
Ruviannostelija




Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Kone- ja tuotantotekniikka

Riihimäki, kevät 2013

Oma Allekirjoituksesi

Anssi Saari



RIIHIMÄKI
Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä	Anssi Saari	Vuosi 2013
Työn nimi	Ruuviannostelija	

TIIVISTELMÄ

Tämä työ on tehty 3A Consulting Oy:n toimeksiannosta, keväällä 2013. Yrityksen tavoitteena oli valmistaa uusi tuote, materiaalien jatkuvatoimiseen annosteluun. Päätettiin suunnitella ruuvitoiminen painohäviöannostelija.

Työn tarkoituksena oli selvittää ruuvien käyttäytymistä materiaalin siirrossa sekä materiaalin ominaisuuksien vaikutusta siirtokapasiteettiin. Opinnäytetyössä käsitellään myös muita asioita, joihin pitää kiinnittää erityishuomiota annostelijan suunnittelussa.

Suunnittelun ja kirjallisuuden perusteella huomattiin että annostelijalla syötettävän materiaalin valuvuudella ja ulkoisilla kitkoilla on suuri vaikutus annostelukapasiteettiin. Nämä ominaisuudet on otettava huomioon jokaista annostelijan osaa suunniteltaessa.

Avainsanat Painohäviö, ruuviannostelija, materiaalin siirto.

Sivut 22 s. + liitteet 2 s.

RIIHIMÄKI

Degree Programme in Mechanical Engineering and Production Technology

Author

Anssi Saari

Year 2013

Subject of Bachelor's thesis

Screw feeder

ABSTRACT

This thesis was commissioned by 3A Consulting Oy in spring 2013. The company wanted to produce a new device for continuous dosing and decided to design a screw-action, loss-in-weight feeder.

The aim of this thesis was to study how the screw behaves in material conveying and how different material properties affect conveying capacity. The thesis deals with which aspects were needed to be taken into consideration in the design of the feeder.

As a result of this thesis it was noticed that the flowability of the fed materials and external friction have a large effect on the feeding capacity.

Therefore these material properties should be also taken into account in the design of all the parts of feeder.

Keywords Loss-in-weight, screw feeder, material conveying.

Pages 22 p. + appendices 2 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	3A Consulting Oy	1
1.2	Työn tavoite	1
1.3	Työn rajausta	2
2	RUUVIANNOSTELIJA	2
2.1	Toimintaperiaate	2
2.2	Rakenne	3
2.2.1	Raaka-ainesäiliö	4
2.2.2	Ruuvisuppilo	5
2.2.3	Härkimet	5
2.2.4	Syöttöruuvi	5
2.3	Tiivistys	6
2.3.1	Tasopinnat	6
2.3.2	Akselien tiivistys	6
3	LAITTEEN TOIMINTA	7
3.1	Annostelu	7
3.2	Rajat	8
3.2.1	Toiminnalliset rajat	8
3.2.2	Varoittavat rajat	9
3.2.3	Suojaavat rajat	9
4	RUUVI	10
4.1	Massavirta	11
4.2	Ruuvilehti	11
4.2.1	Ruuvin halkaisija	12
4.2.2	Akseli	13
4.2.3	Nousu ja nousukulma	13
4.3	Kierrosnopeus	14
4.4	Täyttöaste	15
5	AINEET	15
5.1	Irtotiheys	15
5.2	Valuvuus	16
5.2.1	Lepokulma	16
5.2.2	Hausnerin suhde	17
5.3	Raaka-aineen ja pintojen väliset kitkat	17
6	YHTEENVETO	18
6.1	Syöttökapasiteetti	18
6.2	Tiivistys	19
6.3	Ohjaus	19
6.4	Jatkotoimia	20
6.5	Loppupohdinta	20

LÄHTEET	21
---------------	----

Liite 1 NORMAALI KAAVA

Liite 2 TARKENNETTU KAAVA

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty 3A Consulting oy:n toimeksiannosta keväällä 2013. Opinnäytetyö liittyy yrityksen uuteen tuotteeseen, ruuviannostelijaan. Työssä on tarkoitus käydä läpi ruuviannostelijan suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Työssä on myös tarkoitus käydä läpi asioita, joiden pohjalta annostelijan toimintaa pystytään ennalta arvioimaan, ja siten suunnittelemaan halutunlaiseksi.

1.1 3A Consulting Oy

3A Consulting on kone-, laite- ja prosessisuunnitteluun sekä konsultointiin erikoistunut insinööritoimisto. Yhtiön on perustettu vuonna 1990 ja rekisteröity kaupparekisteriin vuonna 1991. Aluksi yhtiö toimi iltatöiden pohjalta. Vuodesta 1995 yritys alkoi toimia kokopäiväisenä, yhden insinöörin voimin.

Tällä hetkellä yrityksen palveluksessa työskentelee noin kaksikymmentä työntekijää, joista suurin osa työskentelee konsultointitehtävissä eri asiakasyhtiöissä. Suurimmat asiakasryhmät ovat paperi- ja prosessiteollisuuden laitteiden valmistus ja huolto.

Yrityksen liikevaihto oli 763 000 euroa vuonna 2012. Toimipiste on sijainnut nykyisissä tiloissa Tampereen, Hervannassa lokakuusta 2012 lähtien. Aiemmin yritys on toiminut Tampereen Vehmaisissa ja Hervannassa, samassa kiinteistössä kuin nykyään, mutta eri toimitiloissa.

3A Consulting on tehnyt paljon työtä jatkuvatoimisten sekoittimien ja niiden oheislaitteiden kanssa. Yrityksellä on muun muassa yksi patentti koskien säiliön sisälle sijoitettua sekoittajaa. Patentista on myönnetty lisenssisopimus kahdelle yritykselle.

Jatkuvatoimisia sekoittimia käytetään erilaisten pigmenttien lieteprosesseissa. Ruuviannostelijaa tullaan käyttämään muun muassa jatkuvatoimisten sekoittimien annosteluun ja muihin vastaaviin kohteisiin. (Takala, sähköpostiviesti 14.5.2013.)

1.2 Työn tavoite

Työn tavoite on selvittää ruuvitoimisen annostelijan tiettyjen komponenttien vaatimuksia. Työssä perehdytään annostelijaan, annostelun näkökulmasta, mikä on laitteen keskeisin toimintatarkoitus. Laite toimii painohäviö periaatteella, jossa annosteltavan ainemäärän muutosta punnitaan jatkuvasti. Laitteen tulee olla sellainen että punnitus onnistuu mahdollisimman hyvin. Työssä käydään myös läpi mitä vaatimuksia painohäviöannostelijalle tulee asettaa, jotta sen toiminta toteutuisi odotetusti.

1.3 Työn raja

Työ on rajattu käsittelemään annostelijan ruuvin geometriaa, syötön tasaisuuden kannalta, mutta kuitenkin niin ettei syötölle asetetut muut vaatimukset kärsi. Käyttötarkoitus ja käyttöolosuhteet asettavat myös vaatimuksia laitteelle, näitä vaatimuksia käsitellään muun muassa yleisten käyttövaatimusten ja tiivistyksen kannalta.

2 RUUVIANNOSTELIJA

Prosessiteollisuudessa useat prosessit ovat jatkuvia ja koneiden seisokkeja on harvoin. Tällaisiin prosesseihin tulee syöttää jatkuvasti prosessin vaatimaa raaka-ainemäärää. Kemiallisissa prosesseissa syötetyn aineen massalla on suurin merkitys. Siksi syötettävän massavirran tulee olla hallittavissa ja jäljitettävissä. Syötettävän massavirran tulee olla myös riittävän tarkka, niin lyhyellä, kuin pitkälläkin aikavälillä, jotta prosessin raaka-ainesuhteet pysyvät hallittuina.

Raaka-aineen syöttöön on olemassa erilaisia menetelmiä annosteltavasta aineesta riippuen. Työssä käsiteltävät raaka-aineet ovat kuivia, jauhemaisia aineita, joiden partikkelikoko saattaa vaihdella 10 mikronista aina noin 15mm:iin asti. Syötön tarkka jäljitettävyys on päävaatimus. Myös hetkellisen syötön tulisi olla tarpeeksi tarkka, niin prosessin vaatimuksien, kuin itse syötön punnitukseenkin kannalta. Ruuviannostelija on vaihtoehto tällaiseen, aineiden prosessiin syöttämiseen.

Prosesseissa raaka-aineita varastoidaan usein suurissa erissä, esimerkiksi erilaisiin suursäkkeihin tai siloihin, joiden koko voi olla jopa useita kymmeniä kuutiometrejä (Antti-teollisuus). Varastosta raaka-aine kuljetetaan erilaisin menetelmin, kuten esimerkiksi siirtoruuvilla, ali- tai ylipainesiirrolla annostelijan raaka-ainesäiliöön, joka toimii välivarastona ja josta raaka-aine edelleen syötetään hallitusti prosessiin. Annostelija toimii siis ikään kuin virransäätöventtiilinä varaston ja prosessin välillä.

2.1 Toimintaperiaate

Ruuviannostelijan tehtävä on jatkuvalla syötöllä siirtää tietty määrä raaka-ainetta prosessiin. Syöttö tapahtuu annostelijan ruvisuppilosta syöttöruuvilla, joka pyöriessään siirtää materiaalia eteenpäin.

Ruuvi syöttää ainetta tilavuuteen perustuen, eli *volumetrisesti*. Koska jauhemaiden aineiden irtotiheys saattaa vaihdella hetkellisesti ja eri raaka-aine-erien välillä, tilavuus ei ole tarkin mittari raaka-aineen määrälle. Ruuvin syöttämä tilavuusvirta muutetaan massavirraksi, punnitsemalla jatkuvasti syötettävää massaa.

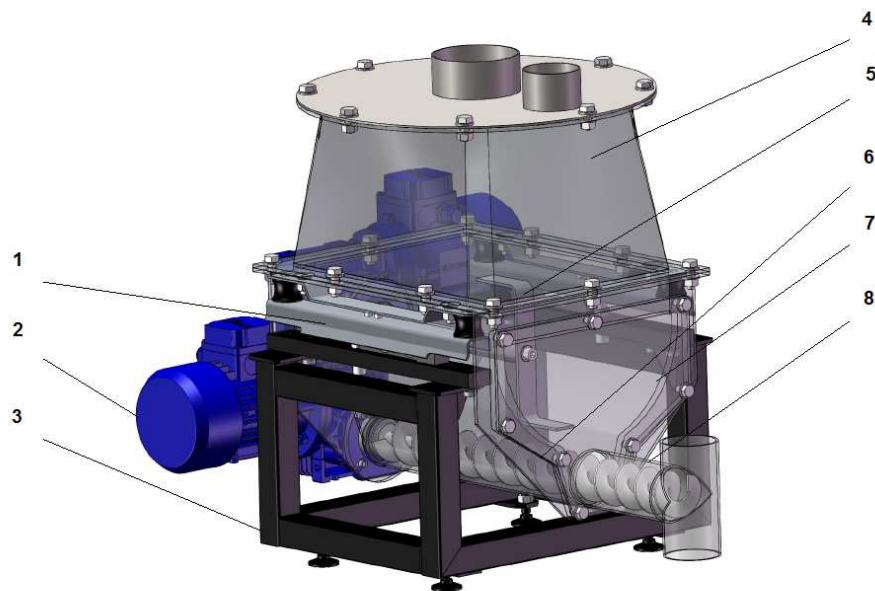
Tällaista massan punnitukseen perustuvaa menetelmää kutsutaan *gravimetriseksi*. Gravimetrisellä menetelmällä irtotiheyden ja syötetyn tilavuuden vaihteluiden aiheuttama virhe saadaan poistettua, tai toteutuvasta punnitustarkkuudesta riippuen ainakin huomattavasti pienennettyä. Menetel-

mällä toimivaa annostelijaa kutsutaan *loss-in-weight* eli painohäviö-annostelijaksi.

Ruuiannostelijan tarkkuuden kannalta, pääsääntönä voidaan sanoa että jos ruuvilla ei päästä volumetrisesti tarkkaan syöttöön, ei sitä pystytä korjaamaan muuttamalla syöttö gravimetriseksi. (Page 2008)

2.2 Rakenne

Annostelija koostuu useista erilaisista komponenteista. Toiminnan kannalta keskeisimpiä komponentteja ovat runko, punnitusanturit, ruuvisuppilo, raaka-ainesäiliö, härkimet, syöttöruuvi, moottorit, moottorien taajuusmuuntajat ja logiikkayksikkö.



Kuva 1. Annostelijan rakenne

- 1 Punnitusanturi
- 2 Moottorit ja vaihteet
- 3 Runko
- 4 Raaka-ainesäiliö
- 5 Härkimet
- 6 Syöttöruuvi
- 7 Ruuvisuppilo
- 8 Syöttöputki

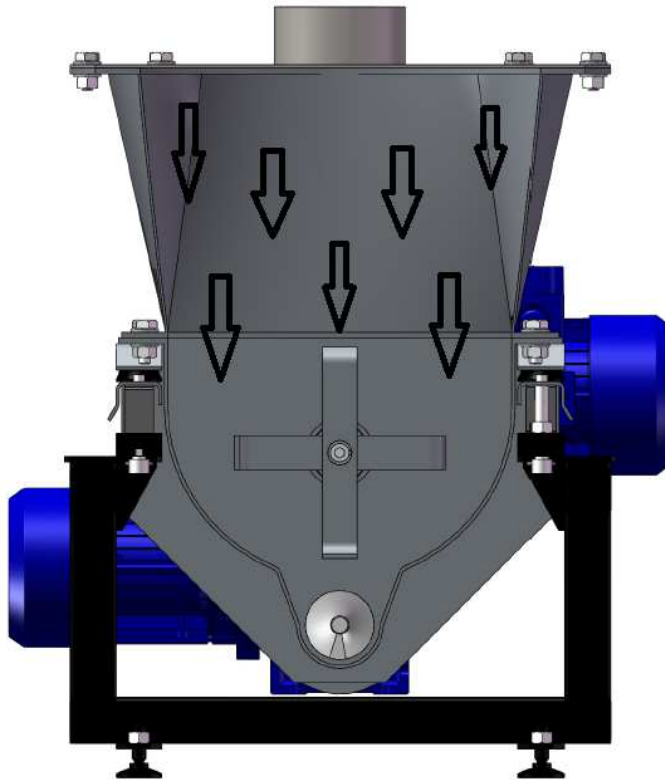
Annostelijan runkona toimii metallikehikko. Rungon tehtävä on toimia annostelijan jalustana. Runko voidaan muuttaa asiakkaan tarpeille sopivaksi, esimerkiksi prosessin layoutin mukaan.

Rungon tärkein tehtävä on toimia punnitusantureiden alustana. Rungon tulee olla tarpeeksi tukeva, jotta se ei taivu rasituksessa liikaa, eikä vääristä antureiden punnitustulosta. Mikäli annostelijaa käytetään käyttöympäristössä, jossa se altistuu värinälle, tulee runko eristää maasta värinävaimentimilla, jotta punnituksesta saadaan poistettua ylimääräisiä häiriöitä.

Runkoon kiinnitetyt punnitusanturit ovat logiikkayksikön kanssa itse annostelun keskeisimmät osat. Antureiden varaan on rakennettu koko muu annostelijan rakenne. Antureiden tehtävä on punnita poistuvaa raaka-ainevirtaa, massan muutoksena aikayksikköä kohden ja ilmoittaa se logiikalle. Anturit punnitsevat myös muiden komponenttien painon ja niiden liikkeiden aiheuttamat voimat, kuten esimerkiksi hämmentimen aiheuttamat pyörimisvoimat. Punnitustarkkuuden kannalta onkin tärkeää, että nämä raaka-aineen punnitusta häiritsevät voimat saadaan logiikan ohjelmassa suodatettua mahdollisimman tarkasti pois.

2.2.1 Raaka-ainesäiliö

Ruviannostelijan raaka-ainesäiliö on rakennettu ruvisuppilon päälle. Säiliön geometria on valittu niin että raaka-aine valuu säiliöstä ruvisuppiloon mahdollisimman helposti, niin sanottuna massavirtana (mass flow) (kuva 2), jolloin koko säiliön raaka-ainemassa valuu samanaikaisesti, eikä pysähtyneitä alueita synny.



Kuva 2. Massa virtaus.

Säiliön tilavuuden määrittää vaadittu syöttökapasiteetti tilavuutena ja valittu täyttöjen määrä. Jos esimerkiksi syötetään 400 litraa tunnissa ja valitaan 10 täyttöä tunnissa, tulee säiliön tilavuuden olla vähintään 40 litraa. Todellisuudessa säiliön tulee olla suurempi, koska materiaali ei täytössä asetu säiliöön tasaisesti ja koska säiliön yläosassa täytyy olla tyhjää tilaa, varsinkin pneumaattisessa kuljetuksessa, jotta kuljetuksessa käytettävä ilma saadaan kierrätettyä säiliöstä suodattimelle.

2.2.2 Ruuisuppilo

Ruuisuppilo on tila, johon siirrettävä aine siirtyy raaka-ainesäiliöstä ja jossa se valuu syöttöruuville. Ruuisuppilon muodon tulee olla sellainen, että materiaali siirtyy raaka-ainesäiliöstä mahdollisimman helposti ruuville, eikä tukkeita synny. Usein ruuisuppilo saattaa olla syöttöä rajoittava tekijä (Rademacher 1974, 71). Valumisen ruuisuppilossa tulisi myös tapahtua massavirtana. Suppilossa massavirta luodaan suppilon geometrialla, mutta sen toteutuminen varmistetaan suppilossa pyörivillä härkimillä.

Ruuisuppilon tilavuudelle asettaa vaatimuksen se että kun säiliötä uudelleen täytetään, ruuisuppilossa tulisi olla vielä sen verran raaka-ainetta, että ruuville riittää syötettävää kunnes uusi aine on siirron jälkeen tasaantunut säiliöön. (Bates 2012)

2.2.3 Härkimet

Härkinä toimivat akselin ympäri pyörivät lavat. Härkimien tehtävänä on helpottaa aineen valumista ruuisuppilossa ja varmistaa massavirtauksen toteutumisen. Härkimet pyörivät ruuisuppilossa pitäen annosteltavan aineen liikkeessä ja myös estäen näin aineen holvaantumisen. Holvaantuesaan aineen pääsy syöttöruuville saattaisi rajoittua ja siten häiritä syötön tasaisuutta. Pahimmassa tapauksessa koko ruuisuppilo saattaisi tukkeutua kokonaan ja raaka-aineen syöttö prosessiin katkeaisi. Pyöriessään härkimet toimivat myös eräänlaisina sekoittajina ja pitävät aineen tasalaatuisempina, ja siten vähentävät ulos syötetyn massavirran vaihtelua.

Härkimien muodolle alustavasti ainoa asetettu vaatimus on että ne toimivat mahdollisimman laajasti ruuisuppilossa. Jotkin raaka-aineet saattavat kuitenkin asettaa härkimien muodolle vaatimuksia, mikäli ne esimerkiksi paakkuuntuvat helposti. Tällöin härkimillä voidaan rikkoa paakkuuntunut raaka-aine.

2.2.4 Syöttöruuvi

Syöttöruuvin tehtävä on syöttää raaka-ainetta ruuisuppilosta ulos. Syöttöruuvin muodolla pystytään vaikuttamaan syötettävän aineen määrään ja syötön tasaisuuteen.

Syötettävän massavirran punnituksen kannalta olisikin parasta, jos syöttö olisi mahdollisimman tasaista. Vääränlainen geometria taas saattaa heiken-

tää syöttöä ja materiaali saattaa takertua lehteen. Ruuvin geometria onkin aina riippuvainen syötettävän raaka-aineen ominaisuuksista.

2.3 Tiivistys

”Tiivistyksellä vähennetään tai estetään vuotoa eli kahden tilan välistä aineen virtausta, joka koneen tai sen osan toiminnan kannalta on haitallista. Tiivistimeksi nimitetään laitetta tai järjestelmää, jolla tiivistys saadaan aikaan. Monissa tiivistetyypeissä on keskeisenä osana tiiviste eli aine tai valmiste, joka sijainnillaan estää vuodon.” (Airila 1985, 166–168.)

Annostelijoita käytetään prosessiteollisuudessa, tiloissa, joiden tulee olla siistejä. Siksi annostelijan tulee olla tiivis ulkoa tulevan lian ja pölyn suhteen, mutta myös annosteltavan aineen mahdollisen pölyämisen takia. Aineet saattavat olla partikkelikooltaan hyvin pieniä, pölyäviä ja jopa ihmisille haitallisia. Siksi kaikki annostelijan osien väliset pinnat, joiden toisella puolella on siirrettävää raaka-ainetta, tulee olla tiiviitä. Laitteen ainoat dynaamiset, tiivistettävät kohteet ovat akselien läpiviennit ruuvisuppiloon. Muut tiivistettävät kohteet ovat staattisia tasopintoja.

Ruuviannostelijassa Tiivistyksen tärkein tehtävä on estää raaka-aineen vuoto laitteen ulkopuolelle. Suurimpien vuotojen oletetaan johtuvan kuivien raaka-aineiden, pienten hiukkasten pölyämisestä. Pölyämistä saattaa esiintyä varsinkin säiliön täytön yhteydessä, kun uutta raaka-ainetta siirretään säiliöön.

2.3.1 Tasopinnat

Mahdollisesti vuotavia tasopintoja ovat ruuviannostelijan osien väliset pinnat, jotka ovat liitetty toisiinsa pulttiliitoksien. Pinnat ovat staattisia, eli eivät liiku toisiinsa nähden. Pintojen materiaali on ruostumaton teräs.

Erityisiä paine- tai lämpötilavaatimuksia tiivisteelle ei alustavasti ole. Ainoat vaatimukset tiivisteelle aiheuttaa siirrettävä materiaali. Joten tiivisteiden materiaalin käyttäytymiseen annosteltavan aineen kanssa tulee kiinnittää huomiota.

Tasopintojen tiivistykseen on olemassa useita erilaisia vaihtoehtoja, kuten esimerkiksi muotoon leikatut tasotivisteet, tiivisteteipit ja tiivistemassat. Tiivistevaihtoehtoa valitessa tulee ottaa huomioon laitteen purettavuus esimerkiksi huoltojen ja puhdistusten yhteydessä. Voimakkaasti liimaavat tiivisteet haittaavat pintojen irrotusta toisistaan. Mikäli käytetään tiivisteippiä tai massaa, tulisi tiivisteiden olla myös helposti irrotettavissa pinnasta laitteen huollon yhteydessä.

2.3.2 Akselien tiivistys

”Pyörivien akselien tiivisteitä käytetään tiivistämään pyöriviä koneenosia joko käyttöainetta tai sisä- ja/tai ulkopuolista epäpuhtautta vastaan. Oikeantyyppisen tiivisteiden valinta riippuu käyttöparametreista, kuten käyttöai-

neesta, käyttölämpötilasta, kehänopeudesta, paineesta ja ympäristöolosuhteista ilmapuolella.” (Ramikro) Lähtökohtaisesti ruuviannostelijalle edellä mainituista parametreista suurimpia vaatimuksia aiheuttaa käyttöaine, eli raaka-aine, jota annostelijalla syötetään.

Akselin tiivistykselle on saatavilla lukuisia eri vaihtoehtoja ja niiden eri variaatioita. Yleisimpiä akselitiivistemalleja, jotka soveltuvat kuivien jauheiden tiivistykseen ovat säteishuulitiivisteet, aksiaalishuulitiivisteet ja sokkelotiivisteet. Säteis- ja aksiaalishuulitiivisteistä löytyy standardisoituja malleja ja eri valmistajilta, eri käyttökohteisiin tarkoitettuja erikoismalleja.

Tarkempaa tiivistystä tuleekin tarkastella, tiivisteelle asetettujen vaatimusten kannalta kokonaisratkaisuna, eikä vain yhden yksittäisen tiivisteiden toimintana.

Varsinkin kovat jauhemaiset aineet aiheuttavat hiontamaista kulumista mekaanisten osien kanssa toimiessa. Tiivisteratkaisun suunnittelussa lähtökohtana tiivisteiden kannalta onkin että itse tiivisteelle pääsee mahdollisimman vähän tiivistettävää ainetta. Tällöin jauheen luoma rasitus tiivisteelle pienenee.

3 LAITTEEN TOIMINTA

Ruuviannostelijan toimintaa ohjaa logiikkayksikkö, jonka ohjainpäänteen kautta käyttäjä hallitsee ja seuraa laitteen toimintaa.

Käyttäjä syöttää ohjainpäänteeltä logiikalle prosessissa halutun massavirran ja seuraa toteutunutta massavirtaa. Laitteen käyttäjä voi olla niin ihminen, kuin esimerkiksi prosessinohjaus, mikäli annostelija toimii muiden prosessin laitteiden kanssa rinnakkain. Vastaavasti tällöin logiikan tulee pystyä ilmoittamaan toteutunut massavirta takaisin prosessin ohjaukselle.

3.1 Annostelu

Halutun ja syötetyn massavirran välillä on todellisuudessa aina virhe. Syöttövirhe johtuu laitteen ja syötetyn raaka-aineen fyysisistä ominaisuuksista ja varsinkin raaka-aineen fyysisten ominaisuuksien vaihteluista. Prosessi asettaa virheelle raja-arvot. Annostelijan tulee pystyä toimimaan näiden asetettujen raja-arvojen sisällä.

Jotta virhettä saadaan pienemmäksi, tulee annostelijan pystyä vastaamaan mahdollisimman nopeasti virheeseen. Ruuviannostelijan tapauksessa virheeseen vastataan säätämällä ruuvin pyörimisnopeutta päinvastaiseen suuntaan, kuin virhe on. Eli mikäli annostelija syöttää haluttua vähemmän raaka-ainetta, tulee pyörintänopeutta kasvattaa.

Virhettä mitataan logiikan ohjelmassa, vertailemalla haluttua ja toteutunutta massavirtaa. Halutun massavirran on logiikkaan asettanut laitteen käyttäjä. Toteutunut massavirta saadaan määritettyä punnitusantureilta. Punnitusanturit punnitsevat annostelijan ja materiaalin niihin aiheuttamaa voi-

maa. Punnitusantureiden antama signaali vahvistetaan ja sitä luetaan logiikkaan tietyllä taajuudella. Signaali käännetään logiikassa haluttuun muotoon. Käännetyistä signaaleista suodatetaan virheet pois. Suodatetuista signaaleista lasketaan valitun suuruisen, perättäisten signaalien joukon keskiarvo. Tämä keskiarvo on signaalijoukon ajanjakson punnitustulos. Punnitustulosta verrataan edeltävään punnitustulokseen. Peräkkäisten punnitustulosten erotus on toteutunut massahäviö, eli annostelijasta poistunut massa punnitusten välisenä ajanjaksona. Saatua massahäviötä verrataan haluttuun massahäviöön ja saadaan ajanjakson virhe.

Logiikkaan ohjelmoitu säädin taas vastaanottaa virheen määrän ja merkin ja niiden perusteella korjaa syöttöä tarvittavaan suuntaan, säätämällä ruuvin pyörintänopeutta.

3.2 Rajat

Punnitusta käytetään laitteen toiminnassa hyväksi, muutenkin kuin pelkästään annostelussa. Punnitustuloksilla ja niiden muutosnopeudelle on logiikkaan asetettu raja-arvoja, joilla pystytään seuraamaan annostelijan toimintaa. Asetetut raja-arvot voidaan jakaa kolmeen ryhmään: toiminnalliset, varoittavat ja suojaavat raja-arvot.

3.2.1 Toiminnalliset rajat

Toiminnalliset raja-arvot ovat automaattisen toiminnan kannalta välttämättömiä. Tällaisia raja-arvoja ovat ala- ja ylätäyttöraja.

Alatäyttöraja on raja, jossa raaka-ainesäiliössä on niin vähän raaka-ainetta, että säiliön täyttö tulee aloittaa. Tällöin annostelijan säätö lakkaa toimimasta ja annostelu tapahtuu volumetrisessä tilassa (Page 2008). Volumetrisessä tilassa lähtevää massavirtaa ei myöskään voida punnita ja tällöin kokonaissyötön virhe kasvaa. Siksi täytön pitääkin olla nopea ja harvoin toistuva (Page 2008).

Täytön aikana ruuvi pyörii täyttöä edeltävällä nopeuden arvolla. Samaan aikaan annostelija antaa käskyn säiliötä täyttävälle elimelle, täytön aloittamisesta. Tällaisia elimiä voivat olla esimerkiksi pneumaattinen ali- tai ylipainesiirto, joissa raaka-aine syötetään putkessa virtaavaan ilmaan ja kerätään ilmasta suodattamalla annostelijan raaka-ainesäiliössä.

Kun säiliö on täyttynyt asetetulle ylätäyttörajalle, täyttö lopetetaan ja annostelijan säätöä jatketaan, eli annostelija palaa gravimetrisen tilaan.

Täytössä tuodun, uuden raaka-aineen tiheys saattaa olla eri kuin vanhan. Tästä syystä täytön aikana vakionopeudella ajettaessa saattaa syntyä virhettä syöttöön. Tätä virhettä voidaan korjata ohjelmoimalla ruuvin pyörintänopeudelle ramppi, täyttöä edeltävästä nopeudesta, täytön lopetusta seuraavaan nopeuteen. Täytön jälkeinen nopeus voidaan löytää esimerkiksi ajamalla käynnistettäessä laitetta ensimmäinen täyttö vakionopeudella ja

asettamalla muistiin nopeus, johon ruuvi täytön jälkeisessä säädössä asettuu.

3.2.2 Varoittavat rajat

Varoittavat rajat on ohjelmoitu logiikkaan ilmoittamaan laitteen normaalin toiminnan häiriintymisestä. Tällaisten raja-arvojen tullessa voimaan, saa käyttäjä ilmoituksen häiriöstä. Tämä taas auttaa käyttäjää huomaamaan virheen ja korjaamaan sen, tai varautumaan mahdolliseen toiminnan estymiseen. Varoittavien raja-arvojen toimintaa kuvataan seuraavalla tavalla.

Mikäli raaka-ainesäiliön raaka-aine pääsee alle ala-täyttörajan, esimerkiksi täyttöelimen toimintahäiriön takia ilmoittaa annostelija käyttäjälle raaka-aineen olevan vähissä.

Jos taas raaka-ainetta lisääntyy annostelijaan, kun täyttöelintä ei ole pyydetty toimimaan, on annostelija gravimetrisessä tilassa. Tällöin lisätty raaka-aine huijaa annostelijan punnitustulosta ja säädin reagoi nostamalla ruuvin pyörintänopeutta. Tällöin raaka-aineen syöttö muuttuu vääräksi.

Punnitusantureiden valmistaja on asettanut antureille suurimman sallitun voiman, joilla anturit toimivat normaalisti. Mikäli antureihin kohdistuvat voimat lähentelevät tämän voiman ja varmuusluvun tuloa, tulee käyttäjälle ilmoittaa liian suuresta massasta. Ja jos täyttöelimen on tällöin aktiivisena, tulisi se antureiden vaurioitumisen estämiseksi pysäyttää. Tällainen liiallinen massa saattaa aiheutua esimerkiksi annostelijan päällä olevasta, sinne kulumattomasta esineestä.

Logiikkaan tulee myös ohjelmoida oletussyöttö, eli syöttö tietyn kierrosnopeuden funktiona. Tällöin logiikka pystyy vertailemaan oletussyötön ja toteutuneen syötön erotusta. Mikäli erotus kasvaa asetettua ikkunaa suuremmaksi, saattaa raaka-ainesäiliö olla tukkeutumassa tai ruuvilehteen on kasaantunut raaka-ainetta. Oletussyöttöä pystytään myös käyttämään laitetta käynnistäessä, niin että kierrosnopeus ajetaan suoraan halutun syötön oletusnopeuteen ja säätö aloitetaan vasta kun oletusnopeus on saavutettu.

3.2.3 Suojaavat rajat

Suojaavien raja-arvojen tehtävä on suojata laitetta mekaanisilta vaurioilta ja ilmoittaa käyttäjälle että raaka-aineen syöttö prosessiin vaarantuu. Suojaavien raja-arvojen toimintaa kuvataan seuraavalla tavalla.

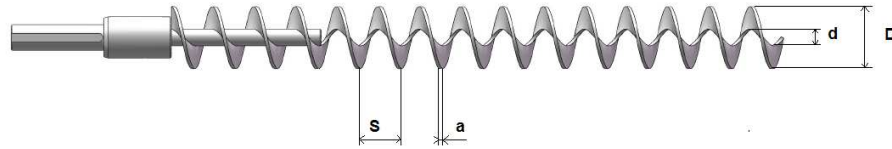
Annostelijaan olisi hyvä myös asentaa fyysiset ylä- ja alarajat, jotka toimisivat raja-kytkinten tavoin estämällä toiminnan jatkumisen väärään suuntaan. Fyysinen alaraja käynnistäisi täytön ja mikäli täyttö ei onnistu pysäyttäisi ruuvin ja estäen raaka-aineen loppumisen. Fyysinen yläraja taas pakottaisi täytön loppumaan, jottei raaka-ainesäiliö tulisi liian täyteen.

Myös raaka-aineen syötön loppumisen tulisi pysäyttää ruuvin pyöriminen. Mikäli esimerkiksi syöttöputki tukkeutuu ja ruuvi yrittää työntää raaka-

ainetta väkisin tukkeumaa vastaan, kohdistuu siirtämisen aiheuttama paine ruuvilehteen ja se saattaa vaurioitua. Syötön loppuminen saattaa johtua myös raaka-aineen loppumisesta tai raaka-ainesäiliön holvaantumisesta.

4 RUUVI

Ruuvi on ruviannostelijan syötöstä vastaava elin. Se koostuu akselistasta, joka on kiinnitetty moottoriin ja lehdestä, joka kiertää spiraalimaisesti akselin ympärillä.



Ruuvi syöttää materiaalia tilavuuteen perustuen. Ruuvin oma tilavuus on sellaisen ympyrälierion tilavuus, jonka halkaisija on ruuvin halkaisija D ja pituus, ruuvin pituus l .

$$V_{Ruuvi} = V_{sylinteri} \quad (1)$$

$$V_{Ruuvi} = \frac{\pi}{4} D^2 l \quad (2)$$

Ruuvin yhden kierroksen tilavuus eli kierrostitavuus, saadaan käyttämällä ruuvin pituutena sen yhden kierroksen eli nousun pituutta S .

$$V_{Kierros} = \frac{\pi}{4} D^2 S \quad (3)$$

Kertomalla ruuvin kierrostitavuus pyörimisnopeudella n saadaan tilavuus aikayksikköä kohden. Kertomalla kaava vielä siirrettävän aineen irtotiheydellä ρ saadaan tilavuusvirta Q_v muutettua ruuvilla kuljettavaksi suurimmaksi mahdolliseksi massavirraksi Q_{max} .

$$Q_{max} = Q_v \rho \quad (4)$$

$$Q_{max} = V_{Kierros} 60n \rho \quad (5)$$

Siirrettävän raaka-aineen eri ominaisuuksista johtuen, raaka-aine ei käytä ruuvin tilavuutta täysin. Prosentuaalista määrää, jonka siirrettävä aine täyttää ruuvin tilavuudesta kutsutaan täyttöasteeksi ψ . Kaavaksi ruuvin toteutuneelle syöttökapasiteetista tunnissa saadaan:

$$Q = Q_{max} \Psi \quad (6)$$

$$Q = \left(\frac{\pi}{4}\right) D^2 S 60n \Psi \rho \quad (7)$$

,jossa

- Q = Ruuvin syöttökapasiteetti [kg/h]
- D = Ruuvin nimellinen halkaisija [m]
- S = Ruuvin nousu [m]
- n = Ruuvin kierrosnopeus [rpm]
- Ψ = Ruuvin täyttöaste [%]
- ρ = Irtotiheys [kg/m³]

(mechanical engineering blog)

Liitteessä 1 on piirretty kapasiteetin kaavan antama massavirta, kierrosnopeuden funktiona, neljällä eri täyttöasteen arvolla. Esimerkin ruuvilehden halkaisija on 50 mm, nousu 30 mm, akselin halkaisija 15 mm ja täyttöasteet väliltä 35 % ja 50 %.

Kaavaa käytetään lähtökohtana siirtoruuvien mitoituksessa. Kaava on suuntaa-antava. Kaavan muuttajien virheet ovat liian suuria ruviannostelijalta vaadittuun tarkkuuteen nähden, eikä kaavaa siksi tulekaan käyttää suoraan annostelun laskemiseen prosessissa, vaan syöttöä punnitaan punnitusantureilla. Kaavasta lasketaankin ensisijaisesti millaisella ruuvilla päästään halutulle tuottoalueelle. Kaavasta voidaan kuitenkin myös arvioida eri muuttujien vaikutuksien suhteita.

4.1 Massavirta

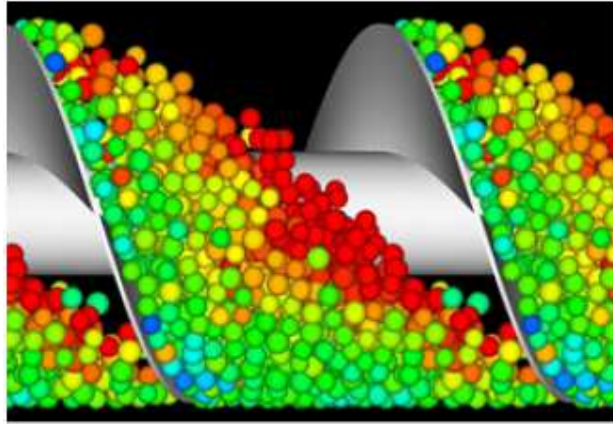
Massavirta Q on annostelijasta ulos syötetyn massan määrä aikayksikköä kohden. Prosessin tarve määrittää halutun massavirran ja sallitun virheen. Ruuvin geometria, raaka-aineen ominaisuuksien kanssa taas määrittää toteutuneen massavirran ja säädin toteutuneen virheen.

Toteutunut massavirran tulisi olla mahdollisimman tasaista, jotta prosessin nopeus ja syötettyjen eri raaka-aineiden suhteet säilyvät oikeina. Joissain prosessiteollisuuden kohteissa riittää että syötetty massa pystytään jäljittämään tarkasti. Tällöin massavirran tasaisuudella ei ole itse prosessiin merkitystä, mutta se helpottaa punnitusta.

4.2 Ruuvilehti

Ruuvilehden geometria koostuu ruuvin ulkohalkaisijasta, sisähalkaisijasta, noususta ja ruuvilehden paksuudesta. Ruuvin sisähalkaisija määräytyy akselin paksuudesta.

Ruuvilehtiä voi olla myös useampia, eri vaiheessa. Koska ruuvilehti työntää raaka-ainetta eteenpäin syöttöputkessa, etenemistä vastustavien voimien takia raaka-aine asettuu osittain ruuvilehteä vasten, kuten kuvassa 3. Siksi varsinkin suurella nousulla syötöstä tulee pätkivä, kun raaka-aine tulee putkesta ulos aina ruuvilehden ollessa ulostulon kohdalla. Tällöin useammalla lehdellä saadaan syötöstä tasaisempi. Myös vapaasti valuvien aineiden liiallista virtaamista pystytään tällaisella ruuvilla paremmin hallitsemaan. Tällainen liiallinen virtaaminen saattaa johtua joko aineesta itsestään tai esimerkiksi ylipainesyötöstä. (Colijn 1985, 120; Page 2008)



Kuva 3. Simuloitu ruuvin käyttäytyminen (Owen 2009). Kuvaa muokattu.

Ruuvilehden paksuus riippuu valmistusmateriaalin paksuudesta ja tavasta, jolla lehti on tehty. Mikäli lehti on mankeloitu yhdestä jatkuvasta latasta, sen ulkohalkaisijan paksuus on noin puolet sisähalkaisijasta. Mikäli tarvitaan geometrialtaan muuttuvaa lehteä, voidaan sellainen valmistetaan osista hitsaamalla. Tällöin lehden paksuus on joka puolella sama. (Engineering Guide, 79)

Mikäli ruuvin syöttökapasiteetin kaavaa halutaan tarkentaa, voidaan siinä ottaa huomioon myös ruuvilehden tilavuus. Varsinkin pieni halkaisijaisilla ruuveilla lehden tilavuuden merkitys korostuu, halkaisijan pienentyessä, valmistusmenetelmän vaatimuksien pitäessä lehden paksuuden vakiona. Tällöin lehden paksuuden suhde nousee suurenee. Myös useampilehtisillä ruuveilla lehden tilavuus koko ruuvin tilavuudesta kasvaa, lehtien määrän kerrannaisena.

$$V_{Ruuvi} = V_{sylinderi} - V_{lehti} \quad (8)$$

$$V_{Ruuvi} = \frac{\pi}{4} D^2 (S - a) \quad (9)$$

Ruuvilehden tilavuuden ajatellaan olevan samalla tavalla kuin itse ruuvin: yhdellä kierroksella ruuvin halkaisijan pinta-ala kerrottuna ruuvilehden paksuudella a , siten kierrostilavuuden pituudeksi tulee nousun S ja lehden paksuuden a erotus. Mikäli lehtiä on useampia, kerrotaan lehden paksuus a lehtien lukumäärällä.

4.2.1 Ruuvin halkaisija

Ruuvin halkaisijalla D on suurin vaikutus syöttökapasiteettiin, sillä halkaisija vaikuttaa ruuvin poikkipinta-alaan, toisessa potenssissa. Halkaisija tulee asettaa sellaiseksi että syöttökapasiteetti saadaan muilla muuttujilla halutuksi, kuitenkin niin että halkaisija olisi mahdollisimman pieni, sillä mitä pienempi halkaisija on, sitä pienempiä yksittäisiä volumetrisia määriä ruuvilla hallitaan kerralla ja sitä tarkemmin muilla muuttujilla pystytään syöttöön vaikuttamaan. Siirrettävän raaka-aineen partikkelien koko ja ko-

kojakauma asettaa kuitenkin ruuville minimihalkaisijan. Varsinkin jos partikkelit ovat niin kovia, etteivät ne rikkoudu ruuvissa (Colijn 1985, 124). Liian suuret partikkelit saattavat jumiutua ruuvin ja putken väliin, tai kasvattaa väännön tarvetta ja siten haitata syötön tasaisuutta. Tämä voidaan kuitenkin estää myös kasvattamalla ruuvin ja putken välystä. (Page 2007)

Ruuvin ulkohalkaisija saattaa olla myös muuttuva. Syöttöputkessa muuttuvaa halkaisijaa käytetään hankaavilla materiaalin täyttöasteen laskemiseksi, jotta rakenteen osat eivät kuluisi. (Engineering Guide, 33) Tähän ei kuitenkaan ole tarvetta ruuviannostelijan lyhyessä syöttöputkessa, jossa ei ole kulutukselle herkkiä rakenneosia.

4.2.2 Akseli

Ruuvin akselilla on myös vaikutus syöttökapasiteettiin, mikäli täyttöaste nousee korkeaksi. Tällöin akseli vie raaka-aineen kuljettamiseen käytettyä tilaa. Akselin halkaisijaa ja sen muutosta voidaan myös käyttää hyväksi syöttökapasiteettia muutettaessa.

Ruuvi voi myös olla akseliton, tällöin täyttöasteen noustessa akselin reiän korkeudelle, syntyy niin sanottua takaisinpäin virtausta (back flow) (Colijn 1985, 123–124). Tällaista käytetään hyvin tahmeilla ja viskooseilla materiaaleilla estämään materiaalin kerääntymistä lehteen. (Engineering Guide, 78)

Akselin tilavuus on akselin poikkipinta-ala kerrottuna nousun pituudella.

$$V_{Ruuvi} = V_{sylinteri} - V_{akseli} \quad (10)$$

$$V_{Ruuvi} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)(S - a) \quad (11)$$

Raaka-aineen takaisinpäin virtauksesta johtuen akselittomalla ruuvilla kapasiteetti on pienempi kuin akselisella ruuvilla, riippuen reiän koosta ja ruuvin täyttöasteesta.

4.2.3 Nousu ja nousukulma

Nousulla tarkoitetaan pituutta jonka lehti siirtyy aksiaalisesti yhden kierroksen aikana. Tämä on myös matka, jonka siirrettävän raaka-aineen oletetaan siirtyvän yhtä kierrosta kohti. Materiaalin hallinnan kannalta itse nousua tärkeämpi on nousun ja halkaisijan suhde, eli siten nousukulma. Materiaalin siirtoon käytetyillä ruuveilla käytetään tiettyjä termejä kuvaamaan tiettyjä nousun ja halkaisijan suhteita:

- Normaali (standard) $P = D$
 - lyhyt (short) $P = 2/3D$
 - puolikas (half) $P = 1/2D$
 - pitkä (long) $P = 3/2D$
- (Engineering Guide, 78)

Nousun valintaan vaikuttaa materiaalin valuvuus. Varsinkin jos aine on hyvin valuva, tulee syötön hallinnan kannalta käyttää tarpeeksi pientä nousua ruvisuppilossa. Tällöin tiheä nousu estää materiaalin liiallisen, hallitsemattoman valumisen (Colijn 1985, 118). Huonosti valuvat aineet eivät taas siirry ruuvissa, mikäli nousu on liian suuri.

Nousun ja halkaisijan suhde saattaa olla myös muuttuva. Muutos saattaa tapahtua, joko nousua muuttamalla (variable pitch), ulkohalkaisijaa tai akselin paksuutta muuttamalla (tapered pitch) tai näiden yhdistelmällä. Tällöin ruuvilehden siirtokapasiteetti muuttuu ruvin myötä. Tällaisia ruuveja käytetään ruvisuppilossa, varsinkin hienoilla, hyvin valuvilla aineilla, jotta saataisiin tasainen syöttö ruuville koko ruvisuppilon pituudella. (Colijn 1985, 120; Engineering Guide, 78) Tämä auttaa massavirtauksen syntymistä ruvisuppilossa.

Muuttuva nousuisella tai muuttuva halkaisijaisella ruuvilla kapasiteetin tulisi muuttua puolesta, täyteen kapasiteettiin, enintään kolmen ruvin halkaisijan matkalla. Pidemmällä matkalla, muutos on niin pientä, ettei kapasiteetin riittävää kasvua muutoksen myötä voida taata. Halkaisijan ja nousun yhteismuutoksella, muutoksen pituus voi olla kuusi kertaa ruvin halkaisijan. (Solving problems)

Nousukulma on kulma jossa lehti on akselin kohtisuoraa nähden. Hyvin pienellä nousukulmalla lehden työntövoima kohdistuu lähes kokonaan materiaaliin siirtämiseen aksiaalisesti, mutta tällöin yhden kierroksen aikana siirretty matka on pieni. Nousun kasvaessa siirretty matka kasvaa, mutta myös raaka-aineen radiaalinen liike lisääntyy.

Jos aineen radiaalinen liike kasvaa suhteessa aksiaaliseen riittävän suureksi, siirrettävän materiaalin ja ruuvilehden sekä aineen sisäisten kitkojen vaikutuksesta materiaali ei enää juurikaan liiku aksiaalisesti, vaan pyörii lehden mukana, akselin ympäri. Siten käytettävä nousukulma riippuu materiaalin ja ruuvilehden välisestä kitkasta ja materiaalin valuvuudesta.

4.3 Kierrosnopeus

Kierrosnopeus on ainoa syöttöön vaikuttava muuttuja, jota pystytään toiminnan aikana muuttamaan ja siten hallitsemaan ruviannostelijan syöttöä annostelun aikana. Nimelliskierrosnopeus valitaan lähelle halutun syöttökapasiteetin vaatimaa nopeutta vaihteella ja syötön aikana säädin säätää kierrosnopeutta halutuksi taajuusmuuntajalla.

Kierrosnopeuden tulee olla kuitenkin sellainen että ruvisuppilo pystyy siirtämään materiaalia ruuville, ruvin tarvitseman määrän. Liian suuri kierrosnopeus saattaa myös aiheuttaa materiaaliin liian suuren paineen ja siten joillain materiaaleilla saattaa aiheutua pakkaantumista tai haurailta materiaaleilla partikkelien hajoamista.

4.4 Täyttöaste

Ruvin täyttöaste on suure, joka ilmaisee kuinka suuren tilavuuden aine täyttää koko ruvin laskennallisesta tilavuudesta. Täyttöaste on siis käytännössä ruvin hyötysuhde ja lasketaan kaavasta:

$$\Psi = \frac{Q}{Q_{max}} * 100\% \quad (12)$$

Ruvin täyttöaste riippuu syöttösuppilon geometriasta, ruuvilehden geometriasta ja materiaalin eri ominaisuuksista, tällaisia ovat esimerkiksi partikkelikoko, hankaavuus ja valuvuus (Mechanical engineering blog).

Ruvin tarkkaa täyttöastetta on vaikea määritellä fysikaalisesti, vaan se on usein jälkepäin mittaamalla todettu. Siten se ei toimi luotettavana suurena, vaan saattaa kätkeä muiden muuttujien virheitä sisälleen. Esimerkiksi kaavoilla, joissa ei oteta huomioon ruuvilehden tilavuutta tai akselin halkaisijaa päästään lähes samoihin tuloksiin kuin kaavoilla, joissa ne otetaan huomioon. Tällaisissa tapauksissa täyttöaste vain pienenee niiden tilavuuden verran.

5 AINEET

Siirrettävän materiaalin ominaisuuksilla on vaikutus ruviannostelijan eri osien geometrian valintaan. Siksi ruviannostelija tulisikin suunnitella siirrettävän materiaalin ominaisuuksien mukaan. Tällaisia materiaalien ominaisuuksia ovat esimerkiksi: partikkelikoko, irtotiheys ja valuvuus.

5.1 Irtotiheys

Irtotiheydellä (bulk density) tarkoitetaan tiheyttä, jossa materiaalin huokoisuus ja partikkelien väliset tilat otetaan huomioon (Suomisanakirja). Syöttökapasiteettia määrittäessä on erityisen tärkeää ottaa nimenomaan aineen irtotiheys huomioon. Eri aineilla saattaa olla hyvinkin erilaiset irtotiheydet, kuten taulukon 1 esimerkistä voi huomata. Alumiinioksidin ja alumiinisulfaatin irtotiheydet saattavat olla lähes yhtä suuret, kun taas suurimmillaan ero voi olla yli kaksinkertainen.

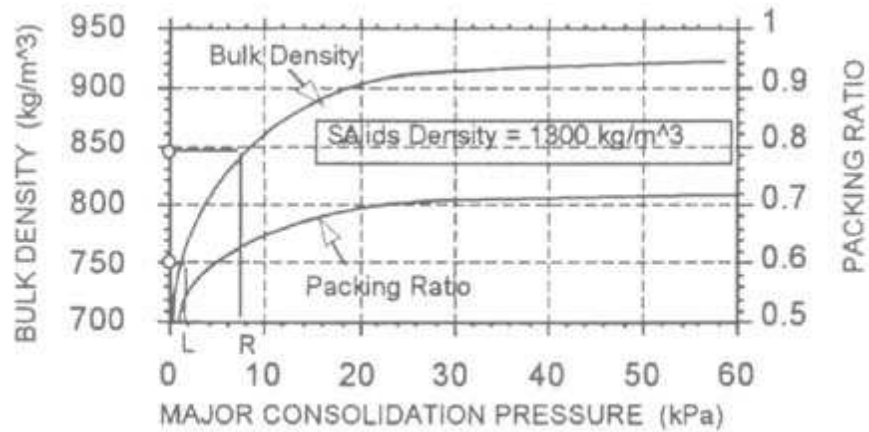
Taulukko 1. Ominais- ja Irtotiheys.

	Ominaisihteys	Irtotiheys
Alumiinioksidi	3,5 g/cm ³	0,96 – 1.76 g/cm ³
Alumiinisulfaatti	2,71 g/cm ³	0,78 – 0.93 g/cm ³

(Karamäki 1983; OVA-Ohje Alumiinisulfaatti; CEMA 550. 2003, 44).

Irtotiheys saattaa myös muuttua materiaalin kulkeutuessa ruviannostelijan läpi, mikäli siirrossa tapahtuu esimerkiksi aineen pakkaantumista tai partikkelikoon muutosta. Ruuvilehden aiheuttama paine materiaaliin

muuttaa myös irtotiheyttä. Kuvassa 4 on esitetty paineen vaikutus materiaalin irtotiheyteen.



Kuva 4. Paineen vaikutus irtotiheyteen. (Roberts)

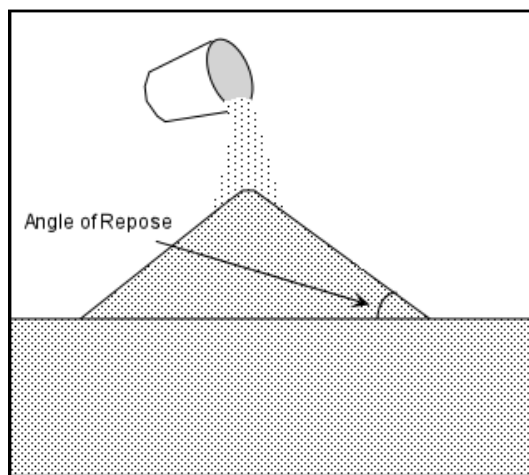
5.2 Valuvuus

Valuvuus (flowability) on useiden eri materiaalin ominaisuuksien summa. Siihen vaikuttavat muun muassa aineen sisäiset kitkat, partikkelikoko, ko-kojakauma, muoto ja kosteus.

Valuvuutta voidaan arvioida useilla eri tavoilla, kuten esimerkiksi lepo- kulmalla tai Hausnerin suhteella. Tarkempaa valuvuutta tulisivikin tarkastella erilaisten menetelmien kokonaisuutena.

5.2.1 Lepokulma

Lepokulma (angle of repose) on suurin kulma, johon aine asettuu luonnol- lisen valumisen seurauksena. Lepokulma voi olla välillä 0-90astetta.



Kuva 5. Lepokulma. (Mass-Wasting) Kuvaa muokattu.

Lepokulma voidaan määrittää, esimerkiksi kaatamalla ainetta tasaiselle alustalle ja mittaamalla alustan ja aineen välinen kulma (Svarovsky 1987, 72–74). Lepokulmalle voidaan saada hieman eri arvoja, riippuen tavasta jolla sitä mitataan (Brown 1970, 24–26). Ruuvilla ei suositella syötettävän huuhtoutuvia (flushing) aineita, joiden lepokulma on alle 15 astetta. (Colijn, 23)

Taulukko 2. Valuvuus lepokulman määrittämänä.

Valuvuus	Vapaasti valuva	Suhteellisen vapaasti valuva	Jähmeästi valuvaa
Lepokulma	$\Phi < 30$	$30 < \Phi < 45$	$\Phi > 45$

(Engineer selection, 5)

Lepokulmaa käytetään yleensä valuvuuden mittarina. Mitä pienempi lepokulma on, sitä parempi valuvuus on. Lepokulma ei kuitenkaan suoraan sovi mittariksi aineen valuvuudelle dynaamisessa siirrosta, sillä saman lepokulman omaavat aineet saattavat käyttäytyä erilaisilla dynaamisissa soveluksissa.

5.2.2 Hausnerin suhde

Hausnerin suhteella tarkoitetaan materiaalin tärytiheyden ρ_T ja kaatotiheyden ρ_B suhdetta. Hausnerin suhde ei ole materiaalille ehdoton, vaan se voi vaihdella määrittelemiseen käytetyn menetelmän mukaan. Hausnerin suhde lasketaan kaavasta:

$$H = \frac{\rho_T}{\rho_B} \quad (13)$$

Jokaista Hausnerin suhdetta vastaa jokin Carrin luku. Carrin luku lasketaan kaavasta:

$$C = 100 * \left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_T}\right) \quad (14)$$

Carrin lukua 25 suurempia aineita pidetään huonosti valuvina ja lukua 15 pienempiä hyvin valuvia (Kanig 1986). Sama pätee tällöin Hausnerin suhteille 1.25 ja 1.15.

5.3 Raaka-aineen ja pintojen väliset kitkat

Syötettävän raaka-aineen ja ruuvilehden välisellä kitkalla on havaittu olevan suuri vaikutus syöttökapasiteettiin (Roberts; Fernandez 2009). Jotta ruuvin kapasiteetti saataisiin käytettyä tehokkaasti hyödyksi, tulisikin ruuvilehden materiaalin valintaan ja pinnan laatuun kiinnittää huomiota. Lehden ja raaka-aineen ja syöttöputken ja raaka-aineen väliset kitkat aiheuttavat myös moottorien tehon tarpeen kasvua.

Raaka-aineen ja lehden välistä kitkaa voidaan tutkia kitkakulmalla. Kitkakulma on kulma, johon taso jonka päällä raaka-ainetta on, täytyy kallistaa että raaka-aine lähtee valumaan pinnalla.

6 YHTEENVETO

Syötettävällä raaka-aineella on suurin merkitys annostelijaa suunniteltaessa. Raaka-aineen ominaisuudet vaikuttavat kaikkeen, mikä annostelijan toiminnan kannalta on tärkeää. Annostelija perusrakenteen tuleekin olla muokattavissa eri raaka-aineiden asettamien vaatimuksien mukaiseksi, jotta haluttu toiminta saadaan varmistettua.

6.1 Syöttökapasiteetti

Ruuviannostelijan syöttökapasiteettiin vaikuttavat useat eri muuttujat. Mutta suurin vaikutus kapasiteettiin on annosteltavalla raaka-aineella. Raaka-aineen ominaisuuksien tulisi myös pysyä annostelun aikana mahdollisimman samanlaisena, esimerkiksi pienikin kosteuden lisääntyminen muuttaa useimpien materiaalien käyttäytymistä merkittävästi.

Ruuvilehden geometriaa valittaessa on ensimmäisenä otettava huomioon raaka-aineen partikkelikoko ja raaka-aineen erityinen käyttäytyminen dynaamisissa sovelluksissa. Tällainen erityinen käyttäytyminen voi olla esimerkiksi raaka-aineen pakkautuminen. Raaka-aineen partikkelikoko määrää pienemmän mahdollisen ruuvin halkaisijan. Kun ruuvin halkaisija on valittu, valitaan muu ruuvin geometria. Jos raaka-aine on esimerkiksi helposti pakkaantuvaa, valitaan ruuvi, jossa on suuri akseliton sisäreikä. Näin saadaan suuri materiaalin takaisinpäin virtaaminen, jolloin ruuvi ei pakota raaka-ainetta eteenpäin ja aiheuta raaka-aineeseen sitä pakkaavaa painetta.

Muillakin raaka-aineen eri ominaisuuksilla on yhteys annostelijan eri komponenttien geometriaan ja esimerkiksi ruuvin ja syöttösuppilon geometria tulisi pystyä muuttamaan materiaalikohtaisesti, jotta raaka-aineen pääsy ruuville onnistuisi mahdollisimman hyvin. Mahdollisimman suureksi optimoitua syöttökapasiteettiä ei ruuviannostelijalla tarvitsekaan hakea, mutta syötön tulisi olla mahdollisimman tasaista. Tällaiseen auttaa kun syöttöruuvissa käytetään pienempää nousua ja mahdollisuuksien mukaan useampaa lehteä. Pienemmällä nousulla nousukulma pienenee ja raaka-aineen ja lehden välisen kitkan vaikutus pienenee. Siten pienempi nousu varmistaa materiaalin helpomman kulkeutumisen syöttöputken läpi. Annostelijasta ruuvin prosessiin syöttämien raaka-aine-erien väli pienenee ja mahdollisella toisella lehdellä puolittuu. Tällöin Punnituksessa pystytään käyttämään lyhyempää punnitustulokseen käytettävää aikaa ja punnitustuloksia pystytään saamaan useampia tai samanpituista punnitustulosta pystytään varmentamaan.

Syöttökapasiteetin kaavaa pystytään arvioimaan lähtökohtana ruuvin mitoitukselle. Kuten liitteestä 2 nähdään, tarkennettu kaava pienentää oletettua maksimikapasiteettia ja siten samaan syöttöön päästäessä, suurentaa toteutunutta täyttöastetta. Jos täyttöaste pystytään arvioimaan esimerkiksi

kokemusperäisesti, voi tarkemman kaavan käyttö olla perusteltua. Jos taas ruuvin geometria on sellainen että tarkennettuun kaavaan lisättyjen muuttujien merkitys on suuri, tulisi sitä myös käyttää.

Kokemusperäisen tiedon täyttöasteen toteutumisesta puuttuessa, on täyttöastetta etukäteen vaikea arvioida. Syötön kaava on lineaarinen, mutta todellisuudessa syöttö tuskin pitää lineaarisuuttaan täysin. Esimerkiksi kasvava nopeus aiheuttaa kasvavaa painetta raaka-aineeseen ja kuten kuvasta 4 nähdään. Paineen vaikutuksen tuoma irtotiheyden muutos on suurinta varsinkin pienillä paineilla. Uuden raaka-aine-erän eri tiheys tukee myös tätä. Myös ruvisuppilo saattaa alkaa vaikuttaa raaka-aineen syöttöön, kun nopeus kasvaa suuremmaksi. Jos ruvisuppilo ei pysty siirtämään syötön vaatimaa raaka-ainemäärää ruuville, syöttö kärsii. Kaikkien vaikutusten summa näkyy täyttöasteessa ja tekee siitä vaikean määrittää.

6.2 Tiivistys

Annostelijan tiivistykselle päävaatimukset asettaa annosteltava aine. Tiivisteen materiaali tulee valita raaka-aineen mukaan. Tasotiivistys voidaan suorittaa muotoonsa leikatulla kumitiivisteellä. Tällöin tiivistettä voidaan käyttää uudelleen useita kertoja, eikä tiiviste liikaa tiivistettäviä pintoja. Mikäli annostelija puretaan harvoin, voi liimaamattoman tiivisteipin tai tiivistemassan käyttö olla perusteltua, varsinkin jos kuminen tiiviste ei kestä raaka-aineen vaikutusta siihen.

Akselin tiivistys on tasotiivisteitä hankalampi saada toimimaan ja kestäväksi. Akselitiivistyksen lähtökohtana pyritäänkin suojaamaan tiiviste annostelijan rakenteella, niin että tiivisteelle pääsee mahdollisimman vähän raaka-ainetta. Tämä voidaan toteuttaa erilaisin fyysisin estein ja sokkelotiivisteillä. Varsinaisena tiivisteenä käytetään säteishuulitiivistettä ja mahdollisena lisätiivisteenä säteishuulitiivistettä suojaamaan, sitä vasten olevaa aksiaalishuulitiivistettä. (Airila 1985, 187) Akselin materiaali tulee valita niin että akselin pinnankovuus ja pinnanlaatu saadaan tiivisteeseen vaadittuun tasolle.

Tiivisteiden ja vaihteen välillä tulisi myös olla tyhjä tila, johon mahdollisesti tiivisteiden ohi päässyt raaka-aine kerääntyisi. Näin raaka-aineen pakkautumista vaihteelle voitaisiin vähentää.

6.3 Ohjaus

Suodatus, punnitus, tarkkuus.

Logiikkaan ohjelmoitavalle suodattimelle ja säätimelle asetetaan suuret vaatimukset, annostelun vaadittu tarkkuus toteutukseksi. Ruuvin tulee luoda punnitukselle mahdollisimman hyvät edellytykset. Punnituksen suodatuksen tulee olla säädettävissä laitteen käyttäytymisen ja ulkopuolisten häiriöiden mukaan. Säätimen käyttäytymistä luotaessa tulee ottaa huomioon ruuvin syötön jaksottuminen, jottei säätimestä tule epästabiili. Epästabiili säätö rasittaa myös moottoria ja vaihdetta.

Logiikkaa tulee muutenkin käyttää laitteessa mahdollisimman hyvin hyödyksi. Logiikkaan voidaan luoda useita eri rajoja, joilla pystytään seuraamaan laitteen toimintaa ja ennakoimaan mahdolliset väärät toiminnot. Logiikan rinnalle tulee kuitenkin luoda myös fyysiset rajat, jotka suojaavat laitteen rikkoutumiselta logiikan rajojen pettäessä. Fyysiset rajat mahdollistaisivat laitteen käytön myös volumetrisenä, ilman punnitusta.

6.4 Jatkotoimia

Työtä pystyttäisiin tällaisenaan jatkamaan suorittamalla laitteen koeajo. Koeajossa voitaisiin tutkia syötön kaavojen paikkaansa pitävyyttä erilaisilla ruuvigeometrioilla ja erilaisilla raaka-aineilla. Myös raaka-aineiden ominaisuuksia voitaisiin tutkia ja yrittää löytää yhteys eri ominaisuuksien vaikutukseen syötössä. Työ pyrkiikin antamaan pohjaa edellä mainituille jatkotoimenpiteille.

6.5 Loppupohdinta

Aiheen tutkiminen opetti hyvin paljon aiheeseen liittyvistä asioista, kuten erilaisten jauheiden käyttäytymisestä ja niiden hallittuun siirtoon vaadituista mekaanisista menetelmistä. Toivon että työstä on apua ruuviannostelijan suunnittelussa.

Työn edetessä tuli eteen monia, ruvikäyttöiseen materiaalin siirtoon liittyviä käyttömahdollisuuksia. Ja uskon että työstä on myös apua erilaisia käyttömahdollisuuksia ja niiden suunnittelua ajatellen.

Haluan kiittää yritystä opinnäytetyö mahdollisuudesta ja kaikkia minua työssä tukeneita ja auttaneita henkilöitä.

LÄHTEET

Airila, M. 1985. Koneenosien suunnittelu 4. Erityisalueet. Porvoo. WSOY

Antti-teollisuus. Viitattu 15.3.2013.

<http://www.antti-teollisuus.fi/fi/materiaalinkasittely/siilot-ja-saeilioet/pellettisiilot.html>

Bates, L. 2012. Screw Feeder Types. Viitattu 6.5.2013. <http://forum.bulk-online.com/showthread.php?23864-Screw-Feeder-Types>

Brown, R.L. 1970. Principles of powder mechanics. Oxford: Pergamon Press Ltd.

CEMA Standard 550. 2003. Classification and definitions of bulk materials, Naples, Florida: Conveyor Equipment Manufacturers Association. Viitattu 7.3.2013. <http://www.cemanet.org/wp-content/uploads/2011/09/ANSI-CEMA-550pv.pdf>

Colijn, H. 1985. Studies In Mechanical Engineering 4. Mechanical Conveyors for bulk solids. Amsterdam: Elsevier science publisher B.V.

Engineer selection. n.d. KWS. Viitattu 12.2.2013. <http://www.kwsmfg.com>

Engineering Guide. 2001. Martin Sprocket. Viitattu 12.2.2013. <http://www.martinsprocket.com/2001/SecH.pdf>

Fernandez J.W. Cleary P.W. McBride W. 2009, Effect of screw design on hopper draw down by a horizontal screw feeder. Australia.

Kanig, J. L. Lachman, L. Lieberman, H. A. 1986. The theory and practice of industrial pharmacy. Philadelphia. Lea & Febider.

Karamäki, E.M. 1983. Epäograniset kemikaalit. Espoo. Kustannusliike Tietoteos.

Mechanical engineering blog. Screw conveyors capacity calculations. Viitattu 5.2.2013. <http://www.mechanicalengineeringblog.com/tag/screw-conveyor-capacity-calculation/>

OVA-Ohje: Alumiinisulfaatti. 2011. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet. Työterveydenlaitos. Viitattu 8.5.2013. <http://www.ttl.fi/ova/alsu.pdf>

Owen, P. J. Cleary, P.W. 2009. Screw conveyor performance: Comparison of discrete element modeling with laboratory experiments. Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. Clayton, Victoria, AUSTRALIA

Page, M. 2007 Design of Metering Screw Feeders. Viitattu 12.4.2013.
http://www.powderandbulk.com/pb_services/ask_joe_archive/design_of_metering_screw_feeders.htm

Page, M. 2008. The Design of Loss-in-Weight Feeders. Viitattu 12.4.2013.
http://www.powderandbulk.com/pb_services/ask_joe_archive/design_of_loss_in_weight_feeders.htm

Rademacher F.J.C. 1974. Powder technology 9. Some aspects of the characteristics of vertical screw conveyor for granular material. Lausanne. Elsevier sequoia S.A.

Ramikro. Viitattu 16.3.2013. <http://www.ramikro.fi/?p=tuotteet&kat=E>

Roberts, A.W. n.d. Design considerations and performance evaluation of screw conveyors. Viitattu 13.3.2013.
<http://www.saimh.co.za/beltcon/beltcon11/beltcon1114.htm>

Solving problems. Jenike & Johanson Viitattu 6.3.2013.
<http://jenike.mmcis.com/Articulos/solve-probs-retrofit.pdf>

Suomisanakirja. Viitattu 18.3.2013.
<http://suomisanakirja.fi/irtotiheys>

Stephen A. Nelson. 2003 Mass-Wasting. Tulane University. Physical Geology. Viitattu 8.5.2013.
<http://www.tulane.edu/~sanelson/geol111/masswasting.htm>

Svarovsky, L. 1987. Powder testing guide: Methods of measuring the physical properties of bulk powders. Essex: Elsevier science publishers ltd.

Takala, M. 14.5.2013. 3A Consulting oy esittely. Vastaanottaja Saari, A. [Sähköpostiviesti]. Viitattu 14.5.2013.

NORMAALI KAAVA.

Massavirta Q , nopeuden n funktiona, eri täyttöasteen Ψ arvoilla.

Ruuvilehden geometrian arvot:

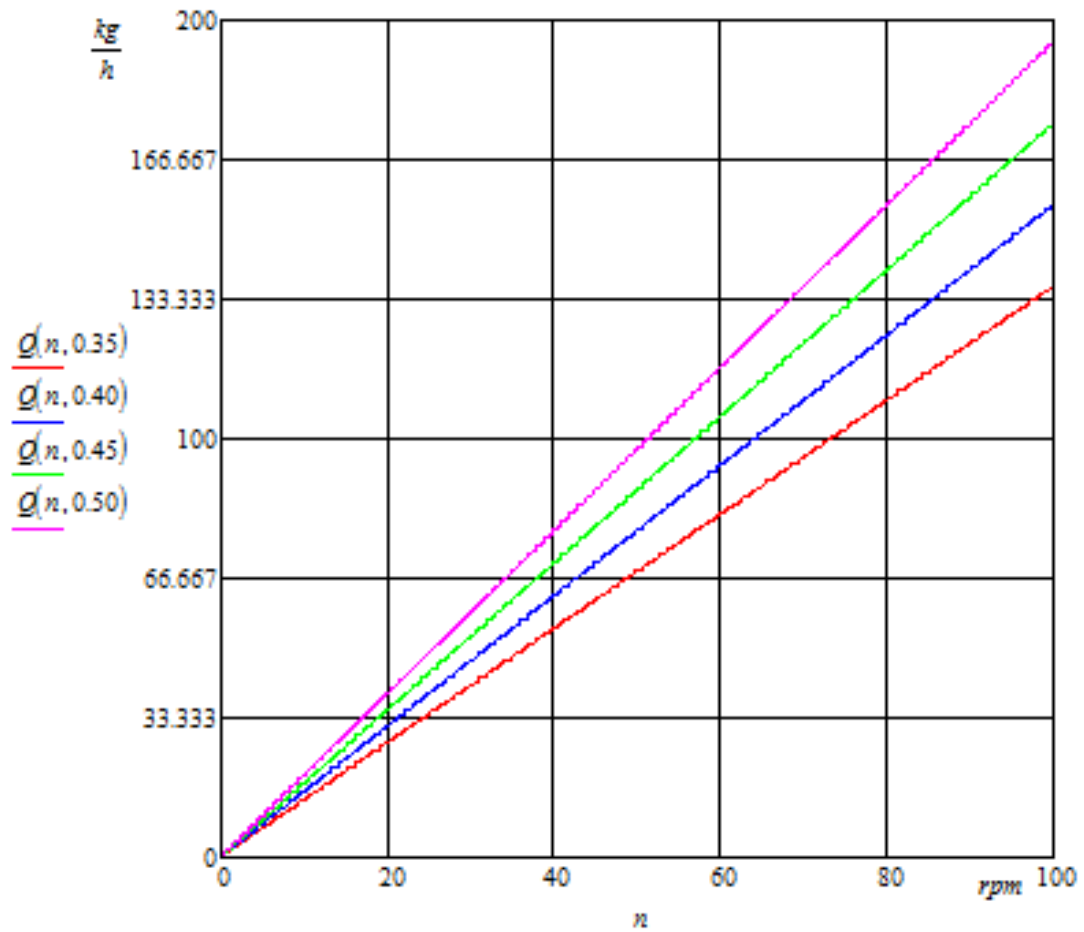
Halkaisia Nous
 $D := 0.050 \text{ m}$ $S := 0.03 \text{ m}$

Raaka-aineen irtotiheys

$\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Kaava:

$$Q(n, \Psi) := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot 60n \cdot \Psi \cdot \rho$$



TARKENNETTU KAAVA.

Massavirta Q , nopeuden n funktiona, eri täyttöasteen Ψ arvoilla.

Ruuvilehden geometrian arvot:

Halkaisi	Nous	Akseli	Lehden
$D := 0.050 \text{ m}$	$S := 0.033 \text{ m}$	$D_c := 0.015 \text{ m}$	$a := 0.003 \text{ m}$

Raaka-aineen irtotiheys

$$\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Täyttö aste:

$$\Psi: 50\%$$

Kaava:

$$Q(n, \Psi) := \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot 60n \cdot \Psi \cdot \rho$$

Tarkennettu

$$Q_{\text{tark}}(n, \Psi) := \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - D_c^2) \cdot (S - a) \cdot 60n \cdot \Psi \cdot \rho$$

