

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kemiantekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Pyry Lehtonen

RAKEISEN KIINTOAINEEN VARASTOINTI

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

Pentti Järvelin
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kemiantekniikka

Pyry Lehtonen	Rakeisen kiintoaineen varastointi
Opinnäytetyö	40 sivua
Työn valvoja	Pentti Järvelin
Työn teettäjä	Tampereen ammattikorkeakoulu
Helmikuu 2008	
Hakusanat	Kiintoaine, Varastointi, Siilo

TIIVISTELMÄ

Siilo on yleisin varastomalli prosessitekniikanalan tuotantolaitoksissa rakeiselle kiintoaineelle. Se soveltuu monenlaisen kiinteän aineen varastointiin varsinkin silloin, kun puhutaan suurista määristä varastoitavaa ainetta. Muita varastoja ovat ulkovarastot, erilaiset hallit ja bunkkerit sekä pienemmässä mittakaavassa kaukalot ja muut vastaavat pienet säiliöt. Varastorakennelma voi toimia säilytyspaikkana raaka-aineelle ja muille prosessissa käytettäville aineille ennen käyttöä. Toinen käyttötarkoitus varastorakennelmille on välisäilytys. Tällöin ne toimivat puskurivarastoina ja muina kokonaisprosessin välivaiheissa toimivina säilytys paikkoina. Kolmas käyttötarkoitus on valmiin tuotteen varastointi ennen kuljetusta asiakkaalle.

Työn tarkoituksena oli koota kirjallisuudesta tietoa rakeisen kiintoaineen varastoinnista. Tähän liittyvät niin kiintoaineen yleiset ominaisuudet, eri varastointiratkaisut, varastointiin liittyvät ongelmat ja vaarat. Kiintoaineen merkittävin ominaisuus on sen juoksevuus, kun puhutaan siilovarastoinnista. Tässä työssä painopiste oli nimenomaan siilovarastoinnissa. Kun kiintoaine on juoksevaa, pystytään siilo purkamaan hyvin yksinkertaisilla ratkaisuilla painovoimaisesti. Valitettavasti näin ei kuitenkaan usein ole, että pelkkä painovoima hoitaisi siilon täydellisen tyhjennyksen. Tämä on se pääongelma, johon syitä ja ratkaisuja on monia. Tavoiteltava tilanne purkautumisessa on massavirtaus, jossa koko siilon tilavuus on samanaikaisesti liikkeessä.

Työssä tutustutaan myös varastoinnin vaaroihin, jotka monesti liittyvät kiintoaineen kemiallisiin ominaisuuksiin, kuten tulenarkuuteen, epästabiilisuuteen, reaktioherkkyyteen ja myrkyllisyyteen. Myös tulenarkuuteen liittyvät pölyräjähdykset on merkittävä vaaran aiheuttaja. Siilo itsessään voi olla vaaran aiheuttaja. Tällöin puhutaan vaaroista, jotka johtuvat rakenteiden väsymisestä tai väärästä mitoituksesta tai huonosta paineentasauksesta.

TAMPERE POLYTECHNIC UNIVERSITY

Chemical Engineering

Pyry Lehtonen	Storing granular solids
Final Exam	40 pages
Supervisor	Pentti Järvelin
Overseer	
February 2008	
Important word	Solid, storage, silo

ABSTRACT

Silo is very common construction for storing bulk solids. It can be used as storage for different types of granular solid materials in different industries. When we are describing silo the main characteristics are that it is tall, narrow and there is a funnel at the bottom. The most typical silo has a circular cross section and it is made of galvanised steel. There are also other options for a solid material storage in industry, for example, bunkers, tanks, piles, bins and hoppers. In this study the emphasis is on silos.

Granular solids have many characteristics, which have to be considered when storage is planned. The most important characteristic is the flow ability of the solid mass. If the solid flows very fluently, there will not be any need for flow assistance machines when the silo is emptied. Other important thing is that free flowing solids follow more often the principle of mass flow. The main characteristics of free flowing solids are that the particle size is quite big, the particles are spherical and the material is not sensitive to agglomeration.

Safety is something that has to be taken care of in planning of storage. There are many different elements that can cause danger in solid storing. Most of them are related to the stored material, but also the silo itself can cause danger. It can collapse, if it is not designed and manufactured properly. The material related hazards are self ignition, dust explosion, chemical reaction and toxic substance releasing from the silo, to name a few. All of the possible dangers have to be taken into consideration and be prevented.

ALKUSANAT

Työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoululle 1.2.2008–11.4.2008 aikana. Työn aihepiiriä kohtaan kiinnostus kasvoi koko sen tekemisen ajan. Siitä löytyi paljon sellaista, mitä ei aiemmin ollut tullut ajatelleeksi. Siksi oppimisprosessina se oli mitä mainioin. Käytännön osuutta tällaisessa kirjallisuuskatsauksessa ei ole, mutta siitä huolimatta se oli antoisa.

Erityinen kiitos kuuluu Pentti Järvelinille, joka antoi tämän tutkintotyönaiheen ja toimi työnohjaajana. Hänen ammattitaidollaan oli helppoa vastata kysymyksiini, jotka heräsivät työtä tehdessä. Haluaisin kiittää Esa Välihoa, joka auttoi aiheen saannissa ja siihen liittyvissä asioissa, koska valmistumisen kanssa oli tulla kiire. Kielen huollossa merkittävää apua sain Leena Äikäs-Inhalta. Häntä haluan myös tässä yhteydessä kiittää.

Tampereella 11.huhtikuuta 2008

Pyry Lehtonen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	7
2 KIINTOAINEIDEN OMINAISUUDET	8
2.1 Koheesio	9
2.2 Kiintoaineen juoksevuus	10
2.2.1 Lepokulma	10
2.2.2 Kitkakulma	12
2.3 Raekoon muutokset	14
2.3.1 Hienontuminen	14
2.3.2 Agglomeraatio	15
3 VARASTOINTI	18
3.1 Ulkosäilytys ja hallit	18
3.2 Siilot	19
3.3 Bunkkerit	21
4 SIILON PURKAUTUMINEN	22
5 ONGELMAT PURKAUTUMISESSA	24
5.1 Holvaantuminen	24
5.2 Kuilunmuodostus ja epätäydellinen tyhjeneminen	25
5.3 Segregaatio	27
6 PURKUA HELPOTTAVAT RATKAISUT	28
6.1 Kiinalaiset hatut	28
6.2 Fluidisointi	29
6.3 Mekaaniset ratkaisut	31
6.3.1 Vasarat	31
6.3.2 Täryttimet ja koputtimet	31
7 PURKULAITTEET	32
7.1 Ruuvit	32
7.2 Siipipyörät	33
7.3 Lautaspurkain	34

7.4	Lamelli- ja hihnakuuljettimet.....	34
7.5	Täry- ja resonanssikourut.....	35
8	VARASTOINNIN VAARAT.....	36
8.1	Säiliön romahdus	36
8.2	Syttyminen	38
8.3	Reaktiot.....	39
8.4	Myrkyllisyys	40
9	YHTEENVETO.....	40
	LÄHDELUETTELO.....	42

1 JOHDANTO

Prosessiteollisuudessa on koko sen historian ajan jouduttu säilyttämään suuria määriä raaka-aineita lähellä käyttökohdetta, jotta prosessien jatkuvuus olisi taattu. Raaka-aineita ja muita prosessissa tarvittavia aineita joudutaan useimmissa nykyaikaisissa tuotantolaitoksissa syöttämään prosessiin jatkuvasti. Tällöin menekit ovat suuria ja massiiviset säilytystilat ovat tarpeen. Tällöin lopputuotettakin tulee suuria määriä ja se vaatii yhtä lailla varastointia ennen eteenpäin toimittamista. Laitoksilla on monesti myös välivarastoinnin tarvetta. Varastoitavat aineet voivat olla olomuodoltaan niin nestettä, kaasua kuin kiinteääkin ainetta. Tässä työssä keskitytään nimenomaan kiintoaineeseen, sen varastointiin, purkuun sekä niissä esiintyviin ongelmiin ja niiden ratkaisuihin.

Kiintoaineita varastoidaan erilaisiin ja erikokoisiin säiliöihin sekä joissain tapauksissa myös kasoina ulkona. Yleisin varastointitapa on kuitenkin suuri siilo. Se voi olla poikkileikkausmalliltaan niin neliö, suorakaide, ympyrä tai vaikkapa monikulmio, mutta yleensä suositaan pyöreää mallia. Monet eri teollisuuden alat tarvitsevat varastointiin siiloja. Niitä käyttävät ensisijaisesti kemianteollisuus, elintarviketeollisuus ja energiateollisuus. Muita säilytyspaikkoja ovat bunkkerit ja hallit sekä pienemmässä mittakaavassa erilaiset tynnyrit, säkit, laarit, kaukalot ja muut pienempien erien säiliöt. Varastointi on teollisuuden osa-alueena hyvin merkittävässä asemassa.

Kiintoaineiden varastointi ei ole vaaratonta eikä varsinkaan ongelmatonta. Varsinkin määrien ollessa suuria ovat myös vahingot suuria asioiden mennessä pieleen. Tämän takia on varauduttava ennalta kaikin mahdollisin keinoin, jotta voidaan estää niin materiaaliset kuin henkilövahingotkin teollisuuslaitoksella. Riskit pitää arvioida etukäteen tarkkaan, ja niihin on varauduttava erilaisin hälyttimin ja apulaittein. Näitä seikkoja käsitellään työn loppupuolella.

Työssä perehdytään kiintoaineen ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen erilaisissa säilytykseen liittyvissä tilanteissa.

2 KIINTOAINEIDEN OMINAISUUDET

Yksittäisen kiintoainerakeen ominaisuudet ovat perusta, josta voidaan lähteä tarkastelemaan kokonaisen kiintoainemassan käyttäytymistä, varastointiin liittyvissä tilanteissa.

Yksittäisen rakeen olennaisia ominaisuuksia varastoinnin kannalta ovat ensinnäkin koko, muoto ja tiheys. Ne määräävät jo melko pitkälle, kuinka kiintoaine käyttäytyy säilytyksessä. Niistä seuraa muutamia kiintoainemassan ominaisuuksia, joita ovat huokoisuus ja koko kiintoainemassan tiheys sekä hiukkasten mahdollisuudet liikkua toisiinsa nähden. Huokoisuus ilmoittaa prosentuaalisen osuuden kiintoainemassan tilavuudesta, joka on ilmaa eikä kiintoainetta. Kiintoainemassa sisältää erikokoisia rakeita, jolloin joudutaan käyttämään sellaisia ominaisuuksia kuin raekokojakauma ja raekoon keskiarvo. /1; 3; 12/

Kovuudella ja sitkeydellä on aineen murtumisen ja kulumisen sekä kuluttavuuden kannalta suuri merkitys. Ne vaikuttavat ensisijaisesti kiintoainemassan raekokojakauman muutoksiin. Aineen lujuusominaisuudet on otettava huomioon käsittely- ja varastointilaitteiden suunnittelussa. Kuluttavuus puolestaan on tekijä, joka vaikuttaa käsittely- ja varastointilaitteiden kestävyYTEEN. /3/

Lämpötilan vaikutukset aineeseen on tärkeää ottaa huomioon, kun suunnitellaan varastointia, koska lämpötilan muutoksilla on kiintoainemassojen sekä yksittäisten rakeiden ominaisuuksille monenlaisia vaikutuksia. Esimerkiksi kyseessä olevan aineen mukaan lämpötila ja sen muutokset voivat vaikuttaa virtaavuuteen sekä raekokoon. /1; 3; 12; 15/

Elektrostaattisuus, magneettisuus ja hygroskooppisuus ovat varastoinnissa huomioitavia aineen ominaisuuksia. Hygroskooppisuus tarkoittaa aineen kykyä absorboida vesimolekyylejä eli toisin sanoen sitoa kosteutta ympäristöstään. Elektrostaattisuus, magneettisuus ja hygroskooppisuus vaikuttavat

varastoitavan kiintoainemassan ominaisuuksiin lisäämällä koheesiota ja agglomeroitumista monien muiden ominaisuuksien tavoin. Agglomeroituminen on monesti ainakin osittain seurausta koheesion kasvusta. /8; 3; 12/ Koheesiota ja agglomeroitumista kumpaakin käsitellään lisää omissa alaluvuissaan.

Hieman erilaisia säilytyksessä huomioon otettavia ominaisuuksia on aineen myrkyllisyys, reaktioherkkyys, epävakaus, tulenarkuus, räjähdysherkkyys, korroosio, syövyttävyys sekä mahdollinen biologinen hajoaminen bakteeritoiminnan johdosta. Nämä tekijät liittyvät pääasiassa turvallisuuteen, ympäristövaikutuksiin, säilytysaikoihin, säiliömateriaaleihin ja rakenneratkaisuihin eikä niinkään ulosvirtaukseen ja pakkautumiseen. Ne liittyvät kaikki säilöttävän aineen kemiallisiin ja biokemiallisiin ominaisuuksiin. /12; 3/ Näitä ominaisuuksia käsitellään lisää luvussa varastoinnin vaarat.

2.1 Koheesio

Koheesio on kiintoainemassan ominaisuus, joka kuvaa sen koossapysyvyyttä ja yhtenäisyyttä. Se kuvaa kiintoainemassan kykyä vastustaa leikkaavaa voimaa. Mitä paremmin rakeet pystyvät vastustamaan niitä toisistaan erottamaan pyrkiviä jännityksiä, sitä korkeampi on aineen koheesio. Yksi määritelmä koheesiolle on aineen sisäinen vetovoima. /1; 12; 15/

Koheettisella aineella virtauserkkyys ja juoksevuus eivät ole hyviä. Koheesiota lisääviä olosuhdemuutoksia ovat lämpötilan nousu monilla muoveilla ja sokereilla. Kosteuden lisääntyminen ja elektrostaattiset vetovoimat lisäävät myös koheesiota. Hyvin pienillä rakeilla puolestaan van der Waals'in voimat vaikuttavat hiukkasten yhdessä pysymiseen. Yleensä pienistä hiukkasista koostuva kiintoainemassa on koheettisempää kuin karkeajakoisempi kiintoainemassa, vaikka mitään suoranaista sääntöä tai yhtälöä ei asiasta voidakaan tehdä. Koon ja mallin vaikutuksesta koheesioon on kuitenkin tutkimuksia, joissa on todettu pienet hiukkaset yhdessä pysyvämmiksi. Koheesio edesauttaa agglomeraatiota, jota käsitellään edempänä

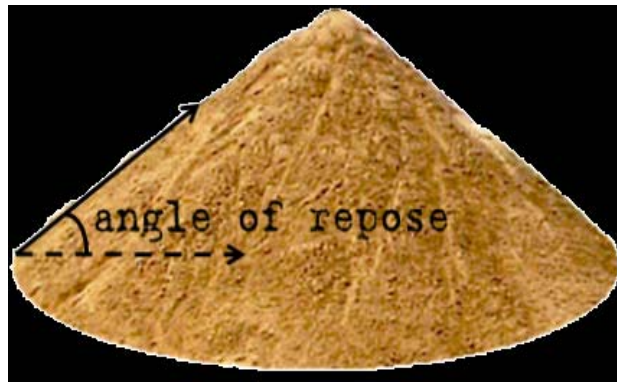
tässä työssä lisää. Hyvin korkea koheesio kiintoaineessa johtaa yleensä agglomeroitumiseen. /1; 12; 15/

2.2 Kiintoaineen juoksevuus

Juoksevuus on yksi rakeisen kiintoaineen ominaisuuksista, joka on vakio tietyissä olosuhteissa tietyillä kiintoaineen ominaisuuksilla. Se on useiden tekijöiden summa, joka muuttuu kun yhtä tekijää muutetaan. Juoksevuus tulee oleelliseksi, kun varastoitua kiintoainetta puretaan säiliöstä. Siihen vaikuttaa niin raekoko, rakeiden muoto, tiheys, kosteus, lämpötila, huokoisuus ja kiintoainemassan sisäiset kitkavoimat sekä kitka esimerkiksi seinämän ja liikkuvan kiintoaineen välillä. Se on yleensä hyvä aineilla, joiden raekoko on suuri ja muoto lähellä palloa. Korkea lämpötila ja kosteus huonontavat juoksevuutta. Samoin korkea paine, joka saa aineen pakkautumaan hyvin tiiviisti. Juoksevuuteen vaikuttavat siis jokseenkin samat tekijät kuin koheesioon, mutta päinvastaisella tavalla. Tästä voidaan tehdä yksinkertainen johtopäätös: korkea koheesio tarkoittaa huonoa juoksevuutta. Juoksevuus määritellään kokeellisesti, koska eri kiintoaineilla juoksevuuteen vaikuttavat hieman eri tekijät. /12; 1/

2.2.1 Lepokulma

Juoksevuutta voidaan kokeellisesti määrittää niin sanotulla dynaamisella lepokulmalla kaadettaessa ainetta tasolle. Sitä kutsutaan suomenkielisessä kirjallisuudessa myös kaatokulmaksi tai vierintäkulmaksi. Nämä suomenkieliset termit eivät kuitenkaan ole yhtä täsmällisesti määriteltyjä kuin englanninkielinen termi dynamic angle of repose. Tässä työssä käytän edellä mainitun vastineena dynaamista lepokulmaa. Toisin sanoen se on kulma, johon aine itsestään kaadettaessa asettuu. Kasaantuessaan tasaiselle pinnalle vapaasti kiintoaine muodostaa ikään kuin kartion, jonka huippu on kohdassa, josta kiintoainetta tippuu tason pintaa kohti. Kartion sivujen ja kartion kärjen varassa olevan horisontaalitason välinen kulma on tällöin haluttu suure. Samoin voidaan mitata myös alustan ja kartion sivun välinen kulma. Lopputuloksena saatavan kulman suuruus on sama. /1; 3; 6; 9; 10/



Kuva 1 Lepokulma /10/

Kuvassa 1 havainnollistettuna kuinka lepokulma mitataan. Kiintoainetta, tässä tapauksessa hiekkaa, on kaadettu sileälle alustalle. Kohta, johon hiekka tippuu, pysyy koko ajan samana. Siten muodostuu lähes symmetrinen kartio, josta lepokulma voidaan mitata. Koe suoritetaan laboratorio-oloissa asiaan kuuluvilla laitteilla.

Taulukko 1 Lepokulma /3, s. 67/

Lepokulma	Juoksevuuden määritelmä
25–30°	Erittäin vapaasti virtaava
30–38°	Vapaasti virtaava
38–45°	Keskinkertaisesti virtaava
45–55°	Koossapysyvä
>55°	Erittäin koossapysyvä

Taulukossa 1 on karkea tulkinta siitä, kuinka lepokulman suuruus vaikuttaa kiintoaineen juoksevuuteen. Lepokulma on yleensä pieni suuri rakeisilla tuotteilla, koska ne monesti vierivät vapaasti aivan kakun juureen asti ja siten levittävät sitä. Pulverimaisilla ja jauhemaisilla pienirakeisilla tiukkaan pakkaantuvilla tuotteilla se on puolestaan suuri. Erittäin agglomeroituvilla tuotteilla kulma voi olla hyvinkin suuri, koska kappaleet kiinnittyvät toisiinsa eivätkä vieri vapaasti alas asti. Sata mikrometriä on raja-arvo sille, että lepokulma pysyy kohtuullisen suurena ja sitä kautta aine hyvin virtaavana, jos kokojakaumassa ei ole lainkaan sen alittavia hiukkasia.

Lepokulma ei ole aivan yksinkertainen mitattava, kun raekokojakauma on suuri, koska pienet hiukkaset kerääntyvät huipulle ja suurimmat vierivät tason

pinnalle asti. Tällöin kartion sivu ei ole suora vaan hieman kovera. Muutenkin kartion sivuihin voi ilmaantua epätasaisuuksia, esimerkiksi agglomeroitumisen seurauksena syntyneitä paakkuja. Näistä seikoista seuraa se, että aivan asteen tarkkuudella samaan lopputulokseen ei päästä edes peräkkäisissä kokeissa, vaikka olisi sama kiintoaine-erä kysymyksessä. Sattumalla ja satunnaisuudella on oma osuutensa lopputulokseen. /1; 3/

Muitakin tapoja juoksevuuden määrittämiseen on olemassa, esimerkiksi staattinen lepokulma. Sillä saadaan samalla tavalla kuva virtaavuudesta kuin dynaaminen lepokulma, mutta mittausjärjestelyt eroavat siten, että kiintoainetta laitetaan kerroksena kallistettavalle tasolle. Tämän jälkeen tasoa lähdetään kallistamaan ja katsotaan mihin kulmaan tultaessa kiintoaine lähtee liikkeelle. Tällöin kyse on lähinnä liukumisesta ja kyseistä suuretta voidaan sanoa liukukulmaksi tai valumakulmaksi. /1;3/

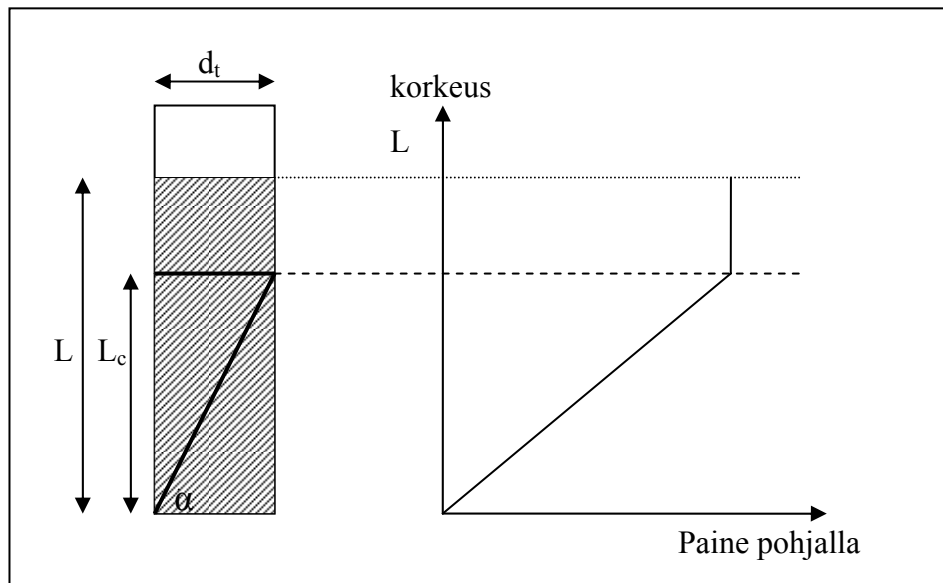
2.2.2 Kitkakulma

Kitkakulma kuvastaa kiintoainemassan sisäisiä kitkavoimia. Se on hieman samanlainen virtausominaisuuksien mittari kuin lepokulma. Kitkakulmalla voidaan kuitenkin määrittää asioita, joiden määrittämiseen lepokulmalla ei voida käyttää. Kitkakulma käsittää tässä tapauksessa kiintoaineen rakeiden välisen kitkan sekä rakeiden ja seinämän välisen kitkan. Se voidaan myös jakaa näihin kahteen osaan. Tällöin puhutaan joko sisäisestä kitkakulmasta tai seinämäkitkakulmasta. /1; 12/

Kitkakulma on tärkeä suure, kun suunnitellaan siiloa tai muuta säiliötä. Etenkin pohjaan kohdistuvaan paineeseen sillä on suuri merkitys. Kun säiliötä, jonka halkaisija on d_t , täytetään kiintoaineella x , niin paine, joka kohdistuu säiliön pohjaan, kasvaa lineaarisesti, kunnes saavutetaan kyseiselle aineelle ominainen kriittinen täyttökorkeus L_c halkaisijalla d_t . Tämän jälkeen pohjaan vaikuttava paine ei enää kasva, vaan pysyy tässä jo saavutetussa arvossa pinnan edelleen noustessa kriittisestä tasosta. Kriittisen tason ylittyttyä lisääntyvän massan aiheuttama voima kohdistuu seinämiin eikä enää lisää painetta pohjalla. Se voidaan ajatella myös tulppana. Kriittisen korkeuden omaava kiintoainetappi on

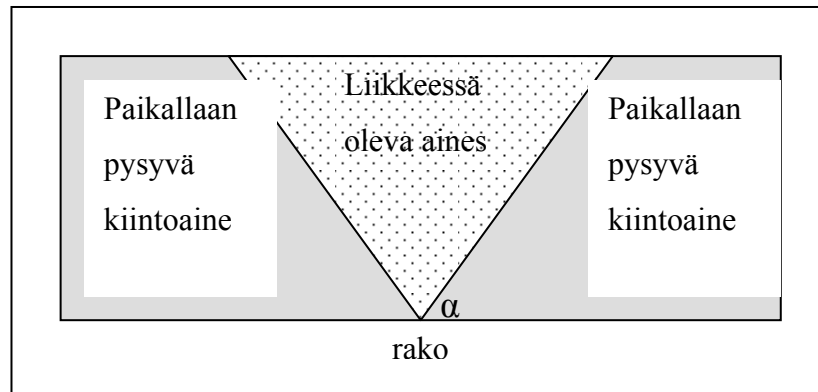
pisin liikkuva kiintoaine massa kyseisessä säiliössä. Tällöin kitkakulma α määräytyy matemaattisesti seuraavalla tavalla /1/:

$$\frac{L_c}{d_t} = \tan \alpha \quad (1)$$



Kuva 2 Kitkakulma /1/

Toinen tapa havainnollistaa ja mitata kitkakulmaa on ottaa läpinäkyvä suorakulmaisen särmiön muotoinen säiliö täynnä kiintoainetta, kuten kuvassa 3. Säiliön pohjaan tehdään keskelle pohjan katkaiseva aukko katsontasuunnassa. Aines alkaa valua säiliöstä pois. Kun ainetta valuu säiliöstä riittävästi pois, muodostuu suoraan edestäpäin katsottaessa tyhjä kärjellään seisova kolmio. Kolmion kylki ja säiliön pohja muodostavat kitkakulman α . Tämä sama kolmio on havaittavissa jo valumavaiheessa, se muotoutuu liikkeessä olevan kiintoaineen ja paikallaan pysyvien rajapintojen mukaan. /1/



Kuva 3 Kitkakulma α aineen valuessa säiliöstä /1/

2.3 Raekoon muutokset

Raekoko kiintoaineessa ei ole vakio, vaan joudutaan puhumaan raekokojakaumasta tai keskiraekoosta. Vaikka olisi tarkoituksenmukaista, että raekoko olisi suuri, on mukana lähes poikkeuksetta myös aivan pieniä hiukkasia ja myös välikokoja. Kiintoainerakeet murtuvat, kuluvat ja menettävät massaansa monien eri tekijöiden vuoksi niin säilytyksen kuin siirtojen ja muun käsittelyn aikana, ja se johtaa raekoon muutoksiin. Kulumista vastustaa kovuus, murtumista sitkeys ja niin edelleen. Toisaalta raekoko voi myös tarpeettomasti suurentua. Tätä kutsutaan agglomeraatioksi. Agglomeraation johdosta voi jopa muodostua kiinteitä siltoja ja holveja siilossa olevaan kiintoaineeseen.

2.3.1 Hienontuminen

Hienontuminen tapahtuu, kun kappaleen sisäiset koossa pitävät sidosvoimat voitetaan ulkoisella rasituksella. Hienontumista tapahtuu eri tavoin: se voi tapahtua lämmönvaikutuksesta, hankauksesta ja törmäyksissä. Törmätessään kappaleet hienontuvat siten, että ne joko halkeavat, pirstoutuvat tai niistä leikkaantuu vain kulma. Hienontumistapa on riippuvainen aineen lujuusominaisuuksista, rakeiden törmäysnopeudesta, osumakohdasta ja osumakulmasta. Hankauksessa ainetta hioutuu irti kiintoainerakeesta. Kiintoainerakeet saattavat hangata esimerkiksi siilonseinämää vasten tai toinen toistaan vasten. Tällöin alkuperäinen rae pienenee ja lisäksi syntyy erittäin hienoa ainesta. Lämpöön liittyviä esimerkkejä hienontumisesta ovat: lämmön aiheuttamista sisäisistä rasituksista johtuva hajoaminen, faasimuutoksista

johtuva massakato, osan haihtuminen ja lämmön kiihdyttämistä kemiallisista reaktioista johtuvat muutokset aineen rakenteessa. /3/

Kappaleen murtumiseen liittyy myös tiettyjä lainalaisuuksia. Syntyneen halkeaman tulee olla riittävän pitkä ja leveä, jotta murtuminen tapahtuisi. Leveydessä on saavutettava riittävä etäisyys, jolta sisäiset koossa pitävät vetovoimat eivät enää pidä toisistaan eroavia kappaleita yhdessä. Kovat aineet murtuvat tai pirstoutuvat helpommin kuin sitkeät, mutta eivät puolestaan kulumalla ja hankautumalla hienonnu niin helposti. /3/

Kuten aiemmin tuli ilmi, huonontaa hienonaineksen osuuden kasvu kiintoaineen virtausominaisuuksia sekä lisää monia vaarallisia ominaisuuksia, kuten räjähdysherkkyyttä. /3/

2.3.2 Agglomeraatio

Agglomeraatio on ilmiö, jota käytetään hyväksi monissa prosessitekniikan menetelmissä kuten sintrauksessa ja pelletoinnissa. Se on suurelta osin seurausta koheesion noususta, kuten jo edempänä mainittiin. Agglomerointi on suomen kielellä ilmaistuna raejoukon yhteenliittämistä siten, että saadaan aikaiseksi yksi suurempi rae. Spontaanina ilmiönä varastoinnin yhteydessä se ei kuitenkaan ole toivottavaa, koska se aiheuttaa suuressa mittakaavassa tapahtuessaan merkittäviä virtausongelmia kuten holveja ja siltoja.

Agglomeroituminen vaatii aina koheettisten voimien läsnäoloa eikä pysyvää agglomeroitumista voi tapahtua ilman molekylaarista sitoutumista.

Varastoinnissa agglomeraatiosta puhuttaessa voi rakeiden väliset yhteenliittymiset olla monenlaisia lujuudeltaan ja syntymismekanismiltaan. /5; 8/

Agglomeraatioon lisäävästi vaikuttavia tekijöitä ovat kiintoainehiukkasten muoto mekaanisessa yhteenliittymisessä, pintojen vetovoimat, hitsautuminen, elektrostaattiset vetovoimat, kosteus ja lämpötilanvaihtelut. /1; 3; 8/

Mekaanisessa yhteen kytkeytyemisessä rakeet ovat rakenteellaan sen mallisia, että tapahtuu toisiinsa kiinnittymistä. Kappaleet, jotka näin toisiinsa liittyvät,

voivat olla esimerkiksi pitkänomaisia, jolloin ne saattavat kiertyä yhteen tai muuten sopia yhteen kuin palapelin palaset. /1; 3; 8/

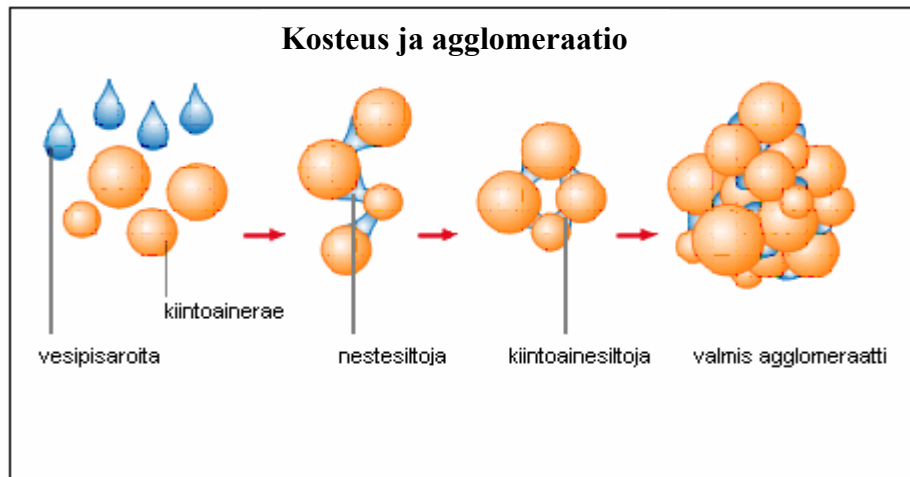
Kiintoainerakeiden pintavoimat, kuten molekylaarinen van der Waals'in voima vetävät kiintoainekappaleita yhteen. Tämä on toimivin mekanismi silloin, kun pinta-ala tilavuutta kohti on suurin mahdollinen. Eli puhutaan hyvin pienistä hiukkasista alle 10 μm . Tällöin ei voida enää sanoa ainetta rakeiseksi kiintoaineeksi, mutta rakeisen kiintoaineen seassa voi olla näinkin hienoa ainesta, joka sitten agglomeroituu suuremmiksi kappaleiksi näiden keskinäisten vetovoimien vaikutuksesta ja liittyy mukaan suurempia kiintoainekappaleita. Herkästi hienontuvan rakeisen kiintoaineen joukossa voi olla jo virtauksen kannalta merkittäviä määriä näinkin hienoa materiaalia. /1; 3; 8/

Eritoten muoveilla tapahtuu agglomeraatiota yhteen hitsautumalla. Tämä ilmiö johtuu suurista voimista, joita kiintoaine massassa muodostuu.

Epäsäännöllisillä rakeilla taas saattaa olla hyvinkin teräviä kohtia, joille mainittu voima kohdistuu. Kun kaksi kappaletta painaa toisiaan suurella voimalla ja niiden kosketuspintojen pinta-alat ovat hyvin pieniä, syntyy valtava paine. Tämän paineen vaikutuksesta nämä kappaleet hitsautuvat yhdeksi kappaleeksi. Kappaleita liittyy syntyneeseen uuteen kappaleeseen yhä lisää samalla periaatteella, jolla kaksi rautaa liittyivät toisiinsa, ja agglomeroitunut kiintoainemassa kasvaa entisestään. /1; 3; 8/

Rakeisen kiintoaineen käsittelyssä ja kuljetuksessa hiukkaset liikkuvat erilaisia pintoja ja toisiaan vasten. Tällöin on mahdollista, että syntyy sähköisiä varauksia kiintoainerakeisiin. Kuten pintavoimien kohdalla on tässäkin tapauksessa vaikutuksen painopiste hienoissa hiukkasissa. Hienot hiukkaset voivat varauduttuaan liittyä elektrostaattisten vetovoimien vaikutuksesta toisiinsa ja suurempaan rakeeseen ja kasvattaa sitä. Magneettiset vetovoimat tulee myös ottaa agglomeraatiossa huomioon. Varastoitaessa ferromagneettisia aineita se on varmasti yksi pääsyyistä niiden yhteen liittymiseen. /1; 3; 8/

Vaikka kiintoaine itsessään olisi melko kuivaa, voivat monet hygroσκοoppiset aineet sitoa kosteutta itseensä esimerkiksi ilmasta. Olosuhteetkin voivat olla suotuisat kondensaatiolle, ja kosteus pääsee siksi kiintoainerakeiden pinnalle. Kosteuden vaikutus agglomeraatioon on selvä. Kosteus vaikuttaa kiintoainekappaleisiin vetämällä niiden kosketuspinnat lähelle toisiaan ja pitää niitä yhdessä pintajännityksen avulla. Kosteudella on myös toinen tapa vaikuttaa agglomeraatioon. Se liittyy monien nesteiden kykyyn liuottaa ainetta. Vesi, jota yleensä kosteudella tarkoitetaan, on hyvä liuote. Siihen liukenee pieniä määriä kiintoainetta, joka toimii sitten yhteen sitovana aineksena kahden tai useamman kiintoainerakeen välillä. Kuvassa 4 on kosteuden aiheuttama agglomeraatio esitetty vaiheittain. /1; 3; 8/



Kuva 4 Agglomeroituminen kosteuden vaikutuksesta /20/

Joissain prosesseissa lämpötilan tulee olla korkea tai lämpötila voi vaihdella prosessin mukaisesti. Nämä tekijät vaikuttavat myös agglomeraatioon varsinkin muoveilla, kumeilla ja sokereilla. Lämpötilan vaihtelu – nimenomaan kasvu ja sitten jäähtyminen – edesauttaa agglomeraatiota. Tällöin voi tapahtua yhteen sulautumista, jos lämpötila nousee riittävästi. Ylipäätään monet materiaalit ovat koossapysyvämpiä lämpötilan ollessa ylhäällä, kun puhutaan rakeiden suhteesta toisiinsa, eli koheesion vaikutus tulee ilmi myös tässä lisääntyneenä agglomeroitumisena. Monet muovit esimerkiksi ovat lämpiminä käsiin tuntuvasti tahmeampia kuin kylminä, minkä voi päätellä aiheuttavan korkean koheesion. /1; 3; 8/

3 VARASTOINTI

Varastointiin raemaisilla kiintoaineilla voidaan järjestää esimerkiksi avovarastona pihalla, jolloin tavara on vapaaseen vierintäkulmaansa asettuneina kasoina maassa. Ulkoilmavarasto saattaa olla myös katettu, halli voi toimia myös varastona. Yksi varastoluokka on bunkkerit. Toisenlaisia varastoja edustaa siilot tai muut säiliöt, joissa kiintoaine on kaikkein kompakteimmalla tavalla säilöttynä ja voidaan ottaa säiliöstä painovoimaisesti. Ylivoimaisesti monipuolisin ja yleisimmin käytetty näistä varastointimuodoista on siilo, sillä se käy ominaisuuksiltaan monenlaisille aineille. Juuri muihin nimityksiin ei edes törmää, kun puhutaan teollisuuden varastointitavoista rakeiselle kiintoaineelle. Kun puhutaan siiloista ja muista selkeästi säiliömäisistä kiintoainevarastoista, rajanveto eri rakennelmien välillä voi olla hyvinkin vaikeaa, eikä sitä voi pitää kovin tarpeellisenakaan. Yleensä rakennelman koko määrää sen, miksi sitä kutsutaan. /5; 6; 9/

Varastoinnissa on tärkeää myös tilan käyttö. Tarkoituksena on yleensä saada sellainen varasto, joka viemäänsä pinta-alaan nähden sisältää suurimman ainetilavuuden. Tällöin on kyse tehokkaasta tilankäytöstä, jota on syytä aina taloudellisista ja tuotannollisista syistä toteuttaa. Tätä periaatetta noudattavat parhaiten säiliömäiset kiintoainevarastot ja huonoimmin avokasat, joissa aine saa asettua vapaasti ominaiseen vierintäkulmaansa. Selkeästi seinämin joka puolelta rajatussa tilassa voidaan kasvattaa tilavuutta pienellä pohjapinta-alalla lisäämällä korkeutta. /5; 6; 9/

3.1 Ulkosäilytys ja hallit

Kasoina ulkoilmassa, oli kyseessä sitten katettu tai kattamaton alue, voidaan varastoida vain aineita, joilla kosteus ei aiheuta ongelmia. Siksi hygroskooppisia aineita ei voida suunnitella varastoitavan ulkotiloissa. Nämä ulkoilmassa varastoitavat aineet eivät myöskään saa olla ympäristölle ja ihmiselle myrkyllisiä aineita, joiden pöly tai haihtuvat yhdisteet voivat levitä ympäristöön. Hyvin tulenarat ja räjähdysherkät aineet eivät myöskään voi olla vapaasti ulkona varastoitavia. Pelkkä pölyävyys sulkee useita aineita pois

listalta. Hyviä esimerkkejä ulkona varastoitavista aineista ovat kivihiili ja malmirikasteet. /3; 5; 6; 9/

Katetusta ulkovarastosta seuraava taso on varastohalli. Varastohalli takaa jo selvästi paremman suojan sään vaikutuksilta, joista tärkein on kosteus. Halli suojaa myös auringon valolta ja lämpötilan vaihteluilta, jos se on lämmitetty tai jäähdytetty. Se myös estää pölyn leviämisen ympäristöön. Varastohalleissa säilytettävät kiintoaineet eivät ole läheskään niin rajattu joukko kuin ulkosäilytyksessä. /6; 9/

Ulkosäilytyksessä voidaan tilan käyttöä tehostaa lisäämällä muurit kasojen ympärille. Tällöin samalle alalle saatava tilavuus kasvaa suuresti.

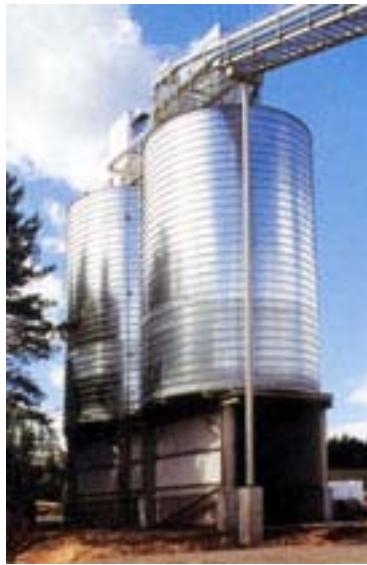
Kiintoainekasa voidaan myös laittaa maan pinnan tason alapuolelle kaivettuun kuoppaan. Tämä on käytännössä sama asia kuin muurien rakentaminen kasan ympärille. Tilavuuden kasvu on tässä tapauksessa hyvin ilmeinen. Jos tehdään muuri, joka on samankorkuinen kuin pinta-alalle mahtuva vapaa kasa, niin voidaan laskea yksinkertaisella matematiikalla, että rakennuksen jälkeen pinta-alalle mahtuu kolminkertainen tilavuus kiintoainetta vapaaseen kasaan nähden. Halleja ei voi täyttää täyteen, koska tällöin hallin ovia ei voitaisi avata ilman että varastoitavaa ainetta virtaisi ulos. Hallin koko pysyy säilytystilavuudeltaan tehokkaana, kun esimerkiksi tehdään hallista vapaan kasan muotoa myötäilevä kupu. Tällöin tyhjää ilmatilaa on mahdollisimman vähän eikä hallin rakenteisiin mene materiaalia ikään kuin hukkaan. /6; 9/

Kiintoaineen purku näistä varastomuodoista voi tapahtua niin pusku- ja purkureilla kuin kaivureilla tai siltanosturilla. Muita käyviä purkulaitteita ovat raappapurkain, kauhaketju- ja kauhapyörälatauslaite. /9/

3.2 Siilot

Siilot ovat suuria rakennelmia, joissa voidaan varastoida hyvin monenlaista rakeista kiintoainetta, esimerkiksi puupuristeita, haketta, purua, viljaa, muovi- ja kumigranulaatteja, -rouheita, -jauheita, maltaita, rehuja, soraa, sementtiä, tuhkaa ja lannoitteita. Mahdollisia varastoitavia tuotteita on paljon erilaisilta

teollisuuden aloilta. Yleisesti voidaan sanoa, että mikä tahansa juokseva rakeinen, jauhemainen tai pulverimainen materiaali voidaan varastoida siiloon. Se ei ole varastotyyppinä niin rajoittunut kuin muut vaihtoehdot. Siilot ovat materiaaliltaan yleensä terästä, betonia tai komposiittia, mutta myös alumiinia käytetään. Teräs on ominaisuuksiltaan käytännöllinen materiaali siiloissa. Tarpeen mukaan voidaan käyttää joko sinkittyä, ruostumatonta, haponkestävää tai pinnoitettua terästä. Kuvassa 5 on kaksi teräksistä pyörösiiloa. Ne edustavat hyvin tyyppillistä säilytysratkaisua rakeiselle kiintoaineelle. /11/



Kuva 5 Siilo /11/

Siilo voi poikkileikkaukseltaan olla joko pyöreä tai nelikulmainen sekä joskus myös monikulmainen. Pyöreä siilo on parempi ratkaisu lujutta ajatellen. Siinä on vähemmän rasitukselle herkkiä epäjatkuvuuskohtia kuin nelikulmaisessa vaihtoehdossa. Pyöreässä siilossa ainoa heikkokohta on pohjan tai pohjasuppilon ja varsinaisen lieriömäisen säiliöosan välissä. Muut pyörösiiloissa ilmenevät rasitukset ovat kalvojännityksiä. /4/

Nelikulmainen siilo valitaan silloin, kun tilaa siilolle on rajoitetusti ja halutaan maksimoida säilytystilavuus. Yleensä aineet, joita nelikulmaisessa siilossa harkitaan varastoitavaksi, ovat myös tiheydeltään pienempiä. Tiheydeltään suurille aineille valitaan mieluummin pyöreä siilo. Tällöin vältetään massiivisilta tuentaratkaisuilta, joita neliskanttinen siilo vaatisi raskaan

kuorman sisällään pitämiseen. Neliskanttinen siilo tulee massaltaan hyvin suureksi vahvoine seinämateriaaleineen ja tuentoineen. Siksi se ei ole myöskään järkevä vaihtoehto suurimmissa varastointitarpeissa. /4/

Jos halutaan erotella varastotyypit tarkasti toisistaan, mikä ei välttämättä ole kovin tarpeellista edes, voidaan siilo erottaa muista säiliöistä juuri sen korkean ja kapean muodon mukaan sekä sen, että siilon pohjalla on yleensä aina tyhjennysuppilo. Ne ovat myös aina hyvin kookkaita säiliöitä. Siilon toimintaperiaate on: täytä päältä tyhjennä pohjalta.

3.3 Bunkkerit

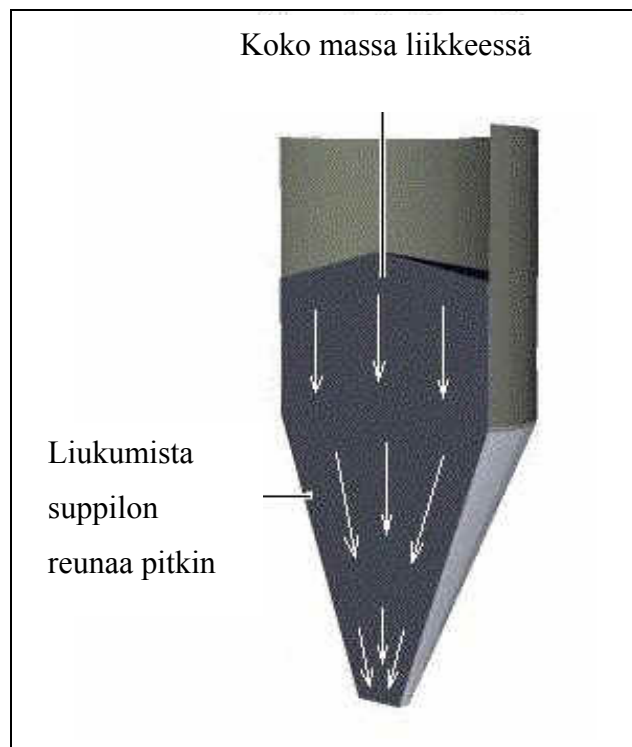
Bunkkeri sanana tuo mieleen pommisuojan toisesta maailmansodasta, ja rakenteeltaan se on tässäkin tapauksessa usein melko samanlainen. Bunkkerinimitystä käytetään yleensä betonista valmistetusta varastosta, joka on tilan käytöltään varastohallimainen mutta laajempi. Myös teräksisiä suorakulmaisen särmiön mallisia säiliöitä voidaan kutsua bunkkereiksi. Siinä ehtona voi kuitenkin pitää sitä, että säiliön on tällöin oltava vaakatasossa kookas eikä korkea kuten siilot. Se voi olla myös osittain tai kokonaan kaivettu maahan. Suomea kuivemmissa maissa maabunkkereita voidaan käyttää viljan säilytykseen, esimerkiksi Lähi-idässä ja yhdysvaltojen siihen ilmastoltaan soveltuvissa osissa. Juuri tällainen viljan maabunkkeri on kuvassa 5. Niiden purkuun ja täyttöön vaaditaan aina koneita, olivat ne sitten kauhakuormaajia tai erilaisia kuljettimia. /17; 9/



Kuva 6 Maahan tehty viljabunkkeri /17/

4 SIILON PURKAUTUMINEN

Siilon tulisi purkautua ”first in first out” -periaatteella, joka tarkoittaa vakiona pysyvää viipymäaikaa tietyltä tasolta pohjalle ja ulos siilosta. Periaatteen täyttymisedellytyksenä on, että siilo tyhjenee massavirtauksena. Jotta massavirtaukseen päästäisiin, on siilo mitoitettava oikein varsinkin alasuppilon osalta, että virtaus pysyy ihanteellisena. Yleisesti voidaan sanoa, että korkeat ja kapeat siilot ovat virtausominaisuuksiltaan parhaat. Tällöin pystysuoran osan seinämän ja suppilon seinämän välinen kulma pysyy mahdollisimman suurena ja sitä kautta vastus pienenä.



Kuva 7 Massavirtaus /13/

Purkautuminen siilosta alkaa, kun siilon suuaukolla olevan kiintoaineen yläpuolelle muodostuvasta paineesta aiheutuva leikkausvoima ylittää suuaukon reunoja myöten rajatun kiintoainetulpan koossa pitävät voimat.

Purkautumisnopeutta suuaukon läpi siilosta voidaan myös laskea Brownin kaavalla, joka on seuraavanlainen:

$$G = \frac{\pi}{4} \rho_s d_{\text{eff}}^{2.5} g^{0.5} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2 \sin^3 \beta} \right)^{0.5} \quad (2)$$

Kaavassa olevat symbolit ovat:

G on massavirta,

ρ_s on kiintoaineen kappaleiden tiheys,

d_{eff} on efektiivinen suun halkaisija eli suuaukon suhde kiintoainerakeen halkaisijaan,

g on maanvetovoiman kiihtyvyys,

β on horisontaalin ja suppiloseinän välinen kulma.

Tätä virtausnopeutta voidaan muuttaa toki monenlaisilla lisälaitteilla. Niistä yksinkertaisin on käyttää halkaisijaltaan samankokoista putkea kuin ulosvirtausaukko aukon jatkeena. Jos kyseisen putken pituus on viisikymmentä kertaa sen halkaisija, se lisää virtausta esimerkiksi hiekalla 15 – 50 prosenttia riippuen hiekan raekoosta. Tässä tapauksessa virtaus lisääntyy enemmän hienojakoisella kiintoaineella. /1/

Monissa tapauksissa suuaukon ja siilosuppilon suunnittelussa ajaudutaan tilanteeseen, jota ei käytännössä voida toteuttaa. Ulostuloaukko muodostuu liian suureksi optimitilanteen saavuttamiseksi. Tällöin joudutaan tekemään kompromissi ja jättämään vain aukko pienemmäksi. Kun aukko on pienempi kuin olisi todellisuudessa optimaalitulanteen saavuttamiseksi tarve, virtaus voi huonontua hyvin paljon. Silloin voidaan käyttää erilaisia virtausta parantavia laitteita.

Siilon pohjasuppilo joudutaan aina harkitsemaan ainekohtaisesti. Sen sivun kaltevuuskulma saadaan lyhyesti määriteltyä vierintäkulmasta, kun vierintäkulmaan lisätään 15° varmuusvara. Se voidaan myös matemaattisesti ratkaista edellä mainitulla Brownin kaavalla. Massavirtaus toteutuu varmimmin, kun kulma siilon seinämän ja suppilon seinämän välillä sisäpuolelta mitattuna on mahdollisimman suuri. Suuri kulma, joka lähenee 180°, tekee kuitenkin suppilosta hyvin pitkän ja lisää siilon tilantarvetta korkeus suunnassa entisestään. /1; 6; 9/

Pohjasuppilo yleensä on katkaistun kartion muotoinen tai kulmikkaassa säilössä katkaistu pyramidi, jos puhutaan vapaasti virtaavasta aineesta. Aina näin ei kuitenkaan ole, vaan tyhjenemisreikä voi olla myös epäkeskeisesti aseteltuna. Tämä epäsymmetrisyys tuo etua purkuun, jos kyseisellä varastoitavalla kiintoaineella on taipumusta holvimuodostukseen. Myös suppilon materiaali pitää valita siten, että kitka seinämän ja kiintoaineen välillä on mahdollisimman pieni. /9/

5 ONGELMAT PURKAUTUMISESSA

Ongelmat purkautumisessa liittyvät aineen sisäiseen kitkaan ja ominaisuuteen pysyä koossa eli koheesioon. Rakeet pysyvät yhdessä eivätkä virtaa vapaasti. Sisäinen kitka, eli rakeiden keskinäisten pintojen kitka, on liian suuri eivätkä rakeet pääse liikkumaan toisiinsa nähden ollessaan toisissaan kiinni. Suuretkin kiintoainemassat voivat agglomeroitua yhteen ja muodostaa virtauksen estävän muodostelman, esimerkiksi holvin. Toinen vastaava ongelma on osittaisvirtaus, joka aiheuttaa kuiluuntumista eli niin sanotun rotankolon. Tässä tapauksessa osa siilosta ei tyhjene lainkaan. Kolmantena ongelmana voidaan mainita segregatio, joka syntyy siiloa täytettäessä. /1; 3; 6; 9; 10; 12; 13/

Ongelmia syntyy jos siiloa ja sen pohjasuppiloa ei ole suunniteltu nimenomaan kyseiselle siinä varastoitavalle kiintoaineelle. Tilanne voi olla myös sellainen, että massavirtauksen mahdollistava siilorakennelma suppiloineen on mahdoton rakentaa vaikkapa tilanpuutteen takia tai kustannustehokkuuteen vedoten.

Vaikka pyrkiminen massavirtaukseen on kannattavaa, aina se ei kuitenkaan ole mahdollista. Kiintoaineen raekokojakauman muutokset myös muuttavat sen virtausominaisuuksia, niin kuin aiemmin on jo todettu, kun ainetta hienontuu sen virtausominaisuudet huonontuvat. Tällaiset asiat saattavat tulla varsinaisessa käytössä yllätyksenä.

5.1 Holvaantuminen

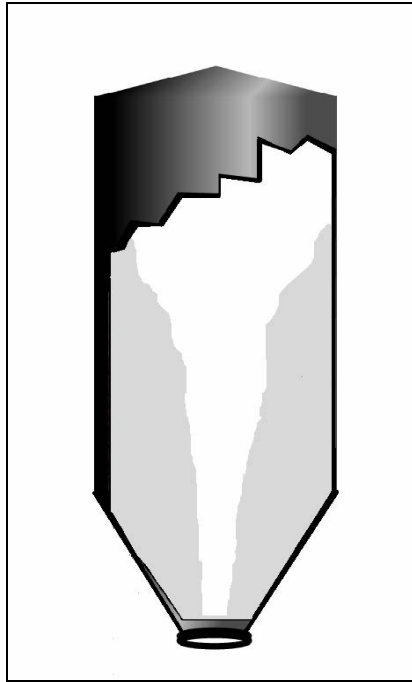
Holvaantumisessa ja siltaantumisessa kiintoaineen virtaus siilosta ulos estyy kokonaan tai osittain, kun kiintoaineesta muodostuu erittäin hyvin koossa

pysyviä holveja. Holvaantunut kiintoaine on niin yhtenäistä, että se pystyy kannattelemaan yläpuolella olevaa kiintoainemassaa ja näin estämään sitä virtaamista ulos siilosta. Holvaantumiseen yhtäkkisenä ilmiönä liittyy yleensä, jonkin asteista agglomeroitumista ja koheesion kasvua. Aine voi joissain tapauksissa olla kaikkineen niin koheettista, ettei olemassa olevalla suppilolla synny virtausta lainkaan. Tämä voidaan ratkaista vaihtamalla suppilo. Suppiloksi holvaantuvalla kiintoaineella sopii hyvin epäsymmetrinen vaihtoehto, jossa purkuaukko ei ole keskellä. /1; 3; 6; 9; 10; 12; 13/

Holvaantuminen estää painovoimaisen purkautumisen. Näissä tapauksissa vaaditaan, että on olemassa laite siilon yhteydessä, jolla syntynyt rakenne saadaan rikottua ja virtaus palautettua normaaliksi. Jos varastoitava kiintoaine tiedetään holvaantuvaksi, on parasta heti rakennusvaiheessa asentaa holvinmuodotusta estävä laite siilon yhteyteen tai valita sopivampi suppilo.

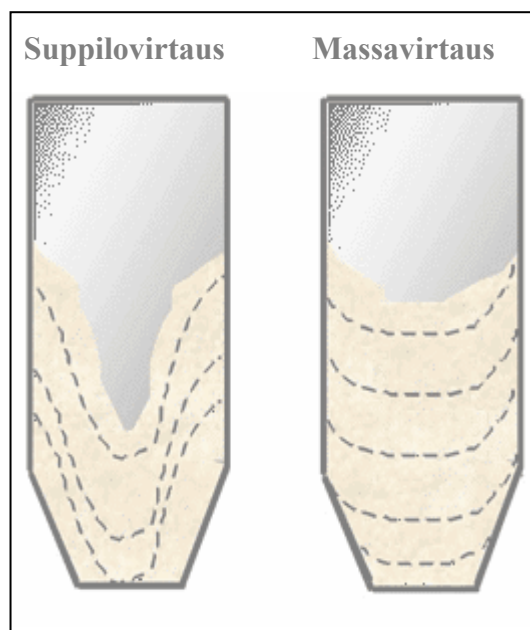
5.2 *Kuilunmuodostus ja epätäydellinen tyhjeneminen*

Suppilomainen purkautuminen siilosta tai kuilu johtaa siihen, ettei massavirtaus toteudu, vaan siilossa oleva kiintoainemassa lähtee purkautumaan epätasaisesti. Tällöin voi muodostua niin sanottu rotankolo eli kuilu. Rotankoloa käytetään nimityksenä ilmiölle, jossa siilon keskiosaan muodostuu kuilu ylhäältä alas poistumissuppilon aukkoon asti. Ainoastaan siilossa olevan materiaalin ydin on tässä tapauksessa virtaavassa liikkeessä ja muu materiaali muodostaa silloin niin sanotun kuolleen alueen. Tällöin siilon tehollinen tilavuus kärsii, kun vain pieni osa sen tilavuudesta on virtaavan aineksen käytössä.



Kuva 8 Kuilun muodostus /13/

Kun kuilu muodostuu, ei ”first in first out” -periaate pääse toteutumaan, vaan poistumisperiaate on tällöin päinvastainen: viimeisenä siiloon tullut materiaali pääsee ensimmäisenä ulos siilosta. Myös muita samantyyppisiä muodostelmia saattaa ilmetä. Aines voi esimerkiksi virrata vain siilon toista sivua pitkin. Se on mahdollista silloin, jos käytetään esimerkiksi epäsymmetristä suppiloa siilon purkuun.



Kuva 9 Suppilovirtaus ja massavirtaus /12/

Epätäydellinen tyhjeneminen on ongelmana pienempi kuin kuilunmuodostus. Se tarkoittaa, että joka kerta, kun säiliö tyhjenee, sinne jää sivuille purkautumatonta ainetta. Kyse on tällöin pienemmistä purkautumattomista ainemääristä kuin kuiluuntumisessa. Epätäydellinen purkautuminen johtuu juuri suppilovirtauksesta, jolloin mahdollisuus kuolleisiin alueisiin siilon reunoilla on olemassa.

Näihin purkautumisongelmiin liittyy, että jokin osa kiintoaineesta säilyy siilossa hyvin pitkiä aikoja. Säiliössä pitkään ollut aines saattaa mennä pilalle, eikä sitä voida enää käyttää sille tarkoitettussa prosessissa. Tästä syntyy taloudellista haittaa ja tuotannon hidastumista. Erilaisia virtausmahdollisuuksia kuin massavirtaa tulisi siitäkkin syystä välttää, että epäsymmetrisesti tyhjentävässä siilossa toiselle seinämälle jäänyt kiintoainemassa voi romahtaa ja saada vaurioita aikaan siilossa ja sen tukirakenteissa.

5.3 Segregaatio

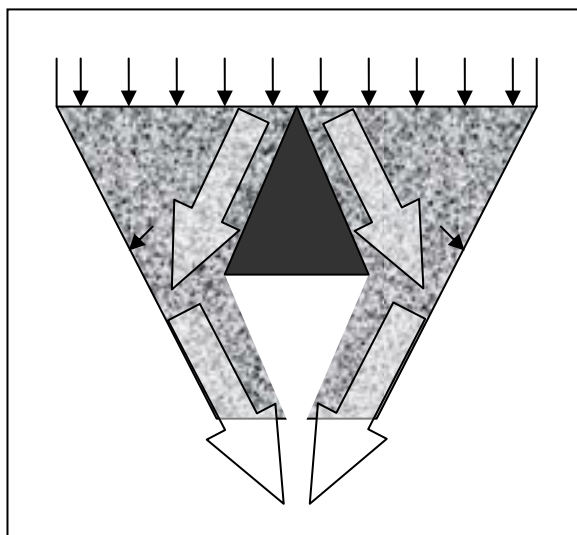
Yksi purkaantumisen ongelmista on segregaatio eli aineksen jaottuminen siilon eri osiin kokoonsa mukaisesti. Niin kuin aiemmin lepokulmaa käsiteltäessä tuli ilmi, on suurilla rakeilla tapana muodostaa pienempi lepokulma eli loivempisivuinen kiintoainekasa kuin hienolla aineksella. Siiloa täytettäessä suuret rakeet pyörivät aivan reunoille ja aivan terävimmän huipun kasalle muodostaa kaikkein hienoin aines. Kiintoainerakeet siis jakautuvat siilossa jokainen koko oman vierintäkulmansa mukaan. Segregaatio saa alkunsa siilon täytöstä aineilla, joilla on laaja raekoko jakauma. Tällöin purkautuva aines ei ole tasalaatuista eli kokojakauma ei pysy ulos purkautumisen aikana samana, vaan ensin saattaa tulla pelkästään hienoa ainesta, sitten vähän suurempaa ja vaihdella näiden välillä jatkuvasti. Toisaalta keskellä oleva hienoaines voi estää virtauksen suuaukosta ulos kokonaan, koska sillä on tapana pakkautua tiiviimmin ja olla muutenkin koheettisempaa eli virtausominaisuuksiltaan huonoa. /12; 21/

6 PURKUA HELPOTTAVAT RATKAISUT

Purkua joudutaan yleensä niissä tilanteissa auttamaan erikoisratkaisuin, joissa siiloa ei pystytä mitoittamaan aineen ominaisuuksien vaatimalla tavalla, vaan joudutaan tekemään kompromissi esimerkiksi tilanpuutteen takia. Tällöin suppilon kallistukset eivät riitä, suuaukko jää liian pieneksi tai itse mittasuhteet ovat väärät ja massa virtaukseen ei päästä. Aine voi olla myös ominaisuuksiltaan niin agglomeroituvaa, ettei edes oikealla mitoituksella voida varmasti taata vapaata massavirtausta. /9; 11/

6.1 Kiinalaiset hatut

Kiinalaiset hatut ovat kartiomaisia laitteita, joilla edes autetaan siilon purkua. Niiden tehtävänä on estää aineen pakkautuminen purkuaukon päällä niin tiiviiksi, että virtausominaisuudet huonontuisivat. Kartio sijoitetaan siis suoraan ulospurkautumisaukon yläpuolelle. Se jakaa siilovirtauksen aukon päältä kohti seiniä, mistä se pääsee vapaasti pohjasuppilon seinämiä pitkin virtaamaan ulos siilosta. Tällöin yläpuolisen kiintoainemassan painon muodostama paine suuntautuu sivuille päin, eikä tiivistä ainetta pohjaa kohti. /9; 11/ Kuvassa kymmenen näkyy kiinalaisen hatun toiminta periaate.

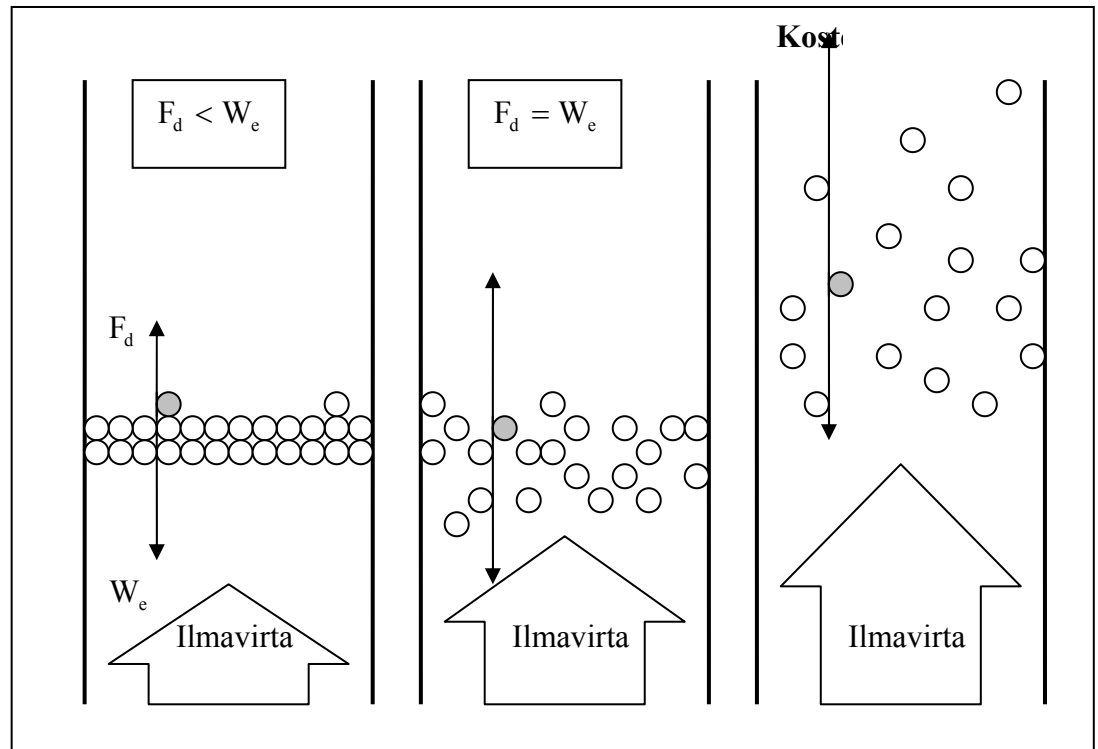


Kuva 10 Kiinalainen hattu

6.2 Fluidisointi

Fluidisointi ilmiönä tarkoittaa sitä, että saadaan kiintoaine käyttäytymään mahdollisimman samanlailla kuin neste tai kaasu. Kiintoaineen virtausominaisuudet tällöin paranevat huomattavasti. Tämä tila saadaan aikaan suihkuttamalla kiintoaine massaan alhaalta ylöspäin kaasua tai nestettä. Tällöin kiintoaine massasta tulee ikään kuin leijuva kerros tämän takia suomenkielellä fluidisointia voidaan kutsua myös leijuttamiseksi. Tällä ilmiöllä on monia hyödynnostapoja prosessitekniikassa. Yksi kiintoaineen varastoinnin yhteydessä käytettävä hyödynnostapa on painovoimaisesti tyhjennettävän varastosäiliön tyhjennyksen avustaminen. Tässä tapauksessa käytetään ilmaa, koska sen poistaminen kiintoaineesta ei aiheuta lisätoimenpiteitä eikä edistä agglomeraatiota kuten neste saattaisi tehdä. /2/

Yksittäisen hiukkasen kohdalla ajateltuna fluidisaatiossa tapahtuu seuraavaa: Fluidi eli kaasu tai neste suihkutetaan alhaalta ylöspäin sellaisella nopeudella, että sen virtauksen aiheuttama voima hiukkaseen voittaa sen painovoiman ja se alkaa leijua. Tällöin myös hiukkasten väliin muodostuu tilaa eikä niiden liikkuminen esty toisten hiukkasten ja niiden välisestä kitkasta. Virtausnopeus, jota kutsutaan kuohkeutumisnopeudeksi ja joka aiheuttaa yhtä suuren nosteen kuin aineen painovoima, toimii ala raja-arvona leijumisalueelle. Ylärajakin on olemassa. Se on nopeus, jolla kiintoainehiukkaset lähtisivät virtaamaan virran mukana, sitä puolestaan sanotaan kuljetusnopeudeksi. /5/



Kuva 11 Ilmavirran voimakkuuden vaikutus kiintoainepatjaan /2/

Kuvassa 11 on kuvattu kiintoainepatjan käyttäytymistä, kun ilmavirta kasvaa. Sen vaikutuksen kasvua kuvaa suure F_d . Se on voima, jonka yleisesti sanottuna virtaava fluidi, tässä tapauksessa ilma, kohdistaa yksittäiseen kiintoainerakeeseen. Sitä vastustaa voima W_e eli efektiivinen paino, jossa on huomioituna painovoima ja noste. Se lasketaan seuraavasti:

$$W_e = F_g + F_n = -\frac{\pi d_p^3}{6}(\rho_p - \rho_f)g \quad (3)$$

jossa

F_g on painovoima,

F_n on noste,

d_p on kiintoaine hiukkasenhalkaisija,

ρ_p on kiintoaine hiukkasen tiheys,

ρ_f on fluidin tiheys ja

g on maanvetovoimankiihtyvyyys.

Kun esimerkiksi siilossa virtausta parannetaan fludisoinnin avulla, ei jouduta kuitenkaan fludisoimaan kaikkea säiliössä olevaa kiintoainetta kerralla. Silloin

riittää, kun vain pohjimmainen osa, joka on suuaukon lähetyvillä, saadaan fluidisoituneeseen tilaan. /2/

Fluidisointi siloissa hoidetaan fluidisointipohjalla tai -levyillä. Fluidisointiin liittyvät myös ilmatykit, vaikkakin niillä on ikään kuin kaksinkertainen toimintamekanismi, joka fluidisoinnin aiheuttavan nopean ilmavirran lisäksi perustuu kiintoainemassan tärähdykseen. Fluidisointilaitteiden eli pohjien ja levyjen hyviä puolia ovat alhainen melu, käyttö vain silloin, kun tarvitaan sekä niiden ystävällisyys silon rakenteita kohtaan. Monet tyhjenemistä edistävät mekaaniset laitteet vaurioittavat ennen pitkään säiliön rakenteita. /9; 11; 12/

6.3 Mekaaniset ratkaisut

Mekaaniset virtauksen edistäjät ovat yleensä äärimmäinen keino, jota kannattaa käyttää vain hyvin agglomeroituneelle ja huonosti virtaavalle aineelle sekä silloin, kun silon optimaalinen mitoitus ei ole mahdollista. Ne aiheuttavat monesti kovaa melua ympäristöönsä ja rasittavat säiliön rakenteita.

6.3.1 Vasarat

Vasarat ovat mekaanisia laitteita, joilla silon seinämään koputtamalla saadaan aine virtaamaan, varsinkin jos sen sisältö on jäänyt seinämille. Mahdolliset holvimuodostelmat voidaan myös rikkoa sillä. Ne voivat toimia niin sähköisesti tai paineilmalla. Vasaroiden hyvinä puolina voidaan mainita, että ne eivät ole jatkuvatoimisia, joten energiaa säästyy eikä synny jatkuvia meluhaittoja työympäristöön. Huonona puolena voi pitää sitä, että virtauksen edistäjinä ne eivät ole tehokkaimmasta päästä. /9; 11; 12/

6.3.2 Täryttimet ja koputtimet

Täryttimet ja koputtimet ovat jatkuvatoimisia virtauksen edistäjiä. Koputtajissa ja täryissä hyvänä puolena on se, että mitään purkautumista estävää ei edes pääse syntymään. Näistä tehokkain ratkaisu on tärypohjat, jotka pitävät ulosmenoaukon ympärillä olevan kiintoainemassan jatkuvasti virtaavassa tilassa. Täryillä ja koputtajilla on yleensä käyttövoiman sähkö, mutta ne voivat toimia myös pneumaattisesti. Niiden huonoina puolina voidaan pitää sitä, että

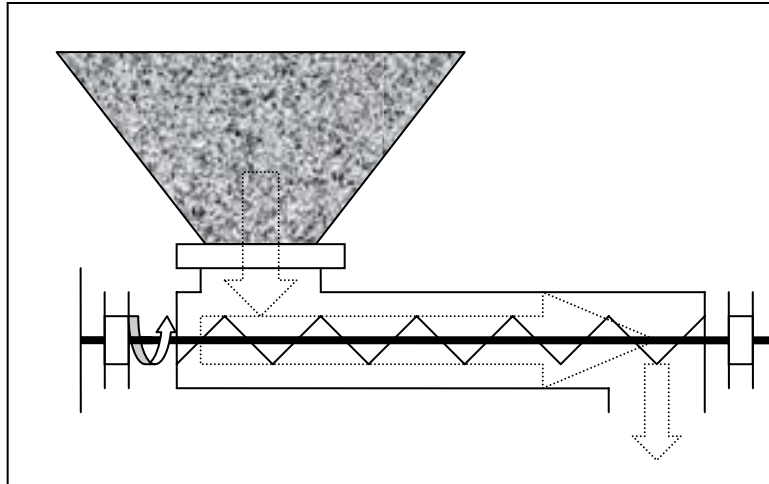
ne käyttävät energiaa jatkuvasti ja osaltaan ne edesauttavat rakeisen kiintoaineen pakkautumista yhä tiiviimmin. /9; 11; 12/

7 PURKULAITTEET

Tässä purkulaitteilla tarkoitetaan mekaanisia laitteita, joilla on tarkoituksena poistaa ainetta tasaisesti ulos siilosta, kun se ei onnistu vain painovoimaisesti tai halutaan tarkempaa annostelua. Painovoimaisessa purussa ulos tulevaa ainemäärää kontrolloidaan erilaisin luistein, venttiilein ja levyin. Kääntölevy on yksinkertainen ratkaisu purkautumisen rajoittamiseen samoin käännettävä kouru tai patosulku. Varsinaiset purkulaitteet ovat huomattavasti harvemmin käytettyjä purkautumisen säännöstelijöitä kuin edellä mainitut yksinkertaiset sulkumekanismit, mutta tarpeen niin vaatiessa niitä on käytettävä. /9/

7.1 Ruuvit

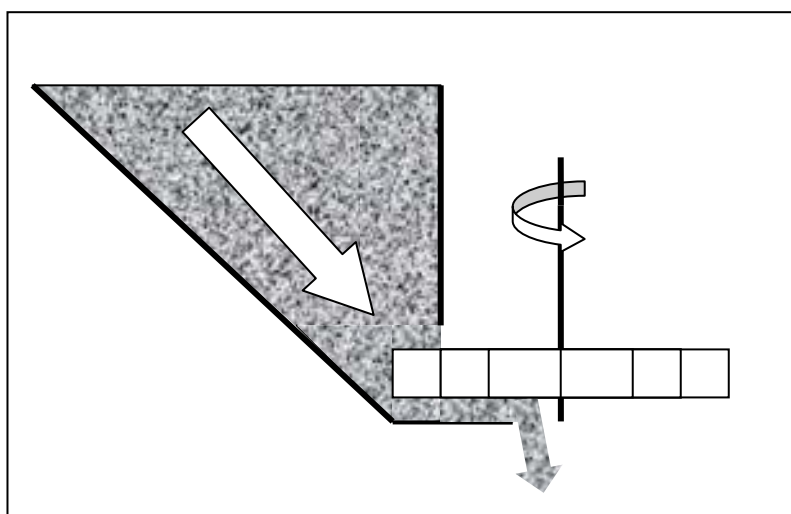
Ruuvit tai ruuvipurkaimet ovat purkuun käytettäviä pieniä kuljettimia, joilla puretaan siilosta kiintoaines pihalle halutulla nopeudella. Niiden purkausteho ei tosin ole kovin hyvä. Niillä päästään maksimissaan vain noin 300 tonnia tunnissa tehokkuuteen. Se saattaa tuntua suurelta purkuteholta, mutta verrattaessa tehokkaimpiin purkulaitteisiin on ero silti hyvin suuri. Ruuvipurkaimia käytettäessä energiaa kuluu tonnia kohti huomattavia määriä. Hyötysuhteeltaan ne eivät ole paras valinta. Ruuvipurkaimet myös kuluvat käytössä kohtalaisen nopeasti. Ne eivät siis ole missään mielessä kustannustehokkaita, ja siirtomatkat ovat niillä lyhyitä. Ruuvipurkainten käyttö on siis perusteltava purettavan aineen ominaisuuksilla. Niitä käytetään pääasiassa erittäin hienolle kiintoaineelle sekä muissa erityistapauksissa. Kuvassa 12 on periaatekuva ruuvipurkaimen toiminnasta. /9/



Kuva 12 Ruuvipurkain /9/

7.2 Siipipyörät

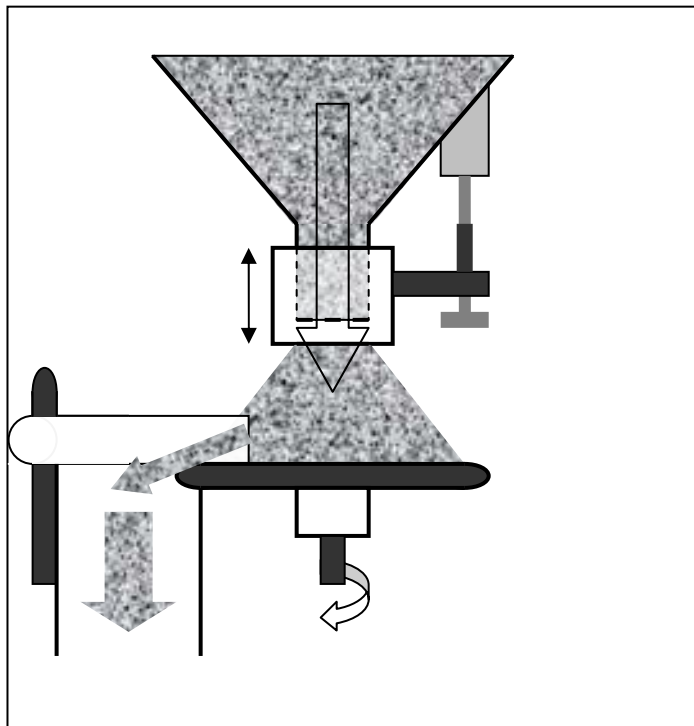
Siipipyörä on pyörivä ratas siilon purkuaukon suulla. Siipipyörä pyöriessään ottaa kiintoainetta siilosta ja tipauttaa sen alapuolelleen. Siipipyörä on hyvä ratkaisu kun kiintoaine on hienoa ja vaikeasti purkautuvaa. Sen energian tarve on suuri. Sataa tonnia kohti tarvittava laiteteho pysyy kuitenkin melko samana sen purkutehon koko käyttöalueella. Yleensä hyötysuhde selkeästi paranee purkulaitteilla, kun purkutehoa kasvatetaan, mutta siipipyörillä muutos hyötysuhteessa on pieni. Siipi pyörän purkutehon käyttöalue on hyvin suuri. Vain siipipyörä ja resonanssikouru pystyvät jopa 3000 tonnia tunnissa tehoon tyhjennyksessä. Kuvassa 13 pyörivän siipirattaan siivekkeet purkavat siilon suulta kiintoainetta. /9/



Kuva 13 siipipyörä /9/

7.3 Lautaspurkain

Lautaspurkaimet ovat laitteita, jotka ovat siilon suun alla ja pyöriessään tyhjäntyvät joltain sivulta kaapimen tai harjan avulla. Ne toimivat erityisen hyvin rakeisella kiintoaineella. Lautaspurkain on purkulaitteena yleinen esimerkiksi malmien käsittelyssä. Se tosin kuuluu helposti ja vaatii suurta tehoa eikä pysty kovin suureen tyhjentämisenopeuteen. Paras hyötysuhde siitä saadaan purkautumisnopeudella noin 400 tonnia tunnissa, mikä on samalla sen maksimipurkuteho. Hyötysuhde paranee huomattavasti mentäessä kohti maksimipurkutehoa. Lautaspurkaimen periaatteen näkee kuvasta 14, jossa kiintoaine on kasautunut pyörivälle lautaselle ja kerätään siitä kaapimella. /9/

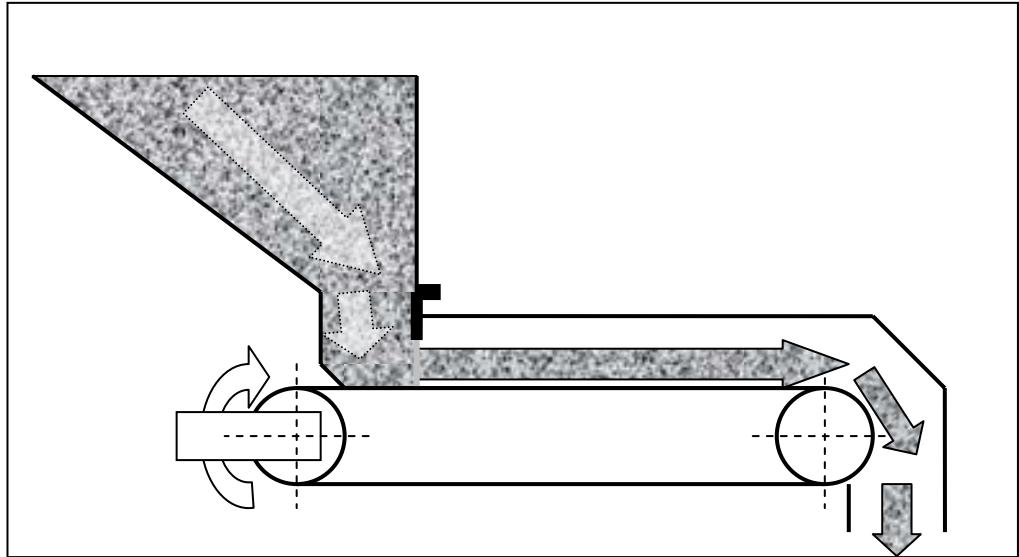


Kuva 14 Lautaspurkain /9/

7.4 Lamelli- ja hihnakuuljettimet

Nämä kuljetintyyppit ovat myös käytössä siilon purussa. Lamellikuljetin sopii rakeisen, raskaan ja kovan kiintoaineen purkuun siilosta, kun taas hihnakuuljetinta kannattaa käyttää rakeiselle, mutta ei niin kuluttavalle kiintoaineelle. Energian tarpeeltaan ne ovat hyvin erilaisia, lamelli kuluttaa paljon, kun taas hihna kuluttaa vähän. Suurempiin siirtonopeuksiin päästään lamellikuljettimella, jonka suurin purkuteho on noin 2300 tonnia tunnissa.

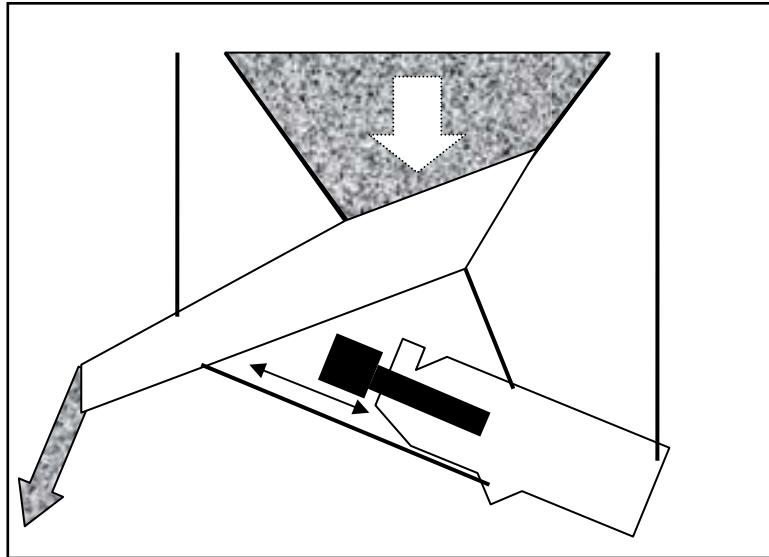
Tällöin puhutaan jo todella suurista purkutehoista. Hihnakuuljetin on kuljetettavilta aineilta rajoittuneempi myös siksi, että se ei kestä kuumaa eikä kemikaaleja oikeastaan lainkaan./9/



Kuva 15 hihnakuuljetin /9/

7.5 Täry- ja resonanssikourut

Täry- ja resonanssikourut kuljettavat parhaiten rakeista kiintoainetta. Niiden toiminta perustuu massanhitauteen. Täristämällä tai resonoimalla saadaan rakeet hyppimään ja siirtymään loivasti viettävällä kourulla eteenpäin. Resonanssikouru on käyttöhyötysuhteeltaan jonkin verran parempi ja siirtoalueeltaan huomattavasti laajempi. Resonanssikourua voidaan pitää parhaana purkulaitteena, jos raekokojakauma ei estä sen toimivuutta. Sen toiminta-alue purkutehon suhteen on kaikista laajin. Tehon tarve tonnia kohti sillä puolestaan on ylivoimaisesti kaikista pienin. Sen hyötysuhde on siis vertaansa vailla koneellisten purkulaitteiden joukossa. Tärykourun toimintaperiaate näkyy kuvassa 16. Kuten kuvassa näkyy, se sisältää kourun ja täristimen. /9/



Kuva 16 Tärykouru /9/

8 VARASTOINNIN VAARAT

Teollisuuden alasta riippumatta monet varastoitavat kiintoaineet voivat olla myös vaarallisia. Ne voivat aiheuttaa vaaraa pääasiassa neljällä eri tavalla. Näitä ovat syttyminen, epästabiilisuus, reaktioherkkyys ja myrkyllisyys. Kaikki mainitut tekijät voimistuvat, kun hiukkasten tai rakeiden koko pienenee. Hiukkaskoon pienenemistä tapahtuu, kun kiintoainetta siirretään, käsitellään tai se on muuten liikkeessä. Tällöin kiintoainerakeet pääsevät hinkkaamaan toisiaan vasten ja tapahtuu mekaanista hienontumista. Kun kappale hienontuu, tuloksena on paljon pieniä kappaleita, joiden pinnan ala on yhteensä suurempi kuin alkuperäisellä kappaleella, ja reaktioherkkyys ja -nopeus kasvavat. /3/

8.1 Säiliön romahdus

Varastoinnissa kaikki vaarat eivät liity yksin varastoitavaan aineeseen, vaan myös itse siilokin saattaa pettää liian raskaan kuorman, väsymisen tai paine-eron takia. Kun paine-ero säiliön sisäpuolella ei pääse tasaantumaan ympäröivän paineen kanssa, seuraa vakavia ongelmia. /3; 7; 12/

Siiloon voi vaikuttaa myös rasituksia, jotka eivät ole varastoitavan aineen aiheuttamia. Näitä ovat voimakas tuuli ja maanjäristykset sekä lumikuormat. Näihin ylimääräisiin kuormittajiin on varauduttava alueilla, joissa ne ovat

mahdollisia. Tietysti sisätiloihin sijoitetulle siilolle tuuli ja lumi eivät tuota ongelmia, mutta maanjäristyksiin joudutaan silloinkin joillainalueilla varautumaan. Väsyminen puolestaan on käytössä ajan myötä tapahtuvaa rakenteiden heikkenemistä, jonka seurauksena voi olla – niin kuin edellä mainituissakin – koko siilon romahtaminen. Tällöin pitää rakenteita valittaessa ja mitoittaessa ennakoida ne riittävällä varmuudella niin, että siilo kestää koko suunnitellun käyttöikänsä aiheuttamatta vaaraa ympäristölleen. /3; 7; 12/

Siiloon voi sen tyhjentyessä muodostua alipaine sitä ympäröivään paineeseen nähden. Kun tämä paine-ero suurenee niin, että se ylittää seinämien jännitysvoimat, tapahtuu lommahdus ja siilo puristuu kasaan. Tämä voi johtaa myös muiden tukirakenteiden murtumiseen, ja ongelma pahenee entisestään, kun siilon sisältö pääsee ulos rikkoutuneesta siilosta. Tällaisesta tilanteesta on kyse kuvassa 17. /3; 7; 12/



Kuva 17 Siilon lommahdus /13/

Täytössä puolestaan ylipaineen muodostuminen siilon sisäpuolelle on mahdollista. Tällöin siilon kyky kestää seinämiin sisäpuolelta kohdistuvaa painetta pettää, koska sitä ei ole mitoitettu kestämään kiintoainemassan aiheuttamaa painetta yhdistettynä suureen paine eroon ulko- ja sisäpuolen

välillä. Seuraukset ovat samanlaisia kuin lommahduksen yhteydessä eli pahimmassa tapauksessa koko rakennelma romahtaa. /3; 7; 12/

Nämä ongelmat on kuitenkin helppo ratkaista järjestämällä asianmukainen paineentasausjärjestelmä siiloon. Siilon rakennus- ja suunnitteluvaiheessa kannattaa käyttää myös riittäviä varmuuskertoimia, kun lasketaan tarvittavia lujuuksia rakenteille. /4/

8.2 Syttyminen

Syttymiseen liittyviä riskejä ovat huonosta varastoinnista johtuvat itsesyttymiset, tavallinen palavan kiintoaineen syttyminen sekä ilman ja pölyn sekoittuessa oikeassa suhteessa jopa räjähdykset. Pölyä syntyy, kun rakeinen aine murtuu ja kuluu yhä pienemmiksi hiukkasiksi säiliössä ja aineen muussa käsittelyssä. Pienet hiukkaset voivat leijua pitkiäkin aikoja ilmassa. Tämän jälkeen, kun hiukkasia on tarpeeksi ilmassa leijumassa, syntynyt aerosoli ei vaadi kuin vaikkapa staattisesta varautumisesta johtuvan kipinän ja seuraa räjähdys. Kipinä voi seurata myös tietyillä aineilla myös kitkasta kappaleiden osuessa yhteen. /3; 7; 12/



Kuva 18 Siilon pölyräjähdys /19/

Tulen arkoja aineita varastoitaessa on muistettava niiden vaarat, kun työskennellään lähellä tällaista varastoa. Tupakointi on lähettyvillä aina kiellettyä ja hengenvaarallista. Hitsiä ja kulmahiomakonetta ei voida esimerkiksi käyttää tällaisen varaston läheisyydessä ilman merkittäviä turvatoimia. Sähkölaitteet voivat myös toimia sytyttäjinä. /3; 7; 12/

Itsesyttyminen puolestaan tapahtuu, kun sille alttiita aineita varastoidaan suuremmissa kasoissa kuin saisi. Tällöin lämpöä synnyttävissä reaktioista, kuten hapettumisesta, vapautuva lämpö ei pääse johtumaan pois riittävän tehokkaasti. Ympäröivä kiintoainemassa siis eristää kiintoainekasan ytimen liian hyvin ja lämpötila nousee yli syttymispisteen. /3; 7; 12/

Tällaisia tulenarkoja aineita varten voidaan esimerkiksi koko säiliöstä tehdä suljettu systeemi ulkoilmaan nähden ja täyttää säiliö suojakaasulla eli yleensä typellä. Tällöin happea ei pääse aineeseen eikä syttymisiä tai räjähdyksiä pääse tapahtumaan. Suojakaasun käyttöä halvempia, mutta ei ennalta estäviä järjestelyjä, ovat tietenkin sammutusjärjestelmät ja räjähdyspaineen helposti ulos säiliöstä päästävät luukut ja paneelit. Säiliö voidaan myös mitoittaa rakenteiltaan räjähdyksen kestäväksi. Antistaattiset materiaalit ovat suositeltavia käyttää palavilla ja räjähdysherkillä aineilla, jotta vähennettäisiin riskiä kipinöintiin. /3; 7; 12/

Itsesyttymiseen sammutus laitteiden ja suojakaasun lisäksi auttaa oikea varastointi. Tällöin puhutaan lyhyistä varastointiajoista ja riittävän pienistä kasoista ja säiliöistä, jotta lämpöhävikki on takuulla riittävä. Kovin kuumiin paikkoihin ei tällöin kannata siis tällaisten aineiden varastoa tehdä, niin kuin ei minkään muunkaan tulenaran aineen. /3; 7; 12/

8.3 Reaktiot

Aine voi olla herkästi reagoivaa tai epästabiilia. Tällöin aine voi kemiallisesti reagoida ilman, kosteuden tai omien ainekomponenttiensa kesken ja muodostaa ei toivottuja yhdisteitä. Tätä kautta kiintoaine voi muuttua vähitellen epäsopivaksi prosessiin tai käyttötarkoitukseen, johon se on suunniteltu

käytettäväksi. Epästabiili kiintoainemassa voi vaikkapa muuttaa olomuotoaan tietyissä oloissa tai hajota osiinsa. /3; 7; 12/

Tällaiset aineet tulee varastoida siten, että olosuhteet varastointisäiliössä ovat reaktiokykyä heikentävät. Säiliöön voidaan tässäkin tapauksessa vaihtaa suojakaasu ilman tilalle ja kontrolloida kosteuspitoisuutta säiliössä. Eristetään säiliön sisus ulkoilmasta ja luodaan sen sisälle tarvittavat olosuhteet. Säiliön paineen tasaukset tehdään tällöin kontrolloidusti spesifeillä laitteilla. /3; 7/

8.4 Myrkyllisyys

Myrkyllisyys on ongelma niin työntekijöiden kuin ympäristönkin näkökulmasta. Se käsitteenä tässä yhteydessä sisältää niin ympäristömyrkyt kuin ihmiselle myrkylliset aineet. Myrkyllisyydestä aiheutuu muun muassa se, ettei ihminen voi mennä miesluukusta tarkastamaan edes asian mukaisissa suojarusteissa säiliötä, jottei ainetta esimerkiksi pölynä pääse ulos säiliöstä. Säiliön ilman vaihto ja paineentasaus täytyy järjestää asianmukaisten suodattimien läpi. Täyttö ja purku pitää hoitaa suljetusti. Materiaalit ja mitoitus vaativat ylimääräistä tarkkuutta, kun puhutaan myrkyllisistä aineista. Vuodot järjestelmissä voivat olla tällöin erittäin kohtalokkaita. Aineen myrkyllisyyden aste, leviäminen, määrä ja vaikutustapa määräävät tällöin vahingon laajuuden ja vakavuuden. /3/

9 YHTEENVETO

Työssä tutustuttiin rakeisen kiintoaineen ominaisuuksiin ja varastointiin siiloissa. Siilosta puhuttaessa tarkoitetaan korkeaa ja kapeaa säiliötä, jonka alla on suppilomainen osa purkua varten. Tavoiteltavia asioita, mitä siilovarastointiin liittyy, ovat painovoimalla toimiva purkautuminen, massavirtaus sekä tehokas tilankäyttö. Nämä asiat voidaan monissa tapauksissa saavuttaa oikealla suunnittelulla. Suunnittelussa on huomioitava jokainen kiintoaineen ominaisuus, jos halutaan päästä optimaaliseen tulokseen säiliön tyhjennyksessä. Hyvä suunnittelu takaa käyttö mukavuuden, kun yllätyksiä ei tule käytön aikana. Suunniteltaessa on hyvä muistaa, että kiintoainemassan käyttäytyminen varastoitaessa riippuu myös varaston kokoluokasta.

Pienoiskoossa toimiva säiliö ei välttämättä toimi samoin todellisen kokoinen säiliö.

Siilon on oltava myös kustannustehokas ja kaikki varastoinnissa tapahtuva hävikki on minimoitava.

Turvallisuus tuottaa monesti päänvaivaa suunnittelussa. Lujuuslaskentaa, mitoitusta, riskienarviointia ja kyseisen kiintoaineen kemiaan perehtymistä liittyy tähän kategoriaan paljon. Mikään ei saa jäädä sattuman varaan. Seuraukset ovat yleensä pahoja, jos turvallisuus pettää. Varmuuskertoimet, turvalaitteet ja oikea käyttö ovat keinoja, joilla taataan turvallisuus varastoinnissa. Joissain tapauksissa turvallisuuden takaaminen vaatii enemmän kuin toisissa, sitä on aina tarkasteltava tapauskohtaisesti. Suomessa onnettomuuksia sattuu tällä saralla melko harvoin. Esimerkkitapaukset joihin yleensä törmää ovat sattuneet jossain muualla. Tällaisena tilanteen tulisi pysyä jatkossakin.

LÄHDELUETTELO

Kirjalliset lähteet

1. Richardson J.F. – Harker J.H. – Backhurst J.R., Chemical engineering volume 2 Particle Technology & Separation Processes(5.painos), Butterworth-Heineman, Oxford, 2002, 1229 s.
2. Gibilaro L.G., Fluidization-dynamics, Butterworth-Heineman., Oxford, 2001, 232 s.
3. Guidelines for Safe Handling of Powders and Bulk Solids, Center for chemical process safety, American institute of chemical engineers, New York, 2005, 796 s.
4. Pulkka Jimi, Terässiilojen mitoitus ohjelman kehittäminen, Insinööriyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto, 2007
5. Järvelin Pentti, Kiintoaineen käsittelyn luentomateriaali, 2006, laatinut Järvelin Pentti, 124 s.
6. Karjalahti Kyösti, Yleinen prosessitekniikka 1 Mekaaniset prosessit (2. painos), Ammattikasvatushallitus, Valtion painatuskeskus, Helsinki, 1985, 262 s.
7. Hoyle W., Powders and Solids Developments in Handling and Processing Technologies, The Royal Society of Chemistry, Athenaeum Press Ltd, Gateshead, 2001, 147 s.
8. Pietsch Wolfgang, Agglomeration in Industry Occurrence and Applications volume 1, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, 2005, 824 s.
9. Schulz R – Malingriaux R – Köhler B. – Rosenthal J. – Wey W., Anlagentechnik 1 Verfahrenstechnik, VEB Deutscher verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1977, 186 s.
10. Perry R.H. – Chilton C.H., Chemical Engineers' Handbook (5 painos.), McGraw – Hill Book Company, New York,

Sähköiset lähteet

11. Antti-Teollisuus Oy., [www-sivu], [viitattu 19.3.2008],
<http://www.antti-teollisuus.fi/>

12. WAM Finland Oy, WAMGROUP, [www-sivu], [viitattu 19.3.2008],
<http://www.wamgroup.com/index.asp?ind=company.asp&bkg=yes>
13. Powder and Bulk, [www-sivu], [viitattu 21.3.2008],
<http://www.powderandbulk.com/>
14. Elmomet Oy, [www-sivu], [viitattu 29.3.2008], <http://www.elmomet.fi/>
15. Wikipedia (eng), [www-sivu], [viitattu 20.3.2008],
<http://en.wikipedia.org/>
16. The Wolfson centre for bulk solids handling technology, University of Greenwich, [www-sivu], [viitattu 21.3.2008],
<http://www.gre.ac.uk/wolfson>
17. Bunker storage of cereal grains, [www-sivu], [viitattu 21.3.2008],
<http://www.agri.gov.il/Envir/bunkers/bunkers.html>
18. U. S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration, [www-sivu], [viitattu 11.4.2008], <http://www.osha.gov/>
19. Nettavisen, [www-sivu], [viitattu 11.4.2008],
pub.tv2.no/nettavisen/english/article170964.ece
20. Glatt group, [www-sivu], [viitattu 11.4.2008],
http://www.glatt.com/e/01_technologien/01_03_02_01.htm
21. Jenike & Johansson, inc., [www-sivu], [viitattu 11.4.2008],
<http://www.jenike.com/>