

Anssi Kemppainen

Aineensiirtoprosessit kemianteollisuudessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

4.1.2018

Tekijä(t) Otsikko	Anssi Kemppainen Aineensiirtoprosessit kemianteollisuudessa
Sivumäärä Aika	32 sivua + 1 liite 4.1.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Timo Seuranen
<p>Tämä insinööri työ on kirjallisuustutkielma aineensiirtoprosesseista kemianteollisuudessa. Esiteltäviä tekniikoita ovat tislauk, absorptio, adsorptio ja uutto. Aineensiirtoprosessien periaatteet käydään läpi ja samalla tarkastellaan esimerkkejä laitteistosovelluksista.</p> <p>Alun perin tähän insinööri työhön oli tarkoitus liittää työosuutena Metropolian Leiritien yksikössä sijaitsevan tislauk kolonnin testiajot ja käyttöönotto. Tislauk kolonnin automaatio ei ollut kuitenkaan asennettuna vielä tätä raporttia kirjoittaessa, joten laitteistoa ei päästy ajamaan ollenkaan. Automaation asennus tullaan tulevaisuudessa toteuttamaan automaatiotekniikan opiskelijoiden oppilasprojektina, joten tätä varten piirrettiin tislauk kolonnista päivitetty PI-kaavio.</p> <p>Tässä loppuraportissa esitellään myös muutama opetuskäyttöön suunniteltu aineensiirtoprosessilaitteisto. Laitteistot ovat Tampereen Systeemitekniikan laitoksen tislauk kolonni, Centria-ammattikorkeakoulun absorptio-desorptiolaitteisto sekä Tampereen ammattikorkeakoulun kiintokerrosadsorptiokolonni.</p>	
Avainsanat	Tislauk, absorptio, adsorptio, uutto, kolonni

Author(s) Title	Anssi Kemppainen Mass transfer processes in chemical industry
Number of Pages Date	32 pages + 1 appendix 4 January 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Timo Seuranen, Senior Lecturer
<p>This thesis is a literary study about mass transfer processes in chemical industry. Thesis introduces the principles of distillation, absorption, adsorption and extraction, and there are few examples of equipment which are used in the industry.</p> <p>At first the main goal for this thesis was to get familiar with the distillation column in the Process Laboratory at Metropolia Leiritie campus and to do test runs with it. The problem was that the column's automation was not ready at the time this thesis was written therefore the test runs could not be done. The future plan is that automation technology students will upgrade the automation for the column in their school project. That is why the new upgraded PI drawing was sketched.</p> <p>This thesis presents a few examples of mass transfer processes that are designed for educational use. These are Tampere University of Technology's distillation column, Centria University of Applied Sciences' absorption equipment and Tampere University of Applied Sciences' Fixed Bed Adsorption Unit.</p>	
Keywords	Distillation, absorption, adsorption, extraction, column

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aineensiirtoprosessit	1
2.1	Tislaus yleisesti	1
2.1.1	Jatkuvatoiminen tislaus	7
2.1.2	Panostislaus	7
2.1.3	Tislausprosessin seuraaminen	8
2.1.4	Atseotrooppinen tislaus	11
2.2	Absorptio ja desorptio	11
2.3	Adsorptio	14
2.4	Uutto	16
2.4.1	Neste-nesteuutto	16
2.4.2	Neste-nesteuuttokolonnisovelluksia	17
2.4.3	Kiintoaine-nesteuutto	21
3	Metropolian tislauslaitteiston toiminnankuvaus	22
4	Esimerkkejä erotusprosesseista opetus- ja koulutuskäytössä	24
4.1	Tampereen Systemitekniiikan laitoksen tislauskolonni	24
4.2	Centria-ammattikorkeakoulun absorptio-desorptiolaitteisto	26
4.3	Tampereen ammattikorkeakoulun kiintokerrosadsorptiokolonni	28
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Metropolian tislauskolonnin PI-kaavio	

1 Johdanto

Kemianteollisuudessa puhutaan aineensiirtoprosesseista, joissa yhdestä faasista toiseen faasiin siirtyä ainetta ilman kemiallista reaktiota. Tällaisia ovat esimerkiksi kaasufaasista siirtyminen nestefaasiin tai nestefaasien välillä tapahtuva siirtyminen. Tässä insinööriyössä käydään läpi yleisempien aineensiirtoprosessien periaatteet ja niihin liittyviä sovelluksia muutaman esimerkkilaitteiston avulla. Esiteltävät aineensiirtoprosessit ovat tislaukset, absorptio, adsorptio sekä uutto. Ilmiöt näiden aineensiirtotapahtumien välillä liittyvät siihen, kun eri faasit ”pakotetaan” toistensa kanssa kosketuksiin. Aineiden tai molekyylien siirtyminen eri faaseihin tapahtuu konsentraatioerojen vaikutuksesta, paine- ja lämpötilaeroista sekä virtauksesta, joka toimii yleensä vastavirtaperiaatteella, jotta aineensiirto olisi mahdollisimman tehokasta.

Tähän insinööriyöhön oli tarkoitus sisällyttää Metropolian Leiritien prosessilaboratoriossa sijaitsevan tislaukolonnin käyttöönotto ja testiajojen tekeminen mutta puutteellisen automaation takia sitä ei tätä insinööriyötä tehdessä voinut vielä ajaa ollenkaan. Tislaukolonnista kuitenkin piirrettiin päivitetty PI-kaavio, koska laitteisto tullaan ottamaan käyttöön oppilasprojektina tulevaisuudessa.

2 Aineensiirtoprosessit

2.1 Tislaukset yleisesti

Tislaukset on kemiallisen prosessiteollisuuden selvästi käytetyin erotusmenetelmä. On arvioitu, että peräti 95 % kaikista prosessiteollisuuden ja öljynjalostusteollisuuden erotuksista tehtäisiin tislauksella. Tähän erotusprosessiin kuluu valtavasti energiaa, koska tislattaessa tarvitaan paljon lämmitystä. Tislaukset yksikköoperaationa on nesteen osittaista höyrystämistä. Syntynyt höyry erotetaan jäljelle jääneestä nesteestä. Erottautuminen perustuu komponenttien erotustekijöihin eli haihtuvuuteen. Helpommin haihtuvat komponentit väkevöityvät höyryfaasiin, ja nestefaasiin jäävät vaikeammin haihtuvat komponentit. Seoksen suhteellinen haihtuvuus määrittelee sen, kuinka helposti komponentit tislautuvat erilleen. Suhteellisen haihtuvuuden ollessa suuri komponentit erottuvat helpommin. [1, s. 18.]

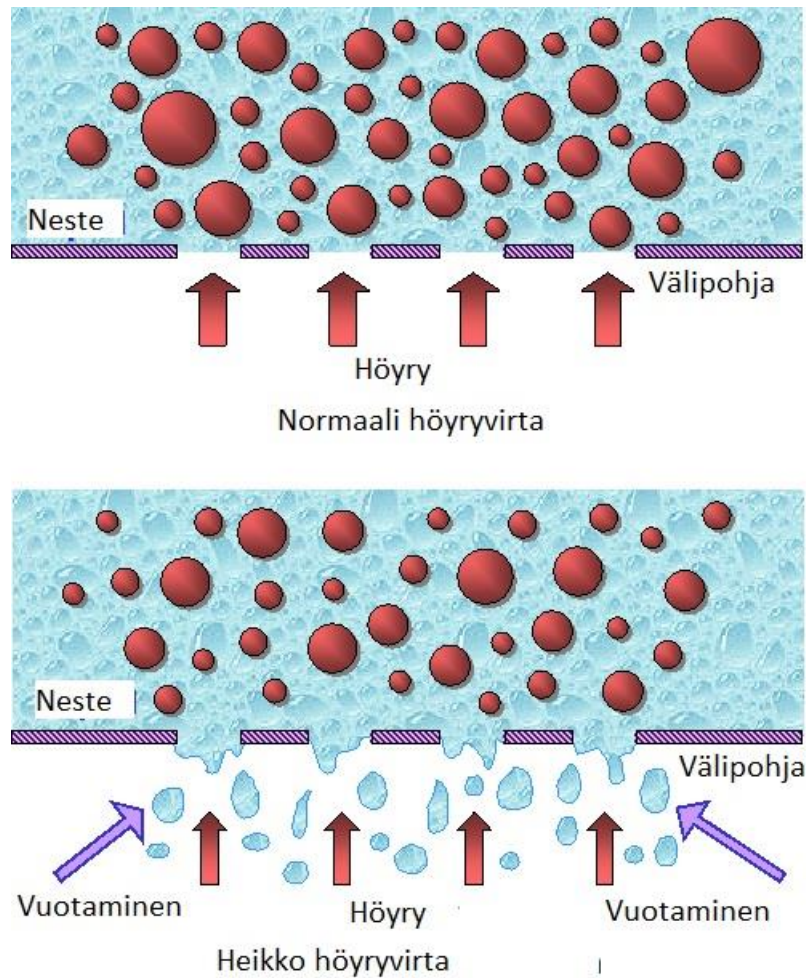
Tislaus prosessina tapahtuu kolonneissa, joissa pohjalla on kiehutin. Kiehuttimen avulla saadaan komponentit erottumaan. Kolonnin yläpäässä on lauhdutin, joka jäähdyttää höyryn, ja se palautuu takaisin nestemäiseen muotoon. Tämä puhdistettu komponentti eli tisle kerätään tarvittaessa talteen. Kolonnin pohjalle jäävää nestettä kutsutaan alitteeksi tai pohjatuotteeksi. Kolonneissa on sisällä yleensä välipohjia tai täytekappaleita, joiden tehtävänä on antaa nesteelle ja höyrylle kontaktipinta. Tällä kontaktipinnalla tapahtuu aineensiirtoa. Kevyemmät aineet siirtyvät ylemmäs höyryn mukana, ja raskaammat aineosat kulkeutuvat nesteen mukana alaspäin. [1, s.18.]

Jotta tislaus olisi tehokasta, on kolonneita täytynyt kehittää, jolloin aineet voidaan paremmin erottaa toisistaan. Yleisimmät ratkaisut ovat pohja- ja täytekappalekolonnit. Pohjakolonneiden toimintaperiaate on se, että neste valuu painovoimasta johtuen alaspäin ja höyry nousee ylöspäin jokaisella pohjalla erikseen. Välipohjien välillä on pieni painero, joka vaikuttaa edellä mainittuun käyttäytymiseen. Nesteen hallitsematon valuminen estetään pohjakolonneissa yleensä venttiiliratkaisuilla. Yksittäisessä aineensiirtopohjassa neste valuu palautusputkea pitkin pohjalle, jossa sijaitsee jo nestepatja. Uusi neste syrjäyttää vanhaa, joka valuu pohjalle rakennetun patoreunan yli kohti seuraavaa palautusputkea. Höyry puolestaan virtaa pohjan sekä nestepatjan läpi ylöspäin. Nesteytymistä sekä höyrystymistä tapahtuu jokaisella pohjalla, ja mitä ylemmäs edetään, sitä rikkaampaa tisle on. Vastaavasti pohjatuote on myös rikkaampaa alempana. Pohjakolonnien suunnittelu perustuu tiettyihin virtausolosuhteisiin. Toisin sanoen syöttö, tislevirta, palautussuhde ja alitevirta on tarkasti määritelty. Höyry- ja nestevirran suhde on erityisen tärkeä kolonnin oikeanlaisen toiminnan kannalta. Höyryvirran ollessa suurempi kuin normaalisti pohjalla oleva neste nousee höyryn mukana pieninä pisaroina, mikä tarkoittaa erotuskyvyn huononemista. Vastaavasti nestevirran kasvaessa kolonni alkaa tulvia, jolloin palautusputket täyttyvät nesteestä ja kolonni menettää erottelukykynsä. [2, s. 132—133.]

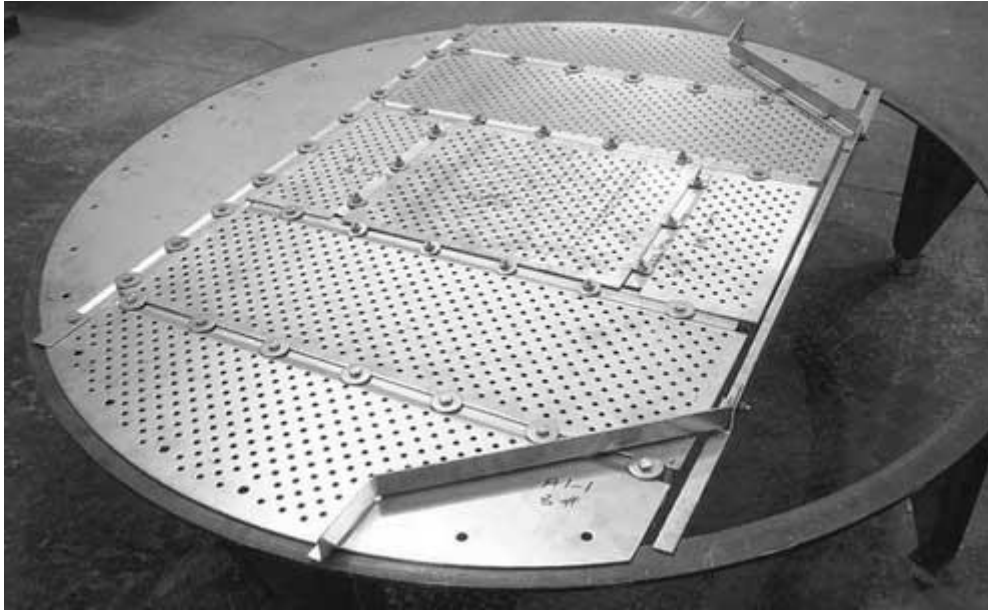
Aineiden suhteellisen haihtumisen ollessa suuri vaadittujen pohjien määrä on pieni. Jos aineiden kiehumispisteet ovat kuitenkin lähellä toisiaan, voi teoreettisten pohjien määrä olla suuri, jopa useita satoja. Tällöin tislausta erotusmenetelmänä on syytä pohtia tarkemmin. [1, s. 19.]

Välipohjatyyppisiä on kehitelty monenlaisia erityyppisiin tislaukolonnieihin. Seulavälipohja on näistä tyypeistä kaikista yksinkertaisin. Seulavälipohjassa on pelkkä metalli-

levy, johon on tehty reikiä. Reikien lukumäärä, asettelu sekä koko määräävät suunniteluparametrit. Periaatteena on, että rei'istä ylös nouseva höyry estää välipohjilla olevaa nestettä vuotamasta pohjan läpi. Huonona puolena tässä välipohjatyypissä on se, että jos höyryvirta on liian heikko, neste vuotaa rei'istä läpi ja kolonnin erottelukyky heikkenee. Alla on kuvattuna seulavälipohjan toimintaperiaate (kuva 1) ja sekä tyypillinen seulavälipohja (kuva 2), joita asennetaan kolonniin. [3.]

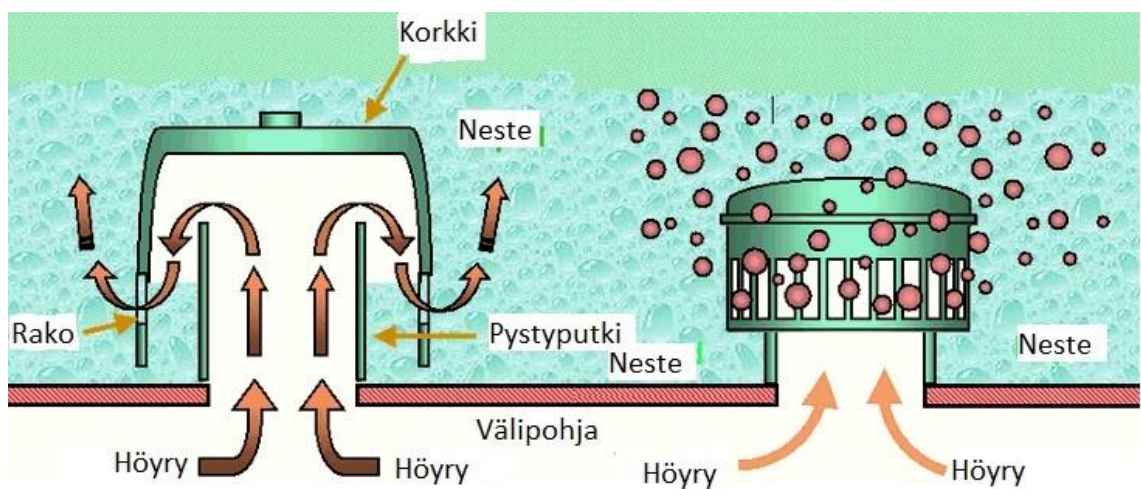


Kuva 1. Seulavälipohjan toimintaperiaate. Alemmassa kuvassa näkyy, mitä tapahtuu, kun höyryvirta on liian heikkoa ja neste pääsee valumaan pohjan läpi. [3.]



Kuva 2. Tyypillinen seulavälipohja. [3.]

Kellovälipohjassa on rakennettu metallilevyssä olevien reikien päälle pieni nousuputki, jota pitkin höyry pääsee välipohjasta läpi. Nousuputkea peittää eräänlainen korkki, joka estää nestettä valumasta tätä putkea pitkin. Putken ja korkin väliin jää rako, josta höyry purkaantuu nestepatjan läpi. Tämä on ihanteellinen ratkaisu, sillä höyryn täytyy puskea koko nestepatjan läpi, jolloin kosketuspinta-ala on höyryn ja nesteen välillä suuri. Tällöin erottautuminen on tehokkaampaa. Korkissa on paljon tällaisia rakoja, joista höyrykuplat purkautuvat nestepatjaan. Alla on esimerkki (kuva 3), kuinka kellovälipohja toimii, sekä kuva seulavälipohjasta (kuva 4). [3.]

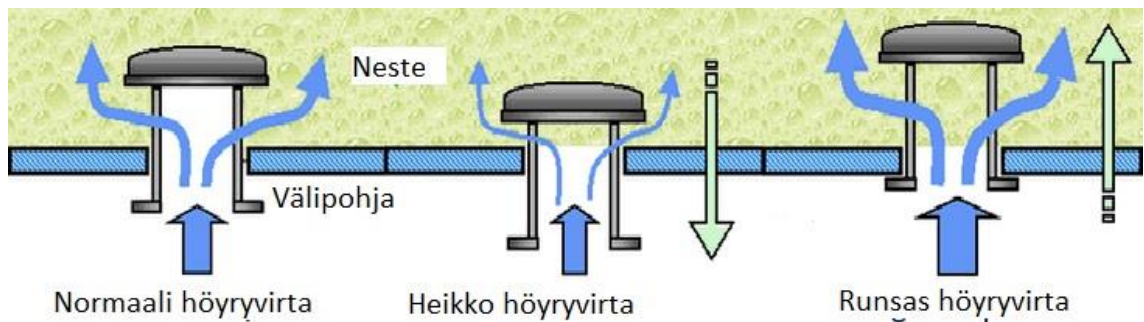


Kuva 3. Kellovälipohjan toimintaperiaate. [3.]

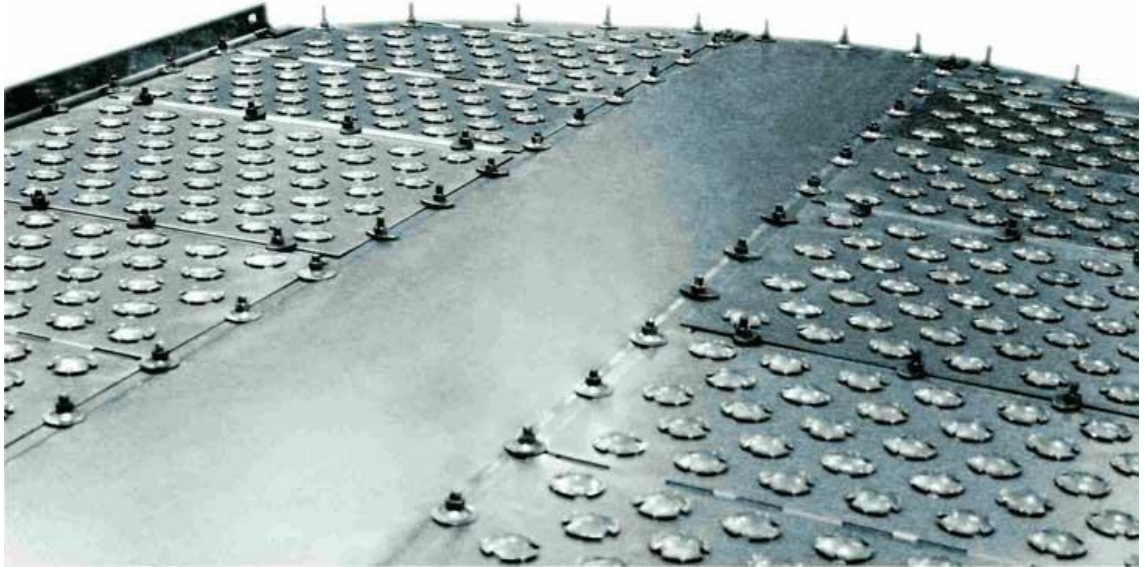


Kuva 4. Kellovälipohja suurennettuna. [3.]

Kolmas välipohjatyyppejä on venttiilivälipohja. Tässä tyypissä välipohjassa olevien reikien päälle on asennettu eräänlainen venttiili, jota säätelee höryvirtaus. Höryvirtauksen ollessa suuri venttiili aukeaa enemmän, ja virtauksen ollessa matala venttiili aukeaa vastaavasti vain hiukan. Venttiili estää nesteen valumisen välipohjasta läpi ja ohjaa höyryn kulkemaan vesipatjaan. Venttiilivälipohjilla höyryn ja nesteen erottuminen on paljon tehokkaampaa kuin seulavälipohjissa. Se on kuitenkin paljon herkempi likaantumiseen ja tukkeutumiseen. Alempana olevissa kuvissa on esitetty venttiilivälipohjan toimintaperiaate (kuva 5) sekä kuva venttiilivälipohjasta (kuva 6). [3.]

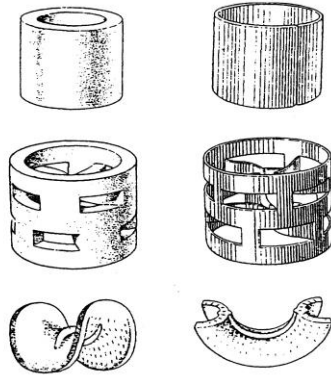


Kuva 5. Venttiilin toiminta välipohjassa eritasoisten höyryvirtausten kohdalla. [3.]



Kuva 6. Venttiilivälipohja, jossa reikien päälle on asennettu venttiilit. [3.]

Toinen keino pohjakolonniin lisäksi on täyttää kolonni kiinteillä täytekappaleilla. Täytekappalekolonneissa neste valuu täytekappaleiden pintoja pitkin alaspäin ja on vuorovai-
kutuksessa täytekappaleiden välissä kohoavan höyryn kanssa. Jotteivat höyry- tai nes-
tevirrat kanavoituisi, on aina täytekappalekerroksen päällä nestejakaja. Jos kanavoi-
tumista tapahtuisi, neste tai höyry ei etenisi tasaisesti koko kolonniin poikkileikkausal-
eella vaan jakaantuisi kanaviin tai säkeisiin. Täytekappaleita valmistetaan muun muassa
syöpymistä kestävästä metallista, muoveista ja keraameista, joiden pinta-alaa voidaan
muokata mahdollisimman suureksi. Usein täytekappaleet ovat pienien sylinterien muo-
toisia, ja missä on uurrettu pinta. Niissä on usein akselinsuuntaisia tai ruuvimaisia väli-
seiniä, jotka mahdollistavat suuremman kosketuspinta-alan. Täytekappaleet asetetaan
kolonniin rinnakkain pystyyn eri kerroksiin, ja eri kerrokset ovat limittäin toisiinsa nähden.
Pienimmät kappaleet voidaan esimerkiksi kaataa kolonniin jolloin ne ovat mahdollisim-
man erilaisissa asennoissa. Alapuolella olevassa kuvassa (kuva 7) on esimerkkejä mal-
leista ja muodoista, joita täytekappalekolonneissa voidaan käyttää. [2, s. 134—133.]



Kuva 7. Esimerkkejä täytekappaleista, joita käytetään täytekappalekolonneissa. Täytekappaleet tehdään esimerkiksi keraamista, metallista tai muovista. [4.]

2.1.1 Jatkuvatoiminen tislauks

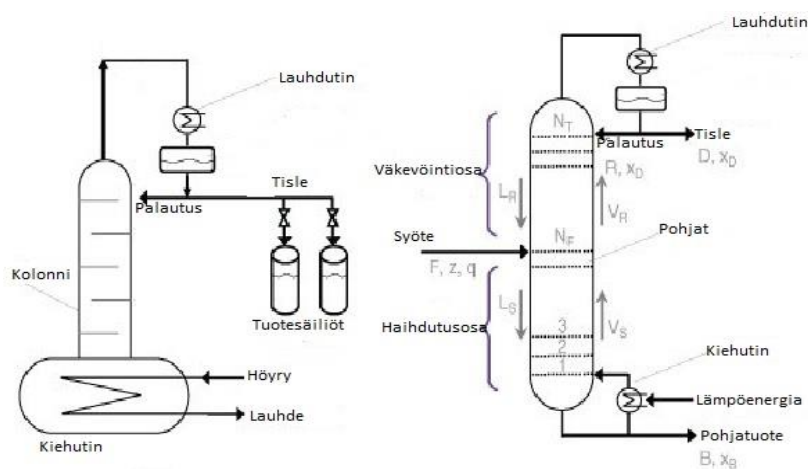
Tislausta käytetään joko jatkuvatoimisena tai panostislauksena. Jatkuvatoimisessa tislaukskolonnissa syöttö tulee yleensä kolonnin puoliväliin. Tällöin erotusta tapahtuu sekä tisleeseen että pohjatuotteeseen. Ideaalisesti syötön kohta on oikea silloin, kun kolonnin sisäisten virtauksien pitoisuudet ovat mahdollisimman lähellä syötön pitoisuuksia. Kolonnin yläosassa sijaitsevan lauhduttimen avulla höyry nesteytyy uudestaan. Osa tästä nesteestä on palautettava kolonniin, jolloin syötön yläpuolellakin on nestefaasi. Vastaavasti kolonnin pohjalla nestettä kiehutetaan, jotta syötön alapuolella on höyryfaasi. Jatkuvatoimisessa tislauksessa tarkoituksena siis on, että neste- ja höyryfaasi virtaavat jatkuvasti toisiaan vastaan. Syötön yläpuolella jatkuva kolonni toimii väkevöintikolonnina, ja vastaavasti syötön alapuolinen osa on haihdutuskolonni. [2, s. 132.]

2.1.2 Panostislauks

Panostislausta käytetään erityisesti silloin, kun tislauksessa on mukana kalliita tai vähäisiä määriä raaka-aineita. Myös tislauksen kausiluonteisuus tai epäsäännöllisyys kemian teollisuudessa saavat aikaan valinnan panostislauksen puolesta. Tätä tislauksmuotoa käytetään muun muassa biokemian- ja lääketieteellisuudessa. Panostislauksessa syöte annostellaan kokonaisuudessaan kolonnin pohjalle, jossa se kuumennetaan kiehuttimella. Kiehuttamisen aikana haluttu tuote höyrystyy ja erottuu syötepanoksesta. Kiehut-

timeen jää nestefaasi ja tisle kerätään lauhduttimen kautta lopputuotesäiliöön. Panostislauksen aika riippuu siis tislauksen luonteesta sekä erotettavista aineista. Se suoritetaan kertaluonteisesti, jonka jälkeen aineet poistetaan prosessista ja panos asetetaan uudelleen seuraavan tislauksen suorittamiseksi. Panostislauksen hyvä puoli on sen joustavuus, jolloin kolonnissa voidaan tehdä erilaisia tislauksia muuttamatta kolonnin toimintaa välissä. [5, s. 108.]

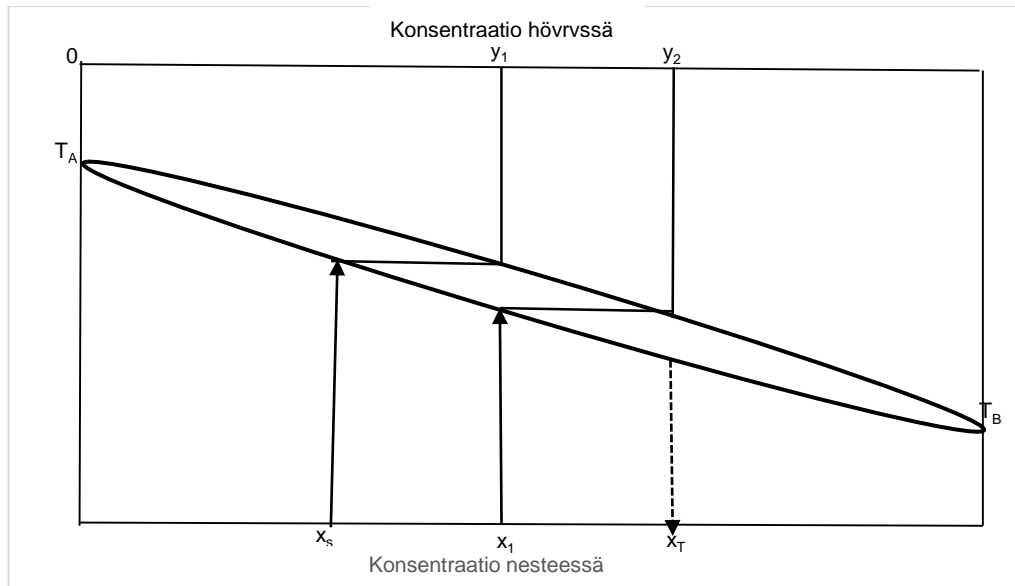
Alla olevassa kuvassa (kuva 8) on kaaviokuvat panostislauksesta ja jatkuvatoimisesta tislauksesta. Isoin ero on syötteen sijainnissa, joka on panostislauksessa kiehuttimessa. Jatkuvatoimisessa tisluslaitteistossa syöte tulee noin kolonnin puoliväliin.



Kuva 8. Panostislauksen (vasemmanpuoleinen) ja jatkuvatoimisen tislauksen kaaviokuvat. [7.]

2.1.3 Tislausprosessin seuraaminen

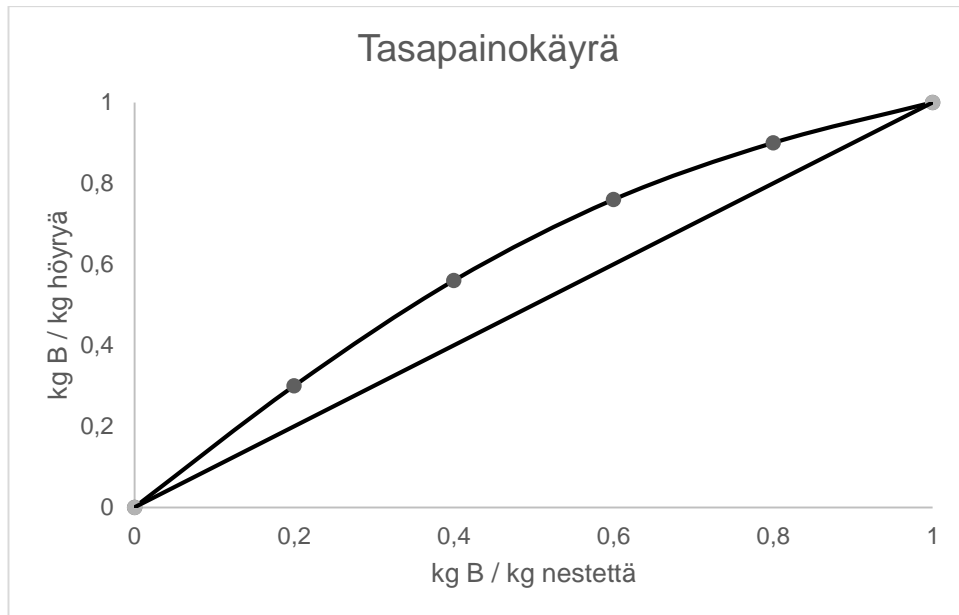
Tislausta aineensiirtoprosessina voidaan seurata ja tulkita erilaisten käyrien avulla. Yksi tällainen seurantakäyrä on lämpötila-konsentraatiokäyrä, joka näkyy kuvassa 9. Esi-merkkinä tässä käytetään jatkuvatoimista tislausprosessia, jossa on kaksi pohjaa ja kaksi lauhdutinta. Kuvaaajassa ylempänä oleva käyrä kuvaa höyryn konsentraatiota ja alempi vastaavasti nesteen konsentraatiota lämpötilan funktiona. [2, s. 129.]



Kuva 9. Lämpötila-konsentraatiokäyrä. Y-akselilla on lämpötila ja x-akselilla helpommin höyrystyvän nesteen konsentraatio. [2, s. 130.]

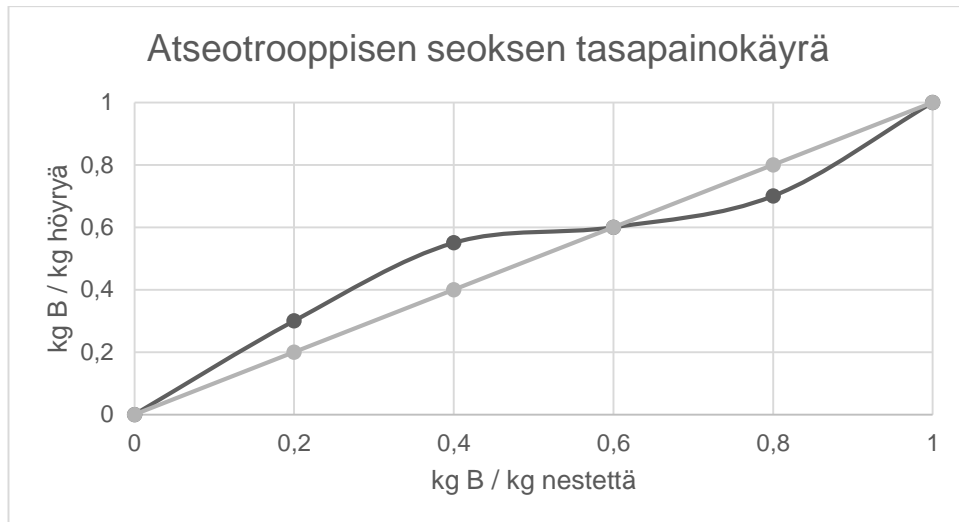
Oletetaan, että pohjalle 1 syötettävän seoksen konsentraatio on x_s , ja samalle pohjalle tuleva höyry on konsentraatioltaan y_1 . Lauhduttimelta 1 tuleva tisle on konsentraatioltaan x_1 . Tämä tisle höyrystetään pohjalla 2. höyryksi, jonka konsentraatio on y_2 . Pohjan yläpuolella on toinen lauhdutin, josta tuleva lopputuote on konsentraatioltaan x_T . Tässä esimerkkituloauksessa on kaksi toisiinsa sekoittunutta nestettä, joiden höyrystymislämpötilat ovat T_A ja T_B . Lämpötila-konsentraatiokäyrässä alempi rajakäyrä kuvaa nesteiden yhteisen höyrystymislämpötilan vaihtelua. Ylempi rajakäyrä kertoo samassa lämpötilassa muodostuneen helpommin höyrystyvän aineen konsentraation. Tällaisesta kuvaajasta voidaan päätellä, että höyryn helpommin haihtuvan komponentin pitoisuus on tasapainossa nesteen helpommin haihtuvan komponentin kanssa tietyssä lämpötilassa ja paineessa. [2, s 130.]

Kun tehdään graafinen esitys tavalla, jossa sijoitetaan helpommin höyrystyvän komponentin konsentraatio y-akselille ja nesteen helpommin haihtuvan komponentin konsentraatio x-akselille, saadaan niin sanottu tasapainokäyrä (kuva 10). Tämä käyrä, jota kutsutaan myös tislauskäyräksi, näyttää vallitsevan tasapainotilan höyryn ja nesteen helpommin haihtuvan komponentin välillä. Tislaus onnistuu käytännössä vain, jos tasapainokäyrä sijaitsee kuvaajaan piirretyn lävistäjän yläpuolella. Silloin ainoastaan höyryllä on suurempi helpommin höyrystyvän komponentin pitoisuus. [2, s. 130.]



Kuva 10. Tislausprosessissa syntyvä tasapainokäyrä. Tasapainokäyrän täytyy sijaita kuvaajan lävistäjän yläpuolella, jolloin tislauksessa tapahtuva erottuminen on mahdollista. [2, s. 130.]

Kun nesteessä on komponentteja, jotka kiehuvat lähellä toisiaan, muodostavat ne niin kutsutun atseotrooppisen seoksen tietyssä pisteessä. Tällöin tislauksessa syntyvä höyry on koostumukseltaan samaa kuin neste eli tislauksessa ei tapahdu muutosta. Tasapainokäyrässä (kuva 11) tämä ilmenee siten, että käyrä leikkaa lävistäjän eli $y=x$. Tässä leikkauspisteessä höyryn koostumus on sama kuin nesteen. Seos kiehuu siis vakio- λ -pötilassa, eivätkä komponentit enää erotu. Tislattaessa esimerkiksi etanolin vesiliuoksia saadaan tisleenä korkeintaan noin 96-prosenttista etanolia. Tässä pitoisuudessa etanoli ja vesi muodostavat atseotrooppisen seoksen, jolloin tislauksella ei enää erota aineita toisistaan. [2, s. 131.]



Kuva 11. Atseotrooppisen seoksen tislaukaskäyrä. Leikkauspisteessä tisleen koostumus on sama kuin nesteen, jolloin erotusta ei tapahdu enää prosessissa. [2, s. 131.]

2.1.4 Atseotrooppinen tislauk

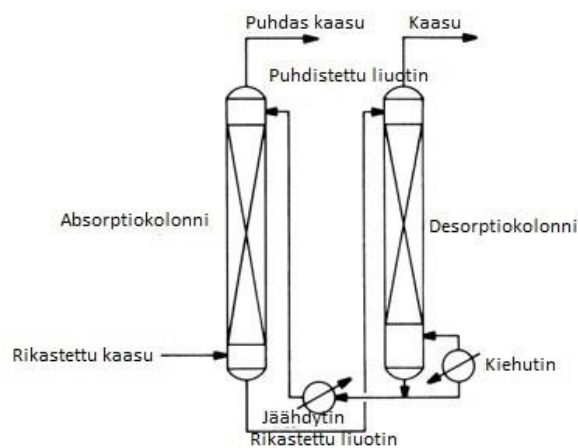
Atseotrooppisessa tislauksessa olemassa olevaan seokseen lisätään kolmas komponentti, jonka avulla saadaan atseotrooppisessa tilassa olevat aineet helpommin erotettavaksi muotoon. Veden ja etanolin atseotrooppisessa tislauksessa tällainen aine on esimerkiksi bentseeni. Kun bentseeniä lisätään etanoli-vesiseokseen, muodostuu uusi seos, joka sisältää 22,8 mooli-% etanolia, 23,3 mooli-% vettä sekä 53,9 mooli-% bentseeniä. Tämän yhdisteen kiehumispiste on 64,9 °C. Bentseeni ja vesi muodostavat keskenään atseotrooppisen seoksen, joka poistuu tisleenä, ja puhdas etanoli jää pohjatuotteeksi. Bentseenin ja veden seos on niin sanottu heterogeeninen seos, jossa bentseeni ja vesi ovat eri kerroksissa eivätkä sekoitu keskenään. Jos tilaussysteemi on tarpeeksi hyvin suunniteltu, bentseeni ja vesi voidaan erottaa vielä toisistaan. [6.]

2.2 Absorptio ja desorptio

Absorptio on yksikköprosessi, jossa tietty ainesosa siirtyy kaasufaasista nestefaasiin. Kun tapahtuma on päinvastainen, eli ainesosa siirtyy nesteestä kaasuun, puhutaan desorptiosta, toisin sanoen strippauksesta. Faasista toiseen liikkuva ainemäärä riippuu olosuhteista, aineominaisuuksista ja rajapinnan suuruudesta. Absorptioprosessi suoritetaan yleensä jatkuvatoimisena, jolloin eri faasit virtaavat vastakkaisiin suuntiin. Absorptiossa pätevät seuraavat lainalaisuudet. Kun absorboituvan aineen konsentraatioero on

suuri kaasun ja nesteen välillä, absorptio tapahtuu nopeammin. Myös paineen kasvattaminen lisää absorptio nopeutta. Vastaavasti prosessi tehostuu, jos kaasun tai nesteen lämpötilaa alennetaan. Kun absorptiota tapahtuu, kaasu joko liukenee nesteeseen tai nesteen ja kaasun välillä tapahtuu kemiallinen reaktio. [2, s. 135.]

Teollisuudessa on usein peräkkäin yhdistettynä absorptio- ja desorptiokolonni. Desorptio- eli strippauskolonni toimii tällöin liuottimen regeneroijana, eli se puhdistaa ja kierrättää sen takaisin absorptiokolonniin. Rikastettu kaasu johdetaan absorptiokolonnin pohjalle ja puhdistettu liuotin syötetään kolonnin huipulle. Faasit kulkevat toisiaan kohden vastavirtaan, ja haluttu kaasukomponentti liukenee liuottimeen. Huipulta puhdas kaasu johdetaan ulos ja rikastettu liuotin etenee regeneroitavaksi seuraavaan vaiheeseen. Desorptiokolonnin alapäässä on kiehutin, joka lämmittää liuotinta, ja siitä eroaa kaasun epäpuhtaus, joka puolestaan toimii liuottimen puhdistajana regenerointivaiheessa. Puhdistettu liuotin kierrätetään jäähdyttämisen jälkeen takaisin absorptiokolonniin. Alla olevassa kuvassa 12 on tarkasteltu tätä prosessin vaihetta. [1, s. 26.]



Kuva 12. Sarjaan kytketty absorptio- ja desorptiokolonni. [9.]

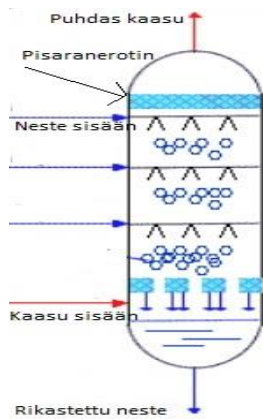
Kuten tislauksessakin, absorptiolaitteita on kehitelty erilaisia vastaamaan haluttuja vaatimuksia ja ominaisuuksia, ja tällaisia sovelluksia ovat esimerkiksi pohja- ja täytekapallakolonnit. Ne toimivat periaatteessa samalla tavalla kuin tislauksessa, eli neste valuu kiinteitä pintoja pitkin alaspäin ja kaasu virtaa vastakkaiseen suuntaan. Absorboitavan kaasun tulee olla tehokkaassa kosketuksessa nesteen kanssa, jotta absorboituminen onnistuu. Tämän takia nesteen täytyy jakaantua tasaisesti esimerkiksi täytekapalleiden päälle, jolloin kaasun ja nesteen vuorovaikutus on suuri. Nesteen tai kaasun jakaantu-

essa epätasapainoisesti kolonnissa, puhutaan kanavoitumisesta. Tällöin faasien kosketuspinta on huono ja absorboituminen on tehotonta. Yleensä absorptiokolonnissa on huipulla pisanerotin, jolla pyritään estämään kolonnissa syntyneiden nestepisaroiden pääseminen ulos kaasuvirtauksen mukana. Pisanerotin pyrkii muuttamaan kaasuvirtauksen suuntaa, jolloin muodostuneet pisarat joutuvat kosketuksiin kiinteän pinnan kanssa ja valuvat takaisin kolonniin. Yleensä absorptiokolonnit ovat jatkuvatoimisia, mikä on edullisinta ja tehokkainta. [2, s. 136—137.]

Absorptiolaitteistoja on myös sellaisia, joissa kaasu nousee nesteessä kuplina. Tällaista sovellusta käytetään esimerkiksi jätevesien puhdistuksessa. Ilman happi johdetaan jätevesialtaiden pohjalle, josta se liukenee veteen kuplina. Tätä kutsutaan myös ilmastukseksi. Kuplista liukenee happea veteen, jota käyttävät hyväksi jätevedessä viihtyvät bakteerit. Ne kasvavat ja lisääntyvät ja samalla kuluttavat jäteveden eloperäistä ainetta. [2, s. 136; 8.]

Helppoliukoisille kaasuille on kehitelty kolonnirakenne, joissa neste laskeutuu pisaroina kaasussa. Tällaiset laitteistot ovat yleensä korkeita tyhjiä torneja, joihin kaasua johdetaan alhaalta päin ja neste suihkutetaan huipulta. Kaasuvirran ja nestepisaroiden välinen rajapinta kasvaa suureksi, kun faasit kohtaavat vastavirrassa. Tällaista sovellusta käytetään esimerkiksi ammoniakkaasun liuottamisessa veteen. [2, s. 136.]

Kuvassa 13 on esitelty tällaisen suihkutornin periaate. Kaasu johdetaan kolonnin pohjalle, josta se nousee ylöspäin. Neste suihkutetaan kolonnin huipulta, josta se laskeutuu pisaroina kohti kolonnin pohjaa. Pesarat ja kaasu ovat vuorovaikutuksessa keskenään, jolloin kaasusta liukenee nestepisaroihin haluttu komponentti. Huipulla on pisaraerotin, joka estää vesipisaroiden karkaamisen kaasun mukana.



Kuva 13. Absorptioon käytettävä suihkutorni. [10.]

2.3 Adsorptio

Kun nesteestä tai kaasusta erotellaan komponentteja saattamalla ne kosketuksiin tietynlaisen kiinteän aineen pinnan kanssa, kutsutaan tätä prosessia adsorptioksi. Sitä käytetään useimmiten silloin, kun adsorboitavan aineen pitoisuus kaasussa tai nesteessä on pieni. Tämä ilmiö perustuu eräiden kiinteiden aineiden ominaisuuteen ottaa pinnalle kaasuja ja nesteitä. Tällaisia kiinteitä aineita kutsutaan adsorbenteiksi. Hyvillä adsorbenteilla on suuri ominaispinta-ala, johon molekyylit tai atomit kiinnittyvät vetovoimilla. [2, s. 139.]

Adsorptiossa molekyylien kiinnittymistä on kahdenlaista. Fysikaalisessa adsorptiossa eli fysisorptiossa koheesivoimat eli molekyylien väliset heikot voimat pitävät molekyylit kiinnittyneinä adsorbenttiin. Kemiallisessa adsorptiossa eli kemisorptiossa muodostuu nesteen tai kaasun sekä adsorboivan aineen välille palautumaton kemiallinen sidos. Kemisorptiossa adsorbentin pintaan voi tarttua vain yksi kerros molekyylejä. Tähän kerrokseen on kuitenkin mahdollista tarttua fysikaalisen adsorption kautta useampia kerroksia. Kun puhutaan selektiivisestä adsorptiosta, tarkoitetaan sitä, että aineet erotellaan niiden adsorboitumiskyvyn perusteella. Adsorboiva aine adsorboi tällöin vain tiettyjä molekyylejä pinnalleen. Selektiivistä adsorptiota käytetään hyväksi esimerkiksi kaasunaamareiden suodattimissa. Adsorptiotasapainon saavuttaminen voi kestää sekunnin murto-osasta jopa muutamaan tuntiin. Adsorptionopeuteen vaikuttavat konsentraatio, paine, lämpötila, molekyylien koko sekä adsorboivan aineen kuohkeus. [2, s. 139—140.]

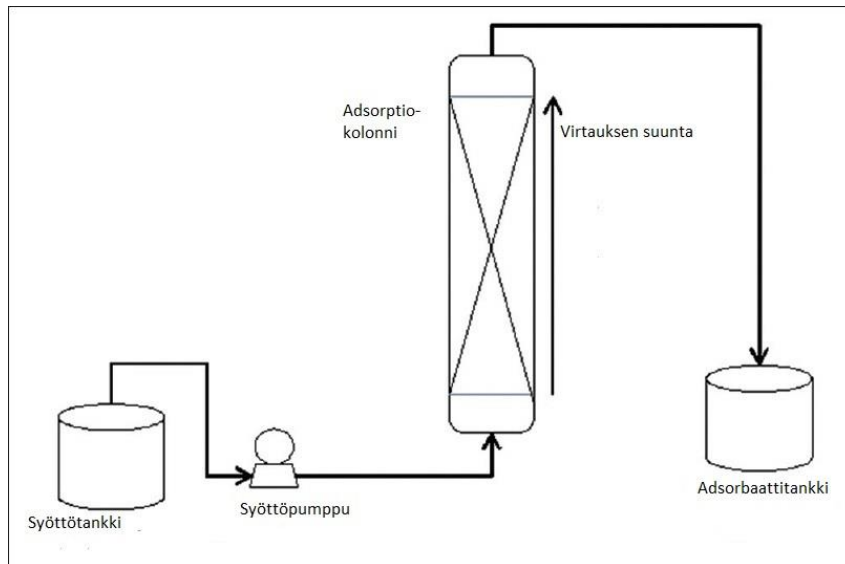
Tavallisempia adsorbentteja eli adsorboivia aineita ovat aktiivihili, aktivoitu alumiinioksidi, molekyyliseulat, piimaa, silikageeli, aktivoitunut savet ja bauksiitti. Näiden aineiden

adsorptiokyky perustuu mikrohuokoisesta rakenteesta johtuvaan suureen ominaispinta-alaan. Alla olevassa kuvassa 14 on kaksi tyypillistä adsorbenttia, aktiivihiili sekä silikageeli. [2, s. 140.]



Kuva 14. Tyypillisiä adsorbenttejä ovat aktiivihiili ja silikageeli. [11; 12.]

Kuten myös absorptiossa, teollisuudessa adsorptioprosessi muodostuu yleensä kahdesta osasta eli adsorptiosta ja desorptiosta. Desorptio on käänteinen prosessi, jossa adsorboitunut aine poistetaan adsorbaatista. Tätä kutsutaan myös adsorbaatin regeneroimiseksi, jolloin adsorbaattia voidaan käyttää uudelleen. Käytännössä adsorptioprosessi suoritetaan joko niin, että adsorbentti ja adsorbaattia sisältävä aine kulkevat yhdessä prosessin läpi tai adsorbentti pysyy paikallaan ja kaasu tai neste virtaavat siitä läpi. Alla olevassa kuvassa 15 on periaatekuva adsorptiokolonnista. Siinä ei ole kiinnitettyä desorptiokolonnista, joka mahdollistaisi adsorbaatin regeneroimisen. [2, s. 141.]

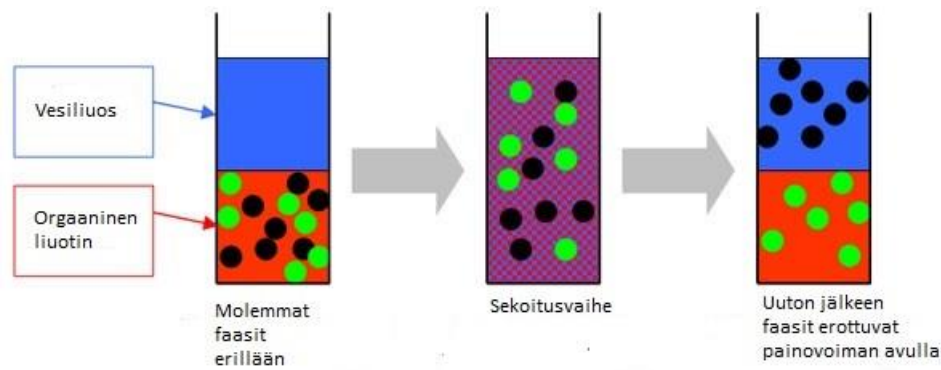


Kuva 15. Adsorptiokolonnilaitteisto. [13.]

2.4 Uutto

2.4.1 Neste-nesteuutto

Neste-nesteuuttotyypissä aineensiirto tapahtuu kahden toisiinsa liukenemattoman nestefaasin välillä. Faaseja sekoitetaan voimakkaasti, jonka jälkeen niiden annetaan tasaantua jälleen omiksi faaseikseen. Sekoituksen aikana uutettava aine on jakaantunut faasien välille. Esimerkiksi jos uutettava aine on vesiliuoksessa, aineensiirrossa on väliaineena veteen liukenematon orgaaninen liuotin. Kun vesiliuosta ja liuotinta sekoitetaan keskenään, erotettava aine siirtyy vesiliuoksesta orgaaniseen liuottimeen. Siirtynyt aine voidaan ottaa talteen esimerkiksi jatkotislaamalla tai jatkouuttamalla se sopivalla liuottimella. Vasta-uutto regeneroi orgaanisen liuottimen, ja sen voi palauttaa takaisin alkuperäiseen uuttoon. Alla olevassa kuvassa 16 on kuvattu neste-nesteuuton periaate. [2, s.146—147.]



Kuva 16. Neste-nesteuuton periaate. [14.]

Neste-nesteuuttoa käytetään yleensä, kun tislaminen ei ole vaihtoehto tai järkevää. Tällaisia esimerkkejä ovat muun muassa, kun erotettava seos sisältää korkeassa lämpötilassa hajoavia aineita, kun haihtuvuuserot ovat komponenttien välillä pienet tai kyse on atseotrooppisesta yhdisteestä. Neste-nesteuuton käyttösovellukset ovat enimmäkseen orgaanisen kemian alalla ja öljynjalostus- ja lääkeaineteollisuudessa. [2, s. 147.]

Teollisuudessa käytetään pääsääntöisesti kahden tyyppisiä laitteistoja. Monivaiheiset vaakauuttolaitteet eli sekoitin-selkeytinlaitteet muodostuvat kahdesta eri osa-alueesta. Ensin sekoitusosassa faasit voimakkaan sekoituksen ansiosta menevät pisaramuotoon. Aineensiirtotapahtuman aikana faasit muodostavat tasapainotilan. Kun faasit etenevät selkeytysosaan, raskaampi nestefaasi painuu altaan pohjalle ja kevyempi faasi jää raskaamman pinnalle. Tällöin nestefaasit voidaan erotella toisistaan. [2, s. 148.]

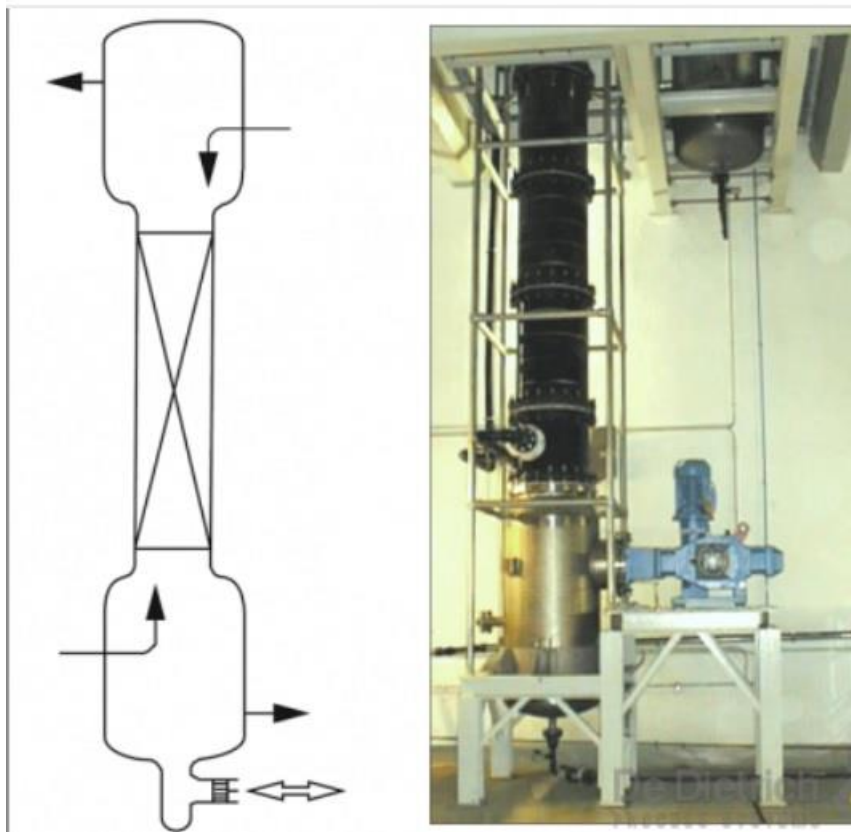
Jatkuvatoimiset uuttolaitteet muistuttavat tislus- ja absorptiokolonjeja. Niihin on lisätty mekaaninen sekoitus, jotta uutto tapahtuisi faasien välillä. Sekoitus mahdollistaa suuren aineensiirtopinnan, jolloin uutto on tehokasta. Kuten tislauksessa ja absorptiossa, kolonnit voivat olla joko yksinkertaisia suihkutorneja, joissa neste suihkutetaan toisen nestefaasin läpi, tai monimutkaisempia seula- tai tätekappalekolonneja. [2, s. 150.]

2.4.2 Neste-nesteuuttokolonnisovelluksia

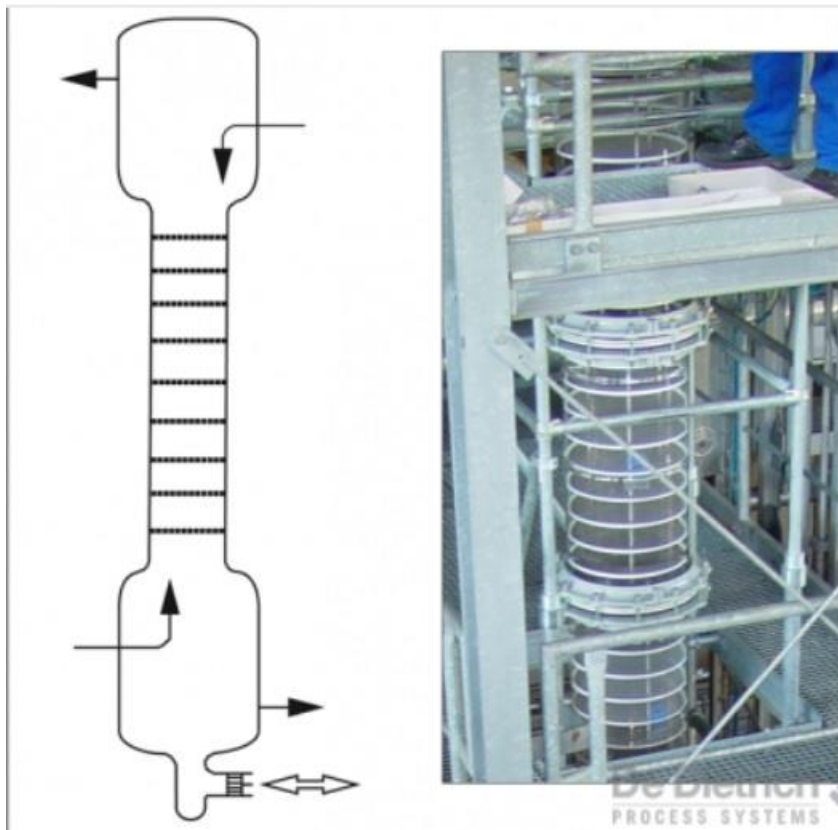
Kun vertaillaan monivaiheisia vaakauuttolaitteita sekä jatkuvatoimisia uuttokolonjeja taloudellisesti, uuttokolonnit tulevat halvemmaksi, jos erotteluvaiheiden teoreettinen määrä kasvaa. Taloudellisesti kannattavampaa on vain kasvattaa uuttokolonnin korkeutta kuin lisätä uusia vaiheita prosessiin. Uuttokolonnissa nämä vaiheet on eroteltu esimerkiksi

välipohjilla. Riippuen tietysti uuttokolonnista, sekoitusvaihe voidaan toteuttaa eri tavoilla. Selkeysvaiheen tehokkuus riippuu sekoitustavoista. Tämän takia kolonni on valittava tarkkaan harkiten riippuen uuttoprosessista. Valinta tehdään yleensä kokemusten perusteella tai pienen mittakaavan kokeiden avulla. [15.]

Yksi keino saada sekoitusvaihe tehokkaaksi on käyttää pulsaattoria. Pulsaattori antaa kolonnissa sykkähdyksiä, joissa erillään olevat nestefaasit virtaavat sykkäyksien johdosta vastakkaisiin suuntiin. Kun kolonni on täytetty joko täytekappaleilla tai välipohjilla, näissä tapahtuu sekoitusvaihe. Täytekappalekolonneissa ei ole varsinaista selkeysvaihetta. Tämän takia se soveltuu parhaiten nopeatempoiseen erotteluun. Välipohjakolonneissa selkeytymisalueita voidaan suurentaa tai pienentää muuttamalla pohjien välimatkoja toisistaan. Alla olevissa kuvissa 17 ja 18 on täytekappale- ja välipohjakolonnien toimintaperiaatteet sekä kuvat oikeista kolonneista. [15.]

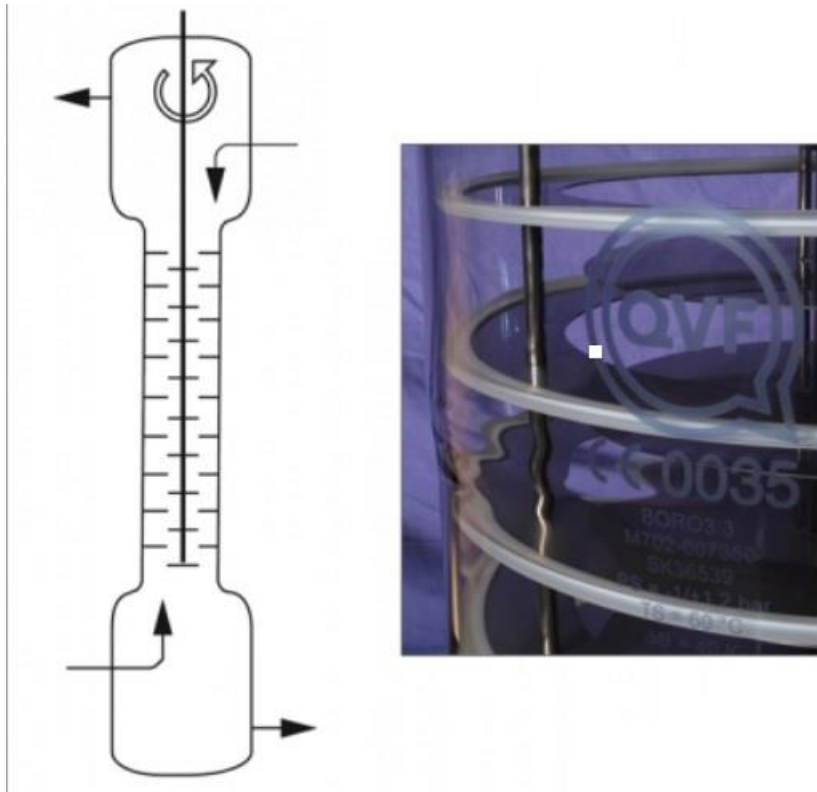


Kuva 17. Täytekappaleuuttokolonnin toimintaperiaate sekä käytössä oleva kolonni. [15.]

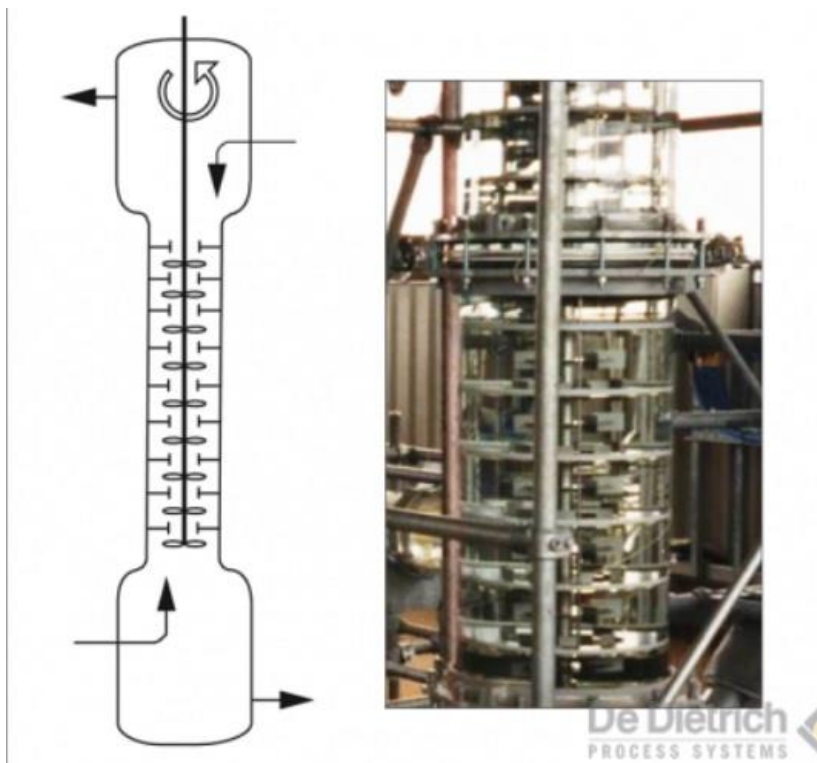


Kuva 18. Välipohjauuttokolonne periaatteessa sekä käytännössä. [15.]

Sekoitus voidaan myös hoitaa kolonnin keskusakselilla, joka pyörii oman akselinsa ympäri. Tähän akseliin voidaan kiinnittää erilaisia kiekkoja tai sekoittimia, jotka tehostavat faasien sekoittumista. Kolonnin seinämiin kiinnitetään ”staattoreita”, jotka sijoitetaan täsmälleen puoliväliin kahden kiekon välille. Staattorit ovat renkaita, joiden avulla kolonniin muodostuu myös selkeytysalueita. Keskusakseliin kiinnitetyt kiekot ovat halkaisijaltaan pienempiä kuin staattorit, jolloin akseli on mahdollista nostaa pois kolonnista. Sekä kiekkojen että staattoreiden halkaisijat ja etäisyydet määritetään prosessin ominaisuuksien mukaan. Prosessin ollessa käynnissä vain keskusakselin pyörimisnopeutta voidaan muuttaa. Jos sekoitusta halutaan tehostaa, vaihdetaan keskusakselin kiekot parempiin sekoittimiin. Tällöin myös staattoreihin asennetaan pienet seinämät sisempiin reunoihin. Tämä parantaa faasien erottumista. Alhaalla on kuvattuna (kuvat 19 ja 20) esimerkkejä tällaisista sovelluksista. [15.]



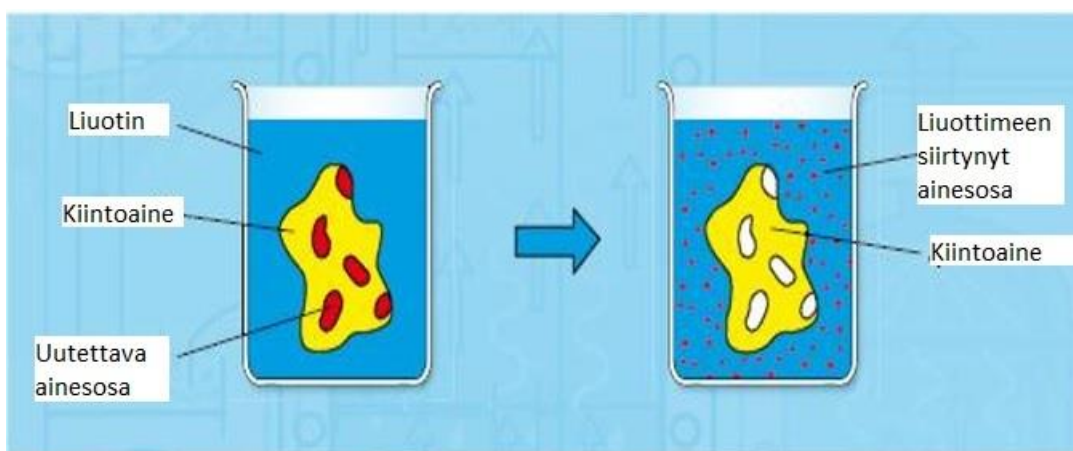
Kuva 19. Uuttokolonne, jossa pyörivä keskusakseli ja siihen kiinnitetyt levyt hoitavat sekoittamisen. [15.]



Kuva 20. Uuttokolonne, jonka keskusakseliin on kiinnitetty tehokkaita sekoituselementtejä. [15.]

2.4.3 Kiintoaine-nesteuutto

Kiintoaine-nesteuutossa kiintoaineessa oleva haluttu komponentti siirretään uuttamisen avulla nestefaasiin. Kiinteän aineen ja nesteen välillä on oltava tällöin suuri rajapinta, jotta uutto onnistuu. Tämän takia kiintoaine joko murskataan tai hienonnetaan sopivaan raekokoon. Liuottimena käytetään kulloinkin tarkoitukseen sopivaa nestettä. Kun liuottimen valintaa mietitään, tarkastellaan sen ominaisuuksia. Se pitää pystyä regeneroida uudelleen käytettäväksi ja liuennut aine täytyy pystyä poistamaan uuttonesteestä ilman, että kustannukset nousevat liian suuriksi. Seuraavassa kuvassa (kuva 21) esitetään, kuinka kiintoaine-nesteuutto periaatteessa tapahtuu. [2, s. 150.]



Kuva 21. Kiintoaine-nesteuuton periaate. [16.]

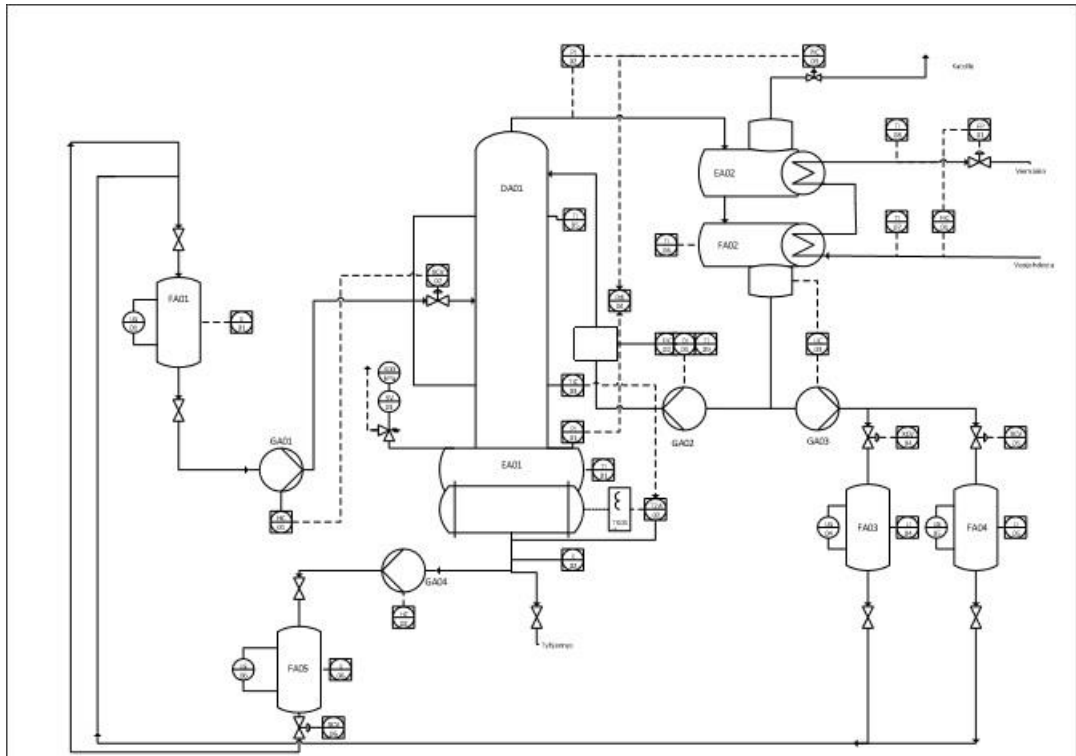
Kiintoaine-nesteuuttolaitteistot luokitellaan niiden rakenteen mukaan kahteen ryhmään. Jatkuvakontaktisessa uuttolaitteessa kiintoaine ja liuotin ovat koko prosessin ajan kontaktissa keskenään ilman erillisiä vaiheita. Vaiheittaisessa uuttolaitteessa prosessi on kasattu peräkkäin tulevista vaiheista. Kiintoaine ei ole kontaktissa koko aikaa liuottimen kanssa vaan aineensiirto tapahtuu kerrallaan vain tietyssä osassa kiintoainekerrosta. Rakenteellisista eroista huolimatta kaikki kiintoaine-nesteuuttolaitteet toimivat vastavirtaperiaatteella eli kiintoaine ja liuotin kulkevat prosessissa vastakkaisiin suuntiin. [2, s. 150—151.]

3 Metropolian tislauslaitteiston toiminnankuvaus

Metropolian Ammattikorkeakoulun prosessilaboratorion tislausprosessi alkaa syöttösäiliöstä (FA01), jossa on sähköinen pinnanmittaus (LI01). Syöttösäiliöstä neste etenee pumpun (GA01) avulla kohti tislauskolonnia (DA01). Ennen kolonnia on sulkuventtiili (XCV02), jonka avulla voidaan syötteen määrää säädellä. Kolonnin yläpäässä on paineenmittaus (PI02), josta menee tiedot säätöpiirille (PIC03) sekä paine-eromittaukselle (PdI04) ja lämpötilanmittaukset (TI03 ja TI05). TI03 mittaa kolonnin pohjan lämpötilaa ja TI05 vastaavasti kolonnin huipun lämpötilaa. Kolonnin pohjalla on kiehutin (EA01), jolla lämmitetään seosta. Kiehuttimeen on asennettu kapasitiivinen pinnanmittaus (LI02), paineenmittaus (PI01), josta menee tieto paine-eromittaukselle (PdI04), lämpötilamittaus (TI01), lämpöelementti (TK01), joka lämmittää kiehutinta, lämpömittaus (TZA02), joka suojaa kolonnia ylikuumenemiselta sekä varoventtiili (SV01). Varoventtiili suojaa kolonnia ylipaineelta.

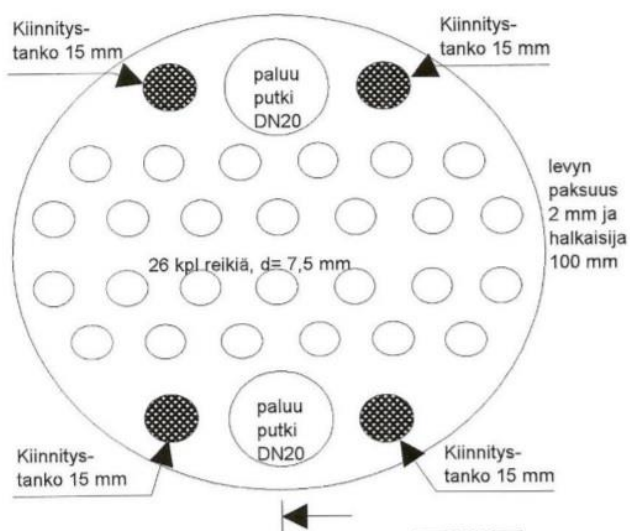
Tisle lähtee kolonnista kohti lauhdutinta (EA02), jonka yhteydessä sijaitsee myös ylimenosäiliö (FA02). Lauhduttimessa on kapasitiivinen pinnanmittaus (LIC03), jolla samalla säädetään ylimenosäiliön pinnan korkeutta, lämpötilanmittaus (TI06) ja paineen säätöventtiili (PV03). Lauhduttimeen ja ylimenosäiliöön on järjestetty vesijohtoverkostosta jäähdytyskierto. Jäähdytyskiertoa kontrolloidaan lämpötilamittauksilla (TI07 tulo, TI08 meno) ja virtausmittauksella (FIC01) ja säädetään säätöventtiilillä (FV01). Ylimenosäiliöstä tisle jakaantuu kahteen osaan. Osa tisleestä palautetaan takaisin kolonniin. Tätä hoitaa pumppu (GA02), johon on yhdistetty tiheysmittaus (DI01), lämpötilanmittaus (TI09) ja massavirtausmittaus (FIC02). Ylimenoputkeen menevä tisle pumpataan pumpulla (GA03) kohti lopputuotesäiliöitä, joita on kaksi (FA03 ja FA04). Lopputuotteen määrää säädetään sulkuventtiileillä (XCV04 ja XCV05). Kummassakin lopputuotesäiliössä on kapasitiivinen pinnanmittaus (LI04 ja LI05).

Pohjatuote menee pohjatuoteputkeen, josta se pumpataan pumpulla (GA04) kohti pohjatuotesäiliötä (FA05). Tuotesäiliössä on kapasitiivinen pinnanmittaus (LI06) ja pohjatuotteen määrää säädellään sulkuventtiilillä (XCV06). Tislauslaitteisto on tällä hetkellä panostislain mutta esimerkiksi opetuskäytössä sen olisi parempi olla jatkuvatoiminen tislain, jolloin jätettä ei syntyisi vaan tuotteet kierrätettäisiin takaisin kolonniin kokonaisuudessaan. Alla olevassa kuvassa (kuva 22) on esitetty PI-kaavio kyseisestä tislausprosessista.



Kuva 22. Tislausprosessin PI-kaavio.

Tislauskolonnissa on käytetty seulavälipohjia, joissa on yhteensä 26 kappaletta 7,5 mm:n reikiä. Rakennuspiirrustuksen mukaan välipohjat ovat laskukanavallista mallia ja ne ovat kiinnitettyinä kolonnissa kiinnitystangoilla. Seuraavassa kuvassa (kuva 23) on esitelty välipohjan rakenne.



Kuva 23. Kolonnin yksittäisen seulavälipohjan mallinnus. [17.]

4 Esimerkkejä erotusprosesseista opetus- ja koulutuskäytössä

4.1 Tampereen Systeemitekniiikan laitoksen tislaukolonni

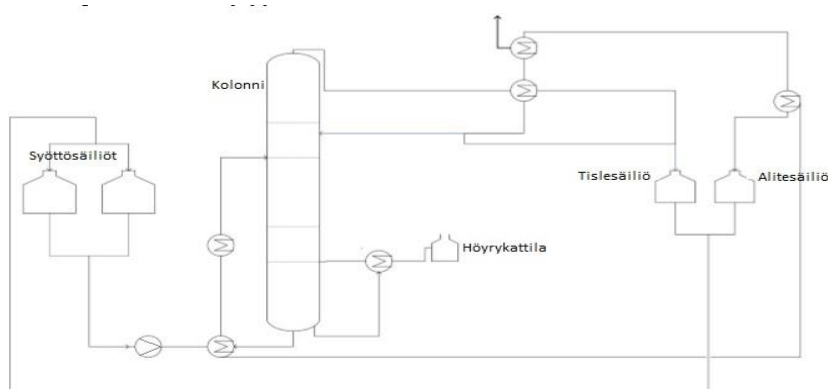
Tampereella Systeemitekniiikan laitoksella on käytössä tislaukolonni, joka on suunniteltu opetus- ja tutkimuskäyttöön. Se on pienempi kuin vastaavat teolliset kolonnit, mutta sillä pystytään toteuttamaan tislausprosessi oikealla tavalla. Tislaukolonnin korkeus on 5,7 metriä ja halkaisija 0,3 metriä. Rakenteeltaan se on välipohjakolonni, ja välipohjia on yhteensä 12 kappaletta. Välipohjat ovat rakenteeltaan kellovälipohjia. Syötteenä käytetään 30—40-prosenttista vesi-etanoliliuosta, joka tulee kahdesta syöttösäiliöstä, joiden tilavuudet ovat 1 m³. Tislauksen tuotteet ohjataan tisle- ja alitesäiliöihin, joiden tilavuudet ovat 0,5 m³. [18, s. 4; 19, s. 69.]

Tislauksprosessin putkistot ovat jaettu neljään osaan, jotka ovat prosessineste-, höyry-, kylmävesi- ja huohotusputkisto. Syöttö-, tisle-, alite- ja palautusputkisto muodostavat kokonaisuudessaan prosessinesteputkiston. Höyryputkien lämmityshöyry lämmittää syöttövirtaa sekä kolonnin pohjaa, jotta itse tislaantuminen olisi mahdollista. Tislehöyryn palauttaminen takaisin nestemäiseen muotoon tapahtuu kylmävesiputkiston avulla. Tähän lauhdutukseen on varattu kaksi lämmönvaihdinta, jottei kapasiteettiongelmia tapahtuisi. Prosessin säiliöiden välistä painetta tasataan huohotusputkistolla. Siinä yhdistyvät säiliöiden sekä apulauhduksen ilmatilat ulkoilmaan. Tisleen haihtuminen ulkoilmaan on estetty huohotusputkiston omalla jäähdyttimellä. [18, s. 4; 19, s. 69.]

Tislauksprosessissa on yhteensä kolme pumppua, jotka hoitavat syöttö-, tisle-, alite- ja palautevirrat oikeisiin säiliöihin. Pumput toimivat vakiokierrosnopeudella, joten virtauksia säädellään säätöventtiileillä, joita löytyy yhteensä seitsemän kappaletta. Pallosegmenttiiventtiilit ohjaavat syöttöä, alitetta, tislettä sekä palautusta ja palloventtiilit ohjailevat höyryä sekä lauhdutusvettä. Höyrynkeitin tuottaa prosessiin tarvittavan lämmityksen. [18, s. 4.]

Kolonnissa tapahtuva tislauksprosessi suoritetaan seuraavalla tavalla. Kolonniin pumpataan syöttöneste, joka kulkee kahden lämmönsiirtimen läpi. Ensimmäisessä lämmönsiirtimessä kuumasta alitteesta siirtyy syöttöön lämpöä, jota ei kuitenkaan voida säädellä. Toisessa lämmönsiirtimessä syöte lämmitetään haluttuun lämpötilaan höyryn avulla.

Kun syöte päätyy ensimmäiselle välipohjalle, se tislautuu osittain höyryvirtaan ja osittain nestevirtaan. Ylemmiltä välipohjilta valuva neste päätyy kolonnin pohjaosaan, jolloin osa alitteesta pumpataan tuotteena alitesäiliöön, josta se voidaan tarvittaessa poistaa. Toinen osa alitteesta palautetaan tislaukolonniin pohjakiehuttimen kautta. Kun neste os kiehuu pohjakiehuttimessa, alkaa höyry nousta välipohjalta toiselle. Höyryn nouseminen tapahtuu välipohjissa olevien kellojen läpi. Kellot ”pakottavat” höyryn kuplimaan välipohjalla olevan nestekerroksen läpi, jolloin höyryn raskaammat komponentit tiivistyvät ja nesteen kevyemmät komponentit vastaavasti höyrystyvät. Välipohjat saavat siis höyryn rikastumaan kevyemmistä komponenteista ja nesteen rikastumaan raskaimmista komponenteista. Kun rikastettu höyry saavuttaa kolonnin huipun, alipaineesta johtuen se siirtyy päälauhduttimeen, jossa se tiivistyy nesteeksi. Neste johdetaan tisleakkuun, josta osa pumpataan takaisin ylemmälle välipohjalle. Tätä vaihetta kutsutaan palautukseksi. Toinen osa tisleestä johdetaan jäähdyttimen lävitse tuotesäiliöön, josta se voidaan ottaa tarvittaessa talteen. Kuvassa 24 on esitelty teknillisen yliopiston yksinkertaistettu PI-kaavio. [18, s. 4–5.]



Kuva 24. Tampereen teknillisen yliopiston tislaukolonnin yksinkertaistettu PI-kaavio. [18, s. 3.]

Systemiteknikan tislaukolonnia käytetään opetustarkoituksessa erityyppisissä harjoituksissa. Niin sanotussa ”kolonnidemossa” opiskelijat tutustuvat tislaukolonniin sekä sen automaatioon opastetun kierroksen avulla. Tämän kierroksen aikana käydään läpi tislauksen periaatteita, instrumentointia ja automaation järjestelmätekniikkaa opettajan johdatuksella. Tämä tutustuminen tapahtuu opintojen alkuvaiheessa ensimmäisen tai toisen opintovuoden aikana. Opintojen edetessä kolonnia käytetään harjoiteltaessa

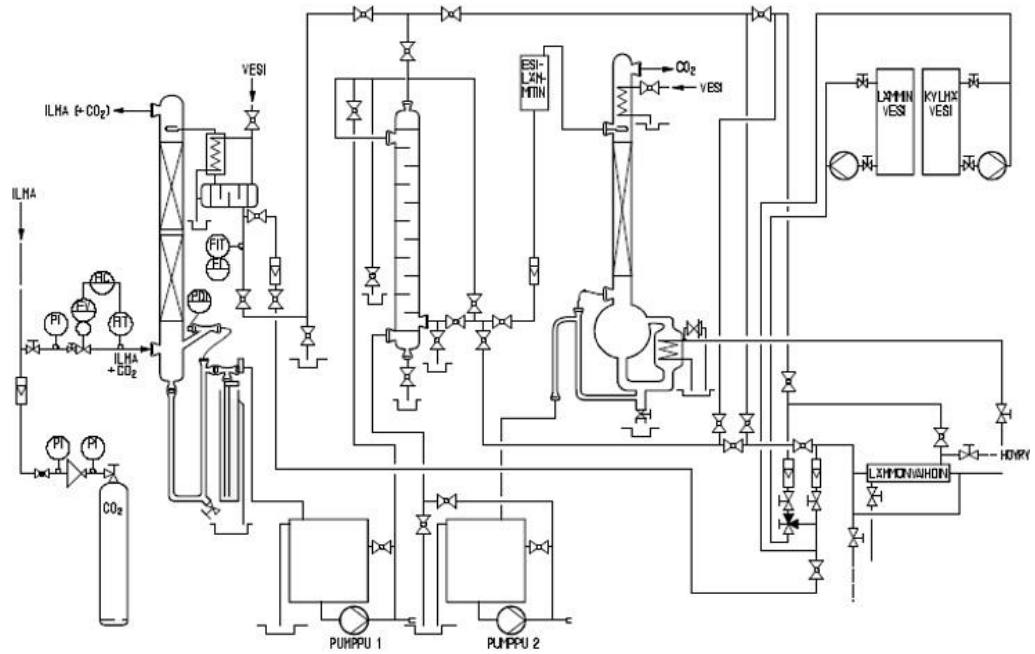
myös automaation konfigurointia automaatio suunnitteluohjelmalla. Siinä opiskelijat tekevät automaatiomodulin ja valvomonäytön, joiden avulla demonstroidaan syöttövirtauksen virtausta prosessissa. [18, s. 50; 19, s. 72.]

Itse tislamiseen tislaukolonnia käytetään, kun opiskelijat harjoittelevat kokonaisten prosessien hallintaa. Tislausharjoituksessa tehdään askelvastekoe, jossa tislusprosessi ajetaan läpi kokonaisuudessaan. Koska tislusprosessin tasapainotilan löytämiseen menee aikaa, ehdivät opiskelijat tutustua rauhassa kolonnin laitteistoon, instrumentointiin sekä automaatiojärjestelmän käyttöön. [18, s. 50; 19, s. 73.]

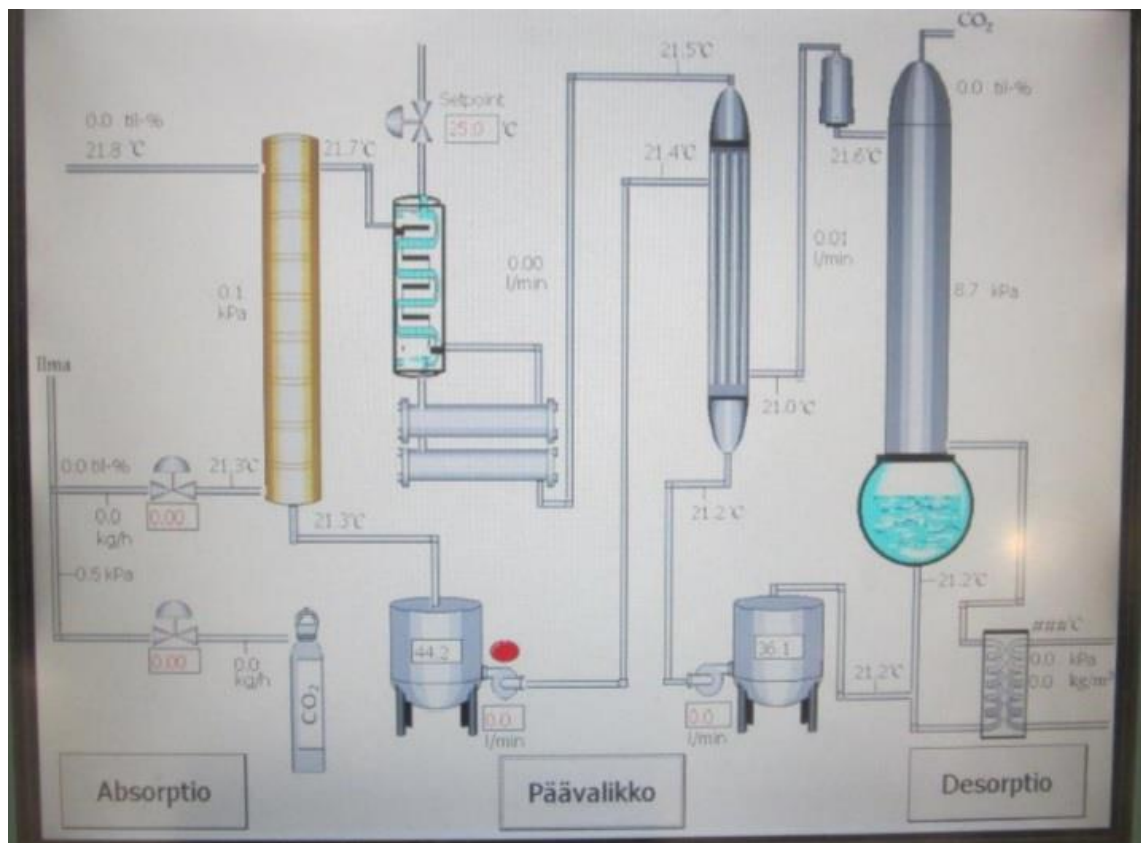
4.2 Centria-ammattikorkeakoulun absorptio-desorptiolaitteisto

Centria-ammattikorkeakoulussa Kokkola-Pietarsaaren yksikössä on opetuskäyttöön suunniteltu absorptio-desorptiolaitteisto. Laitteistokokonaisuuteen sisältyy absorptio- ja desorptiokolonni, tarvittavat putkistot ja lämmönvaihtimet, niiden vesisäiliöt ja esilämmitimet sekä pumput molemmille kolonneille. Laitteisto käynnistetään sekä sitä ohjataan tietokonepääteeltä. Manuaalista säätämistä käytetään ainoastaan stripperin esilämmitimen tehon säätöön. Tietokonepääteeltä voidaan tutkia absorptiokolonniin tulevan kaasun todellista virtausta, tulevan hiilidioksidin todellista virtausta sekä sen tilavuusprosenttia tulevasta ja lähtevästä kaasuvirrasta, kaasujen ja nesteen lämpötiloja sekä kolonnin painetta. Desorptiupuolelta saadaan informaatiota stripperiin tulevasta nesteen lämpötilasta, stripperin paineesta ja ulos lähtevästä nesteen lämpötilasta. [20, s. 31.]

Absorptiokolonni on halkaisijaltaan 100 mm, ja se on täytekkapalekolonni. Täytekkapaleiden halkaisija on 10 mm ja täytekerroksen korkeus on 1700 mm. Maksimipaine on 3,5 bar. Desorptiokolonni on puolestaan hieman pienempi. Sen halkaisija on 80 mm ja täytekerroksen korkeus on 840 mm. Absorboiva reagenssi on monoetanoliamiini. Alapuolella olevissa kuvissa (kuvat 25 ja 26) on laitteiston PI-kaavio sekä tietokonepääteen ohjaustaulu. [20, s. 31.]



Kuva 25. Centria-ammattikorkeakoulun absorptio- ja desorptiokolonnin PI-kaavio. [20, s. 32.]



Kuva 26. Prosessin näyttökuva tietokonepääteellä. [20, s. 33.]

4.3 Tampereen ammattikorkeakoulun kiintokerrosadsorptiokolonni

Tampereen ammattikorkeakoulun prosessilaboratoriossa sijaitseva adsorptiokolonni on tarkoitettu opetuskäyttöön, jossa opiskelijat tutustuvat adsorptio- ja desorptioilmiöihin. Kyseessä on niin sanottu kiintokerrosadsorptiokolonni, jossa käytetään graniloitua aktiivihiihtä. Aktiivihiihen avulla erotetaan yhdistetystä helium-hiilidioksidikaasufaasista hiilidioksidi. Helium on reagoimaton kantokaasu, jonka avulla aktiivihiihi myös reaktivoidaan, kun adsorptioprosessi päättyy. Laitteistokokonaisuuteen kuuluu vaipallinen kolonni, pumppu, paisunta/täyttösäiliö, lämmitin, kaasun paineeseen, syöttöön ja ohjaamiseen käytettävät venttiilit sekä PID-ohjausyksikkö lämpötilan säätöä varten. Ulos tulevan kaasun hiilidioksidipitoisuutta mitataan infrapunadetektorilla. [21, s. 14—15.]

Laitetta voidaan käyttää seuraavanlaisissa olosuhteissa. Heliumin virtausnopeutta voidaan säätää välillä 0,1—5 SLPM (Standard Litres Per Minute, virtausnopeus kaasulle litraa per minuutti vakioaineessa ja lämpötilassa) ja hiilidioksidin virtausnopeutta välillä 0,05—1 SLPM. Kolonnin lämpötila saa olla enintään 55 °C ja paine 1,37 bar. [21, s. 15.]

Adsorptiokolonnissa on vaippa, jotta sen lämpötilaolosuhteita voi säädellä. Lämpötilaa voidaan tutkia seitsemästä eri mittauspisteestä antureilla, joista kuusi on kolonnin sisäpuolella ja yksi vesikiertojärjestelmässä. Heliumista ja hiilidioksidista koostuva kaasu syötetään painesäiliöstä kolonniin. Heliumille ja hiilidioksidille on molemmille asennettu omat massavirtausmittarit. Ulos tulevan hiilidioksidin määrä saadaan selville infrapunadetektorilla, jonka toiminta pohjautuu hiilidioksidin infrapunasäteilyn absorptioon. Mittausdatan kerääminen on mahdollista laitteiston USB-portin kautta liittämällä tietokone tähän. Kuvassa 27 on kuvattuna Tampereen ammattikorkeakoulun adsorptiolaitteisto. [21, s. 19-20.]



Kuva 27. Tampereen ammattikorkeakoulun adsorptiokolonni. [21, s. 74.]

5 Yhteenveto

Alun perin tarkoituksena tässä insinööriyössä oli testiajaa ja ottaa lopulta opetus- ja tutkimuskäyttöön Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien yksikössä prosessilaboratoriossa sijaitseva tislaukskolonni. Tämän kolonnin automaation asennus kuitenkin oli kesken tätä raporttia kirjoittaessa, joten testaamista ei pystytty tekemään ollenkaan. Tästä johtuen tämä insinööriyö suoritettiin pelkästään kirjallisuustutkielmana.

Lopulta aiheeksi rajattiin aineensiirtoprosessit yleisesti kemianteollisuudessa. Insinööriyössä käytiin läpi yleiset teoriat prosesseista ja se, kuinka niiden periaatteessa pitäisi toimia. Lisäksi etsittiin esimerkkejä oikeista prosesseista, jotka ovat suunniteltu opetus- käyttöön esimerkiksi kouluissa. Tässä ongelmaksi tuli se, ettei yksityiskohtaisia tietoja olemassa olevista prosesseista juurikaan löytynyt. Varsinkin yrityksissä nämä ovat tietenkin yrityssalaisuuksia ja yksityiskohtaisia tietoja omista prosesseista ei anneta. Lopulta kuitenkin löytyi muutama hyvä esimerkki, jotka tässä insinööriyössä esiteltiin saatavissa olevien aineistojen pohjalta. Kun suunnitellaan aineensiirtoprosesseja opetus- ja koulutuskäyttöön, tulee miettiä tekniikoita mahdollisimman tarkasti, jotta laitteistosta olisi

hyötyä mahdollisimman laajasti opiskeluiden aikana. Olisi hyvä, jos laitteistoon voisi tutustua syvemmin opiskelun edetessä eri kursseilla sitä mukaa, kun tietoa ja osaamista tulee lisää. Kun teoria tulee tutuksi, on helppo sitten soveltaa teoriaa käytäntöön oikeanlaisilla sovelluksilla. Kun sovellusten periaatteet ovat kunnossa ja niitä pystytään hyödyntämään opetuskäytössä tehokkaasti, on opiskelijan helpompi siirtyä teollisuudessa oleviin järeimpiin prosesseihin valmistuttuaan koulutuksesta.

Lähteet

- 1 Yksikköoperaatiot ja teolliset prosessit. Verkkodokumentti. https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/122999/mod_folder/content/0/Yksikk%C3%B6operaatiot%20ja%20teolliset%20prosessit%20pruju%20090915.pdf?forcedownload=1. Luettu 20.11.2017.
- 2 Pihkala, Juhani. 2011. Juvenes Print, Tampere. Prosessitekniikka. Prosessiteollisuuden yksikkö- ja tuotantoprosessit.
- 3 Werner Sölken. Distillation Columns: Column Internals. Verkkodokumentti. http://www.wermac.org/equipment/distillation_part2.html Luettu 20.11.2017.
- 4 Krunal Shah. Types of Packing Materials. Verkkodokumentti. Päivitetty 8.12.2016. <http://www.chemicalone.com/types-of-packing-materials/> Luettu 8.11.2017.
- 5 Kim Ji-Joo., Diwekar, Urmila. Batch Distillation. Verkkodokumentti. Päivitetty: 27.4.2005. <http://www.vri-custom.org/pdfs/chapter6.pdf> Luettu 20.11.2017.
- 6 Azeotropic Distillation. Verkkodokumentti. <http://chemistry.tutorvista.com/inorganic-chemistry/azeotropic-distillation.html> Luettu 20.11.2017.
- 7 Kiss, Anton Alexandru. Distillation technology - still young and full of breakthrough opportunities. Verkkodokumentti. https://www.researchgate.net/figure/259539105_fig11_Figure-1-Schematics-of-batch-distillation-left-and-continuous-distillation-column Luettu 20.11.2017.
- 8 Puhdistamme jätevedet tehokkaasti. Verkkodokumentti Päivitetty: 25.8.2017. <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/Sivut/default.aspx> Luettu 20.11.2017.
- 9 Walas, Stanley M. Chemical Process Equipment: Selection and Design. Chapter 13: Distillation and Gas Absorption. 2005. Verkkodokumentti <http://www.globalspec.com/reference/22851/203279/html-head-chapter-13-distillation-and-gas-absorption> Luettu 20.11.2017.
- 10 Gas-Liquid Contactors: 1.2 Equipment overview. Verkkodokumentti. <http://www.hyper-tvt.ethz.ch/contactors-overview.php> [luettu 20.11.2017]
- 11 Akva Filter. Puhtaan veden puolesta. Verkkodokumentti. <https://www.akvafilter.fi/site/?product=aktiivihili-1240-04-17-mm> Luettu 20.11.2017.
- 12 KW-Filter Oy. A-typin silikageeli. Verkkodokumentti. https://kwfilter.fi/sivut/silikageelityypit/a_tyyppi.html Luettu 20.11.2017.

- 13 Application of Palm Kernel Shell Activated Carbon for the Removal of Pollutant and Color in Palm Oil Mill Effluent Treatment. 2016. Verkkodokumentti. <http://www.ijeehs.org/article.asp?issn=2423-7752;year=2016;volume=2;issue=1;spage=15;epage=20;aulast=Jalani> Luettu 20.11.2017.
- 14 How does solid phase extraction differ from solvent extraction? Verkkodokumentti. <https://socratic.org/questions/how-does-solid-phase-extraction-differ-from-solvent-extraction> Luettu 20.11.2017
- 15 De Dietrich Process Systems. Extraction columns. Verkkodokumentti. <https://www.dedietrich.com/en/losungen-und-produkte/extraction/liquid/liquid-extraction/extraction-columns> Luettu 20.11.2017
- 16 Thermal Process Engineering: Extraction. Verkkodokumentti. http://www.gunt.de/images/download/extraction_english.pdf Luettu 20.11.2017.
- 17 Espo, Tommi. 2017. Pilot tislauskolonnin käyttöönotto. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://publications.theseus.fi/handle/10024/129073> Luettu 20.11.2017.
- 18 Virtanen, Annimaria. 2015. Monikäyttöisen oppimisympäristön riskiarviointi ja kehityssuosituksat. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23095/Virtanen.pdf?...1> Luettu 20.11.2017.
- 19 Hara, Sami. 2015. Mallipohjainen systeemisuunnittelu automation oppimisympäristön uudistuksessa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/22898/hara.pdf?sequence=1> Luettu 20.11.2017
- 20 Linna, Elli-Maria. 2014. Absorbtiokolonnin optimointi. Opinnäytetyö. Centria-ammattikorkeakoulu. publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73606/Opinnaytetyo_valmis.pdf?...1 Luettu 20.11.2017.
- 21 Armfield UOP15 -kiintokerrosadsorptiokolonna. 2010. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14401/Hellsten_Kimmo_Armfield_UOP15.pdf?sequence=2 adsorptiokolonna Luettu 20.11.2017.

Metropolian tislauskolonnin PI-kaavio

