1993, 120)

Käymistä voi tapahtua sekä maitohappokäymisen että alkoholikäymisen muodossa. Maitohappokäymisessä maitohappobakteerit pelkistävät palorypälehapon suoraan maitohapoksi. Tässä ei synny hiilidioksidia, kuten etanolikäymisessä tapahtuu. Etanolikäymisessä jokaisesta moolista glukoosia syntyy kaksi moolia etanolia ja kaksi moolia hiilidioksidia sekä vapautuu energiaa. Alkoholikäymisessä lämpöä vapautuu 159,07 kJ yhdestä glukoosimoolista. Palorypälehaposta irtoaa hiilidioksidia, jolloin syntyy asetaldedydiä, joka pelkistyy etanoliksi. Seuraavassa kuvassa on esitetty maitohappokäyminen ja alkoholikäyminen. Huomioitavana seikkana on hiilidioksidin eli CO₂:n poistuminen etanolikäymisessä. (Enari 1993, 122)



Kuvio 3. Maitohappo ja alkoholikäyminen (Enari 1993, 122)

Hiivalla käyttäminen on glukoosin tai fruktoosin pilkkomista pienemmiksi molekyyleiksi hapettomissa olosuhteissa. Reaktion lähtöaineina voivat olla hektoosit ja niiden polymeerit. Muut sokerit ja polysakkaridit täytyy ensin muuttaa glukoosiksi tai fruktoosiksi, jotta ne saadaan käymisessä muutettua etanoliksi. Sokerit voidaan jakaa neljään ryhmään eli monosakkarideihin, disakkarideihin, oligosakkarideihin ja polysakkarideihin. Monosakkarideja ovat hektoosit ja pentoosit. Hektooseja ovat lähinnä glukoosi ja fruktoosi. Disakkarideista käymisen lähtöaineiksi soveltuvat maltoosi ja sakkaroosi. Oligosakkarideja ovat esimerkiksi maltotriooisi, jonka käyttämiseksi tarvitaan maltotriooisipermeaasi entsyymiä. Pidempiketjuisten oligosakkaridien ja polysakkaridien käyttämiseksi tarvitaan amylolyyttisiä entsyymejä. (Enari 1993, 123 – 124) Seuraavassa kuvassa on esitetty tärkeimmät mono- ja disakkaridit.



Kuvio 4. Tärkeimmät mono- ja disakkaridit (Enari 1993, 124)

Saccharomyces cerevisiae on maailmanlaajuisesti käytetty organismi polttoaine-etanoliprosesseissa. Tämä hiiva kykenee käyttämään metaboliassaan glukoosia, fruktoosia, mannoosia, galaktoosia, sakkaroosia, maltoosia ja maltotriooisia. Teoreettinen etanolisaanto grammasta glukoosia on 0,511 g etanolia. Tätä ei kyetä kuitenkaan saavuttamaan, koska osan hiiva käyttää itse solumassan synteesissä, solun hengissä pysymisessä ja tuottaessaan sivutuotteita, kuten glyserolia, etikkahappoa ja maitohappoa. (Darapcho ym. 2008, 105) Teoreettinen etanolisaanto 1 000 kg käymisliuoksesta,

joka sisältää 20 %:a kuiva-ainetta ja jossa kuiva-aineen tärkkelyspitoisuus on 70 %, voidaan laskea seuraavasti:

$$1000 \text{ kg (käymisliuosta)} \times 0,2 \text{ (kuiva-aine \%)} = 200 \text{ kg}$$

$$200 \text{ kg (kuiva-ainetta)} \times 0,7 \text{ (tärkkelys \%)} = 140 \text{ kg}$$

$$140 \text{ kg} \times 1,111 \text{ (glukoosin tuotanto tärkkelyksen hydrolyysissä)} = 155,5 \text{ kg}$$

$$155,5 \text{ kg} \times 0,511 \text{ (teoreettinen etanolin tuotanto)} = 79,5 \text{ kg}$$

$$79,5 \text{ kg} / 0,79 \text{ kg/l (etanolin tiheys)} = 100,6 \text{ l}$$

(Darapcho ym. 2008, 123)

Hiiva tarvitsee kasvaakseen typpiyhdisteitä oikeassa muodossa. Nitraattityppi on hiivalle myrkyllinen, mutta orgaanisia typpiyhdisteitä hiiva pystyy käyttämään ravinnokseen. Hiivan typpiravintona toimivat orgaaniset typpiyhdisteet ovat lähinnä aminohappoja. (T-M Enari, s. 124 – 125) "Saccharomyces cerevisiae" -hiiva tarvitsee kasvamiseen ja etanolin tuottamiseen mineraaleja kuten kalsiumia (Ca), magnesiumia (Mg), mangaania (Mn), kobolttia (Co), rautaa (Fe), kuparia (Cu), natriumia (Na) ja sinkkiä (Zn) (Darapcho ym. 2008, 107).

Käyminen alkaa, kun hiiva lisätään jäähdytettyyn käymisliuokseen. Hiivakannan ominaisuudet ratkaisevat paljolti käymisen onnistumisen. Hiiva olisi hyvä lisätä käymisliuokseen nopeasti heti, ilmastuksen jälkeen. Ilmastuksella varmistetaan hiivan tarvitsema happimäärä. Ilmastus täytyisi tehdä matalassa lämpötilassa, jotta hapettumisreaktioita ei syntyisi. Hiiva sekoittuu raaka-aineeseen tehokkaammin, jos hiiva lisätään käymisliuokseen putkistossa ennen käymistankkia. Hiiva-annostus tulisi olla mahdollisimman tasalaatuinen. Ylimääräisellä hiivalla voidaan varmistaa käymisen nopea alkaminen, jolloin mahdolliset vieraat mikrobit eivät pääse vaikuttamaan hiivan nopean toiminnan vuoksi. (Enari 1993, 100, 132 – 134)

2.3.1 Käymishäiriöt

Käymishäiriöitä voi esiintyä prosessissa tavallisimmin, jos käymisen alkuunlähtö on hidasta tai käyminen on keskeneräistä. Hiivan huono laatu tai hapen puute voi olla syynä hitaaseen käymisen alkuun lähtöön. Hiivan elinkyky täytyisi tietää, ja tämä voidaan määrittää esimerkiksi metyleenisinivärjäyksellä. Jos hiivamassa on huonolaatuista, hii-

vaa tarvitaan enemmän. Sisältäessään paljon kuolleita soluja hiivamassa on yleensä jo muutenkin heikentynyt. Prosessin hapenpuutteessa välttämättömiä lipidiyhdisteitä ei syntetisoidu, jolloin hiivamassan lipidivarasto köyhtyy. Lipidivaraston ollessa köyhä hiivan kasvu pysähtyy hapettomissa olosuhteissa ja käyminen hidastuu. Anaerobisissa olosuhteissa hiivalle olisi hyvä antaa ergosterolia ja öljyhappoa, jolloin hiivan kasvu etenee kuten aerobisissa olosuhteissa. Hidas käyminen johtuu useimmiten alhaisesta aminohappopitoisuudesta. Vapaan aminotyypen määrityksellä voidaan varmistua riittävän aminohappopitoisuuden määrästä. Keskeneräistä käymistä esiintyy useimmiten virheellisestä sokerikoostumuksesta johtuen. Glukoosi ja maltoosi saattavat loppua jo alkuvaiheessa ja jäljelle jää pidempiketjuisia sokereita, jolloin käyminen hidastuu tai saattaa loppua. Keskeneräistä käymistä saattaa aiheuttaa myös sinkin puute. Sinkillä on tärkeä osa käymisen loppuvaiheessa tärkeän entsyymin alkoholihydrogenaasin, koentsyyminä. Sinkin puutteesta aiheutuu se, että asetaldehydi ei pelkisty etanoliksi. Lämpötilojen äkillisillä vaihteluilla on vaikutuksia hiivan toimintaan. Jos lämpötila muuttuu nopeasti, käymisen alkuunlähtö saattaa hidastua. (Enari 1993, 130 – 131) Aikaisessa vaiheessa huomattu käymisongelma voidaan korjata lisäämällä sienestä peräisin olevaa α -amylaasia. Tämä entsyymi on aktiivinen alhaisissakin lämpötiloissa, jolloin käyminen saadaan lisääntymään. (Aehle 2007, 129)

2.3.2 Epäpuhtaudet

Mikrobeilla on tärkeä merkitys monenlaisissa prosesseissa. Kaikki muut mikrobit, mitkä ei ole tarkoitettu prosessiin ovat tarpeettomia ja jotkut jopa haitallisia. Näiden mikrobien päästessä prosessiin, on tapahtunut kontaminaatio eli saastuminen. Mikrobit ryhmitellään yleensä eukaryooteihin eli tumallisiin eliöihin, joihin kuuluvat homeet, hiivat ja levät. Prokaryooteihin eli tumattomiin eliöihin kuuluvat bakteerit, syanobakteerit eli sinivihreät levät ja virukset. Näistä etanolin tuotantoprosessin kannalta tärkeitä ovat homeet, hiivat ja bakteerit. (Enari 1993, 179 – 180)

Homekontaminaatio voi aiheuttaa etanoliprosessissa kuohumista. Lisäksi homeesta voi olla haittaa eläimille, jos niiden liuosrehuun päätyy sitä. Villihiivoiksi sanotaan kaikkia muita hiivoja, paitsi hiivaa, mitä prosessissa käytetään etanolin tuottamiseen. Hiivat voidaan jakaa kahteen lajiin: fermentatiivisiin ja oksidatiivisiin hiivoihin. Fermentatiiviset hiivat pystyvät lisääntymään anaerobisesti eli hapettomissa olosuhteissa. Fermenta-

tiiviset hiivat voivat tuottaa myös huomattavia määriä flavoryhdisteitä, mitkä ovat voimakkaan hajuisia ja makuisia yhdisteitä. Näitä yhdisteitä kutsutaan myös sikuna-alkoholeiksi. Näitä syntyy, kun jokin hiivan proteiinisynteesin välttämätön aminohappo loppuu raaka-aineesta. Tällöin tapahtuu biokemiallinen tapahtuma nimeltään transaminaatio eli aminoryhmän siirto, mikä lopulta johtaa sikuna-alkoholien muodostumiseen. Oksidatiiviset hiivat lisääntyvät vain aerobisissa eli hapellisissa olosuhteissa. Näiden hiivojen kasvu käymistankeissa on vähäistä tai sitä ei tapahdu lainkaan. Etanolia hapettava hiivoja ovat ”*Pichia membranefaciens*” ja ”*Candida krusei*”. Jälkimmäinen on todella haitallinen kontaminaatiota aiheuttava leipomohiivatehtaissa, koska kasvunopeus on noin 4 kertaa suurempi kuin panimo- ja leipomohiivan. (Enari 1993, 126 – 127, 180 – 181)

Etikkahappobakteereiksi sanotaan acetobakteerien sukua. Nämä tyypillisesti hapettavat etanolin etikkahapoksi hapen läsnä ollessa. Aerobisina bakteereina nämä eivät viihdy käymistankeissa, mutta saattavat lisääntyä voimakkaasti, kun happea pääsee mukaan. *Lactobacillus*-suvun bakteereita kutsutaan maitohappobakteereiksi. Näitä on kahhta päätyyppiä. Ensimmäisen tyypin muodostavat homofermentatiiviset, jotka fermentoidessaan muodostavat sokereista maitohappoa. Toisen tyypin muodostavat heterofermentatiiviset, jotka fermentoidessaan muodostavat maitohappoa, etanolia, etikkahappoa ja hiilidioksidia. (Enari 1993, 182 – 183)

Prosessissa kontaminaation kohteina saattavat olla raaka-aineet, vesi, hiiva ja laitteistot sekä putkistot. Raaka-aineissa saattaa esiintyä homeita, jotka aiheuttavat ylikuohumisia. Pesuvesien tulisi olla mikrobiologisesti moitteettomia ja käymisastioita täytyy puhdistaa desinfiioivilla aineilla, jotka on huuhdeltava vedellä. Käymisliuos on hyvä kasvu-alue myös mikrobeille. Sen takia se voi saastua ennen kuin se ehtii käymisen alkuun. Hiiva voi olla myös kontaminaation lähteenä. Tästä syystä hiivan mikrobiologisen laadun tarkkailu on tärkeää. Käymistankkien ja putkistojen seinämille voi kehittyä mikrobipesäkkeitä, jotka aiheuttavat jatkuvasti saastumista. Mitä enemmän metallin pinta on korrosoitunut, sitä helpommin mikrobipesäkkeitä syntyy. Muita kontaminaatioille otollisia paikkoja ovat liitokset ja tiivisteet. (Enari 1993, 185)

Kontaminaatioita voidaan hallita puhdistuksella ja desinfioinnilla. Usein puhdistustoimet voivat olla puutteellisia. Puhdistus voidaan jakaa neljään eri osaan, mitkä ovat mekaaninen puhdistus, pesu, desinfiointi ja sterilointi. Mekaanista puhdistusta ovat esimerkik-

si laitteiden ja säiliöiden ulkopintojen sekä lattioiden ja muiden pintojen puhdistaminen. Prosessien puhdistusaineilta vaaditaan hyvää kostutus- ja tunkeutumiskykyä, orgaanisten aineiden liuotuskykyä, hyvää dispergoitumiskykyä ja helppoa huuhdeltavuutta. Lisäksi pesuaineen tulisi olla edullinen käyttää.

Fysikaalis-kemiallisilta ominaisuuksiltaan pesuaineet voidaan ryhmitellä esimerkiksi happoihin, emäksiin, fosfaatteihin, pinta-aktiivisiin aineisiin ja kelaatin muodostajiin. Epäorgaaniset hapot kuten suola- ja rikkihappo ovat tehokkaita puhdistusaineita, mutta ne ovat voimakkaasti korrosoivia. Orgaanisista hapoista glukonihappo on osoittautunut soveliaimmaksi. Se on tehokas puhdistusaine, ei aiheuta korroosiota ja on hyvä kelaatin muodostaja eli sitoo kalsium- ja magnesium-ioneja. Natriumhydroksidi eli lipeä on halpa ja tehokas emäspesuaine. Natriummetasilikaatti on tullut tankkien pesussa lipeää suositummaksi, koska sillä on korroosiota estävä vaikutus. Fosfaattipesuaineiden ominaisuuksia ovat tehokas dispergoitumiskyky ja veden kovuuden poisto sekä korroosion estovaikutus. Desinfiomisaineet eivät saa olla myrkyllisiä, eivätkä ne saa aiheuttaa korroosiota. Aineen pitää olla stabiili varastoituna ja käyttöliuoksessa. Lisäksi sen pitää soveltua käytettäväksi yhdessä puhdistusaineiden kanssa. Natriumhypokloriitti on yleisesti käytetty desinfiointiaine. Se on tehokas vain emäksisissä olosuhteissa. Samanlainen kaupallinen seos, joka sisältää trinatriumfosfaattia, kaliumbromidia ja natriumhypokloriittia, on osoittautunut tehokkaammaksi desinfiointiaineeksi kuin natriumhypokloriitti. Klooriamiineita käytetään myös desinfiointeissa, mutta ne ovat hitaita tappamaan mikrobeja. Jodoforit ovat myös erinomaisia desinfiointiaineita ja niiden toksisuus on alhainen. Niiden huonona puolena on kallis hinta. Kvatit eli kvartääriset ammoniumyhdisteet ovat halpoja ja ei-toksisia, mutta niiden teho ei ole kaikille mikrobeille riittävä. (Enari 1993, 186 – 190)

2.4 Haihdutus

Haihdutusta tapahtuu siirtämällä lämpöä liuokseen niin paljon, että liuos kiehuu. Haihdutusta käytetään toisiinsa liuenneiden seosten puhdistamiseen, erottamiseen ja väkevöitymiseen. Haihdutuksen lopputuotteena voi olla väkevöity liuos tai haihdutettu liuotin. Tavallisesti pyritään 50 %:n väkevöitymiseen yhdellä haihdutuksella. Haihdutuksessa voidaan käyttää alipainetta, jolloin neste saadaan kiehumaan alemmassa lämpötilassa.

Kiehumispiste riippuu haihdutettavasta aineesta ja sen konsentraatiosta liuoksessa sekä haihduttimessa vallitsevasta paineesta (Pihkala 2011, 109).

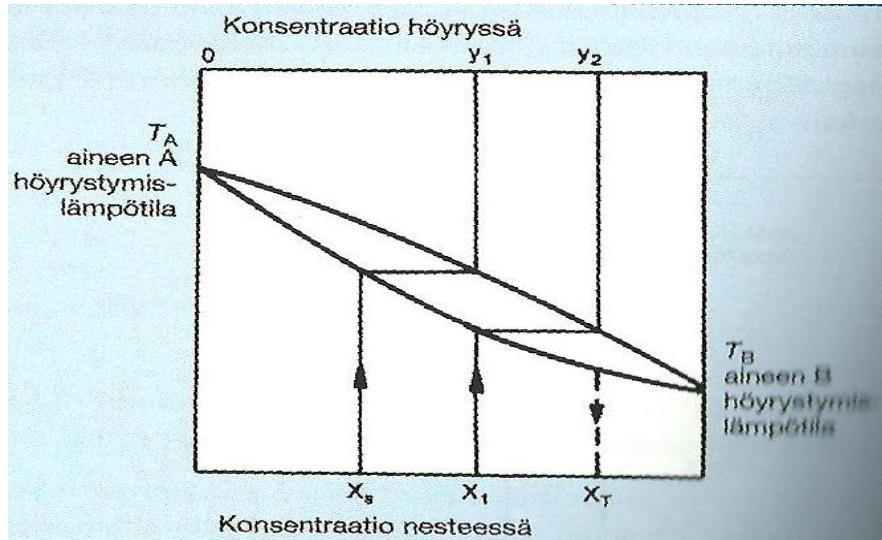
Haihduttimen kapasiteetti tarkoittaa aikayksikössä haihdutettua ainemäärää. Kapasiteetin määrää lämmönsiirtopinnan läpi siirtynyt lämpövirta. Mikäli syöttö tulee haihduttimeen kiehumislämpötilassa, koko lämpövirta on käytettävissä liuoksen höyrystämiseen. Lämpötilan ollessa alle kiehumispisteen nesteen kuumentamiseen kuluu osa lämpöenergiasta. Lämmitettäessä kylmää vettä lämpimällä vedellä voidaan kuumen veden luovuttama lämpömäärä laskea kaavalla: $Q = m_v * c_v * (t_{is} - t_{lu})$. Kuumen veden luovuttaman lämpömäärän tunnus on Q ja yksikkönä on watti eli W . Veden massavirtauksen tunnus on m_v ja yksikkönä käytetään kilogrammaa/sekunti eli kg/s . Veden ominaislämpökapasiteetti on c_v ja yksikkönä käytetään joulea / (kilogramma * celsiusastetta) eli $J / (kg * ^\circ C)$. Lämpimän veden sisäänmenolämpötila on t_{is} ja yksikkönä on celsiusaste eli $^\circ C$ ja vastaavasti lämpimän veden ulostulo on t_{lu} ja yksikkönä $^\circ C$. (Pihkala 2011, 103 - 109)

Haihduttimet voidaan jakaa lyhytputki- ja pitkäputkiihaihduttimiin. Lyhytputkiihaihduttimia ovat pysty- tai vaakaputkiihaihduttimet ja niissä lämmitävä aine on haihduttimen putkissa. Pitkäputkiihaihduttimia ovat pakkokiertoiihaihduttimet ja kalvohaihduttimet. Lämmitävä aine on näissä haihduttimen vaippapuolella. Haihduttimia voi olla myös sarjassa, jolloin haihdutus on taloudellisempaa. Sarjahaihdutuksessa edellisen haihturin haihteella lämmitetään matalammassa paineessa seuraavan haihturin liuosta. (Pihkala 2011, 110 – 112)

2.5 Tislaus

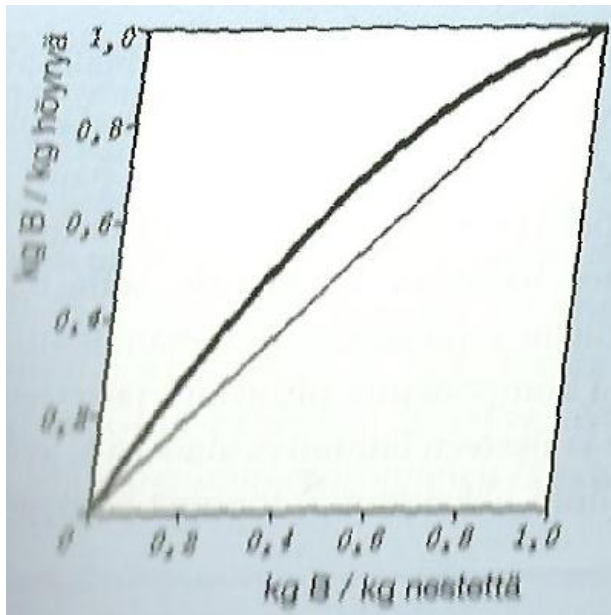
Tislaus perustuu nesteiden erilaisiin kiehumispisteisiin. Helpommin haihtuvalla komponentilla on korkeampi höyrynpaine, jolloin liuosta lämmitettäessä se höyrystyy ensin. Tislauskolonnissa vallitseva paine vaikuttaa nesteen kiehumispisteeseen. Laskemalla painetta kolonnissa saadaan neste kiehumaan matalammassa lämpötilassa. Normaalilla ilmanpainella alemmassa paineessa tehtävää tislauksa sanotaan vakuumitislaukseksi. Suurella kiehumispisteiden erolla nesteiden erottaminen tislamalla on helpompaa. (Pihkala 2011, 128)

Tislauksesta voidaan tehdä lämpötila-konsentraatiokäyrästä. Ylemmästä käyrästä nähdään höyryn konsentraatio ja alemmasta käyrästä nesteen konsentraatio lämpötilan funktiona. Seuraavassa kuvassa on esitetty lämpötila-konsentraatiokäyrä, missä y-akselilla on lämpötila ja x-akselilla helpommin haihtuvan nesteen konsentraatio 0 – 100 %:iin. (Pihkala 2011, 129 – 130)



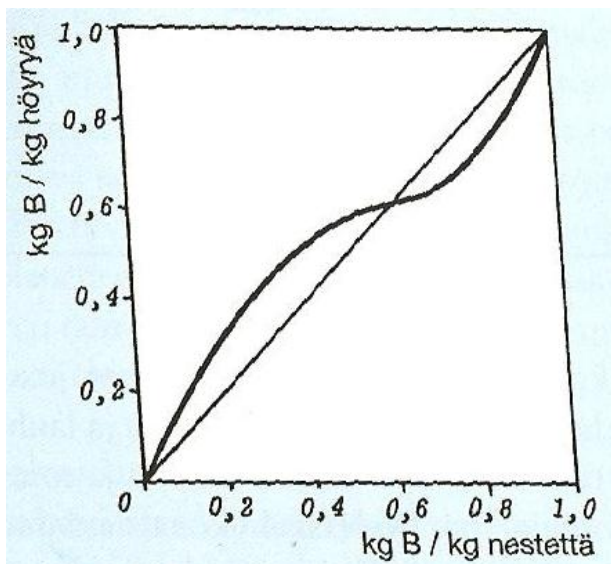
Kuvio 5. Lämpötila-konsentraatiokäyrä (Pihkala 2011, 130)

Vastaavasti tislauksesta voidaan esittää tasapainokäyrä eli tislauskäyrä. Tislaus on mahdollista, jos tasapainokäyrä sijaitsee lävistäjän yläpuolella. Helpommin haihtuvan komponentin pitoisuus höyryssä on ainoastaan tällöin suurempi. Seuraavassa kuvassa on esitetty tasapainokäyrä. Helpommin haihtuvan komponentin höyryn konsentraatio on y-akselilla ja nesteen konsentraatio x-akselilla. (Pihkala 2011, 130)



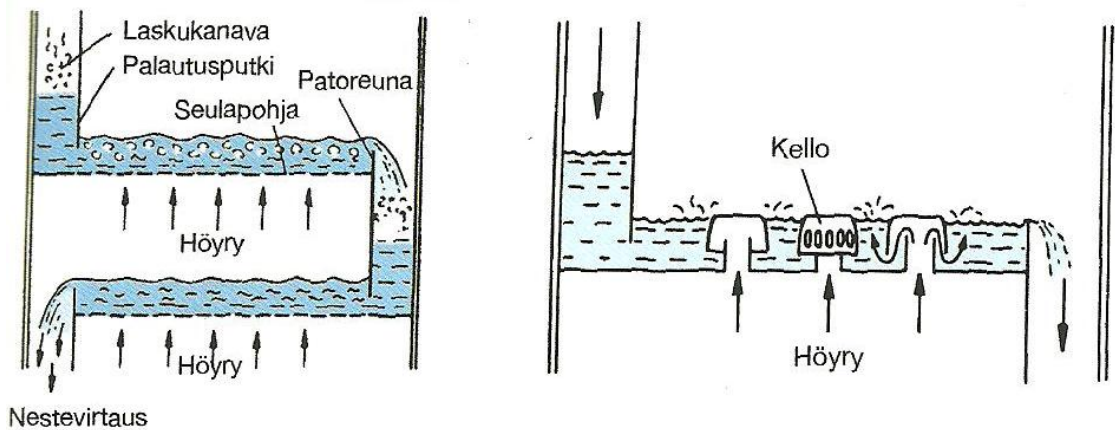
Kuvio 6. Tasapainokäyrä (Pihkala 2011, 131)

Tislaamalla ei voida erottaa nesteitä, jotka muodostavat azeotrooppisen seoksen. Tällöin nesteillä on kohta, missä niiden höyryn ja nesteen koostumus on sama eli tasapainokäyrä leikkaa lävistäjän. Seos kiehuu tällöin samassa lämpötilassa. Seuraavassa kuvassa on esitetty azeotrooppisen seoksen tasapainokäyrä. (J. Pihkala, s. 131)



Kuvio 7. Azeotrooppisen seoksen tasapainokäyrä (Pihkala 2011, 131)

Tislauskolonnien tyyppjä on erilaisia. Täytekappalekolonneissa kolonnissa käytetään täytekappaleita, joilla on suuri pinta-ala tilavuusyksikköä kohden. Nesteen ja höyryn täytyy päästä virtaamaan mahdollisimman hyvin täytekappaleiden pintoja pitkin eikä neste tai höyryvirtaus saa kanavoitua. Pohjakolonneissa on välipohjat, joissa neste virtaa patoreunojen yli alemmalle välipohjalle ja vastaavasti höyry virtaa välipohjassa olevien reikien lävitse. Nesteiden erottuminen tapahtuu näillä välipohjilla. Seuraavassa kuvassa on esitetty höyryn ja nesteen virtaukset välipohjalla. (Pihkala 2011, 132 - 134)

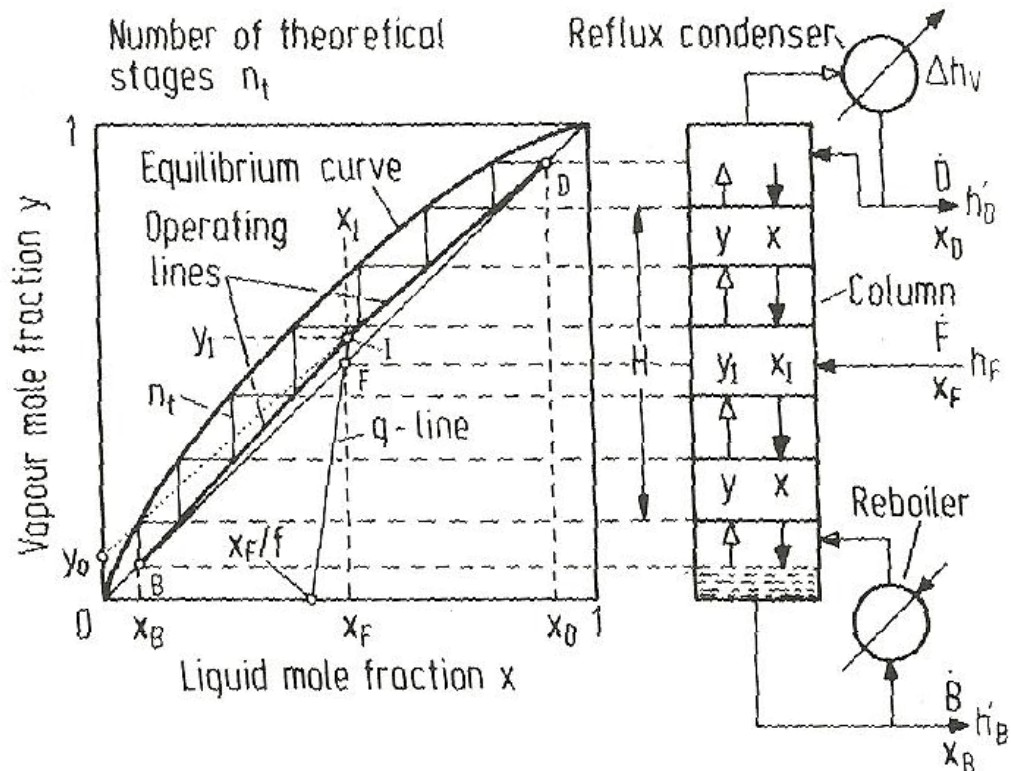


Kuvio 8. Nesteen ja höyryn virtaukset välipohjalla (Pihkala 2011, 133)

Nesteestä helpommin haihtuvat komponentit kiehuvat, kun höyryssä olevat vaikeammin haihtuvat komponentit lauhtuvat nesteeseen ja luovuttavat lämpöä. Seuraavalla välipohjalla helpommin haihtuvan komponentin väkevyys on suurempi. Välipohjien lukumäärää lisäämällä erottumista voidaan parantaa. Täytyy kuitenkin huomioida, että kolonnin virtausolosuhteet ovat sopivat kolonnille. Kolonnin kapasiteetin muutosmahdollisuuksiin vaikuttaa kolonnin pohjatyypin ja halkaisijan. Kolonnissa täytyy olla syöttö, tislevirta, palautussuhde ja alitevirtaus suunniteltujen arvojen tasolla. Liian suurella höyryvirtauksella välipohjilla oleva neste alkaa seurata höyryvirtauksen mukana. Liian pienellä höyryvirtauksella neste valuu välipohjien reikien lävitse. Nestevirtauksen ollessa liian suuri kolonni tulvii eli paluukaukalot täyttyvät. Kaikissa näissä tapauksissa kolonnin erotuskyky huononee. (Pihkala 2011, 132 – 133)

Kolonnin syöttö jakaa tislauskolonnin kolonnin syötön yläpuolella olevaan väkevöintiosaan ja alapuolella olevaan haihdutusosaan. Kolonnin pohjaa lämmitetään pohjan kiehtimen läpi kulkevalla kuumennushöyryllä. Tislauskolonnin huipulta tuleva höyry-

virtaus lauhdutetaan nesteeksi ja osa siitä palautetaan kolonniin huipunpalautuksena ja osa otetaan talteen tuotteena. Tällöin kyseessä on kokonaislauhdutus. (Pihkala 2011, 132) Kolonnille voidaan määrittää binääriselle seokselle kolonnin pohjien lukumäärä McCabe-Thielen menetelmällä. Diagrammiin tarvitaan höyry-nestetasapainokäyrä, tieto kolonnin syötön pitoisuudesta, väkevöintiosan ainetase ja haihdutusosan ainetase sekä tieto syöttövirtauksen olomuodosta. Seuraavassa kuvassa on esitetty McCabe-Thielen menetelmällä laadittu välipohjien lukumäärän osoittava diagrammi. (Billet 1995, 5 – 7)



Kuvio 9. Teoreettisten pohjien lukumäärä McCabe-Thielen menetelmällä (Billet 1995, 6)

Väkevöintiosalle yhtälö voidaan kirjoittaa muotoon $y = \frac{r}{r+1}x + \frac{x_D}{r+1}$, missä y = höyryvirtaus, r = palautuksen suhde ylimenoon, x_D = tuotepitoisuus ja x = nesteen moolivirtaus. Väkevöintiosan käyttöviiva jatkuu y-akselille ja syöttöviivan ohittava osuus voidaan piirtää katkoviivalla. Leikkauspisteessä $y_0 = \frac{x_D}{r+1}$, missä y_0 = y-akselin leikkauspiste. Haihdutusosalle vastaava yhtälö voidaan kirjoittaa muotoon $y = \frac{b}{b-1}x + \frac{x_B}{b-1}$, missä b = nestevirtauksen suhde pohjatuotteeseen, x_B = pohjanpitoisuus. Haihdutusosan käyttöviiva piirretään pohjatuotteen pitoisuudesta väkevöintiosan käyttöviivan ja syöttöviivan leikkauskohtaan. (Billet 1995, 5 – 7)

3 Prosessin operointi

Prosessia operoivilta edellytetään laajaa monialaista osaamista. Avainosaamisalueita ovat erityisesti vastuu omasta työstä, huolellisuus, laite- ja työturvallisuusosaaminen, ohjeiden noudattaminen ja prosessin ymmärtäminen. Operaattoreilta edellytetään ongelmien ratkaisemista, innovatiivisuutta, oma-aloitteisuutta sekä vastuullisuutta. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat joustavuus, oppimishalukkuus, yhteistyötaidot sekä laadunvalvontaan liittyvä osaaminen. Operaattorien työn osaamisvaatimusten kasvaessa ammatillisen moniosaamisen tarve lisääntyy. Lisäksi tulevaisuudessa tarvitaan viestintäosaamista, erityisesti kielitaitoa. Näiden seikkojen vuoksi operaattoreiden osaamisen jatkuvan kehittämisen tarve lisääntyy. (Stenvall-Virtanen 2003, 246 – 247)

3.1.1 Paikan päällä tapahtuva operointi

Etanolix-prosessin paikan päällä tapahtuva operointi on esittely yrityksen omassa insinööriöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

3.1.2 Etäoperointi

Etanolix-prosessin etäoperointi on esittely yrityksen omassa insinööriöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

3.2 Poikkeamatilanteet

Etanolix-prosessin poikkeamatilanteet on esittely yrityksen omassa insinööriöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

3.2.1 Poikkeaman tunnistaminen

Poikkeamatarkastelu eli HAZOP on kehitetty prosessilaitosten turvallisuuden arviointiin. HAZOP sopii myös muunlaiseen käyttöön, kuten materiaalivirtojen tarkasteluun. Poikkeamatarkastelu sopii erityisesti jatkuvatoimisen prosessin tarkasteluun. Sen tekeminen vaatii runsaasti aikaa ja on yksityiskohtainen ja kattava analyysimenetelmä. (Koivisto 2003, 128)

Perusajatuksena poikkeamatarkastelussa on, että järjestelmässä syntyy häiriö. Toimintasuure poikkeaa normaalista arvosta häiriön seurauksena. Toimintasuureita ovat esimerkiksi lämpötila, virtaus, paine ja koostumus. Toimintasuureita ja avainsanoja käytetään mahdollisten häiriötilanteiden kartoittamiseen. Putkisto-, virtaus ja instrumentointikaaviot kuuluvat poikkeamatarkastelun työkaluihin. Lisäksi tietolähteinä käytetään laitteiden teknisiä erittelyjä, toimintakuvauksia, käyttöohjeita, logiikka- ja lukituskaavioita sekä sijoituspiirustuksia. Seuraavassa taulukossa on esitetty mahdollisia poikkeamia:

Taulukko 1. Poikkeama prosessisuureen ja avainsanan avulla (Koivisto 2003, 129)

Avainsana	Prosessisuure	Poikkeama
Ei	Virtaus	Ei virtausta
Enemmän	Paine	Korkea paine
Vähemmän	Lämpötila	Alhainen lämpötila

Poikkeama täytyy tunnistaa mahdolliseksi ja ongelmia aiheuttavaksi. Tämän jälkeen täytyy miettiä poikkeaman syyt ja seuraukset. Poikkeaminen estämiseksi tai haitallisten vaikutusten pienentämiseksi täytyy miettiä toimenpide-ehdotuksia. (Koivisto 2003, 129)

3.2.2 Poikkeamaan reagointi

Etanolix-prosessin poikkeamaan reagointi on esittely yrityksen omassa insinööriyöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

4 Tietojärjestelmät

Nykyaikaiseen tuotantolaitokseen liittyy monia tietojärjestelmiä. Järjestelmät voivat olla itsenäisiä tai integroitu toisiinsa suuremmaksi kokonaisuudeksi. Erillisjärjestelmissä eri osa-alueilla on omat sovelluksensa, joiden välille voidaan rakentaa liittymiä. Erillisjärjestelmät voivat olla pakettiohjelmia tai asiakkaalle räätälöityjä järjestelmiä. Integroiduissa järjestelmässä esimerkiksi kunnossapitojärjestelmä on osa muita tietojärjestelmiä. (Järviö 2006, 160 – 161)

4.1 Automaatiojärjestelmä

Prosessiautomaatio koostuu perusautomaation tasolla erilaisista yksikköprosesseista, kuten pumppauksesta ja sekoituksesta. Tehdasautomaation tasolla kohteena on koko tuotannon hallinta. Siihen voidaan nykyisin liittää myös prosessilaitteiden kunnonvalvontaa ja laadunvalvontaa. Prosessiautomaatiojärjestelmä kerää jatkuvasti tietoa prosessin tilasta eri mittalaitteiden kautta ja kykenee ohjaamaan prosessia toimilaitteiden avulla. Prosessien tilan seuranta ja säätö tapahtuu valvomossa olevan operointipäätteen avulla. (Heinonkoski ym. 2008, 87 – 90) Automaatiolla pystytään pitämään laatu ja tuotannon taloudellisuus hallinnassa. Käymisen automatisointi on helposti toteutettavissa, jos säätö perustuu käymisen aikaisiin jatkuviin mittauksiin lämpötiloista, paineesta ja virtausnopeuksista. Nämä yleensä riittävät, jos hiiva ja raaka-aine ovat tasa-laatuiset. Raaka-aineen mittauksissa tärkeitä analyysejä ovat käymiskelpoiset sokerit, vapaa aminotyyppi, liuennut happi ja pH. Näiden jatkuvaan mittaamiseen ei vielä ole sopivia antureita kehitettynä. (Enari 1993, 177 – 178)

4.2 Kunnossapitojärjestelmä

Yrityksen kustannuksista kunnossapito voi olla suurin kontrolloimaton kustannuserä, mutta sen vaikutus yrityksen tuloksen muodostumiseen on epäsuora. Kunnossapidon suunnittelulla pystytään kontrolloimaan kustannuksia. Kunnossapitojärjestelmää hoitaa suunnitteluosasto. Kaikki laitteiden tiedot on tallennettu järjestelmään ja siihen kirjataan tehdyt työt ja toimenpiteet. Näihin tietoihin lisätään tarvittaessa taloudelliset tiedot. (Järviö 2006, 20, 72)

St1 Biofuelsilla on käytössä Arrow–kunnossapitojärjestelmä. Siitä on parhaillaan tekeillä insinööriyö. Tässä työssä siihen ei keskitytä.

4.3 Tiedonkeruujärjestelmä

Erilaisista tapahtumista kertyy valtavasti tietoa tietojärjestelmään. Näitä voivat olla viikatiedot, kustannustiedot, tieto resurssien käytöstä, nimiketapahtumat yms. Pelkästä tietojen keräämisestä ei ole mitään hyötyä, vaan vasta tietoa analysoitaessa toimintaa voidaan kehittää. Raporttipohjaa suunnitellessa olisi hyvä pitää tiettyjä asioita mielessä. Näitä ovat:

- Mieti raportin tarpeellisuus ja mitä sillä seurataan. Sisällön tulee vastata todellista tarvetta.
- Varmista, että käytetyt luvut ovat luotettavia.
- Varmista laskennassa käytetyt laskusäännöt ja suureet.
- Mieti, miten kattava käytettävissä oleva tieto on? Jääkö jotain raportoimatta?
- Muista, että vain olennaisella tiedolla on merkitystä.
- Käytä hyväksi graafisia esityksiä. Kuvaajasta saa suoraan käsityksen tapahtuman laajuudesta ja ongelmien kohdistumisesta verrattuna useiden sivujen numeeriseen tietoon.
- Kohdista raportointi oikeille henkilöille.

Tietojärjestelmän käytössä on hyvä määritellä selkeät ja yksinkertaiset tavoitteet. Uuden järjestelmän käyttöönotossa keskitytään näiden rajattujen tavoitteiden saavuttamiseen. Työnkulut ja parametrit mietitään siltä kannalta, mitä halutaan lopputulokseksi. Tämän jälkeen määritellään, mitä moduuleja täytyy ottaa käyttöön, jotta tunnusluvut saadaan lasketuksi. Lähtötietojen syöttäminen voi tapahtua eri näytöillä tai moduuleissa. Kannattaa käyttää käyttäjälle yksinkertaisempaa tapaa. Tällöin turhan työn tekeminen jää vähemmälle. (Järviö 2006, 182 – 184)

4.3.1 Analyysitulokset

Etanolix-prosessin analyysitulokset on esittely yrityksen omassa insinööriyöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

4.3.2 Tuotannonseurantaan kirjaukset

Etanolix-prosessin tuotannonseurantaan kirjaukset on esittely yrityksen omassa insinööriyöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

4.3.3 Häiriöilmoitukset

Häiriöilmoituksia voidaan tehdä manuaalisesti tai muodostamalla häiriötieto prosessinohjausjärjestelmään automaattisesti. Manuaalisen häiriöilmoituksen kirjaavat yleensä tuotannon työntekijät. Häiriöilmoituksen tarkoituksena on tuotannon häiriöiden esilletuominen. Häiriöiden syiden ja tuotantomenetysten analysointi kuuluu tärkeänä osana häiriöilmoitusjärjestelmään. Analysointiin käytetään apuna tietojärjestelmän raportteja tai erillisiä raporttityökalulla tietojärjestelmän tietokannasta muodostettuja raportteja. (Järviö 2006, 170 – 171)

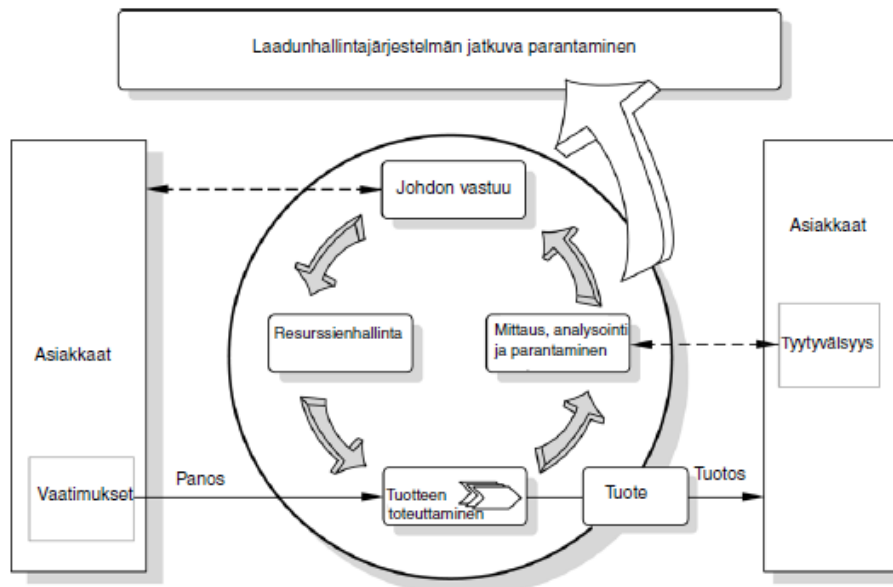
4.4 Tiedonvälitysjärjestelmät

Etanolix-prosessin tiedonvälitysjärjestelmät on esittely yrityksen omassa insinööriyöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi.

4.5 Jatkuva parantaminen

Organisaation tulisi tehdä strateginen päätös ja ottaa laadunhallintajärjestelmä käyttöön. Laadunhallintajärjestelmän kehittämisessä tulisi omaksua prosessimainen toimintamalli. Mallissa tulisi huomioida organisaation toimintaympäristö ja sen muutokset sekä siihen liittyvät riskit. Mallin tulisi ottaa huomioon organisaation tarpeet, erityistavoitteet, tuotteet ja organisaation käyttämät prosessit. Lisäksi organisaation koko ja rakenne täytyy huomioida. Prosesseissa sovelletaan Suunnittele – Toteuta – Arvioi - Toimi –menettelyä. Kaiken lähtökohtana on yrityksen strategia, mikä ohjaa toimintaa. Suunnittelussa asetetaan tavoitteet ja luodaan tarvittavat prosessit. ”Toteuta” tarkoit-

taa prosessien toimintaa. ”Arvioi” tarkoittaa, että prosesseja ja tuotteita täytyy mitata, seurata ja analysoida. ”Toimi”-kohdassa tehdään toimenpiteet, joilla parannetaan prosessien suorituskykyä. Nämä kaikki toiminnot muodostavat toiminnallisen ympyrän, mikä luo pohjan jatkuvalla parantamiselle. (SFS-EN ISO 9001 2008, 8 - 10) Seuraavassa kuvassa on esitetty prosesseihin perustuva laadunhallintajärjestelmän malli.



Kuvio 10. Laadunhallintajärjestelmän malli (SFS-EN ISO 9001 2008, 10)

Laatujärjestelmän kokoaminen tulisi aloittaa laatujärjestelmähankkeesta tiedottamisella. Laadunhallintajärjestelmän rakentamisessa kannattaa selvittää, mikä on yrityksen nykytilanne. On siis tehtävä nykytilanneanalyysi, missä selvitetään tämän hetkisen tilanteen lisäksi ongelmakohdat ja potentiaaliset kehityskohteet. Yritysjohdon tulee päättää laatu politiikasta ja asetettavista vaatimuksista. Tämän jälkeen tulisi analysoida nykyiset toimintoketjut ja laadunvarmistuksen toimintatavat. Menettelytapoja tulisi kehittää, jotta laatuongelmat voitaisiin poistaa. Seuraavana vaiheena prosessit ja toimintojen ohjeet dokumentoidaan. Tehdään laatukäsikirja yrityksen toimille sopivaksi. Tämän jälkeen tehdään ensin sisäinen auditointi ja tarvittaessa muutoksia käytäntöihin, käsikirjaan tai ohjeisiin. Seuraavaksi pyydetään ulkopuolista auditointia. Kun tästä on hyväksytysti suoriuduttu, yritys ottaa järjestelmän käyttöönsä. Henkilöstöä koulutetaan ja perehdytetään tarpeen mukaisesti. Toimintaa täytyy jatkuvasti seurata ja kehittää. (Andersson 1997, 115 – 116)

Jatkuvan parantamisen avulla organisaatiolla on mahdollisuuksia kehittyä maakuntasarjasta maailman luokan organisaatioksi. Kun mittaristo saadaan rakennettua ja toimimaan hyvin, siitä täytyy tuottaa säännöllisesti tietoa yrityksen jokaiselle työryhmälle. Tuotettuna tietona on työryhmän onnistuminen työssä. Lisäksi organisaation tulee käyttää tietoa tehokkaasti siten, että jokainen henkilö toteuttaa vuosittain vähintään viisi toiminnan parantamistoimenpidettä. (Laine 2010, 273)

Organisaation on kehitettävä myös johtamismalli ja yrityskulttuuri, missä lattiatason pienryhmillä on päätösvaltaa oman työn jatkuvalla kehitykselle. Lisäksi pienryhmillä on oltava aikaa säännöllisesti arvioida työn tuloksia ja päätöksen tekoa jatkuvan kehittämisen turvaamiseksi. Organisaation on hyväksyttävä virheet ja autettava pienryhmiä yrittämään parastaan sekä muutosvalmiutta ja kaikkea osaamisen parantamiseen tähtääviä toimenpiteitä. (Laine 2010, 273)

Yrityksissä normaalisti henkilöstö tekee normaaleilla aloitesysteemeillä noin 0,1 aloitetta/henkilö/vuosi. Tätä määrää täytyy pystyä kasvattamaan, ja siksi johdon onkin panostettava tulosten ja kehityksen tiedottamiseen. Kehitysideat on käsiteltävä viivytyksettä esityksen tehneen henkilön työryhmässä. Jos tämä viivästyy, voi yrityksen jatkuva parantuminen kärsiä. Johdon tulee seurata tiiviisti tunnuslukuja eli tehtyjen kehitysehdotusten, päätettyjen parannusehdotusten ja toteutettujen toimenpiteiden lukumääriä, jotta nähdään ryhmien todella tekevän töitä kehityksen eteen. Toteutettavat kehitysideat on laitettava toteutukseen mahdollisimman nopeasti. Johdon käsiteltäväksi ei pitäisi mennä muita ehdotuksia kuin ne millä on todella taloudellisia vaikutuksia. (Laine 2010, 273 - 274)

5 Tuloksellisuusmittarit

5.1 Tuottavuus

Tuottavuuden hyvä mittari on tehdyt työtunnit/tuotettu yksikkö. Tavallisesti laskennassa käytetään tuotannon työtunteja. Laskennassa voidaan käyttää myös kaikkia tehtaan toimintoihin kulunutta aikaa. Tuloksiin vaikuttaa hyvin monet asiat. Tunnusluvun muuttuessa on analysointia suoritettava joillakin muilla mittareilla. Ihmisvaltaisella alalla mittari ilmoittaa, miten sujuvasti työskentely sujuu. Vastaavasti massatuotannossa mittari ilmoittaa, kuinka hyvin investoinnit ovat onnistuneet. Joskus voi käydä niin, että yritysjohto luulee kehittäneensä toimintoja tehokkaammiksi. Todellisuudessa investoinnit ovat vähentäneet ihmistyötä, mutta laatu ja ihmistyön tuottavuus ovat laskeneet. Tällöin investoinnit ovat onnistuneet, mutta ihmisten ja tuotantoprosessien johtaminen on epäonnistunut. (Laine 2010, 14)

Pääoman tuotto on pääoman kiertonopeus kerrottuna tehtaan tulosprosentilla. Pääoman kiertonopeutta pystytään parantamaan lisäämällä liikevaihtoa. Lisäksi pääoman kiertonopeutta voidaan parantaa vähentämällä sidottua pääomaa. Tulosprosenttia voidaan parantaa nostamalla tuotteiden myyntihintoja sekä alentamalla kustannuksia. (Laine 2010, 15)

5.2 Kustannustehokkuus

Kustannustehokkuudeksi sanotaan sitä, kun myytävää tuotetta tuotetaan mahdollisimman pienillä yksikkökustannuksilla. Kokonaiskustannusten alentaminen ei ole sama asia kuin kustannustehokkuus. Tehokkuus voi lisääntyä vaikka tuotantolaitoksen kustannukset nousisivatkin, jos yksikkökustannus pienenee. Kustannustehokkuudessa on tarkasteltava kaikkia yksikön tuottamiseen vaikuttavia kustannuksia. Näitä kustannuksia ovat valmistukseen, myyntiin, hallintoon, raaka-aineiden käyttöön ja raaka-ainehävikkiin, energian käyttöön sekä logistiikkaan käytettävät kustannukset sekä pääoman käytön tehokkuus. (Laine 2010, 16)

5.3 Laatu ja käyttövarmuus

Laatua ei saa unohtaa tehokkuutta lisättäessä. Tehtäessä työtä kiireellä laatu voi kärsiä. Tällöin sama työ joudutaan tekemään uudelleen. Laaturvirheen havaitseminen mahdollisimman aikaisin on tärkeää, jotta kustannukset jäisivät mahdollisimman pieniksi. Paras tilanne on, kun pystytään tuottamaan hyvää laatua mahdollisimman korkealla tehokkuudella. Tuotantolaitoksen hyvän käynnissäpitostrategian tavoitteet voisivat olla esimerkiksi seuraavat:

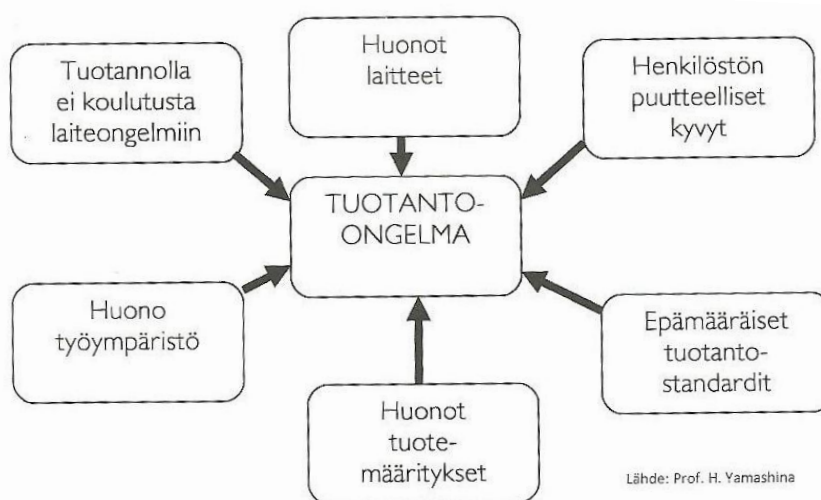
- Vältetään laitevikoja ja odottamattomia seisokkeja. Laitteiden kuntoa seurataan ja niitä käytetään oikein.
- Seisakit suunnitellaan hyvin ja huolto on tehokasta.
- Prosessin ja laitteiden tehot ovat korkeat.
- Tuotteiden laadut ovat annetuissa arvoissa.
- Kunnossapitokustannukset ovat hallinnassa.
- Turvallisuus on hyvin hoidettu.

Tehtaan tulisi tuottaa tasaisesti laadukkaita tuotteita mahdollisimman optimaalisella tehokkuudella. (Laine 2010, 17, 20, 232)

6 Prosessimittarit

Johtamisen ydintoimintaan kuuluu mittaaminen ja sitä kautta tapahtuva jatkuva parantaminen. Prosesseissa mitattavia asioita esiintyy paljon, ja siksi on tärkeää määritellä, mitä mitataan. Yrityksen kokonaisstrategian tulisi ohjata mittareita ja mittaamisesta täytyisi saada päätöksentekoon apua. (Laine 2010, 231)

Organisaation kaikkiin toimintoihin ja käytettyihin tekniikoihin tulisi sisällyttää jatkuvan parantamisen periaate. Poikkeamia ja ongelmia esiintyy tuotannossa aina silloin tällöin. Ongelmat ja niiden syyt tulisi analysoida, minkä jälkeen ongelman aiheuttaja tulisi yrittää poistaa. Tulisi miettiä, mitä täytyy tehdä, jottei ongelma esiintyisi uudelleen. Seuraavassa kuviossa on esitetty professori Yamashinan näkemys tuotanto-ongelmien syistä. (Laine 2010, 263)



Kuvio 11. Yamashinan näkemys tuotanto-ongelmien syistä (Laine 2010, 264)

Yamashinan näkemyksen mukaan vain yksi tuotanto-ongelmien syistä on lähtöisin tekniikasta. Muut syyt ovat inhimillisiä tekijöitä, mitkä liittyvät aina johtamisen puutteisiin. Hyviin tuloksiin tuotantoyrityksessä päästään vain kiinnittämällä huomio työympäristöön, tuotantoprosessien ja menetelmien standardointiin, tuotemääräyksiin ja kuvauksiin sekä henkilöstön kykyihin, koulutukseen ja motivaatioon. (Laine 2010, 264)

6.1 Mittaaminen

Yritystoiminnassa on tavoitteena tuottaa voittoa. Ei ole järkevää mitata pelkästään saatua voittoa. Mittaamisella pyritään määrittämään prosessista kohtia, joista havaitaan mahdollisia ongelmia. Sen vuoksi on tärkeää olla mittareita, joilla pystytään selvittämään syyt heikkoon suoritukseen ja päättämään korjaavista toimenpiteistä. Kaikille ei tuoteta samoja mittaustuloksia, vaan eri yksilöille tulisi tuottaa tietoa sellaisista mittaustuloksista, joihin hän itse voi vaikuttaa. Yleensä tietoa mittaustuloksista kullekin yksilölle tulisi tuottaa noin viidestä mittaustuloksesta. (Laine 2010, 231 – 232)

Usein yrityksissä on havaittavissa kaksi ajatusvirhettä, kun puhutaan yrityksen kilpailukyvyistä ja sen mittareista. Ylin johto ja hallinto käsittelevät tuloslaskelman tunnuslukuja ja tuotannossa puhutaan resursseista ja tuotannon tunnusluvuista. Jos ei ole tunnuslukuja, joista voitaisiin nähdä yhteys näiden tunnuslukujen välillä, toiminnalla ei ole mahdollisuuksia parantua. Kilpailukykyyn liittyvien asioiden jatkuva mittaaminen ja tulosten analysointi on tärkeää. Perusedellytyksenä on, että on valittu oikeat seuranta-mittarit ja mittaukset ovat tehokkaat sekä tuloksia analysoidaan järjestelmällisesti. Yrityksessä tulisi aina mitata rahallisia, toiminnallisia ja kilpailukykyyn liittyviä tuloksia. Näistä olisi tiedettävä korrelaatio eri mittareiden välillä. (Laine 2010, 232 - 233)

6.2 Analysointi

Ongelmiin perehtyminen on välttämätöntä, kun kehitetään ratkaisukeinoja ongelmiin. Koulutuksella ja perehdytyksellä pystytään parantamaan ongelman ratkaisukykyä. (J. Järviö, s. 114) Laadun vaihtelun syitä on yleensä lukemattomia, mutta ne kaikki eivät vaikuta laatuun samalla voimakkuudella. Laatu poikkeamiin vaikuttavat syyt voidaan jakaa harvoin syihin, joiden vaikutus laatuun on kuitenkin suuri, ja useisiin syihin joiden vaikutus on vähäinen. On suuri ero sillä, onko prosessissa monia epäilyjä virheiden aiheuttajiksi vai useita syitä, mitkä todella aiheuttavat virheitä. Menetelmää, joilla virheiden aiheuttajat löydetään, kutsutaan prosessin taudinmäärittäykseksi. (Kume 1998, 9 – 10)

Ensimmäinen vaihe on oikean diagnoosin tekeminen. Menetelmät sen tekemiseen voivat perustua intuitioon, kokemukseen tai kokeelliseen tutkimukseen. Intuitio on yleinen, koska se on nopea. Tilastollisella objektiivisella analysoinnilla päästään tehokkaasti

kehittämään prosessia ja laadunohjausta. Tärkeää tilastollisten menetelmien käytössä on sekä asioiden analysointi tilastollisesta näkökulmasta että itse tilastollisten menetelmien käyttö. (Kume 1998, 10 – 11)

Prosessin saantoon voi vaikuttaa suuri määrä tekijöitä, joilla on syy-seuraussuhde. Prosessia systemaattisesti seuraamalla voidaan määrittää syy-seuraussuhteiden rakenteet. Kaavion laatiminen ei ole helppo tehtävä, mutta se voidaan järjestelmällisellä menettelyllä saada aikaiseksi. Syiden tunnistamiseksi on ensin määriteltävä laatumuuttujat. Tämän jälkeen valitaan aina yksi laatumuuttuja kerrallaan ja mietitään ensisijaiset laatuominaisuuden vaikuttavat syyt. Seuraavaksi mietitään toissijaiset syyt eli syyt, jotka vaikuttavat ensisijaisiin syihin. Tämän jälkeen olisi mietittävä jokaisen tekijän tärkeys ja merkittävä erittäin tärkeät tekijät. Syy-seurauskaavio voidaan tehdä myös syiden järjestelmällisellä luetteloinnilla. Tällöin määritetään ensin tutkittava laatuominaisuus. Toisena vaiheena etsitään syyt, jotka vaikuttavat laatuominaisuuteen. Tämän jälkeen täytyy selvittää syiden riippuvuussuhteet ja yhdistää ne laatuominaisuuden syy-seuraussuhteiden perusteella. Seuraavaksi määritetään kaikkien tekijöiden tärkeys ja merkitään erityisen tärkeät tekijät. Lopuksi molemmissa kirjataan kaikki tarpeelliset tiedot, millä voidaan yksilöidä kaavio. Kaaviota laadittaessa kannattaa keskustella useiden henkilöiden kanssa. Laatuominaisuus tulisi kuvata mahdollisimman tarkasti. Jokaiselle laatuominaisuudelle tulisi laatia oma syy-seurauskaavionsa. Laatuominaisuuksien ja tekijöiden tulisi olla mitattavia. Syiden tunnistamisen jälkeen ongelmaan vaikuttavaan tekijään tulisi pyrkiä vaikuttamaan. Syy-seurauskaavioiden käytössä kannattaa asettaa kaikki tekijät tärkeysjärjestykseen objektiiviseen tietoon perustuen. Lisäksi tulisi jatkuvasti pyrkiä parantamaan syy-seurauskaaviota. Hyvä syy-seurauskaavio auttaa parantamaan taitoja ja lisää teknistä tietämystä. (Kume 1998, 28 – 34)

Ongelmanratkaisu voi tehostua käyttämällä useiden menetelmien yhdistelmiä. Syy-seurauskaavioon voidaan yhdistää esimerkiksi Parento-kuvaaja. Suurin osa hävikistä aiheutuu vain muutamasta syystä. Näitä voidaan havainnoida tehokkaasti Pareto-kuvaajalla. Pareto-kuvaaja voidaan kohdistaa seurauksiin, kun etsitään vakavia ongelmia. Tällaisia ovat esimerkiksi virheettömyys, kustannus, toimitus ja turvallisuus. Pareto-kuvaaja täytyy kohdistaa myös syihin, kun ongelma on tunnistettu seurauksiin kohdistetulla kuvaajalla. Syitä ovat esimerkiksi koneiden käyttäjät, koneet, raaka-aineet ja käyttömenetelmät. Kun syyt ovat selvillä, on näihin keksittävä ratkaisukeinot, jotta parannusta voi tapahtua. (Kume 1998, 21 – 26, 34)

Prosessin tilaa voidaan seurata valvontakorttien avulla. Sen tarkoituksena on eliminoida epänormaali vaihtelu erottamalla selvitettävissä olevista ja sattumanvaraisista syistä johtuvat vaihtelut toisistaan. Valvontakorteissa on kaksi valvontarajaa keskiviivan molemmin puolin. Valvontarajat lasketaan kaavalla: (keskimääräinen arvo) $\pm 3 \times$ (keskihajonta). Kun kaikki arvot sijaitsevat valvontarajojen sisällä, prosessi on hallinnassa. Prosessi voi vaihdella sattumanvaraisista ja selvitettävissä olevista syistä. Sattumanvaraisia syitä ei tällä hetkellä pystytä täysin eliminoimaan teknisesti ja taloudellisesti. Selvitettävissä olevista syistä johtuva vaihtelu on vältettävissä. Sattumanvaraisista syistä johtuvan vaihtelun määrittämiseksi täytyy raaka-aine-erä, kone, työntekijä ja muut tekijät laittaa alaryhmiksi, joiden sisällä tapahtuvan vaihtelun voidaan katsoa olevan sattumanvaraista. Tätä sattumanvaraisista syistä johtuvaa vaihtelua kuvataan vaihtelun keskihajonnalla. (Kume 1998, 92 – 94)

Käytettäessä valvontakorttia ongelman analysointiin, tarvitaan yleensä myös histogrammit. Prosessissa tapahtuu jatkuvasti pientä muuttumista. Kun arvot muuttuvat tietyillä säännöillä, sanotaan, että arvot noudattavat tiettyä jakaumaa. Kerättäessä tietoa prosessista huomio ei kiinnity tiettyyn mittaukseen vaan prosessin tilan seuraamiseen. Näytteitä ja mittauksia seuraamalla ei ole tarkoitus määrittää kyseisen näytteen tai mittauksen ominaisuuksia vaan tietää, mikä on prosessin tila. Tarkastelussa olevien yksilöiden muodostamaa joukkoa kutsutaan perusjoukoksi. Mitä enemmän näytteitä tai tietoja on saatavilla, sitä vaikeammaksi perusjoukon ymmärtäminen menee. Histogrammi auttaa tämän ymmärtämiseksi objektiivisesti. Histogrammeja voi olla erityyppisiä. Normaali muodossa keskiarvo on alueen keskellä, kuten myös frekvenssi on keskellä korkeimmillaan. Histogrammin muoto on symmetrinen. Kampamuodossa joka toinen luokka on matalammalla frekvenssillä, mikä aiheutuu yleensä arvojen pyöristyksistä. Positiivisessa vinossa muodossa frekvenssi on suurimmillaan joko oikealle tai vasemmalle. Frekvenssi pienenee jyrkästi toiseen suuntaan, mitä esiintyy yleensä, kun valvotaan joko ala- tai ylärajaa. Vasemmanpuoleinen jyrkkä muoto esiintyy, kun on tehty valinta prosessin alhaisen suorituskyvyn takia. Tasahuippumuodossa luokkafrekvenssit muodostavat tasahuipun. Muoto esiintyy, kun yhdistellään useita jakaumia. Kaksois-huippumuotoinen histogrammi muodostuu, kun frekvenssi on alhainen alueen keskikohdan lähellä. Tätä muotoa esiintyy, kun yhdistetään kaksi keskiarvoiltaan erilaista jakaumaa. Erillishuippumuotoa esiintyy silloin, kun mukana on muutamia arvoja eri jakaumista. Histogrammeja voidaan myös jakaa kahteen tai useampaan alajoukkoon. Osituksella voidaan syiden etsiminen tehdä helpommaksi. Tällä menetelmällä pystytään

tehokkaasti pienentämään laadun vaihtelua ja kyetään parantamaan prosessin keskiarvoa. Ositus voidaan tehdä esimerkiksi materiaalien, koneiden, menetelmien, toimintaolosuhteiden ja työntekijöiden suhteen. (Kume 1998, 39 – 55, 116)

7 Työn tulokset

Teoriatiedon perusteella alettiin miettiä Etanolix-prosessia ”kalanruoto” menetelmällä. Kalanruotomalli tehtiin Word -tekstinkäsittelyohjelmalla SmartArt-työkalulla, mistä valittiin hierarkkinen tyyli. Perusajatuksena oli kuitenkin kalanruodon toteuttamisen periaate. Kalanruodossa prosessi jaettiin osiin toimintojen mukaan. Kalanruodon valmistuttua valittiin sieltä tärkeimpiä alueita. Valinnat tehtiin jokaisesta prosessin toiminnallisesta osasta. Valituista alueista tehtiin kehitysideoita, joista osa on ollut esillä aiemminkin kahvipöytäkeskusteluissa. Operointia voidaan kehittää järjestelmällisellä koulutuksella.

Etanolix-prosessin työn tulokset on esittely yrityksen omassa insinööriöversiossa. Tämä on yrityksessä määritetty yrityssalaisuudeksi. Lisäksi työhön liittyvät liitteet on määritetty yrityssalaisuudeksi.

Lähteet

- Aehle Wolfgang. 2007. Enzymes in Industry. Third, Completely Revised Edition. Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim.
- Andersson Paul H., Tikka Heikki. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. Werner Söderström Osakeyhtiö. Porvoo.
- Billet Reinhard. 1995. Packed Towers in Processing and Environmental Technology. Translated by Fullarton James W. VCH. Weinheim; New York.
- Drapcho Caye M., Nhuan Nghiem Phu, Walker Terry H. 2008. Biofuels Engineering Process Technology. McGraw-Hill.
- Enari T-M ja & Mäkinen V. 1993. Panimotekniikka. 2. uusittu painos. Oy Panimolaboratorio. Espoo.
- Heinonkoski Risto, Asp Risto ja Hyppönen Heikki. 2008. Automaatio – helppoa elämää? Opetushallitus.
- Järviö Jorma, Piispa Taina, Parantainen Timo ja Lappalainen Markku. 2006. Kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 10. 3. uudistettu painos. KP-Media Oy. Helsinki.
- Koivisto Raija. 2003. Staattisen sähkön riskit prosessiteollisuudessa. Chemas Oy. Helsinki.
- Kume Hitoshi. 1998. Laadun parantamisen tilastolliset menetelmät. 2. korjattu painos. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Laine Hannu S. 2010. Tehokas kunnossapito. tuottavuutta käynnissäpidolla. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 16. KP-Media Oy. Helsinki.
- Pihkala Juhani. 2011. Prosessitekniikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit. Opetushallitus. Helsinki.
- SFS-EN ISO 9001. 2008. Laadunhallintajärjestelmät. <http://sales.sfs.fi.ezproxy.metropolia.fi/sfs/servlets/DownloadServlet?action=getFile&productId=210871&forContract=11400>. Luettu 2.11.2012.

Stenvall-Virtanen Sari. 2003. Juuri oikeanlaista kemiaa B4/2003. Yritystoiminnan tutkimus- ja koulutuskeskus

Tietoa St1:stä. St1 kotisivut. <http://www.st1.fi/index.php?id=5804>. Luettu 8.11.2012.

Tietoa VTT:stä. VTT kotisivut. http://www.vtt.fi/references/st1_and_vtt_bring_biomotoring_to_north.jsp. Luettu 18.11.2012