

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma
BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

SYKLONIEROTTIMEN PARAMETRISOITU LASKENTAHILA

Työn tarkastajat ja ohjaajat:

TkT Jouni Ritvanen

TkT Kari Myöhänen

Lappeenranta 05.12.2012

Tomi Naukkarinen

SISÄLLYSLUETTELO

Symboli- ja lyhenneluettelo	3
1 Johdanto	5
2 Tangentiaaliset syklonierottimet	6
3 Parametrisoidun Geometrian ja hilan generointi	8
3.1 Geometrian generointi ja parametrisointi.....	9
3.2 Hilan luonti ja parametrisointi.....	13
3.3 Elementtien vääntyneisyys ja vääntyneisyyden vähentäminen.....	16
4 Parametrisoitujen arvojen muuttaminen	22
4.1 Parametrien hyväksyttävät arvot	22
4.2 Esimerkkitapaukset	23
4.3 Parametrisoidun mallin kehittäminen.....	27
5 Johtopäätökset	27
6 Yhteenveto	28
Lähdeluettelo	29

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<i>B</i>	Syklonin pituus	mm
<i>C</i>	Tulokanavan pituus	mm
<i>D</i>	Keskusputken korkeus	mm
<i>E</i>	Kartion korkeus	mm
<i>F</i>	Tulokanavan korkeus	mm
<i>G</i>	Syklonin säde	mm
<i>K</i>	Nousukanavan säde	mm
<i>H</i>	Keskusputken säde	mm
<i>L</i>	Palautuskanavan säde	mm
<i>T</i>	Tulokanavan leveys	mm
<i>P</i>	Kavennus	mm
<i>R</i>	Pyöristyssäde	mm
<i>b</i>	Janan jatkeen kohtisuora etäisyys keskipisteestä	mm
<i>h</i>	Elementin korkeus	mm
<i>r</i>	Säde	mm
β	Keskuskulma	rad
δ	Apukulma	rad

Alaindeksit

tot kokonais

Lyhenteet**CFD** Computational fluid dynamics

1 JOHDANTO

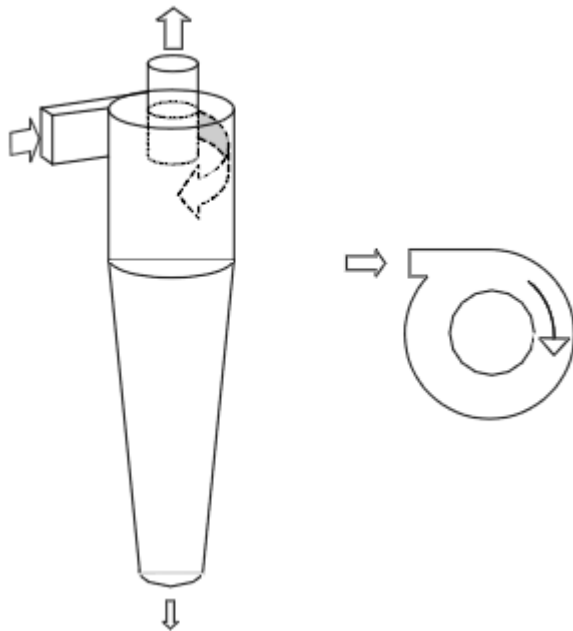
Tavoitteena on tuottaa erotussykloniin parametrisoitava laskentahila. Parametrisoimisella tässä tapauksessa tarkoitetaan, että geometrisiä mittoja ja erilaisia elementtijakoja pystytään muuttamaan vähemmällä työmäärällä verrattuna uuden mallin rakentamiseen. Laskentahila tehdään heksaedreillä (engl. hexahedron). Heksaedreillä on virtauslaskennan kannalta paremmat ominaisuudet kuin kolmiopohjaisilla elementeillä (Hirsch 2007, 249). Laskentahila on myös rakenteellinen. Geometria ja laskentahila luodaan käyttämällä Ansys Workbench 13.0 – ohjelmistoa. Ansys Workbench 13.0 tukee parametrisointia.

Mallinnettava alue voidaan jakaa primitiivisiin tilavuuksiin. Primitiivisiä tilavuuksia ovat esimerkiksi sylinteri, kuutio, toroidi, pallo ja pyramidi. Hilan generoinnin vaikeus riippuu primitiivien määrästä, niiden välisistä yhteyksistä sekä hilarakenteesta. Matemaattisesti on mahdollista jakaa mallinnettava alue primitiiveihin ja generoida rakenteellinen hila. Kaikille geometrioille soveltuva automaattinen rakenteellisen hilan generoiva ohjelma on hankala tehdä. Automaation puutteesta johtuen rakenteelliset hilat tehdään yleensä manuaalisesti. Parametrisointi on yksi mahdollisuus mallinnuksen nopeuttamiseen.

Vaikka tämän työn päätarkoitus on tuottaa parametrisoitu laskentahila, on työllä muitakin päämääriä. Työllä on myös tarkoitus lisätä Ansys Workbench – ohjelmiston tuntemusta työyhteisössä.

2 TANGENTIAALISET SYKLONIEROTTIMET

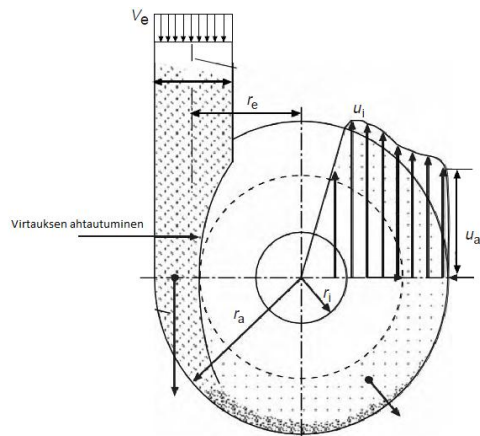
Syklonierottimet erottavat kiintoaineen kaasusta. Tangentiaalisessa syklonissa sisääntulo liittyy tangentiaalisesti, kuten Kuva 2.1 on esitetty. Erotin ei ole kaikissa kokoonpanoissa pyöreä. Sisääntulo ja erottimen malli vaikuttavat erottimen ominaisuuksiin. (Zenz 2001, 60) Kuvassa 2.1 näkyvät pyöreä sykloni sekä virtauksen sisään- ja ulostulot.



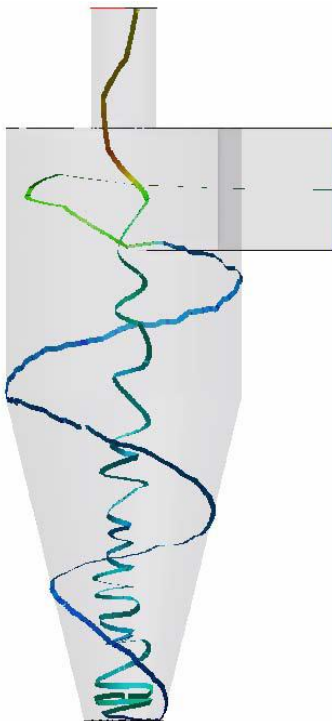
Kuva 2.1: Pyöreä sykloni tangentiaalisella tulokanavalla. (Fredriksson 1999, 16).

Tangentiaalisessa syklonissa sisääntulon jälkeen virtaus kohtaa syklonin seinämän, jolloin kiintoaine osuu seinämään, menettää suuren osan nopeudesta ja joutuu radiaaliseen liikkeeseen. Radiaalisessa liikkeessä oleva kiintoaine pysyy syklonin seinämällä ja valuu painovoiman vaikutuksesta seinämää pitkin alas. Seinämä vaikuttaa myös väliaineen liikerataan. Väliaine joutuu radiaaliseen ja aksiaaliseen liikkeeseen sykloniin virratessa. Syklonin kartio-osassa väliaineen aksiaalinopeus kääntyy ja kaasu poistuu syklonin yläpinnassa olevasta keskusputkesta. (Zenz 2001, 60)

Kuva 2.2 näkyy radiaalinopeusprofiili ja kiintoaineen erottuminen virtauksen joutuessa sykloniin. Kuvassa 2.3 näkyy eräs laskennallinen partikkelirata. Partikkeli joutuu nousevaan virtauksen mukana pois syklonista eikä täten erotu.



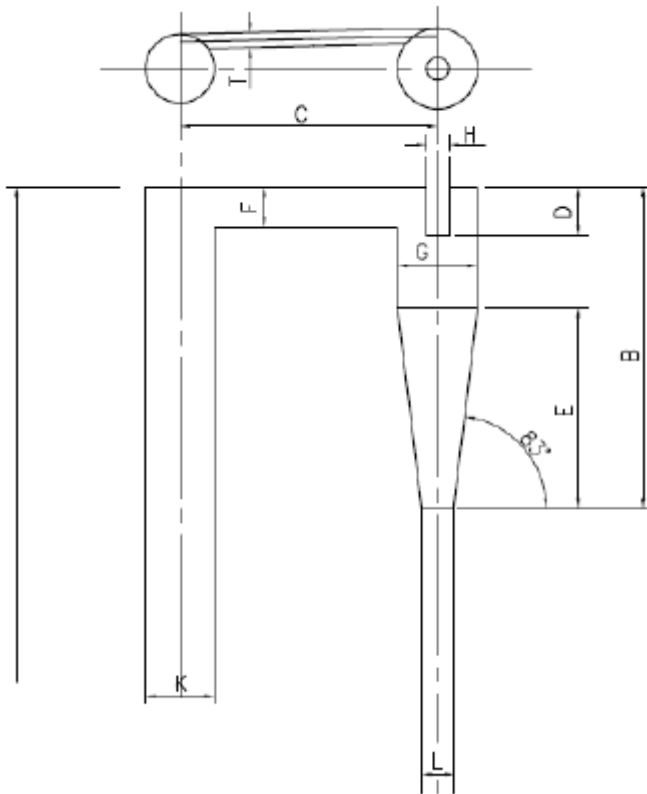
Kuva 2.2: Kiintoaine erottuu ulkokehälle (Basu 2006, 391).



Kuva 2.3: Partikkeli joutuu nousevaan virtaukseen ja eikä erotu väliaineesta. Partikkelirata on laskennallinen. (Nevalainen 2002, 10)

3 PARAMETRISOIDUN GEOMETRIAN JA HILAN GENEROINTI

Ansyes Workbench 13.0 – ohjelmassa geometria on jaettava pienempiin tilavuuksiin ennen kuin rakenteellinen hila generoidaan. Geometrian ja hilan generointi ovat yhteydessä toisiinsa. Mallinnettava geometria on esitetty Kuva 3.1. Vasemmalla on nousukanava, jota pitkin kaasu-kiintoaineseos nousee ja kääntyy tulokanavaan. Tulokanavasta kaasu-kiintoaineseos siirtyy oikealla olevaan syklonierottimeen. Keskellä oleva tulokanava liittyy nousukanavaan ja syklonierottimeen tangentialisesti. Parametrisoituja mittoja ovat F , G , H , E , B , K , L , C , T ja D .

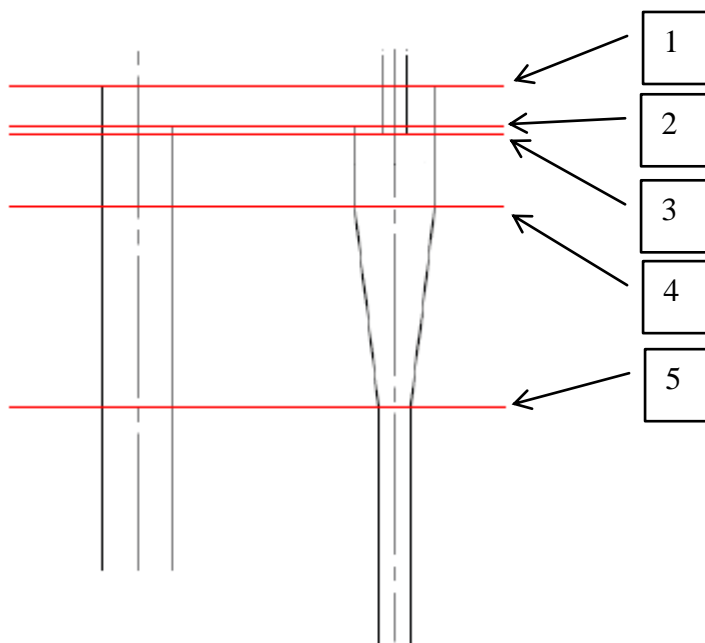


Kuva 3.1: Erotinsykloni, yhdyskanava ja nousukanava muodostavat mallinnettavan geometrian.

3.1 Geometrian generointi ja parametrisointi

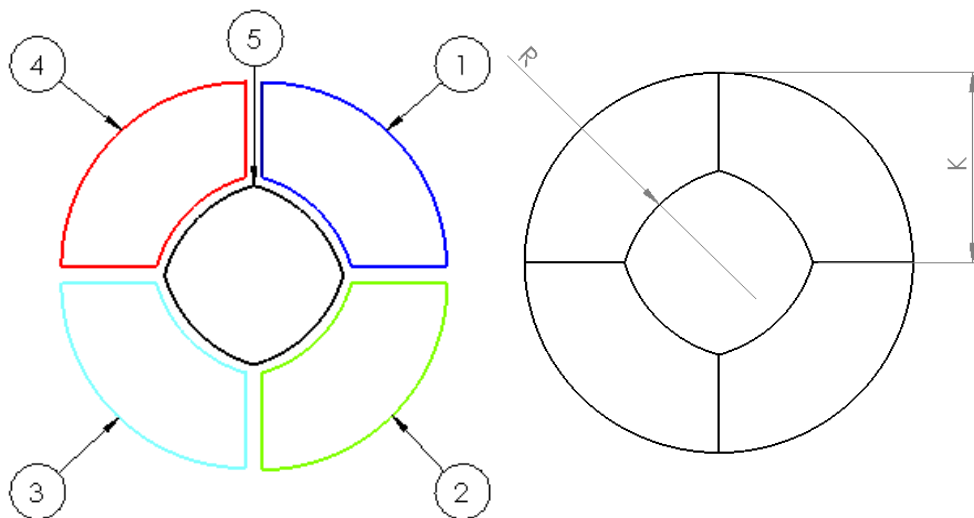
Mallinnettava alue joudutaan tässä tapauksessa jakamaan pienempiin tilavuuksiin rakenteellisen hilan luomiseksi. Geometrian jakoa tehtäessä on otettava huomioon tilavuuksien yhtymäkohdat. Yhtymäkohtien täytyy pysyä yhtenäisinä mittoja muutettaessa sekä tilavuuksista täytyy muodostua alkuperäinen kokonaisuus. Mallinnettavan geometrian pääpiirteet muodostetaan skitsien ja tasojen (engl. plane) avulla. Skitsi on avaruudessa olevista janoista muodostuva hahmotelma. Skitsit ovat yleensä kaksiulotteisia ja ne on kiinnitetty tasolle.

Viisi tasoa on asetettu geometrian muutoskohtiin. Kuva 3.2 näkyvät punaisella tasojen asemat. Tasot ovat nousukanavan ja syklonin yläpinnassa (1), tulokanavan alapinnassa (2), syklonin sisällä olevassa keskusputken päässä (engl. vortex finder) (3), syklonin kavennuksen alkukohdassa (4) sekä palautuskanavan alkukohdassa (5) (engl. dipleg). Tasot leikkaavat syklonin ja nousukanavan korkeussuunnassa. Leikkauspinnat syklonista ja nousukanavasta ovat ympyröitä. Nousukanavan ja syklonin yläpinnassa oleva taso on perustaso (1). Perustasosta seuraavat tasot ovat kiinnitetty ylempänä olevaan tasoon.

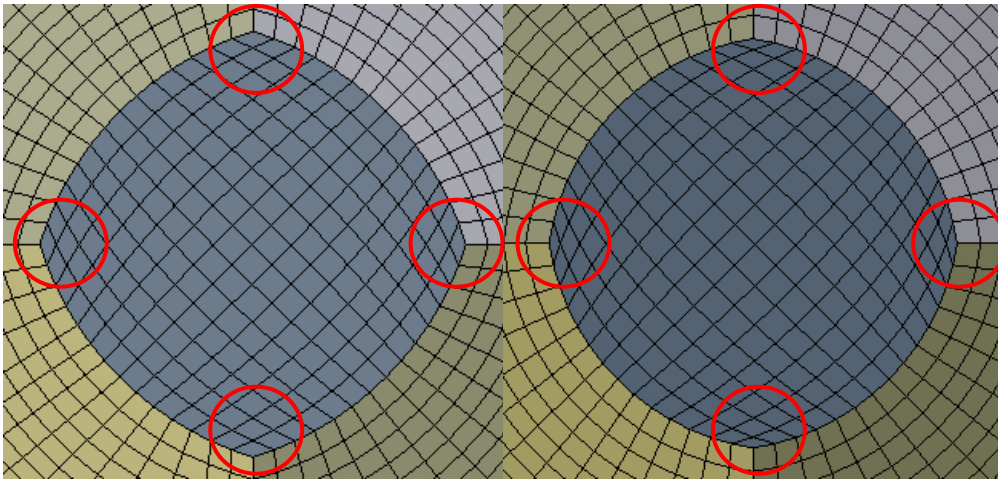


Kuva 3.2: Mallinnettava geometria on jaettu tasoihin. Tasot ovat geometrian muutoskohdissa. Tasojen paikat on esitetty punaisella viivalla. Ylin taso kuvassa on perustaso.

Nousukanavan poikkileikkaus on jaettu viiteen skitsiin (Kuva 3.3). Keskiskitsi (5) mahdollistaa rakenteellisen hilan generoinnin. Kuva 3.3 on vasemmalla skitsit ja oikealla on niiden tekemä kokonaisuus. Kuva 3.3 ovat kaarevuussäde R ja nousukanavan säde K . Vääntyneimmät elementit muodostuvat keskiskitsiin (5) tai reunoilla oleviin segmentteihin (1, 2, 3 ja 4) riippuen pyöristyssäteestä R . Vääntyneisyydellä tutkitaan elementin kulmien suhdetta suorakulmaisen heksaedrin kulmiin (Ansys Workbench 13.0, help-tiedosto). Kuva 3.4 näkyy, että pyöristyssäteen suurentuessa ulkosegmenteissä elementtien vääntyneisyys lisääntyy ja keskellä vähentyy. Kaarevuussäde R on määritetty empiirisesti tähän tapaukseen. Mitta K on parametrisoitu. Mitan K parametrisointi mahdollistaa nousukanavan säteen muuttamisen.

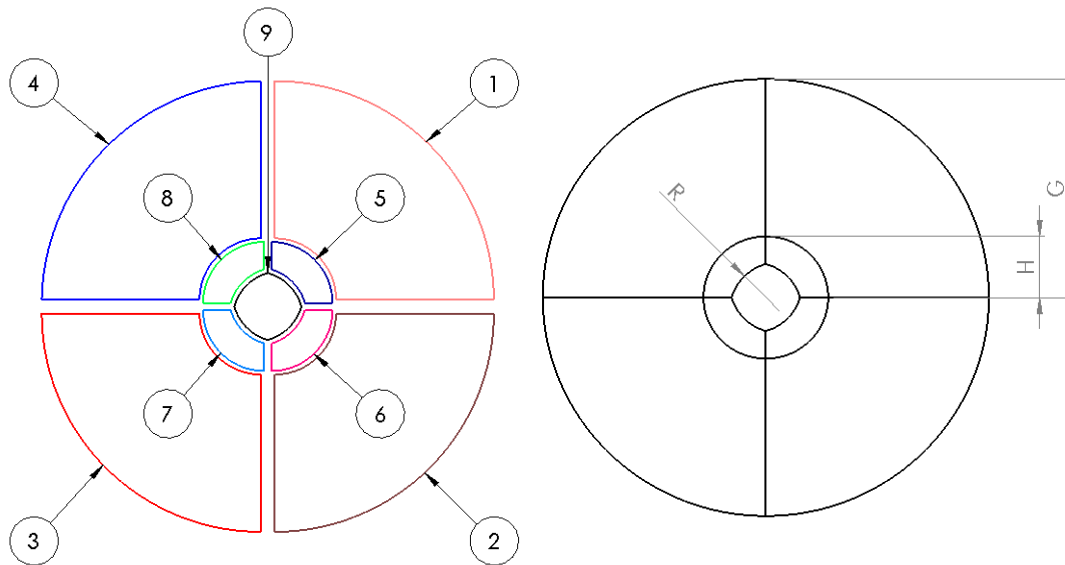


Kuva 3.3: Nousukanavan tekoon tarvitaan viisi skitsiä. Keskiskitsi (5) mahdollistaa rakenteellisen hilan generoinnin.



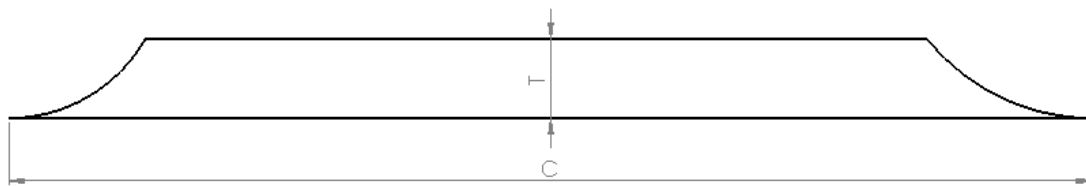
Kuva 3.4: Kuvassa vasemmalla pyöristyssäde R on 190 mm ja oikealla 150 mm. Keskisitsin pyöristyssäteen pienentyessä keskellä olevaan osaan syntyy vääntyneempiä elementtejä, mutta ulkosegmenteissä elementtien vääntyneisyys vähenee.

Syklonin poikkileikkaus on jaettu samalla tavalla skitseihin kuin nousukanava (Kuva 3.5). Keskiskitsiin (9) on liitetty keskusputken skitsit (5, 6, 7 ja 8) ja keskusputken skitseihin on liitetty syklonin ulkolaidan skitsit (1, 2, 3 ja 4). Keskiskitsillä on sama tehtävä kuin nousukanavan keskiskitsillä. Keskelle syntyvien elementtien vääntyneisyyteen vaikuttaa pyöristyssäde R . Mitat H ja G ovat parametrisoitu. Syklonin ja keskusputken sädettä voi muuttaa.



Kuva 3.5: Syklonin poikkileikkaus on jaettu yhdeksään skitsiin. Sisemmällä kehällä on keskusputken skitsit ja ulompana ovat syklonin ulkokehän skitsit.

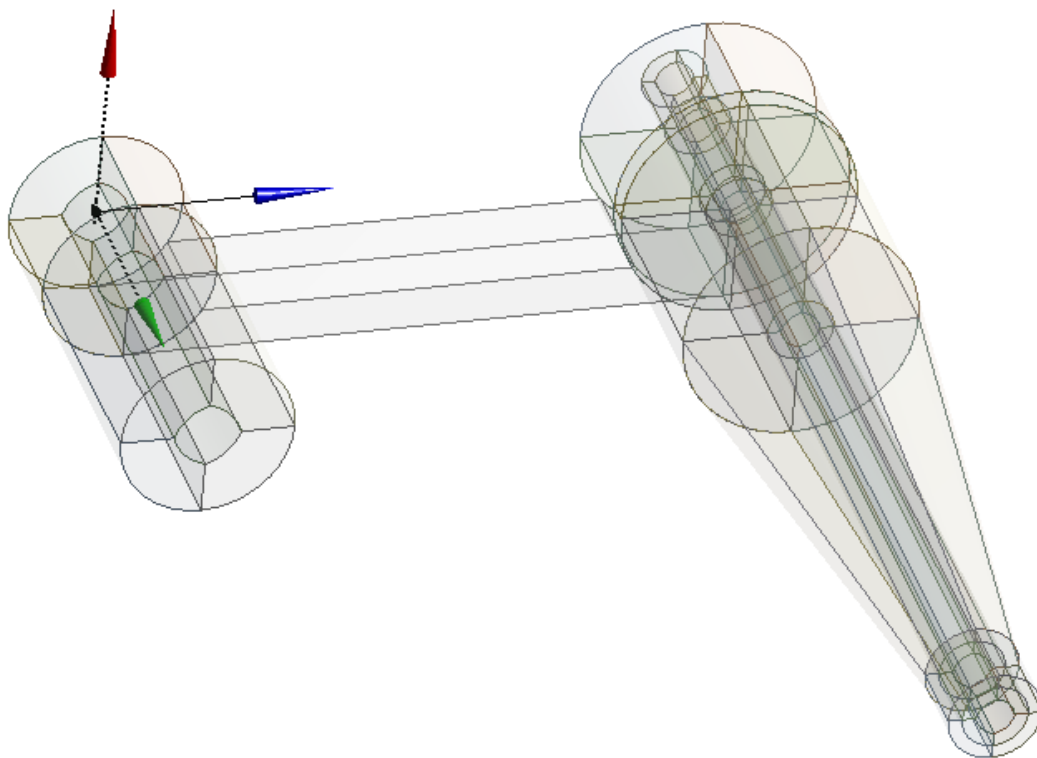
Tulokanavan leikkaus on tehty yhdellä skitsillä (Kuva 3.6). Kanavan pituus C esitetään kuvassa 3.6. Tulokanavan pituus on nousukanavan ja syklonin ulkokehille piirretyn tangentin pituus.



Kuva 3.6: Yhdyskanavan poikkileikkaus on tehty yhdellä skitsillä. Parametrisoitavia mittoja ovat pituus C ja leveys T .

Skitsit on piirretty tarvittaville tasoille. Tasoille 1 ja 2 on piirretty kaikki skitsit. Tasoille 3-5 on piirretty syklonin skitsit. Tasoilla 1 ja 2 toisiinsa liittyvät skitsit on lukittu toisiinsa. Lukitseminen estää skitsien irtaantumisen toisistaan mittojen arvoja muutettaessa. Jokaiselle tasolle on myös piirretty apuskitsejä. Apuskitsien tehtävä on estää muodonmuutokset skitseissä mittojen arvoja muutettaessa.

Eri tasoilla olevat skitsit toimivat toistensa vastinskitseinä. Vastinskitkien välille on viritetty tilavuudet. Alkuosa nousukanavasta on tehty pursottamalla (engl. extrude) tasosta 2 alaspäin. Keskusputken ulkoneva osa on pursotettu tasolta 1. Palautuskanava on pursotettu tasolta 5 alaspäin. Syntyneistä tilavuuksien pinnoista on valittu sisääntulovirtaukselle sekä poistuville virtauksille pinnat. Keskusputki syklonin sisälle on toteutettu virtuaalisella seinämällä.



Kuva 3.7: Tilavuudet on tehty pursottamalla skitsestä ja virittämällä vastinskitkien välille tilavuudet.

3.2 Hilan luonti ja parametrisointi

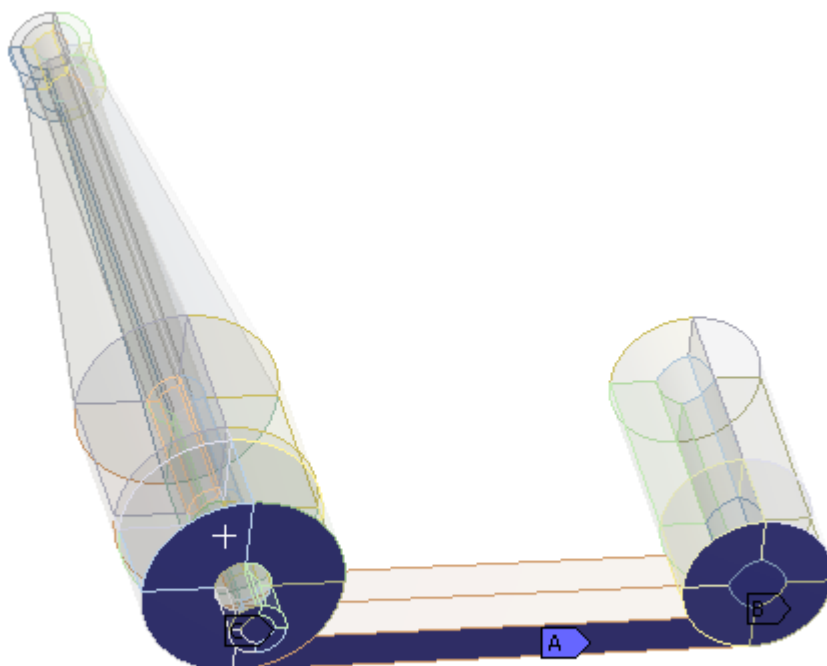
Parametrisoidun laskentahilan toteuttaminen vaatii myös parametrisoituvan hilajaon toteuttamisen. Parametrisoidulla hilajaolla hilatiheys voidaan pitää vakiona mittoja muutettaessa sekä voidaan tutkia hilatiheyden vaikutusta ratkaisuun.

Yleiset asetukset hilan generoinnille näkyvät taulukossa 1. Tummennetut arvot taulukossa on valittu hilan generointiin.

Taulukko 1: Hilan generointiin vaikuttavat yleiset asetukset. Tummennetut arvot on valittu kyseiseen malliin.

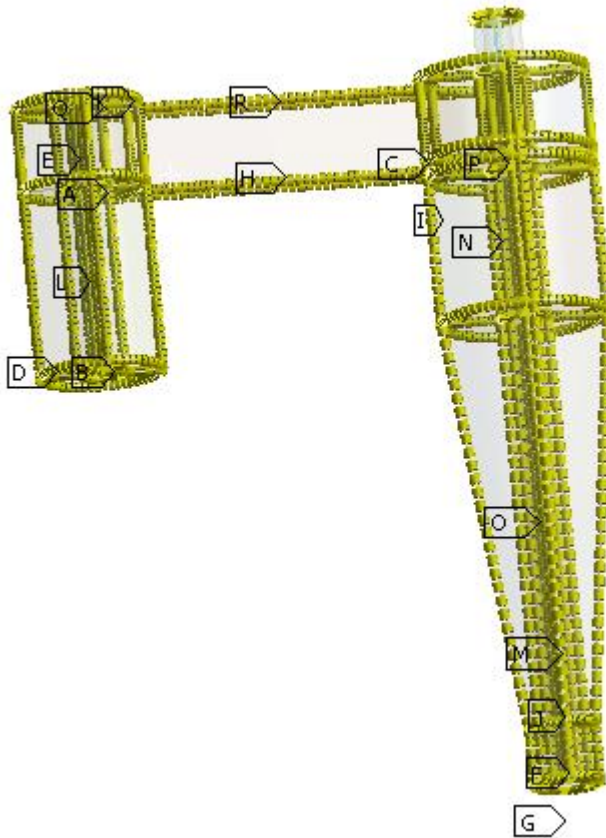
Physics preference	CFD	Mechanical	Electromagnetics	Explicit		
Solver preference	Fluent	CFX	POLYFLOW			
Advanced size fuction	Curvature	Off	Proximity	Proximity and curvature	Fixed	
Relevance center	Fine	Medium	Coarse			
Initial size seed	Active assembly	Full assembly				
Smoothing	Low	Medium	High			
Span angle center	Coarse	Medium	Fine			
Curvature normal angle	Default					
Min size	1,00E-05					
Max face size	Default					
Max size	Default					
Growth rate	Default					
Use automatic inflation	None	Program Controlled	All Faces in Chosen named			
CutCellMeshing	No	Yes				
Shape checking	Standard mechanical	Aggressive mechanical	Electromagnetics	CFD	Explicit	None
Element midside nodes	Dropped	Kept	Program controlled			
Extra retries for assembly	No	Yes				
Mesh morphing	Enabled	Disabled				
Pinch tolerance	Default					
Generate pinch on refresh	Yes	No				
Automatic mesh based defeaturing	Off	On				

Rakenteellinen pintahila -asetus on asetettu Kuva 3.7 mukaisesti yläpintoihin. Tulokanavan ulkosivuun on myös asetettu rakenteellinen pintahila -asetus. Tilavuuksiin on asetettu hilan generointia varten pyyhkäisy (engl. sweep). Pyyhkäisy generoi 3D-hilan pintahilan avulla (Ansys Workbench 13.0, help-tiedosto).



Kuva 3.7: Rakenteellinen pintahila on asetettu sinisellä korostettuihin pintoihin. Pintahila toimii pohjana 3D-hilalle.

Hilanjako on pääasiassa tehty särmä(viiva)jaolla. Särmäjako määrää kuinka moneen osaan kyseinen särmä jaetaan. Asetettujen särmäjakojen asetukset ovat ehdottomia. Hilan generointi pysyy manuaalisesti hallinnassa. Särmäjako on tasajako tai muuttuva särmän pituudessa. Särmäjaolla on myös tehty hilan tihentyminen pinnoille. Särmäjaot ovat parametrisoitu. Kuva 3.8 näkyvät särmäjaot. Särmäjaotuksen määrittelyn jälkeen hilan generointi onnistuu yhdessä osassa.



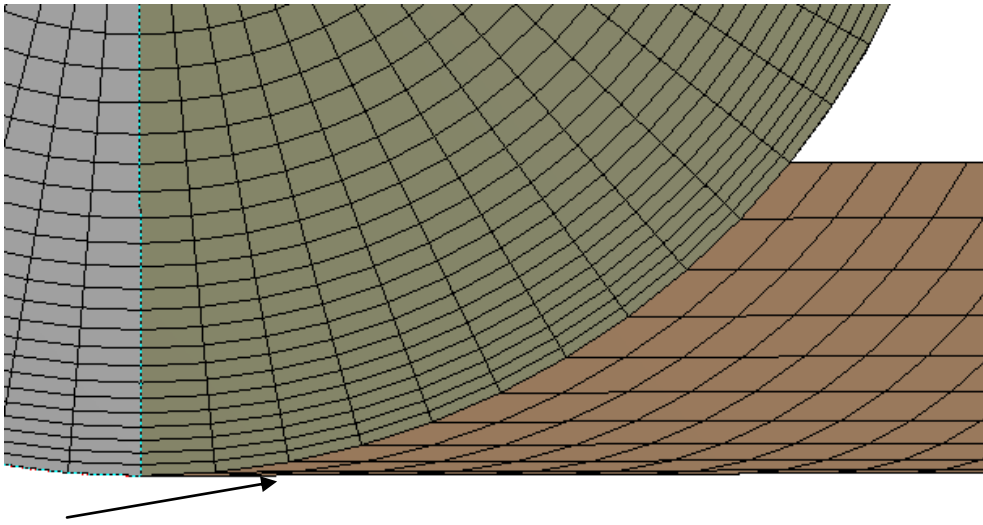
Kuva 3.8: Särmäjaot määräävät generoidun hila tiheyden ja rakenteen.

3.3 Elementtien vääntyneisyys ja vääntyneisyyden vähentäminen

Yhdyskanavaan muodostuu vääntyneitä elementtejä kyseisellä geometrialla (kuva 3.9). Vääntyneimmät elementit ovat tulokanavan molemmissa päissä. Ne sijaitsevat syklonin toiminnan kannalta oleellisessa kohdassa ja saattavat aiheuttaa huomattavan numerisen virheen ratkaisuun (Versteeg 1995, 150). Kuva 3.9 oleva nuoli osoittaa vääntyneisiin elementteihin. Vääntyneisyyttä on vähennetty kahdella eri menetelmällä:

M1. Tasajako yhdyskanavan leveydessä (T)

M2. Alimpien elementtien poistaminen eli virtauskanavan kaventaminen



Kuva 3.9: Yhdyskanavaan on muodostunut vääntyneitä elementtejä. Vääntyneet elementit ovat tangentiaalisella laidalla.

Särmäjaon tulokanavan päissä on oltava muuttuva käytettäessä menetelmää M1. Ansys Workbench 13.0-ohjelmistossa muuttuva särmäjako voidaan määrittää elementtien määrällä sekä pienimmän ja suurimman elementin sivujen suhteella. Syklonin ja nousukanavan kehällä olevan elementin sivun pituus on suoraan verrannollinen keskuskulmaan β . Elementin leveys h , asema kehällä ja sykloni/nousukanavan säde r määräävät keskuskulman β (Kuva 3.10). Pitämällä h vakiona keskuskulma β suurenee lähestyttäessä tangentiaalista reunaa. Kulma β voidaan ratkaista yhtälöllä

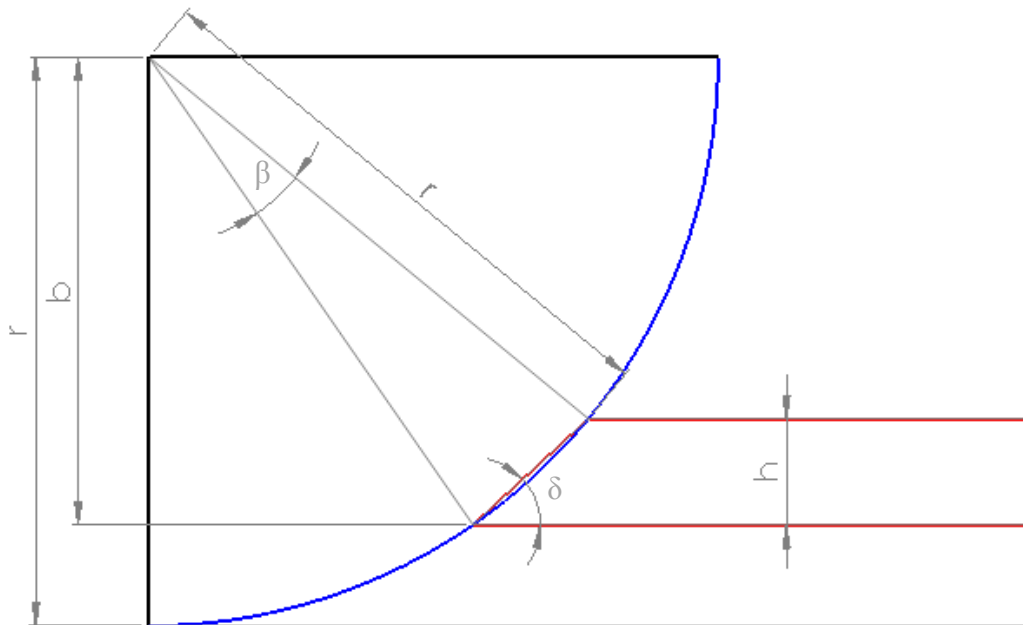
$$\beta = \cos^{-1} \left(\frac{h^2 \left(\frac{1}{\tan^2 \delta} + 1 \right)}{-2r^2} + 1 \right) \quad (1)$$

r säde [mm]

h elementin korkeus [mm]

β keskuskulma [rad]

δ apukulma [rad]



Kuva 3.10: Keskuskulma β on riippuvainen säteestä, elementin asemasta kehällä ja elementin leveydestä.

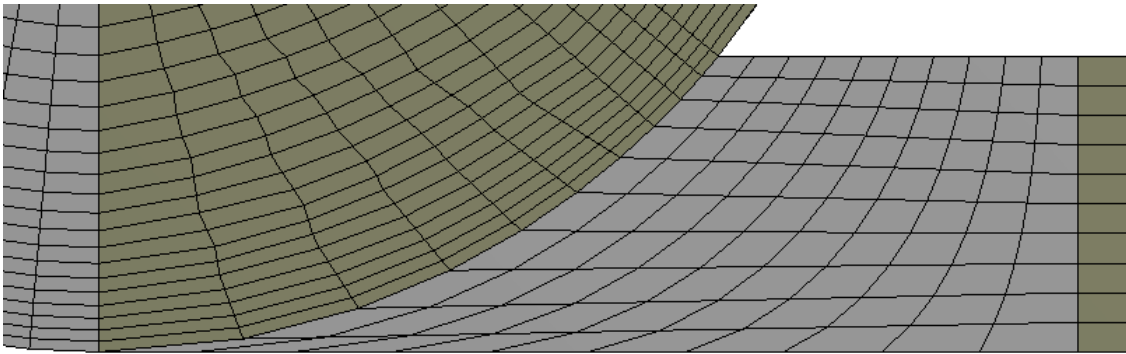
Yhtälössä (1) esiintyy δ .

$$\delta = \pi - \frac{\pi - \beta}{2} - \sin^{-1}\left(\frac{b}{r}\right) \quad (2)$$

b Janan jatkeen kohtisuora etäisyys keskipisteestä [mm]

Suurimman ja pienimmän keskuskulman suhteella saadaan määritettyä pienimmän ja suurimman elementin sivujen suhde.

Hilan generoimisen helpottamiseksi tulokanava on myös jaettu kolmeen osaan. Jako kolmeen osaan vähentää vääntyneisyyttä yhdyskanavan keskellä. Tasajako leveyssuunnassa ei onnistunut menetelmällä M1 (Kuva 3.11). Keskuskulmien muutos ei ole lineaarinen Kuva 3.10 esitettyssä tapauksessa. Tästä johtuen tasajako tulokanavan leveyssuunnassa ei onnistunut. Saavutettu hila sisältää vielä vääntyneitä elementtejä. Muutokset geometriassa vaikuttivat myös hilan generointiin. Hila on generoitava osissa.



Kuva 3.11: Syklonin ja yhdyskanavan yhtymäkohtaan on tehty tulokanavan leveysuunnassa lineaarisesti kasvava särmäjako. Lineaarisesti kasvavalla särmäjaolla ei saavuteta tasajakoa tulokanavan leveysuunnassa.

Menetelmä M2 on toteutettu hyödyntämällä yhtälöä (1). Yhtälöllä (1) voidaan laskea kavennuksen leveys, jos tiedetään keskuskulma β ja asema kehällä. Pidettäessä syklonin kehäjako ja nousukanavan kehäjako tasajakona tiedetään keskuskulma jokaiselle sektorille.

$$\beta_t = \frac{2 \cdot \pi}{n} \quad (3)$$

n jakomäärä [-]

Tulokanavaa on kavennettu kahden alimmaisena elementin verran. Kavennuksen määrä saadaan laskettua muokkaamalla yhtälö (1).

$$P_{\text{tot}} = \sum_1^k \sqrt{2r^2(1 - \cos \beta)} \cdot \sin \left(\pi - \left(\frac{\pi - \beta_t}{2} \right) - \sin^{-1} \left(\frac{r - P_{\text{tot},k-1}}{r} \right) \right) \quad (4)$$

k kavennuksien määrä [-]

P kavennus [mm]

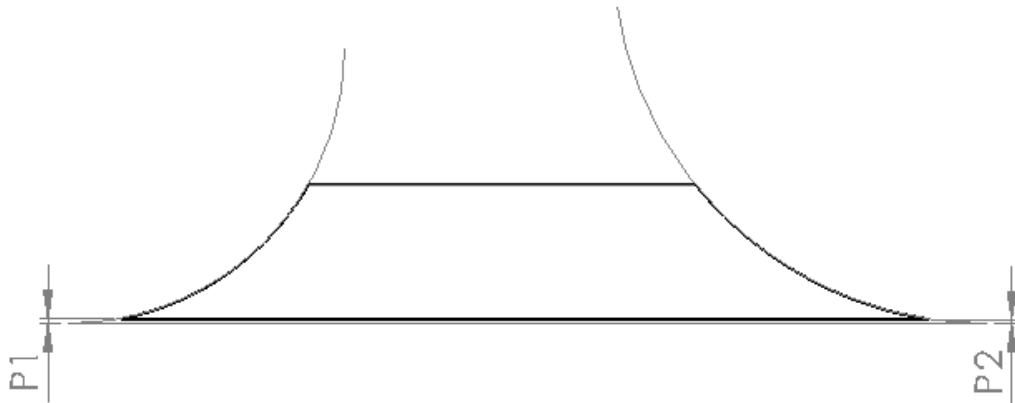
Yksittäisen kavennuksen suuruus kasvaa kavennuksien määrän kasvaessa. Kavennus aiheuttaa virtauskanavan pienentymisen ja virtausnopeuden suurentumisen. Suhteellinen kaventuminen on määritetty yhtälöllä (5).

$$k_{\text{suh}} = \frac{T - h_{\text{tot}}}{T} \quad (5)$$

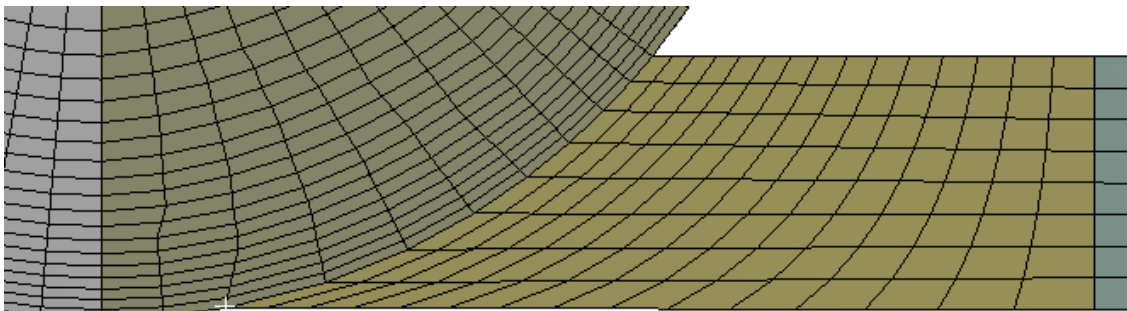
k_{suh} suhteellinen kaventuminen [-]

T yhdyskanavan leveys [mm]

Elementtien poistaminen vaatii geometriaan muutoksia. Geometrian muuttaminen on tehty muuttamalla tulokanavaskitsiä. Tulokanavaskitsiin on määritetty uusia mittoja. Kuva 3.12 on esitetty kavennuksen määrittävät mitat. Tulokanava on myös jaettu kolmeen osaan. Jako kolmeen osaan vähentää vääntyneisyyttä tulokanavan keskellä. Tulokanavan jako kolmeen osaa tuotti uusia särmiä. Särmiin on asetettu särmäjaot. Vääntyneisyyttä on lisäksi vähennetty laskemalla särmäjako samalla tavalla kuin Kuva 3.11. Muutokset geometriassa vaikuttivat hilan generointiin. Hila on generoitava osissa. Lopputulos muutetusta kohdasta näkyy Kuva 3.13. Vääntyneisyys on vähentynyt alimmaisissa elementeissä. Sykloniin syntyy lievästi vääntyneitä elementtejä. Tulokanavan liittyminen sykloniin ja nousukanavaan ei ole enää tangentialinen.

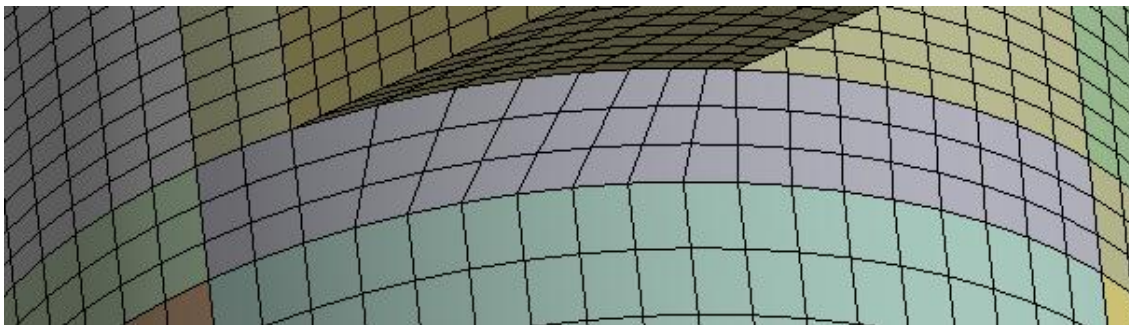


Kuva 3.12: Kavennus on toteutettu muuttamalla tulokanavaskitsiä. Mitat P_1 ja P_2 määrittelevät kavennuksen. Määrittelemällä erikseen kavennus molemmissa päissä, voidaan asettaa molempiin päihin erisuuruinen kavennus.



Kuva 3.13: Kavennus poisti vääntyneimmät elementit. Tulokanavan jakaminen kolmeen osaan vähensi elementtien vääntyneisyyttä yhdyskanavan keskellä.

Menetelmät M1 ja M2 vaikuttavat myös muihin kohtiin kuin tulokanavaan. Tulokanavan päähän liittyvät elementit eivät ole suorita syklonissa (Kuva 3.14). Sama ilmiö toistuu myös tulokanavan toisessa päässä, mutta pidemmällä matkalla. Menetelmä M2 on valittu lopulliseen malliin.



Kuva 3.14: Tulokanavan alapuolelle syntyy tulokanavan hilajaosta johtuen vääntyneitä elementtejä.

4 PARAMETRISOITUJEN ARVOJEN MUUTTAMINEN

Geometria on generoitu tasoissa. Tasojen käyttäminen on mahdollistanut tasojen välisten pituusmittojen muuttamisen yhdellä arvolla. Mitat B , D , E ja F määräytyvät tasoilla. Tasojako on myös tuottanut rajoitteita. Tasojen täytyy olla kuvan 3.2 esittämässä järjestyksessä. Tason 3 keskitys on tarkistettava muutettaessa mittojen C , G , ja K arvoja. Geometrian jako tasoihin vaikuttaa myös skitseihin ja niissä esiintyviin mittoihin. Skitseissä olevat säteet täytyy asettaa jokaiselle tasolle erikseen. Lisäksi muutettaessa yhdyskanavan pituutta, leveyttä tai kavennusta mitat täytyy asettaa tasoille 1 ja 2 erikseen.

Särmäjakoja asetettaessa täytyy ottaa huomioon jatkuvuus, syntyvien elementtien tilavuudet, elementtien muotosuhde ja elementtien vääntyneisyys. Särmäjakoja on mahdollistettava rakenteellisen hilan generointi. Lohkosta toiseen siirryttäessä elementtien koko saattaa muuttua paljon. Tulokanavassa olevien elementtien vääntyneisyys suurenee elementtikokoa pienennettäessä.

4.1 Parametrien hyväksyttävät arvot

Parametreille asetettavien arvojen rajoitteet ovat fysikaalisia, matemaattisia ja geometrian jaon lopputulos. Huomioitavia asioita ovat:

- Mittojen ja tilavuuksien täytyy olla positiivisia

- Tilavuudet eivät saa olla sisäkkäin
- Tulokanavan leveys (T) on oltava pienempi kuin syklonin tai nousukanavan säde
- Keskusputken (H) ja nousukanavan säteiden (K) täytyy olla suurempia kuin niiden keskellä olevan keskiskitsin säde
- Mittoja muutettaessa ei saa hävitä tai muodostua uusia särmiä
- Särmäjäoilla täytyy olla mahdollista muodostaa rakenteellinen hila
- Lähestyttäessä elementtien nolatilavuutta hilan generointi saattaa epäonnistua

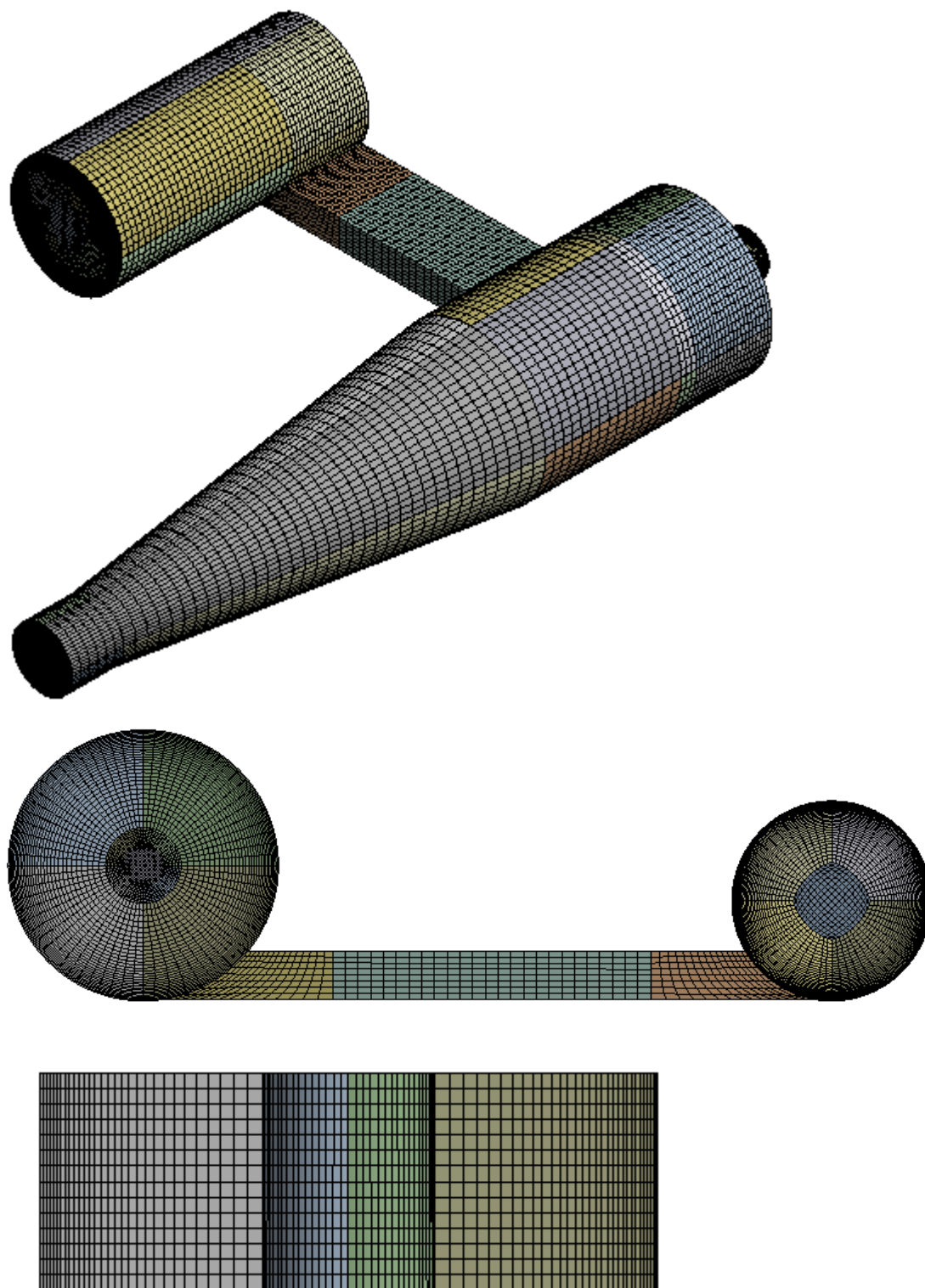
4.2 Esimerkkitapaukset

Geometrian ja hilan generointia voidaan tutkia erilaisin esimerkein. Esimerkki I sisältää alkuperäiset arvot. Esimerkissä II kaikkia mittoja on pienennetty satunnaisesti ja esimerkissä III mittoja on suurennettu satunnaisesti. Taulukossa 2 on esitetty mittojen arvot eri esimerkeissä. Symbolit taulukossa 2 viittaavat kuvan 3.1 merkintöihin.

Taulukko 2. Esimerkkitapauksien I, II ja III mittojen lukuarvot. Merkinntä viittaavat kuvaan 3.1 merkintöihin.

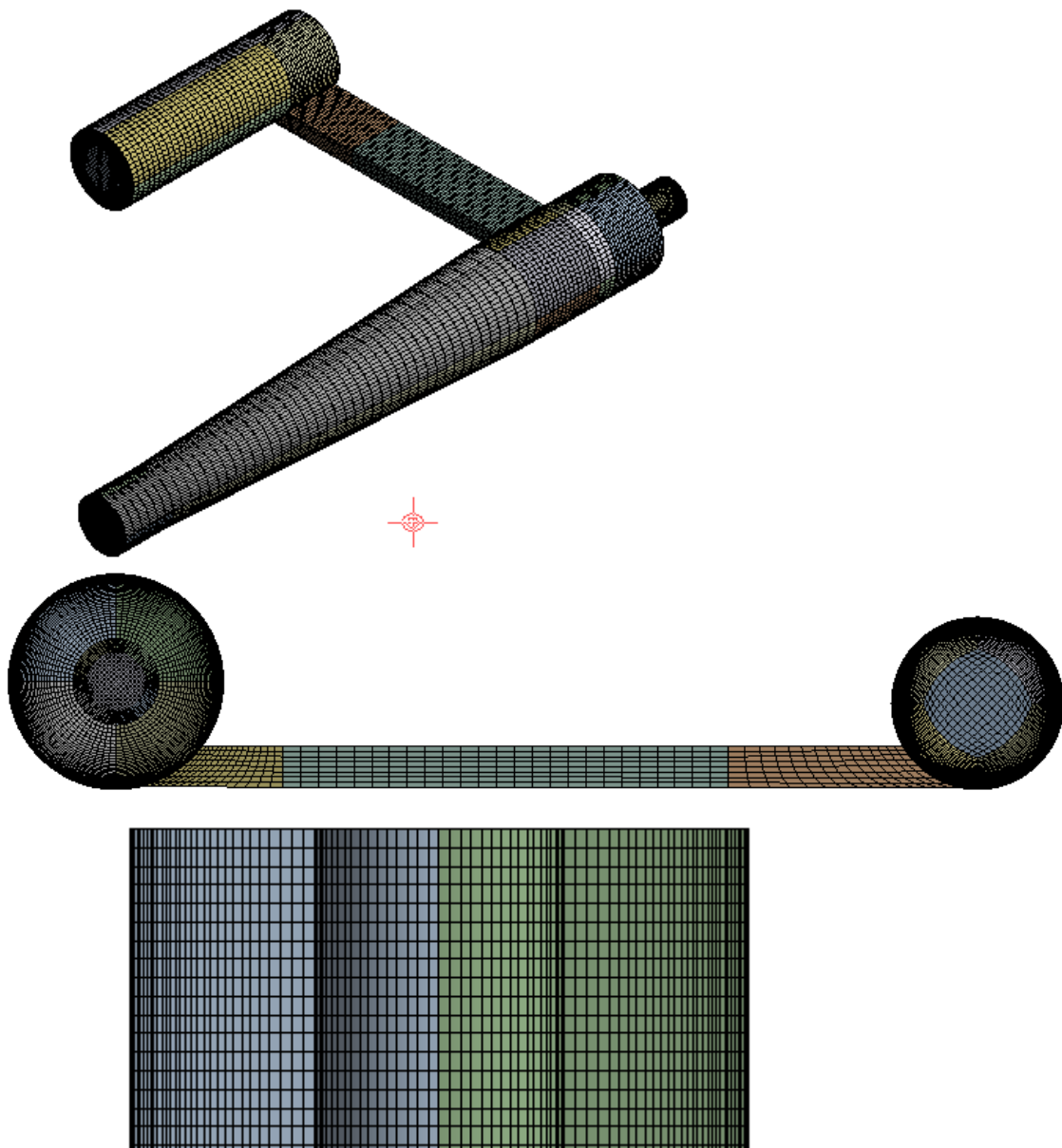
	I	II	III	
F	440	300	500	Tulokanavan korkeus
G	880	500	900	Syklonin säde
H	247	200	300	Keskusputken säde
E	2200	1800	2500	Syklonin kartio-osan
B	3520	3000	3500	Syklonin korkeus
K	650	400	800	Nousukanavan säde
L	350	300	400	Palautuskanavan säde
C	2240	2000	2400	Tulokanavan pituus
T	163	100	180	Tulokanavan leveys
D	530	400	600	Keskusputken korkeus

Kuvassa 4.1 näkyy valmis kokonaisuus. Kokonaisuutena on rakenteellinen laskentahila. Alaviistosta katsottaessa näkyy hilajaon jatkuvuus. Hila tihenee syklonin ja nousukanavan ulkoreunoja lähestyttäessä. Hila on myös rakenteellinen sisältä. Leikkaus on syklonin yläosasta keskusputken kohdalta. Keskiosat (keskiskitsit) eivät ole hallitsevassa roolissa eivätkä ne ole ongelma hilan generoinnille.



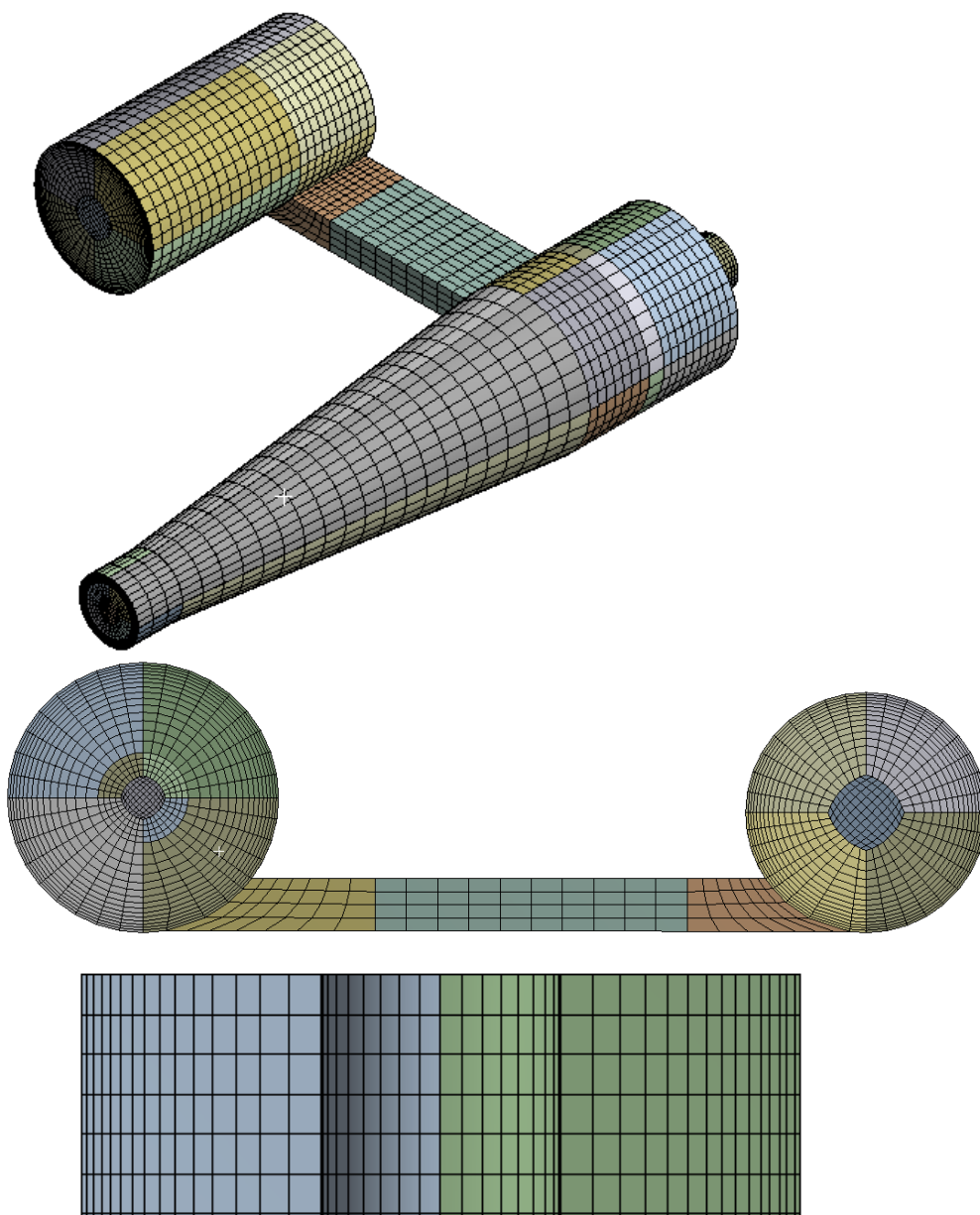
Kuva 4.1. Esimerkki I sisältää alkuperäiset mitat. Syklonin ja nousukanavan keskiosa eivät hallitse rakennetta. Hila on myös rakenteellinen sisältä.

Esimerkin II generointi onnistuu tunnissa alkuperäisestä geometriasta. Särmäjaot ovat samat kuin esimerkissä I. Keskiskitsit korostuvat (Kuva 4.2). Etenkin nousukanavan keskiskitsi on hallitseva. Nousukanavan keskiosassa on huomattavasti suurempia elementtejä kuin sen ympärillä. Säteiden ja tulokanavan muuttaminen on vaikuttanut tulokanavan päiden mittasuhteeseen.



Kuva 4.2. Esimerkissä II keskiskitsit ovat merkittävässä osassa. Nousukanavan keskiskitsi on etenkin suuri verrattuna koko nousukanavaan. Keskiosassa on huomattavasti suuremmat elementit kuin sen ympärillä.

Esimerkissä III on käytetty harvempaa hilajakoa ja geometria on suurempi kuin esimerkissä I. Lopputuloksena on, että elementit ovat suurempia kuin muissa esimerkeissä (kuva 4.3). Keskisitsit eivät ole ratkaisevassa asemassa hilan generoinnin kannalta. Tulokanavaan liittyvässä syklonin osassa yksi hilaviiva on vääntynyt enemmän kuin esimerkissä I. Tämä aiheuttaa vääntyneisyyttä kyseiselle alueelle elementteihin.



Kuva 4.3. Geometria on suurempi. Särmäjakoa on myös harvennettu. Lopputuloksena ovat suuremmat elementit.

4.3 Parametrisoidun mallin kehittäminen

Mallin parametrisointia on mahdollista laajentaa. Mallin rajoitteina ovat esimerkiksi yhdyskanava ja keskiskitsit. Muuttamalla tulokanavan keskiosaa ja keskiskitsejä saataisiin laajennettua mallin muokkautuvuutta. Hilan rakentumista voisi muuttaa seuraavilla menetelmillä:

- Tehdä omat tilavuudet rajakerroksille ja asettaa niihin särmäjaot
- Käyttää ohjelmiston omaa rajakerrostyökalua
- Määrittää tilavuuksiin maksimi elementin koko

Edellä mainituissa menetelmissä haastavuutena on rakenteellisen hilan generointi.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Monimutkaisille geometrioille rakenteellisen hilan generointi vaatii monilohkoista hilaa. Monilohkoisuus on toteutettava Ansys Workbench - ohjelmistossa jakamalla geometria pienempiin lohkoihin. Parametrisointi vaikeuttaa geometrian ja hilan generointia. Työläin osuus on kokonaisuuden toimivana pitäminen. Lohkot saattavat vaatia muutoksia hilaa generoitaessa tai parametrisoitaessa.

Arvoja voi muuttaa Ansys Workbench 13.0 – ohjelmassa olevan työkalun avulla. Arvoja voi asettaa vapaasti, mutta itse käyttäjän täytyy arvioida tulos. Fysikaalisia mahdottomuuksia voi syntyä ja hila voi muuttua rakenteettomaksi. Epäjatkuvuudet geometriassa yleensä johtavat hilan generoinnin epäonnistumiseen. Mittojen muuttuminen paljon alkuperäisistä arvoista vaikeuttaa hila generointia.

Pelkkien ulkopuolisten kuvien tarkastelulla ei voida arvioida hilan laatua. Hilan laadun arviointiin voidaan käyttää erilaisia työkaluja. Eri työkalut etsivät ja näyttävät vääntyneet elementit. Leikkauksilla voi myös etsiä hilan ongelmakohtia. Kuitenkin tärkeimpänä työkaluna voidaan pitää itse virtauslaskentaa. Virtauslaskennan avulla voidaan tutkia onko ratkaisu (laskettu virtauskenttä) laskentahilariippuvainen. Hilariippuvaisella ratkaisulla tarkoitetaan, että ratkaisu riippuu hilan rakenteesta eikä geometriasta ja fysiikasta.

Kokonaisuutena on todettava, että Ansys Workbench 13.0 - ohjelmalla voidaan tehdä rakenteellinen ja parametrisoitu laskentahila syklonierottimeen. Useimpia geometrian mittoja pystytään muuttamaan ja voidaan säätää syntyvää hilajakoa. Tangentiaalista sisääntuloa ei pystytty luomaan. Tämä johtuu luultavammin geometrian asettamasta haastavuudesta. Parametrisoidun laskentahilan luonti on hidas ja työläs prosessi. Yksittäistä laskentamallia varten ei kannata luoda parametrisoitua laskentahilaa.

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tehdä virtauslaskennalle parametrisoitu rakenteellinen laskentahila. Työn tavoitteet saavutettiin, mutta tiettyjä rajoitteita ilmeni. Geometria on tehty skitsien ja tasojen avulla. Tasot mahdollistivat nousukanavan ja syklonin osien pituuksien muutokset yhdellä parametrilla. Tangentiaalinen sisääntulo aiheutti ongelmia, mikä johti tulokanavan muutokseen. Tulokanavaa on kavennettu tangentiaaliselta laidalta. Hilajaon parametrisointi on tehty särmäjakojen avulla. Tietyillä reunaehdoilla arvojen muuttaminen on helppoa. Geometriassa suuret muutokset aiheuttavat ongelmia.

Saavutetun hilan laatu täytyisi tarkistaa virtauskentän ratkaisijan avulla. Ratkaisun avulla pystytään tarkentamaan laskentahilaa oikeista kohdista ja toteamaan parametrisoidun laskentahilan toimivuus. Parametrisoidun laskentahilan tekeminen vaatii paljon aikaa. Tästä johtuen parametrisoitua laskentahilaa ei ole kannattavaa tehdä yhtä mallia varten.

LÄHDELUETTELO

Ansys, Inc. 2010. Ansys Workbench 13.0 –help file.

Basu, Prabir. 2006. Combustion and Gasification in Fluidized Beds. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, ISBN: 0-8493-750-8400

Fredriksson, Cristian. 1999. Exploratory Experimental and Theoretical Studies of Cyclone Gasification of Wood Powder. Doctoral thesis. Luleå Tekniska Universitet. Institutionen för Maskinteknik/Avdelningen för Energiteknik. Luleå, 151

Hirsch, Charles. 2007. The Fundamentals of computational fluid dynamics, second edition. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-7506-6594-0

Nevalainen, Teemu. 2002. Syklonin Mallinnus. Kongressi- ja kylpylähotelli Caribia. Turku 29. ja 30. elokuuta 2002. Foster Wheeler Energia Oy

Versteeg, H. K. ja Malalasekera, W. 2007. An Introduction to Computational Fluid Dynamics, second edition. Edinburgh: Pearson. ISBN: 978-0-13-127498-3

Zenz, Frederick. 2001. Cyclone-Design Tips. Teoksessa: Suzanne Shelley, Gas-Solid and Liquid-Solid Separation. Chemical Engineering