



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

Porleválasztó ciklonok geometriai paramétereinek vizsgálata

**OE-BGK
2022.**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

**Kovács Miklós
T005779/FI12904/B**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Kovács Miklós

Szakedolgozat száma: SZD21030312234189

Törzskönyvi száma: T005779/F112904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Porleválasztó ciklonok geometriai paramétereinek vizsgálata

A dolgozat címe angolul: Investigation of geometrical parameters in dust separation cyclones

A feladat részletezése:

1. Röviden ismertesse a szakedolgozat célkitűzéseit!
2. Végezzen kutatást a szakirodalomban a megoldandó feladattal kapcsolatosan!
3. Tervezze meg és mutassa be a szimulációhoz és a mérésekhez használni kívánt ciklonokat, végezze el a feladathoz szükséges számításokat!
4. Szimulációs szoftver segítségével határozza meg a tervezett ciklonok áramlási viszonyait!
5. Készítse el a ciklonok modelljeit, ismertesse és végezze el a szükséges méréseket!
6. Foglalja össze az eredményeket, hasonlítsa össze a számítások, a szimulációs vizsgálatok, illetve a mérések eredményeit!

Intézményi konzulens neve: Dr. Czifra György

A kiadott téma elévülési határideje: 2023. május 15.

Beadási határidő: 2021. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2021. 10. 27.

P.H

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom:

Dr. Czifra György

belső konzulens

Digitálisan aláírta: Dr. Czifra György
DN: cn=Dr. Czifra György, o=BGK
AGI, ou=Óbudai Egyetem, BGK,
email=czifra.gyorgy@bgk.uni-
obuda.hu, c=HU
Dátum: 2022.12.08 20:01:23 +01'00'

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022. 12. 09.

.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	6
2.	Szakirodalom elemző feldolgozása	7
2.1	Porleválasztó készülékek osztályozása	8
2.1.1	Szűrőtípusú porleválasztók	8
2.1.2	Mechanikus porleválasztók.....	9
2.2	Mechanikus porleválasztó készülékek ismertetése	9
2.2.1	Gravitációs erőn alapuló porleválasztók.....	9
2.2.2	Ütközéses porleválasztók.....	12
2.2.3	Rotációs porleválasztók	13
2.2.4	Tehetlenségi erőn alapuló porleválasztók.....	14
3.	A ciklon típusú porleválasztó berendezések részletes ismertetése	16
3.1	Történeti áttekintés.....	16
3.2	A ciklonok működésének ismertetése	18
3.3	A ciklonok áramlási viszonyainak ismertetése	19
3.4	A ciklonok különböző kialakításának ismertetése	21
3.5	Az egyes ciklon kialakítások részletes ismertetése.....	22
3.5.1	Spirális kialakítású ciklonok.....	22
3.5.2	Tangenciális kialakítású ciklonok.....	24
3.5.3	Axiális kialakítású ciklonok.....	26
3.6	A különböző kialakítású ciklonok összehasonlítása:	28
4.	Saját munka.....	29
4.1	A dolgozat saját munka részének rövid bemutatása, a célkitűzések ismertetése 29	
4.2	A ciklonok portalanítási fokának ismertetése	30
4.2.1	A leválasztható határszemcse ismertetése	30
4.2.2	A Barth elmélet ismertetése.....	34
4.3	A számításokban, szimulációkban és mérésekben bemutatott ciklonok paramétereinek ismertetése.....	36
4.3.1	Az „1” -es számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása ..	38

4.3.2	Az „2” -es számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása ..	39
4.3.3	Az „3” -as számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása ..	40
4.3.4	Az „4” -es számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása ..	41
4.3.5	Az „5” -ös számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása ..	42
4.3.6	Az „6” -os számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása ..	43
4.4	Az elvégzett szimulációk és azok eredményeinek ismertetése	44
4.4.1	A D60-as ciklon szimulációs eredményei	53
4.4.2	A D120-as ciklon szimulációs eredményei	55
4.4.3	A D180-as ciklon szimulációs eredményei	57
4.5	Az elvégzett szimulációk megállapításai, az eredmények értékelése	59
4.5.1	A nyomásállapotok értékelése	59
4.5.2	A sebességállapotok értékelése	60
4.5.3	A szimulációs eredmények összevont értékelése	61
4.6	A mérés, a mérés során használt eszközök és a mérési összeállítások bemutatása	61
4.6.1	A mérési folyamat ismertetése	61
4.6.2	A mérési minták előkészítése	64
4.6.3	A mérési összeállítások ismertetése	65
4.6.4	A mérési eredmények ismertetése	68
5.	Összefoglalás	69
6.	Summary	71
7.	Felhasznált irodalom vagy Irodalomjegyzék	73
8.	Mellékletek	74

1. Bevezetés

A szakdolgozatomban a porleválasztó ciklonok geometriai paramétereinek vizsgálatát szeretném több aspektusból bemutatni.

Köztudott tény, hogy az ipar számos területén a különböző anyagi minőségű porok kedvezőtlen hatást gyakorolnak az előállítandó termékekre. Ezen hatások mértéke az esztétikai problémáktól egészen az elvart vagy elvárható felületi minőségig, érdességig terjedhet.

Dolgozatomban a porleválasztó berendezések közül az iparban gyakran használt ciklonok egy típusának geometriai paramétereinek vizsgálatát szeretném bemutatni, felhasználva a témával kapcsolatos elméleti ismereteket, számítási módszereket és a mai modern szimulációs és modellezési lehetőségeket.

A modell elkészítését követően empirikus módszerekkel, valós mérések elvégzését követően összehasonlításra kerülnek az egyes módszerek során kapott eredmények.

Az egyes vizsgálati módszerek eredményeit összehasonlítva valós képet kaphatunk arról, hogy a porleválasztásban használt ciklonok mely geometriai paramétereinek módosításával juthatunk számunkra kedvező eredményekhez.

2. Szakirodalom elemző feldolgozása

A porleválasztó berendezések vizsgálatát megelőzően először is szükséges tisztáznunk a por fogalmát, melyet illetően a szakirodalmak a por sokféle előfordulása miatt egységes definíciót nem használnak, hanem a pormeghatározás során annak szemcse nagyságát, esési sebességét, vagy egyéb jellemzőit veszik alapul. A por legfontosabb paramétere a szemcseméret. Ennek értelmében pornak nevezik azt az apró, tetszőleges alakú, szerkezetű és sűrűségű szilárd szemcsét, illetve szilárd szemcsékből álló halmazt, melyben a legtöbb szemcse mérete kisebb mint 500 μm . [1]

„A por mindig két-, sőt néha három fázisú rendszer, akár lebegő állapotban, akár laza halmazban jelentkezik, mert levegő vagy más gáz mindig van jelen, amelyet esetleg folyadék helyettesít.” [2] (13)

Egy másik meghatározás szerint: „A levegőt szennyező szilárd részecskéket általában poroknak nevezünk. A porok méretük, alakjuk, kémiai összetételük és fizikai tulajdonságaik alapján igen sokfélék lehetnek. A por fogalmának meghatározására is sokféle definíció létezik. Az egyik lehetséges definíció szerint a por olyan szilárd halmazállapotú részecskékből és gázból /levegőből/ álló heterogén diszperz rendszer, amelyben a részecskemérete széles határok között változik.

Porleválasztás szempontjából a por meghatározására a következő definíció terjedt el: a por apró, tetszőleges alakú és sűrűségű szilárd részecskékből álló diszpergált anyag, amely elsősorban gázfázisú diszperziós közeggel egy kétfázisú diszperz rendszert alkot. Porszemcsének azok a részecskék tekinthetők, amelyek 101325 Pa nyomáson és 20 °C hőmérsékleten egy rövid felgyorsulási szakasz után közel állandó, 300 cm/s-nál nem nagyobb sebességgel ülepednek, és legnagyobb vetületi méretük 2000 μm -nél kisebb. A porok eredetük szerint természetes forrásokból (talaj mállása, erdőtüzek, vulkánkitörések stb.) származhatnak, illetve emberi tevékenység eredményeként kerülhetnek a légterbe. Az atmoszférába található részecskék mérete 0,005-500 μm tartományba esik.” [3] (145-146); [4] (125.)

2.1 Porleválasztó készülékek osztályozása

A porleválasztó berendezések osztályozására több szempontrendszer alapján nyílik lehetőség, ám a legkézenfekvőbb ezek közül a működési elv szerinti osztályozásuk.

A készülékekben lezajló folyamatokat vizsgálva két nagy csoport különíthető el:

- szűrőtípusú leválasztók
- erőhatáson alapuló leválasztók [1]

2.1.1 Szűrőtípusú porleválasztók

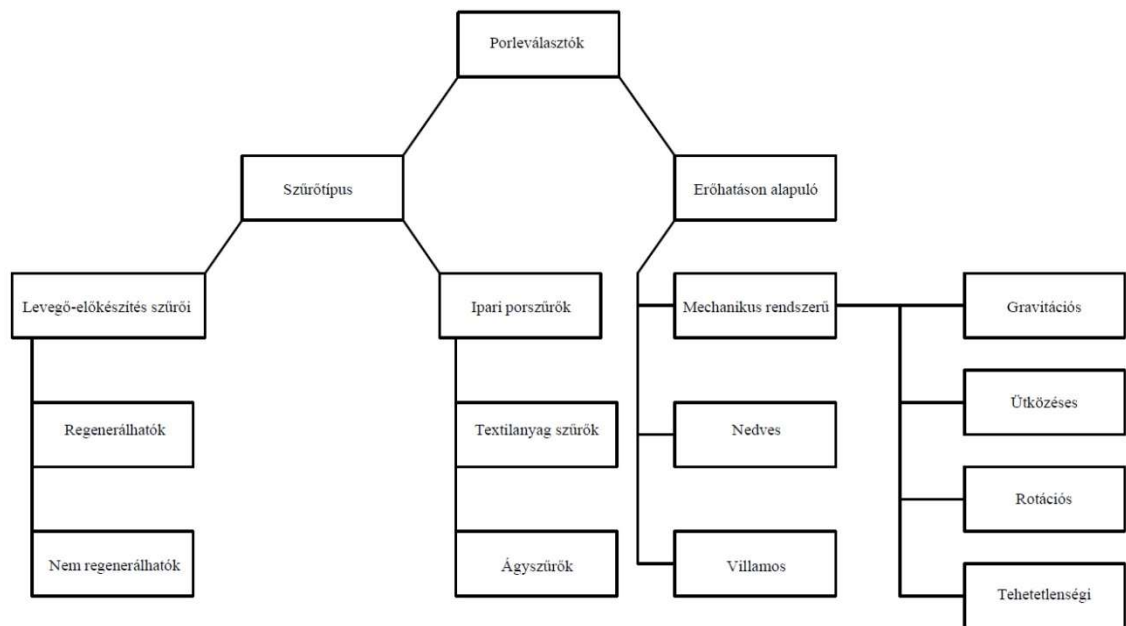
A szűrőtípusú porleválasztókat alkalmazási módjuknak megfelelően további két csoportba oszthatjuk:

- ipari porszűrők
 - a szűrőanyag kialakításának formája szerint:
 - zsákos
 - tömlős
 - táskás szűrők
 - a szűrőközeg anyaga szerint:
 - textilanyagú
 - ágyszűrő
 - az elporosodott szűrőanyag tisztító rendszerének működési elve szerint:
 - sűrített levegő lefúvatással tisztított szűrők
 - atmoszferikus levegő lefúvatásával tisztított szűrők
 - ellenáramú levegővel való átöblítéssel tisztított szűrők
 - mechanikus hatással (rázás, rogyasztás, ultrahang stb.) tisztított szűrők
- levegő-előkészítés szűrők:
 - regenerálható (felújítható) szűrők
 - nem regenerálható (nem felújítható) szűrők [1]

2.1.2 Mechanikus porleválasztók

A mechanikus porleválasztók csoportján belül az alábbi rendezési elv ismert:

- gravitációs erőt hasznosító porleválasztók
- ütközéses porleválasztók
- rotációs porleválasztók
- tehetetlenségi (inerciális) erőt hasznosító porleválasztók [1]



1. ábra. Porleválasztó berendezések osztályozása [1]

2.2 Mechanikus porleválasztó készülékek ismertetése

A dolgozatom kutatási fejezetében a mechanikus porleválasztó készülékek családjából a ciklon típusú porleválasztó rendszerek kerültek górcső alá, ezért az elméleti áttekintőben az alábbi fejezetekben az ismertebb mechanikus porleválasztó berendezések kerülnek ismertetésre.

2.2.1 Gravitációs erőn alapuló porleválasztók

Ebbe a kategóriába az úgynevezett porkamrák tartoznak, melyek méretüket tekintve igen kiterjedt berendezések. A kamrában a leválasztani kívánt részecskére függőleges

irányban a gravitációs erő, továbbá az áramlás során fellépő, vízszintes irányú súrlódási erő hat.

A porkamrában a leválasztás az alábbi összefüggés alapján valósul meg [1]:

$$\frac{l}{v_p} = \frac{h}{v_e} \quad (2.1.)$$

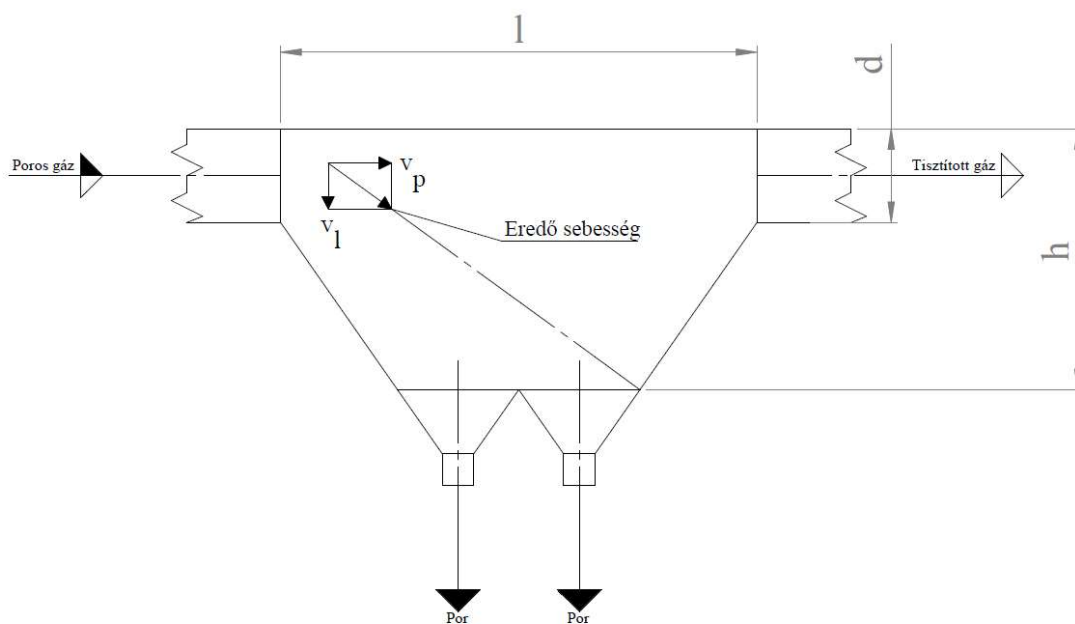
ahol: l : ülepítő tér hossza [m]

h : ülepítő tér magassága [m]

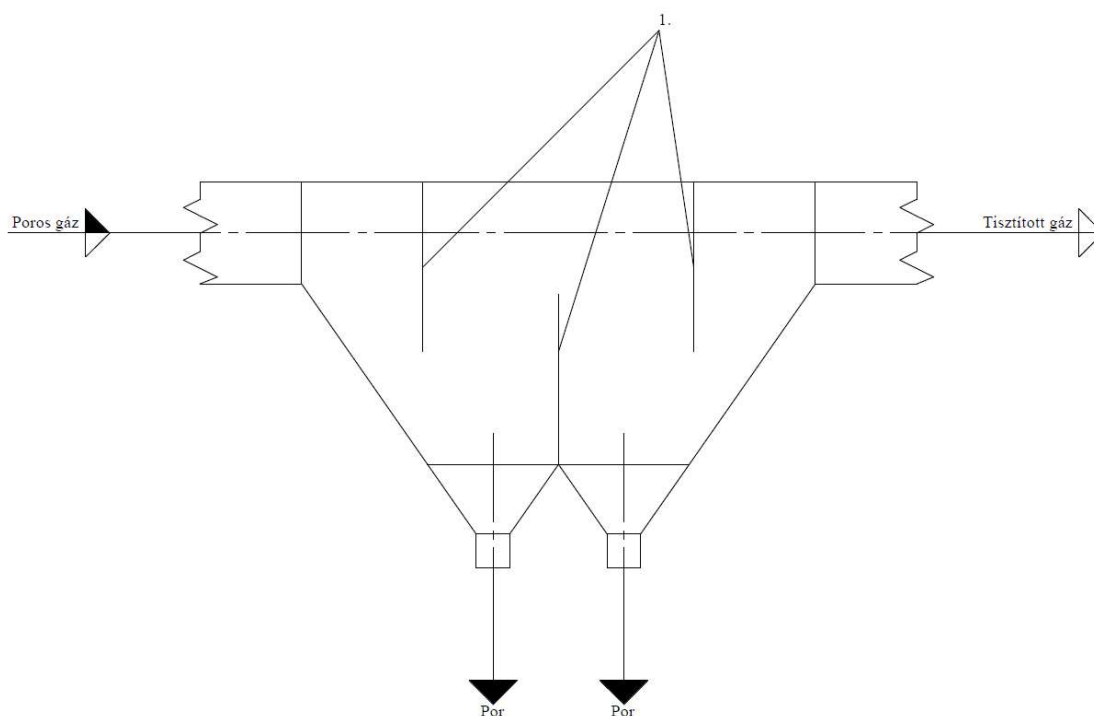
v_l : esési sebesség [m/s]

v_p : súrlódási sebesség [m/s]

A porkamrák a gyakorlatban leginkább előleválasztóként használják. A portalanítás hatásfokának növelése érdekében a berendezésekben függőleges terelőlemezeket alkalmaznak. [1] (26-27)



2. ábra. Porkamra elvi működési vázlata [1]



3. ábra. Porkamra terelőlemezek (1-es jelölés) [1]

A porkamrák méretezése során figyelmet kell fordítani arra, hogy a már leülepedett port a beáramló gáz újból ne ragadja magával, ezért a beáramló gáz sebessége nem lehet nagyobb mint 3 m/s. [3] (111-112)

A porkamrával leválasztható legkisebb szemcseméret meghatározása [3]:

$$d_{emin} = \sqrt{\frac{18 * \eta * V}{g * B_k * L_k * (\rho_{por} - \rho_{gáz})}} \quad (2.2.)$$

ahol: V : a porkamrán átvezetett gáz térfogata [m^3 / s]

η : a porkamrán átvezetett gáz dinamikus viszkozitása [$kg / m * s$]

g : gravitációs gyorsulás [m/s^2]

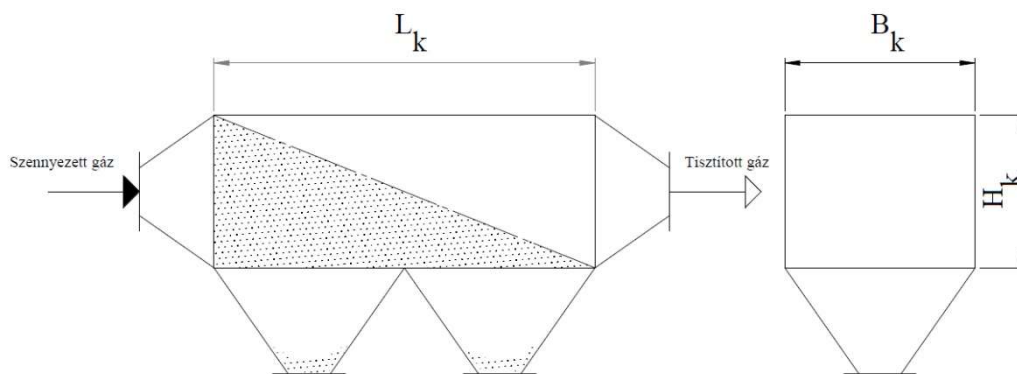
B_k : a porkamra szélessége [m]

L_k : a porkamra hosszúsága [m]

H_k : a porkamra magassága [m]

ρ_{por} : a por sűrűsége [kg / m^3]

$\rho_{gáz}$: a porkamrán átvezetett gáz sűrűsége [kg / m^3]

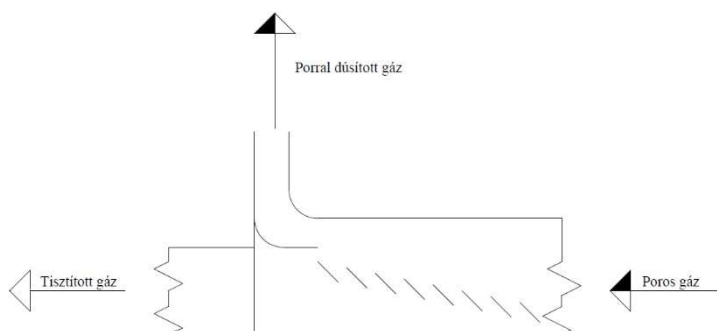


4. ábra. Porkamra dimenzióinak ismertetése [3]

2.2.2 Ütközésses porleválasztók

A kategóriába tartozó porleválasztó berendezéseket zsalus porleválasztó berendezéseknek nevezzük, melyek összportalanítási foka kicsi, ezért jellemzően előleválasztóként használják őket. A leválasztás úgy valósul meg, hogy a bevezetett gázt a berendezés zsaluelemei hirtelen és éles irányváltásokra kényszerítik, ezáltal a szennyező anyagok leülepednek. A berendezés összportalanítási fokát a bevezetett gáz áramlási sebességének és a zsaluelemeknek egymással bezárt szöge, továbbá a zsaluelemek egymáshoz viszonyított távolsága és átfedési mérete határozza meg. Az összportalanítási fok értékét továbbá befolyásolja a bevezetett gáz szemcseméret eloszlása, illetve koncentrációja is. [1] (27-28)

A zsalus porleválasztó berendezések előnyeként megemlítendő a kis helyszükséglet, egyszerű szerkezet, kis beruházási költség, jó beépítési lehetőség. A leválasztott por besűrűsödve, körülbelül 10%-ot kitevő gázban marad vissza, melyet más technológiával külön választanak le. [2] (180)

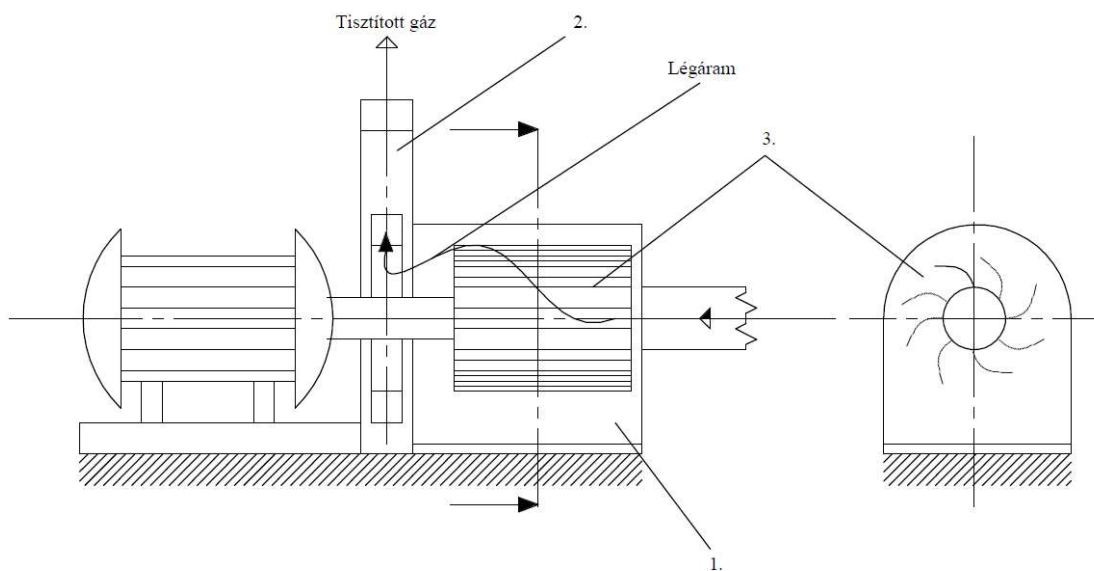


5. ábra. Zsalus porleválasztó szerkezeti kialakítása [1]

2.2.3 Rotációs porleválasztók

A rotációs porleválasztó berendezések speciális kialakítású ütközésezes porleválasztó berendezések, melyekben a leválasztóelem forgó mozgást végez. A berendezések összportalanítási foka nagy mértékben függ a leválasztóelem fordulatszámától, illetve a lapátelemeinek kialakításától. A 6. ábrán egy a kategóriába tartozó leválasztó lehetséges változatát láthatjuk, mely az alábbiak szerint működik:

„Ebben a változatban a ventilátor elkülönül a forgó leválasztórésztől. A poros gáz axiális irányban lép be a készülékbe. A forgó mozgás következtében a forgórészből a levegő radiális irányba távozik, miközben a porszemcsék jelentős részének sebessége a lapátozattal való ütközés következtében megváltozik, és a por a gyűjtőtérbe kiüledik. A tisztított levegő ezután beáramlik a ventilátor szívónyílásán. A leválasztó hatását növeli az is, hogy a forgórészen átáramló porszemcséknek nő a sebessége (nemcsak az irányuk változik meg); röppályájuk metszi a porgyűjtőtér határolófalát, és ott felütközve kiválnak a porgyűjtő térben. „[1] (28-29)



6. ábra. Rotációs porleválasztó lehetséges szerkezeti kialakítása [1]

2.2.4 Tehetetlenségi erőn alapuló porleválasztók

„A por-levegő áramban mozgó porszemcse, nagyobb tehetetlensége folytán, csak bizonyos időkéssedelemmel képes követni a levegő áramlási irányainak megváltozását. Ennek következtében a levegő és a porszemcsék között sebességkülönbség alakul ki, és azt fel lehet használni a porszemcséknek a gázáramból való leválasztására. A levegő és a porszemcsék között sebességkülönbség a levegőáramlás okozta súrlódás miatt megszűnik. Ezért a hatásos leválasztási effektus létrehozása érdekében vagy arról kell gondoskodni, hogy a porszemcse kiváljon a légáramból, mielőtt a sebességkülönbség felemésztené, vagy arról, hogy a sebességkülönbség folyamatosan fennmaradjon. A porszemcsének a légáramból való gyors kiválását úgy segítik elő, hogy a levegő áramlási irányát lehetőség szerint minél nagyobb szöggel és minél kisebb fordulási sugáron változtatják meg. A sebességkülönbség folyamatos fenntartására a légáramlást például csavarvonal alakú pályára kényszerítik.” [1] (29)

„A poros gáz áramlási iránya a porgyűjtő térbe való belépés után, 180 fokban megtörik. Az áramlási sebesség megfelelő megválasztásával elérhető, hogy a hirtelen irányváltás következtében a porszemcsék legnagyobb része kiüledjen. Ezt a készüléket szinte kizárólag előleválasztóként alkalmazzák.

A ciklon típusú porleválasztók a sebességkülönbséget folyamatosan fenntartó készülékek.” [1] (29)

„A por-gáz keverék a ciklon belépő-keresztmetszetén jut be – a ciklon tengelyére merőlegesen – a hengerpalást érintőjének irányában. A ciklon geometriai kialakítása olyan, hogy benne a levegő és a porszemcsék között sebességkülönbség folyamatosan fennmarad.

A légáramlás követi a ciklonpalást alakját, a porszemcsék pedig folyamatosan növekvő sugarú pályagörbén mozognak. Amikor a porszemcse pályagörbéje metszi a ciklon palástot, a porszemcse felütközik a falra, és tangenciális (érintőleges) sebességét elvesztve a gravitációs erő hatására lehullik a porgyűjtő bunkerbe. A levegő a ciklontestben (változó menetemelkedésű csavarfelület mentén) felfelé áramlik.

A ciklontípusú porleválasztó hatékonysága, ill. összportalanítási foka számos geometriai és áramlástani paramétertől függ, így pl. a levegő sebességének nagyságától, a belépő-keresztmetszetben, a hengeres rész átmérőjétől (minél kisebb átmérőjűre készítik a

hengeres részt, annál nagyobb lesz a porszemcse és a levegő közötti sebességkülönbség, és így annál kedvezőbb lesz az összportalanítási fok) stb.” [1] (29)

A hengeres rész geometriai paraméterei szerint az alábbi cikloncsoportokat különböztethetjük meg:

2.2.4.1 Ciklonok

A ciklonok összportalanítási foka közepes, a viszonylag nagy átmérő ($D_{\min} \geq 700 \text{ mm}$) és a kis görbületi sugár miatt. A berendezés jellemzően a $60 \mu\text{m}$ -nél nagyobb szemcseméretű porok leválasztására alkalmas. [1] (31); [3] (117)

2.2.4.2 Multiciklonok

A multiciklonok olyan porleválasztó berendezések melyek az egyes ciklonelemek párhuzamos összekapcsolásával érnek el. Az egyes ciklonelemek átmérői ($D=200-700 \text{ mm}$) közepes nagyságúak. A berendezések a közepes szemcsefrakciójú porok ($30-60 \mu\text{m}$) leválasztására alkalmasak. [1] (31); [3] (117)

2.2.4.3 Örvénycsövek

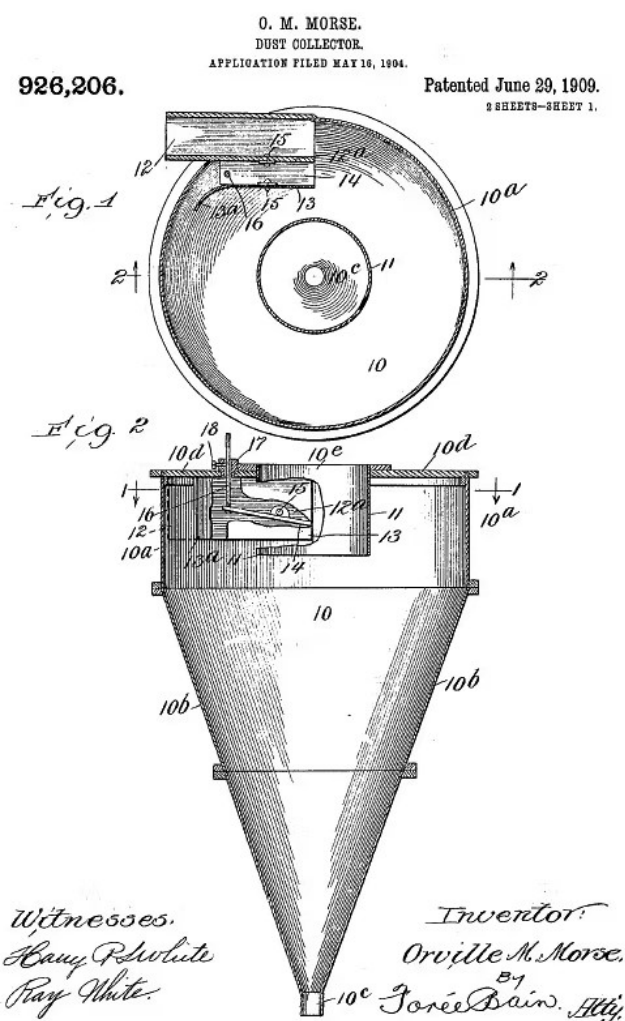
Az örvénycsövek a multiciklonokhoz hasonló kivitelben készülnek, azzal a különbséggel, hogy a hengeres részek átmérőit tovább csökkentik ($D_{\min} \leq 200 \text{ mm}$). Kedvező összportalanítási fokuk mellett jelentősen ki vannak téve az eltömődési veszélynek, ezért a gyakorlatban használatuk nagy mértékben nem terjedt el. A készülékek meglehetősen kis szemcseméretű ($5-30 \mu\text{m}$) porok leválasztására alkalmasak. [1] (31); [3] (117)

3. A ciklon típusú porleválasztó berendezések részletes ismertetése

A tehetetlenségi erőn alapuló mechanikus porleválasztó berendezések közül a ciklon típusú porleválasztó berendezéseket azért ismertetem egy önálló fejezetben, mivel a szakdolgozatom kutatási részében ilyen típusú berendezéseket fogok vizsgálni.

3.1 Történeti áttekintés

A „ciklon alakú porgyűjtő” találmány Orville Marion Morse (1843 - 1910) nevéhez fűződik, aki találmányát a Knickerbocker Company gépészeti szakértőjeként 1886-ban szabadalmaztatta az Amerikai Egyesült Államokban és Németországban egyaránt.



7. ábra Orville Marion Morse „ciklon alakú porgyűjtő” találmánya [5]

Kezdetben a ciklonokat csak a durva szemcseméretű porok leválasztására használták, de később rájöttek, hogy az áramlási sebesség növelésével és a geometriai paraméterek módosításával a berendezések összportalanítási foka jelentős mértékben növelhető és ez alkalmassá teszi ezeket a készülékeket finomabb szemcseméretű porok leválasztására is.

A technológia fejlesztésére az első világháborút követően került sor, a portechnikai problémák megoldásaként a mérnökök a ciklonok előnyös tulajdonságai miatt a fejlesztésekre nagyobb figyelmet fordítottak.

A felhasználási területeken a holland van Tongeren-féle ciklonok, illetve az amerikai multiciklonok érték el kimagasló eredményeket.

A berendezések sikeres fejlesztéséhez hozzájárult az, hogy Prandtl, Brath, Linden, Feifel, Meldau megalkották a portechnikai alapfogalmait, felállították örvénytérben a porszemcsék mozgásegyenleteit, továbbá rögzítették a szükséges modellkísérletek feltételeit, valamint a mérési és kiértékelési módszereket.

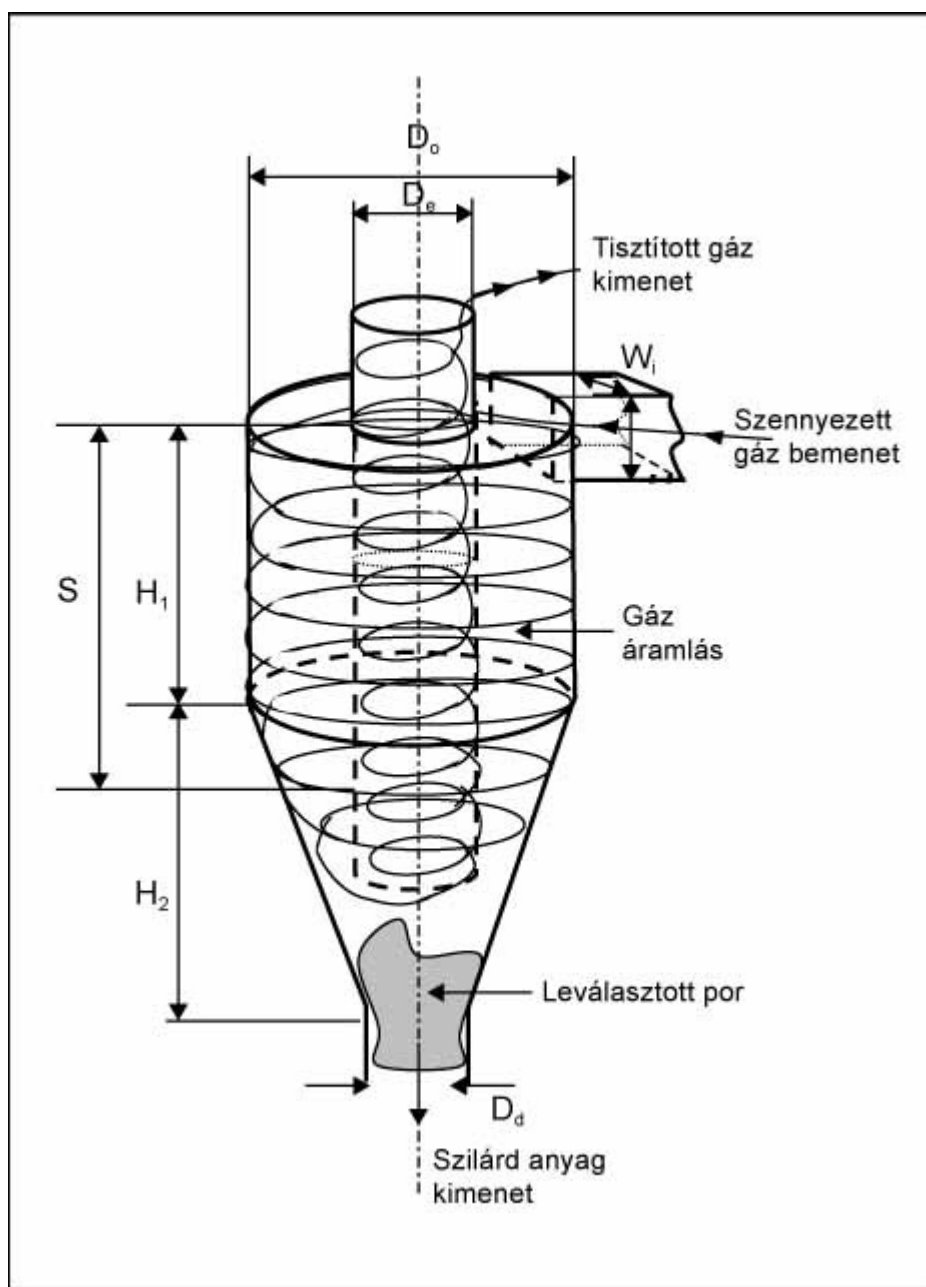
A ciklonok fejlődésével rájöttek, hogy kedvezőbb portalanítási hatásfokot lehet elérni a ciklonok hengeres átmérőjének csökkentésével, továbbá a hengeres és kúpos rész hosszának növelésével.

Kezdetben a nagyméretű ciklonok lehetővé tették, hogy a készüléken a teljes tisztítandó gáz keresztül áramoljon, majd a kedvező hatásokat eredményező módosításokat követően megjelentek az örvénycsövek. Az örvénycsövek méretezése során a fő figyelmet arra kell fordítani, hogy a tisztítandó gázmennyiséghez olyan számú elemet tervezzük, mely lehetővé teszi a kívánt hatásfokot.

A berendezés fejlesztése során a fejlődés az örvénycsövek megjelenését követően megállt, mivel az összportalanítási fok további növelése már nagymértékben növelte a ciklonok ellenállását, illetve a berendezés amortizációja a kopás következtében szintén nagymértékben megnövekedett. Fentiek ismeretében a még kedvezőbb összportalanítási fok elérése érdekében megjelentek az elektrofilterek. [2] (204-205.)

3.2 A ciklonok működésének ismertetése

A ciklonokba a tisztítandó gázt érintőlegesen vezetik be, mely ezt követően perdülettel halad tovább. A porszemcsék leválasztását az okozza, hogy hat rájuk a centrifugális erő (F_{cf} , a test tehetetlenségéből származó erő) mely hatására a porszemcsék a ciklon falazatán kiválnak, majd ezt követően a berendezés alján található szennyező anyag kivezető nyíláson távoznak.



8. ábra Ciklon működésének és fontosabb elemeinek ismertetése [6]

A szennyezett gáz egészen a kúpos rész körülbelül felső egyharmad részéig körpályára kényszerül, ezt követően a tisztított gáz a merülőcsövön, a berendezés felső tisztított gáz kivezetésén kiáramlik. A merülőcsőből kilépve a tisztított gáz még jelentős perdülettel rendelkezik.

Amennyiben a belépő tisztítandó gáz jelentős abrazív hatású, akkor a készülék oldalán jelentős kopást okozhat, továbbá ez a hatás megfigyelhető a gáz felfelé mozgásának kezdeti szakaszán. [2] (204-205); [6] („2.7.4. Ciklonok” fejezet)

3.3 A ciklonok áramlási viszonyainak ismertetése

„A ciklonok működésének megismeréséhez fontos az áramkép ismerete, amelynek matematikai leírása a komplikált háromdimenziós áramlás esetére eddig még nem sikerült. Így elsősorban kísérletekre vagyunk utalva. Kelsall, ter Linden, Sheppard és Lapple, Fon-tein és Dijksmann munkái közül csak a ter Linden 266. ábrán látható mérési eredményeit mutatjuk be, amely a ciklonok különböző metszeteiben a gáz tangenciális, radiális és axiális sebességének, valamint az össznyomás és statikus nyomás változását tünteti fel. Az áramképből fontos következtetéseket lehet levonni.

A tangenciális sebesség a ciklon hengeres részének fala mentén a legkisebb és nem sokban különbözik a befúvósebességtől. A kúpos részben a fal menti sebesség a csökkenő sugárral arányosan növekszik és legnagyobb a por elvezető nyílása közelében.

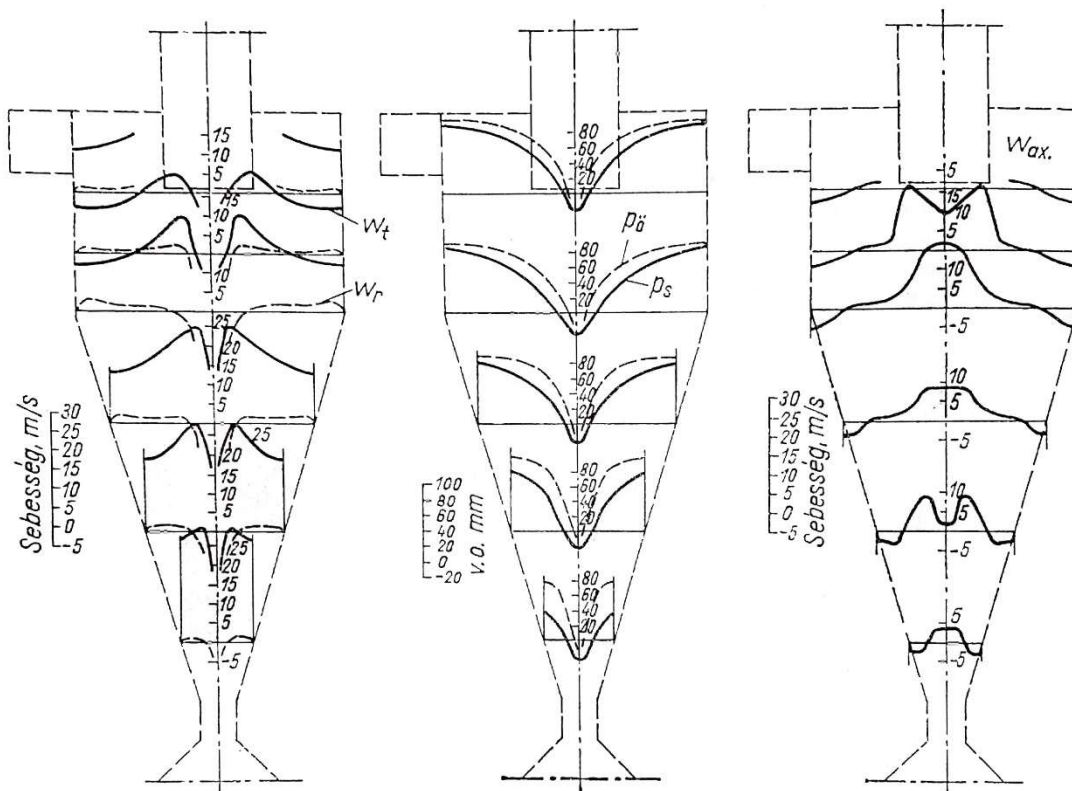
A tangenciális sebesség változása a 9.4.5. pontban mondottaknak megfelelően nem a potenciális áramlásnak megfelelő $w_{tr} = \text{konst.}$, hanem a $w_{tr}^m = \text{állandó}$ összefüggés szerint változik, ahol $m = 0,5 \dots 0,7$.

A tangenciális sebesség maximális értékét az elvezető csőnél kisebb körön éri el, de lefelé mindig csökken. A tengelyre merőleges síkban levő potenciális örvényáramlásra tengelyirányú mellékáramlás szuperponálódik. A gáz a fal mentén lefelé, a tengely közelében felfelé áramlik. Feltehetően egy belső örvénytér is létezik, aminek tulajdonságai még nincsenek tisztázva.

A tengely közelében lévő, felfelé irányuló áramlás sebessége az elvezető cső felé mindinkább nő. Így magyarázható az, hogy a szívónyílás körzetében a határszemcse nagyobb, míg lejjebb kisebb. Ez egyben a frakció portalanítási görbe alakjára is befolyással van. Az elvezető cső, mint nyelő fogható fel, amely ugyancsak szuperponálódik a többi mozgásra és megnöveli a szívónyílás közelében a gáz abszolút sebességét.

A tengely körzetében felfelé áramló örvény szívó hatása a porelvezető nyílás tengelyéből a port magával ragadja, amelynek nagy része azonban a centrifugális erő következtében ismét a külső örvényáramba dobódik ki.

Ha az elvezető cső mélyen benyúlik a ciklonba, akkor kettős örvény is keletkezhet.” [2] (205-206)

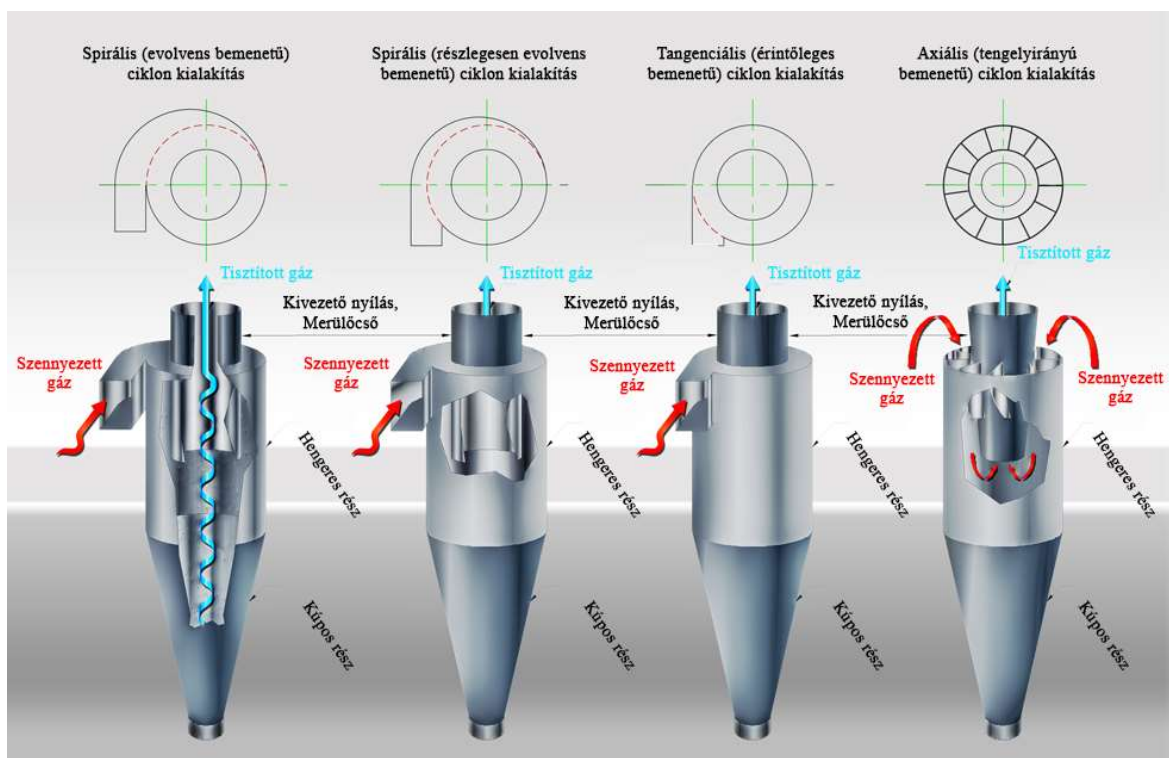


9. ábra Áramlás képe a ciklonban [2] (206. oldal 266. ábra)

3.4 A ciklonok különböző kialakításának ismertetése

A ciklonok evolúciója során - a modern szimulációs vizsgálati lehetőségek megjelenését megelőzően - a berendezések áramlástani viszonyait kísérleti úton, mérésekkel tudták a szakemberek meghatározni. A kedvező áramlási viszonyok elérése érdekében az alábbi kialakítási lehetőségek terjedtek el a gyakorlatban:

1. Spirális kialakítású ciklonok
 - 1.1. Spirális (evolvens gázbevezetésű) ciklon kialakítás
 - 1.2. Spirális (részlegesen evolvens gázbevezetésű) ciklon kialakítás
2. Tangenciális kialakítású ciklonok
 - 2.1. Tangenciális (érintőleges gázbevezetésű) ciklon kialakítás
 - 2.2. Tangenciális (helikális, csavarszerűen lefelé mutató tangenciális gázbevezetésű) ciklon kialakítás
3. Axiális kialakítású ciklonok
 - 3.1. Axiális (tengelyirányú gázbevezetésű) ciklon kialakítás
 - 3.2. Axiális (tengelyirányú gázbevezetésű) alsó gázkivezetésű ciklon kialakítás



10. ábra Ciklonok kialakítási lehetőségei [7] (Módosított ábra)

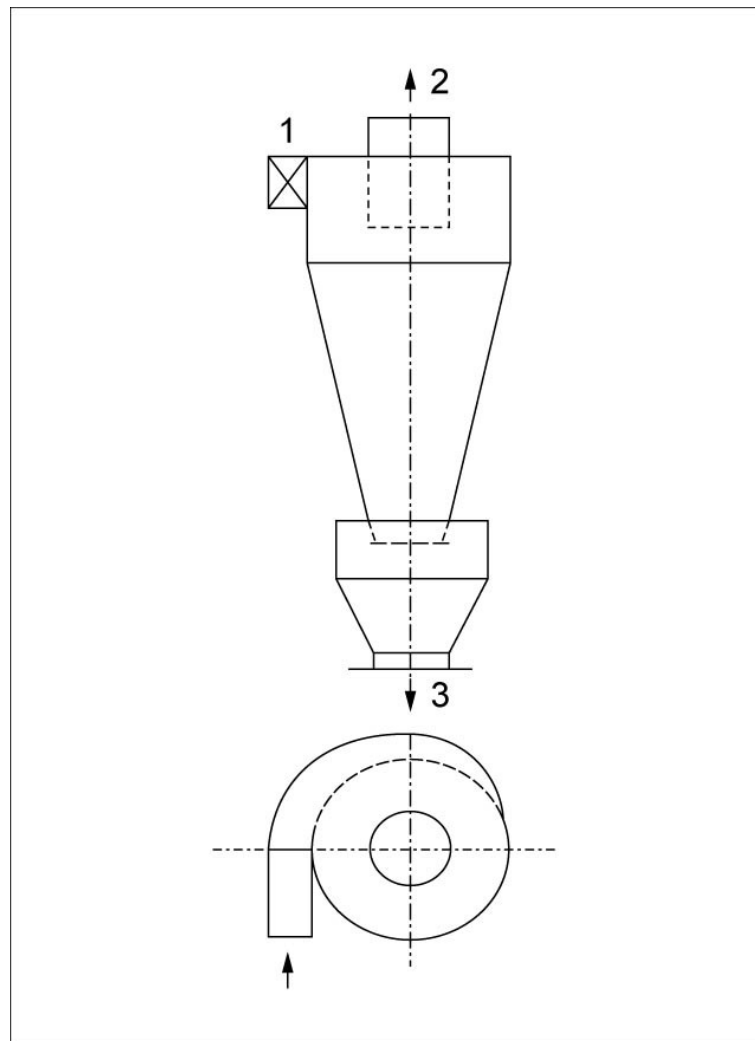
3.5 Az egyes ciklon kialakítások részletes ismertetése

3.5.1 Spirális kialakítású ciklonok

A spirális bemeneti csatlakozású ciklonok esetén a ciklon hengeres részének sugarán kívül helyezkedik el a bevezető csatorna, mely megadott elfordulás mellett elkeskenyedve csatlakozik a berendezés testébe.

3.5.1.1 Spirális (evolvens gázbevezetésű) ciklon kialakítás

Ebbe a csoportba azok a spirális bevezetésű ciklonok tartoznak, melyek bevezető csomkjai a ciklon hengeres testfelületéhez teljes átmérőjében (kör keresztmetszetű bevezető csomk esetén), szélességében (téglalap keresztmetszetű bevezetési csomk esetén) illeszkednek.

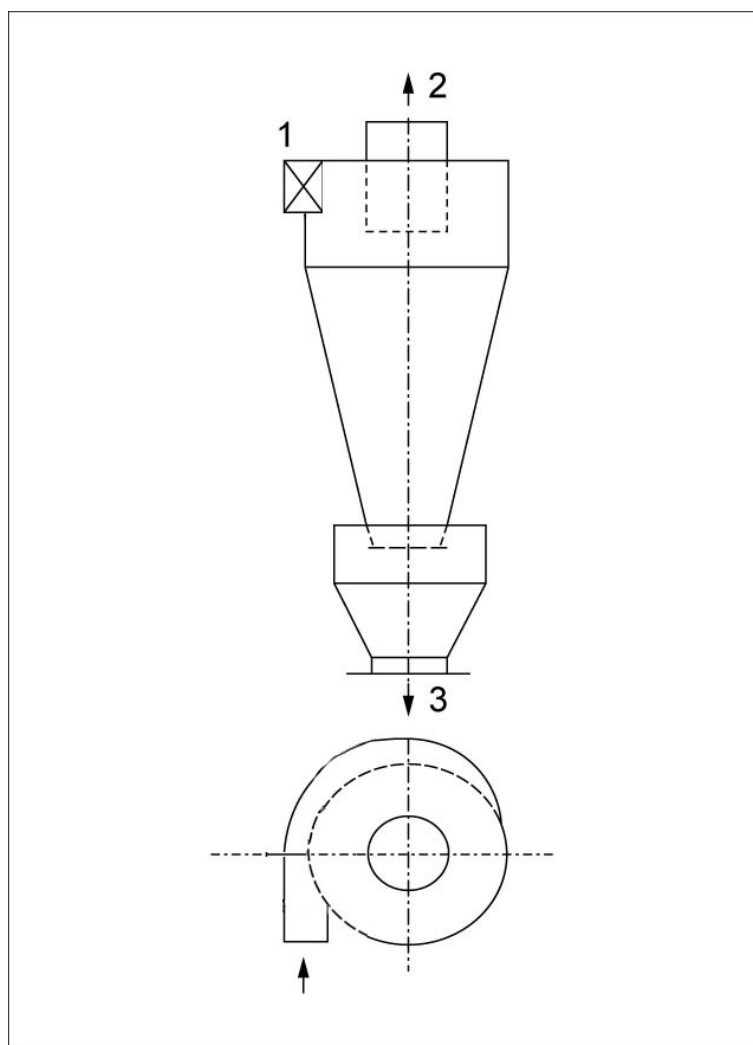


11. ábra Spirális (evolvens gázbevezetésű) ciklon kialakítás [6]

(2.7.18 ábra)

3.5.1.2 Spirális (részlegesen evolvens gázbevezetésű) ciklon kialakítás

A részlegesen evolvens gázbevezetésű ciklonok az előző csoportban ismertetett ciklonoktól annyiban különböznek, hogy a berendezések bevezető csomkjai a ciklon hengeres testfelületéhez képest a bevezető csomk keresztmetszetének töredék távolságával illeszkednek.



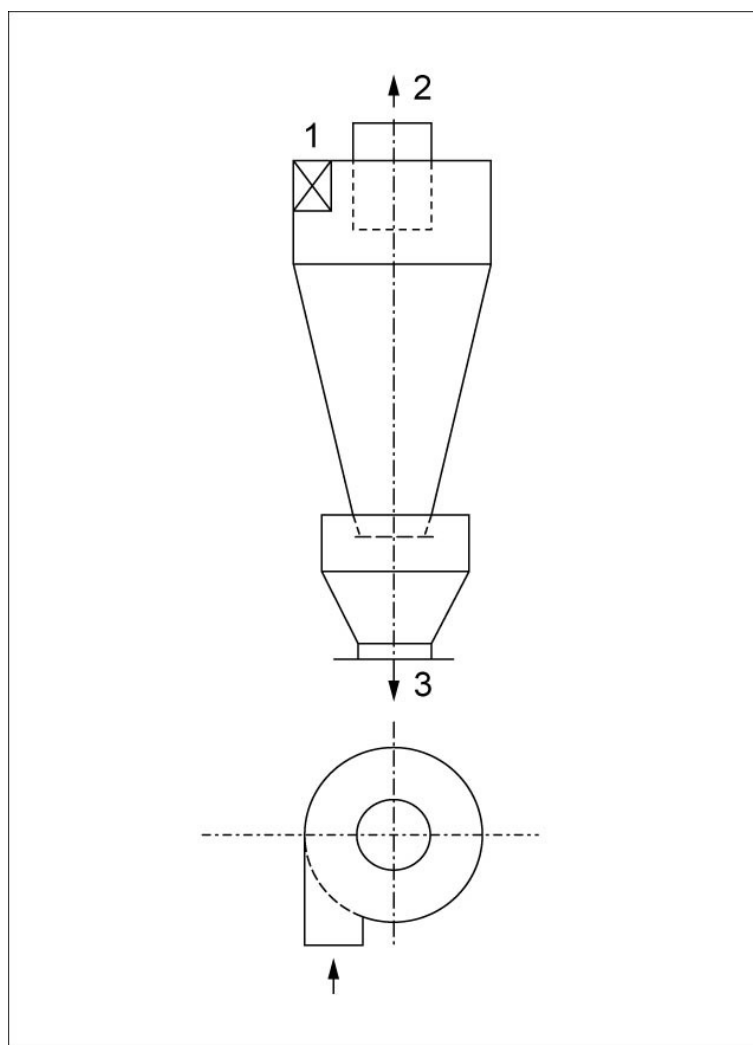
12. ábra 1.2. Spirális (részlegesen evolvens gázbevezetésű) ciklon kialakítás [6] (az ábra a 2.7.18 ábra módosításával készült)

3.5.2 Tangenciális kialakítású ciklonok

A tangenciális ciklonok gázbevezető nyílásának külső éle érinti a ciklon hengeres részének felületét.

3.5.2.1 Tangenciális (érintőleges gázbevezetésű) ciklon kialakítás

Ebbe a csoportba tartoznak azok a ciklonok, melyek bevezetése tangenciális irányú, de vertikális irányban nem kiterjedt.



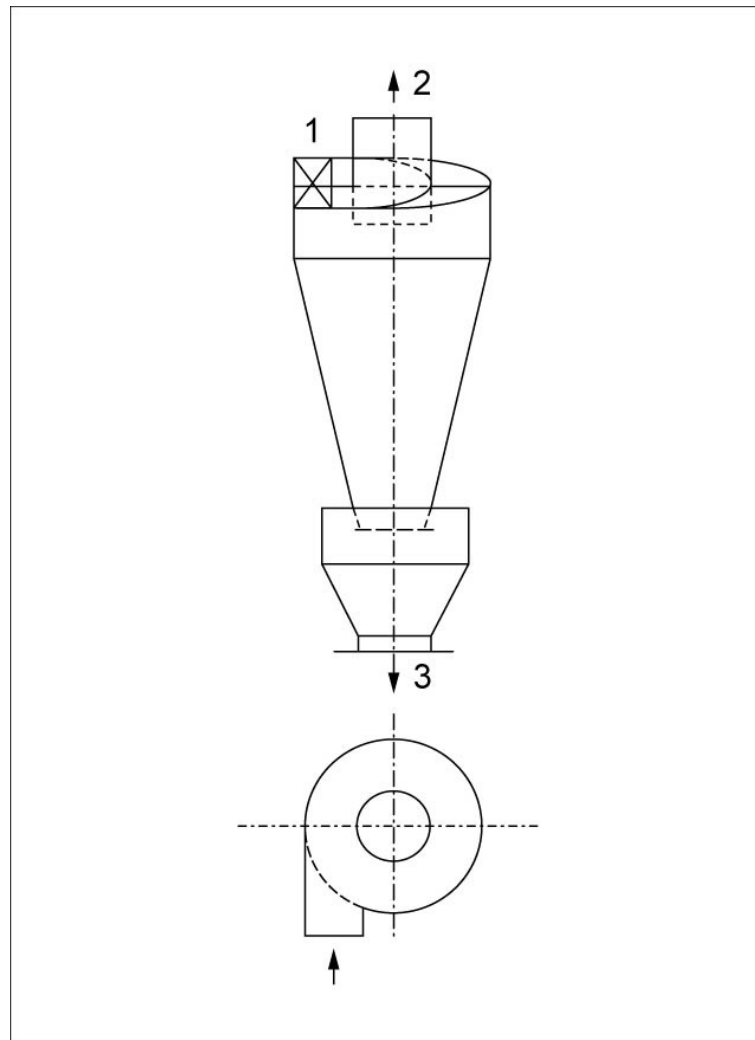
13. ábra Tangenciális (érintőleges gázbevezetésű) ciklon kialakítás [6]

(2.7.19 ábra)

3.5.2.2 Tangenciális (helikális, csavarszerűen lefelé mutató tangenciális gázbevezetésű) ciklon kialakítás

Ebbe a csoportba tartoznak azok a ciklonok, melyek bevezetése tangenciális irányú, továbbá vertikális irányban csavarszerű kialakítású.

A kialakítás során a spirál menetszáma változhat, a hengertestbe jobban benyúló spirál bevezetések esetében célszerű arra figyelni, hogy a merülőcső alsó szakaszának kialakítása tovább nyúljon a spirális bevezetés legalsó pontjától.



14. ábra Tangenciális (helikális, csavarszerűen lefelé mutató tangenciális gázbevezetésű) ciklon kialakítás [6]

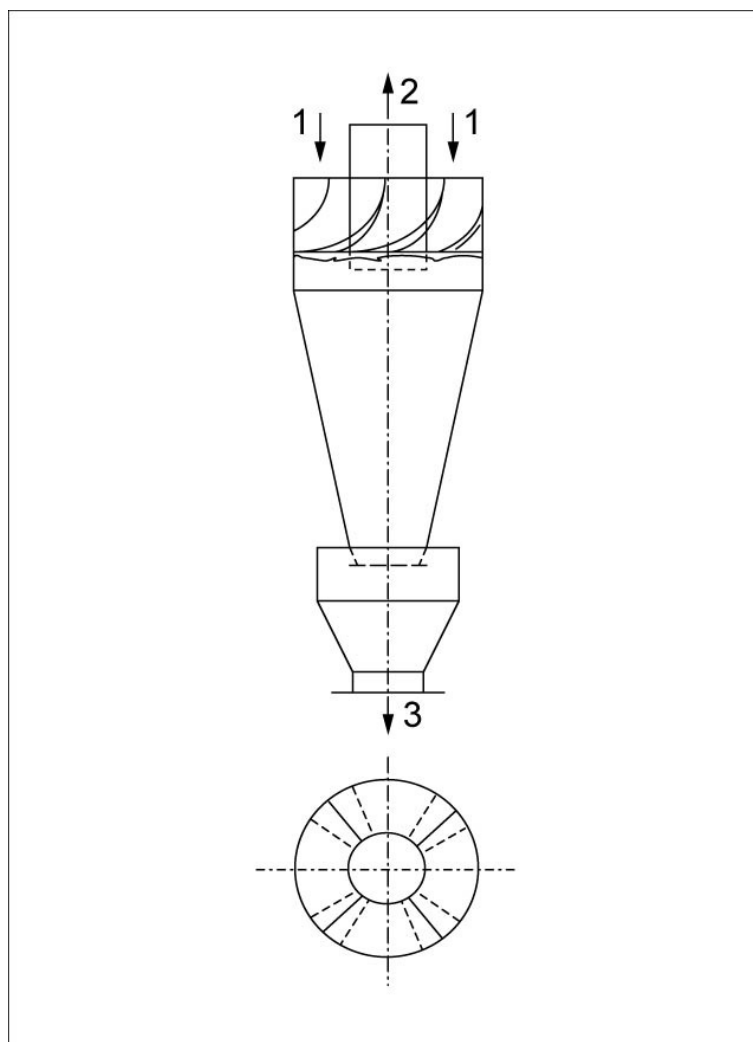
(2.7.20 ábra)

3.5.3 Axiális kialakítású ciklonok

Az axiális kialakítású ciklonok esetén a gázbevezetés tengely irányúan a berendezés tetején valósul meg, a sugárirányú áramlást terelőlemezek alkalmazásával érik el.

3.5.3.1 Axiális (tengelyirányú gázbevezetésű) ciklon kialakítás

A csoportba tartozó ciklonok gázbevezetése tengelyirányú, a tisztított gáz a berendezés felső oldalán, a szennyezett gáz bevezetésével megegyező oldalon kerül kivezetésre.

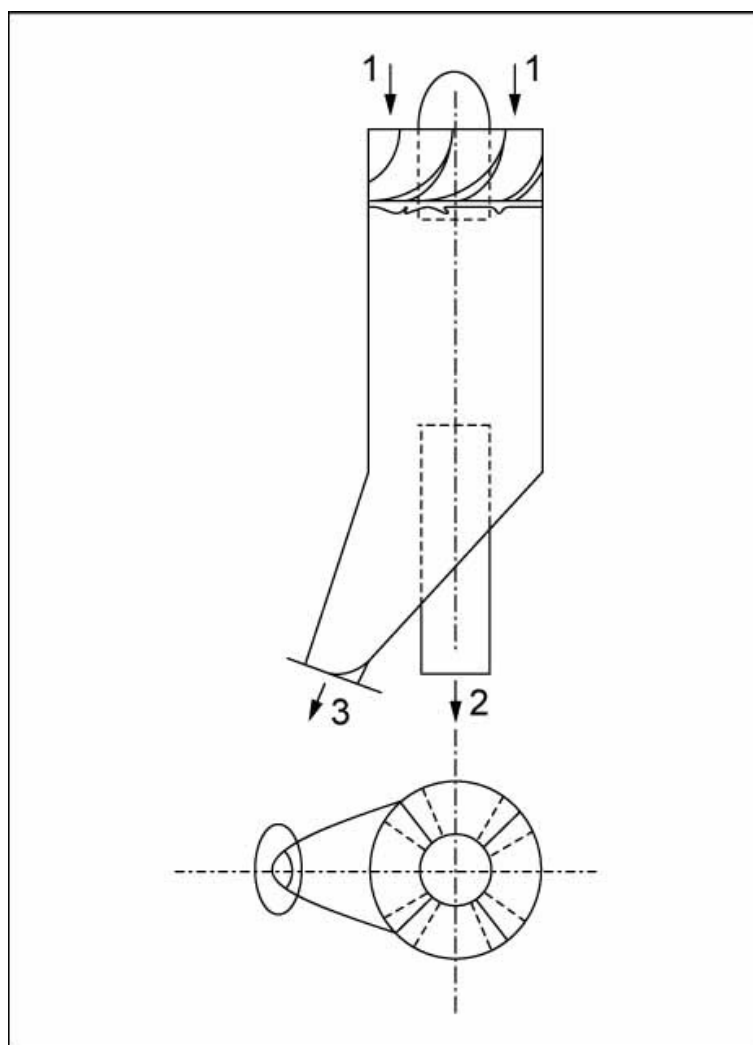


15. ábra Axiális (tengelyirányú gázbevezetésű) ciklon kialakítás [6]

(2.7.21 ábra)

3.5.3.2 Axiális (tengelyirányú gázbevezetésű) alsó gázkivezetésű ciklon kialakítás

A csoportba tartozó ciklonok gázbevezetése tengelyirányú, a tisztított gáz a berendezés alsó oldalán, a szennyezett szilárd anyag kiválási irányával megegyező oldalon kerül kivezetésre, jellemzően a középvonallal egy meghatározott szöget bezárva.



16. ábra Axiális (tengelyirányú gázbevezetésű) alsó gázkivezetésű ciklon kialakítás [6] (2.7.22 ábra)

3.6 A különböző kialakítású ciklonok összehasonlítása:

Gázbevezetés típusa	Leírása	Előnyök	Hátrányok
Spirális kialakítású ciklonok	A bemeneti csatorna külső széle a ciklon sugarán kívül helyezkedik el, és némi elfordulás mellett elkeskenyedek a testbe.	1. Nagy kapacitású, kompakt berendezések. 2. Nagy részecsketerhelés esetén csökkenti az eróziót. 3. Amennyiben a bemeneti és kimeneti sebesség növelése nem megvalósítható, abban az esetben megfelelő választás a portalanítási hatásfok növelésére.	1. Költséges, erőforrásigényes kivitel. 2. Növeli a nyomáscsökkenést. 3. Kevésbé robusztus kialakítású. 4. A kúpos részben jelentős az erózió okozta kopásvesztés.
Tangenciális kialakítású ciklonok	A bemeneti csatorna külső éle érinti a ciklon testét.	1. Alacsony nyomáscsökkenés. 2. Alkalmas alacsony bemeneti sebesség esetén. 3. A legsokoldalúbb és legsokoldalúbb mechanikai kialakítás. 4. A legalacsonyabb költségeket igénylő kivitel.	1. Nagy kapacitású ciklonoknál nagyobb ciklon átmérőre és/vagy magasságra van szükség annak érdekében, hogy megakadályozzuk az eróziót a ciklon kimeneti csővének oldalfalán. 2. A spirális kialakítású ciklonokhoz képest nagyobb bemeneti sebességre van szükség, annak érdekében, hogy elérjük az azonos hatásfokot. 3. Nagyobb ciklon átmérők alkalmazására lehet szükség.
Helikális, csavarszerű kialakítású ciklon	A bemenet és a ciklon teteje spirálisan lefelé halad	1. Megakadályozhatja a szilárd anyagok felhalmozódását a tetőfelületeken, ha az anyag ragadós.	1. Költséges kialakítás. 2. Alacsonyabb hatékonyság.

17. ábra Különböző kialakítású ciklonok összehasonlítása [7]
Megjelölt elektronikus irodalom felhasználásával készült fordítás.)

4. Saját munka

4.1 A dolgozat saját munka részének rövid bemutatása, a célkitűzések ismertetése

Dolgozatomban hat darab különböző geometriai paraméterekkel rendelkező ciklon vizsgálatát mutatom be. A vizsgálatok során a ciklonok átmérő- és magasságváltozásainak hatásait vizsgálom, úgy, hogy azok merülőcsöveinek elhelyezkedése a tapasztalatok szerinti optimális helyzettől eltérő módon kerül kialakításra. Ennek célja az, hogy saját tapasztalatok útján is megbizonyosodjak arról, hogy a merülőcső elhelyezkedése kritikus a ciklonok működésének szempontjából.

Első lépésben ismertetem a számolási feladatokhoz szükséges elméleti alapokat, majd ezeknek megfelelően számítással meghatározom a leválasztható határszemcse méretét a különböző összeállításoknál.

Ezt követően SOLIDWORKS tervezőprogramban létrehozom a dolgozatban szereplő ciklonok 3D-s modelljét, majd a modelleken a SOLIDWORKS FLOW SIMULATION bővítményének segítségével véges elem szimulációval meghatározom a ciklonok nyomás és sebesség paramétereit.

A szimulációs vizsgálatokat követően 3D nyomtató segítségével elkészítem a megtervezett ciklonok modelljeit és azokkal valós méréseket fogok elvégezni. A mérések során a ciklonokat ipari porszívó segítségével hozom működésbe, melynek szívó oldalán mérni fogom a szívás sebességét légsebességmérővel. Erre azért van szükség, hogy a szimulációs programban be tudjam állítani ezeket a mért valós értékeket, annak érdekében, hogy a szimuláció minél inkább megközelítse a valós összeállításokban fellépő nyomás és sebesség értékeket. A különböző porfrakciókat szitasor segítségével fogom egymástól elkülöníteni és az egyes frakciók lemérésére digitális mérleget fogok használni, mely 0,01 [g] mérési pontossággal rendelkezik. A méréseket kereskedelmi forgalomban kapható, ám a dolgozat költségvetési keretei miatt, nem az iparban használatos professzionális eszközök segítségével fogom elvégezni.

4.2 A ciklonok portalanítási fokának ismertetése

A ciklonokban fellépő bonyolult állapotok nehezen írhatóak le egzakt matematikai meghatározásokkal, ezért nehéz a ciklonok portalanítási hatásfokának egyértelmű meghatározása is. A számítások empirikus módszerekre, közelítő becslésekre és kísérletekre támaszkodnak, melyek közül egyes módszerek elméleti alapjai is vitathatóak. [2] (206)

A számítások leírásánál a következő tényezők elhanyagolása valósul meg:

1. „A szemcsék mozgás közben egymást nem befolyásolják.
2. A nehézségi erőter nincs tekintetbe véve.
3. A szemcsék mozgására a Stokes-törvény érvényes.
4. A leválasztás feltétele, hogy a szemcse elérje a ciklon falát.
5. Gömbszemcsét feltételezünk.
6. A belépőnyílásban a gázsebesség és a szemcseeloszlás egyenletes.” [2] (206)

A számítások a [2] számú irodalom 9.4.5 pontjában ismertetett kétféle örvényáram egyikéből vagy másikából kerülnek levezetésre, melyek ismertetésére nem térek ki dolgozatomban. Továbbá Rosin, Rammler és Intemann további elhanyagolásait figyelembe véve feltételezzük, hogy a ciklonban a gáz és a szemcse csavarmenetben, a belépő sebességgel egyenlő módon, állandó kerületi sebességgel mozog. [2] (206)

4.2.1 A leválasztható határszemcse ismertetése

A határszemcse (d_h) meghatározása: a határszemcse az a szemcse, melynél nagyobb átmérővel rendelkező szemcsék 100 % -os elméleti biztossággal leválasztásra kerülnek.

$$d_h = \sqrt{\frac{\eta}{\pi * \rho_l * v_t}} * \sqrt{A * \left(1 - \frac{A}{D}\right) * \frac{1}{U}} \quad (4.1.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

U : a gázáram keringésének a száma ($U = \frac{t \cdot v_t}{\pi \cdot D}$)

η : a porkamrán átvezetett gáz dinamikus viszkozitása [$\text{kg} / \text{m} \cdot \text{s}$]

t : a szemcse ciklonban tartózkodásának az ideje ($t = \frac{V_{ciklon}}{\dot{V}}$)

V_{ciklon} : a ciklon térfogata [m^3]

$\dot{V}$: az időegység alatt átáramló gázmennyiség [m^3 / s]

ρ : a levegő (bevezetett gáz) sűrűsége [kg / m^3]

Amennyiben a beömlő keresztmetszetet függőleges sávokra osztva vizsgáljuk, a részáramokban lévő leválasztandó szemcséknél eltérő d_h határszemcseméretet kapunk, melyek mérete a ciklon külső falához közeledve csökken. [2] (207)

$$d_h = C \cdot \sqrt{Ds_i - s_i^2} \quad (4.2.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

s : a részáramok faltól mért távolsága [m]

n : a sávok száma [darab]

úgy s értéke $s_{i=0} = D$ -től $s_{i=n} = A$ -ig változik.

„A fizikai és méretállandókat összevonva az s_i helyen a határszemcse

$d_h = C \cdot \sqrt{Ds_i - s_i^2}$ összefüggéssel kiszámítható, az s helyen az ε_f frakcióortalánítási

fok görbe $d_h = d_{hip}$ pontjában $\varepsilon_{fi} = \frac{s_i}{A}$. Ez az $x - \varepsilon_f$ koordinátán $\varepsilon_f = 0$ -tól

$\varepsilon_f = 100\% - ig$ monoton növekvő görbét ad. Ezen elméleti görbéből a zavaró hatások

következtében fellépő szórás miatt lényeges eltérés van. A valóságnak itt is jobban megfelel, ha $d_h = d_{hip} (\varepsilon_f = 50\%)$ értéket vesszük a jellemző szemcsenagyságnak.” [2]

(207)

A fentiekben idézett gondolatmenetet követve C. N. Devies az alábbi képletet vezette le:

$$d_{hip} \cong d_h = \frac{3}{2} * \sqrt{\frac{\eta * D^2}{8 * \varrho_l * w_b * h)} * \left[1 - \left(\frac{d_1}{D} \right)^4 \right]} \quad (4.3.)$$

Muhlrad által meghatározott összefüggés

$$d_{hip} \cong d_h = \frac{3}{4} * \sqrt{\frac{3}{\pi} * \frac{\eta}{\varrho_l * w_b} * \frac{D^2}{r_b * U} * \frac{1 - \chi^4}{1 + \chi + \chi^2}} \quad (4.4.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

U: a keringések száma [darab]

χ : d_1/D aránya [2] (207)

E. Feifel örvényszita elméletének alapvetése az, hogy örvénynyelő mozgásban az elszívó nyílás d_1 átmérőjű, hengeres kontroll felületén egyensúlyban lévő szemcse méretével azonos a határszemcse d_h mérete. Ennek köszönhetően a szétválasztás mértéke – egy szitához hasonlóan – élesnek tekinthető. [2] (207)

$$d_h = 3 * \sqrt{\frac{\eta * d_1^2}{2 * \varrho_l * w_b * r_b} * tg \alpha} \quad (4.5.)$$

Stairmand vizsgálatai alapján a Feifel és Barth által elfogadott d_1 kontrollfelület vitatható, szerinte annak mértéke $d_1 / 2$. Ezt követően vizsgálataiban ter Linden szerint a kontrollfelület a Feifel és Barth által meghatározott d_1 a kontrollfelületnek a $2/3$ -ad része. A valóságban ez inkább egy áramkúp, de Mulrad mérései szerint is a kontrollfelület kiömlőnyílásától lefelé szűkülő kúppalást. [2] (207)

Ideális áramlás esetén Feifel által meghatározott képletből levezetve a határszemcse átmérőjének meghatározása:

$$d_h = C * \alpha * \beta * w^{-0,5} \quad (4.6.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

C: a fizikai állandók összevonása

α és β : a geometriai jellemzők

$$C = \sqrt{\frac{18 * \eta}{2 * \pi * \varrho_l}} = 3 * \sqrt{\frac{\eta}{\pi * \varrho_l}} \quad (4.7.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

$$\alpha = \frac{r_1}{r_b}$$

$$\beta^2 = \frac{AB}{h} \text{ a geometriai jellemzők}$$

A valóságban az empirikus úton szerzett adatok szerint $w_b * r^m = \text{állandó}$ összefüggés áll fent, ezért a módszer közelítő jellegű számítások elvégzéséhez javasolt.

$$d_{hip} \cong d_h = C * \alpha^m * \beta * w_b^{-0,5} = C * \alpha^m * \beta_1 * D^{0,5} * w_b^{-0,5} \quad (4.8.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{a*b}{c}}$$

$$a = \frac{A}{D} ; b = \frac{B}{D} ; c = \frac{h}{D}$$

A tapasztalatok szerint a kontrollfelületen az m értéke bizonytalan, értéke az r_1 sugáron függ az $\alpha = \frac{r_1}{r_b}$ viszonyszámtól, valamint a ciklonok geometriai paramétereitől. Általában a ciklonokban az α értéke 0,8 és 0,3 közé esik, ugyanekkor az m értéke 0,9-től 0,5-ig változik.

Ter Linden Feifel kísérletei alapján módosításokat eszközölt eredeti képletén. Tapasztalatai szerint az egyensúlyi állapot szempontjából a maximális kerületi sebesség az ε_{r_1} sugáron keletkezik, ahol $\varepsilon \cong 0,65$.

Fentiek értelmében a módosított képlet:

$$d_{hip} \cong d_h = C * \alpha_1 * \beta_1 * D^{0,5} * w_b^{-0,5} \quad (4.9.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

$$\alpha_1 = 0,65 * \alpha = 0,65 * \frac{r_1}{r_b}$$

4.2.2 A Barth elmélet ismertetése

A ciklonok portalanítási fokának és a leválasztható határszemcse meghatározásának vizsgálatakor érdemes külön kitérni Barth elméletére, melynek alapja Feifel örvényszita elmélete. Kontrollfelületként a d_1 hengerfelületet, vagyis az elvezető cső hengerfelületét határozta meg. A v_e^* esési sebességet használta a por jellemzésére, melyet a kontrollfelületen fellépő v_r radiális középértékéből számított és v_{e50} jelöléssel látott el. Az alábbi összefüggés írható fel a v_e^* meghatározására, amennyiben a Z centrifugális erő és W_{sr} súrlódó erő egyenlőségét feltételezzük.

$$v_e^* = \frac{\dot{V} * g}{2 * \pi * h * w_{t1}^2} \quad (4.10.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

$\dot{V}$: a gázmennyiség [m^3 / s]

w_{t1} : kerületi sebesség [m / s]

$$w_{t2} = \alpha * r_2 * \frac{w_b}{r_b} \quad (4.11.)$$

A belépési veszteségtényező (α), a gázbevezetés kialakításának függvényében változik. Spirális bevezetés esetén értéke $\alpha \sim 1$, tangenciális bevezetés esetén értéke $\alpha < 1$.

Barth elméletében feltételezte, hogy a leválasztó tér nyomásvesztése egyenlő egy olyan henger felületén fellépő súrlódási veszteséggel mely sugara megegyezik $2 * \sqrt{r_2 * r_1}$ értékkel és magassága h , azaz $2 * \pi * h * \sqrt{r_2 * r_1}$.

Fentiek értelmében a leválasztótér nyomásvesztését az alábbi képlet írja le:

$$\Delta p_e = \frac{\rho_g}{2} * \frac{w_{t2}^2 * r_2}{r_1} - \frac{\rho_g}{2} * \frac{w_{t1}^2 * r_1}{r_2} \quad (4.12.)$$

A közepes kerületi sebesség meghatározására, mely a kontrollfelületen lép fel Bart az alábbi egyenletet írta fel:

$$w = w_1 * \frac{\pi * r_1 * r_b}{\alpha * f_e + \pi * r_b * \lambda * h} \quad (4.13.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

w_1 : az elvezető cső nyílásában fellépő közepes axiális sebesség [m / s]

f_{e1} : a ciklon bemeneti nyílásának keresztmetszete [m²]

$\lambda \cong 0,02$; súrlódási tényező

Fentiek ismeretében a határszemcse esési sebessége:

$$v_e^* = \frac{\pi}{16} * g * \frac{D^3}{V * \frac{h}{r_1} * \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3} * \left(\lambda * \frac{h}{r_1} + \frac{\alpha * \frac{f_e}{f_1}}{\frac{r_2}{r_1} * \frac{r_b}{r_2}} \right)^2 \quad (4.14.)$$

ahol az ismert és a feltüntetett jelöléseken kívül:

f_1 : a ciklon kimeneti nyílásának keresztmetszete [m²]

4.3 A számításokban, szimulációkban és mérésekben bemutatott ciklonok paramétereinek ismertetése

A vizsgált hat darab összeállítás paramétereit az alábbi táblázat tartalmazza:

Összeállítás sorszáma	Ciklon megnevezése	R ₀ [mm]	R [mm]	h [mm]	H [mm]	s [mm]	A _b [mm ²]
1.	D60_H100	14,4	30	50	200	150	314,159
2.	D60_H200	14,4	30	50	300	250	314,159
3.	D120_H100	14,4	60	50	200	150	314,159
4.	D120_H200	14,4	60	50	300	250	314,159
5.	D180_H100	14,4	90	50	200	150	314,159
6.	D180_H200	14,4	90	50	300	250	314,159

18. ábra Vizsgált ciklon összeállítások fő geometriai paramétereit.

Ahol:

R₀: a merülőcső sugara [mm]

R: a ciklon hengeres részének sugara [mm]

h: merülőcső magassága a ciklon alsó részétől (h = H - s) [mm]

H: ciklon teljes magassága [mm]

s: merülőcső benyúlása a ciklon tető részétől [mm]

A_b: a ciklon bemeneti nyílásának keresztmetszete [mm²]

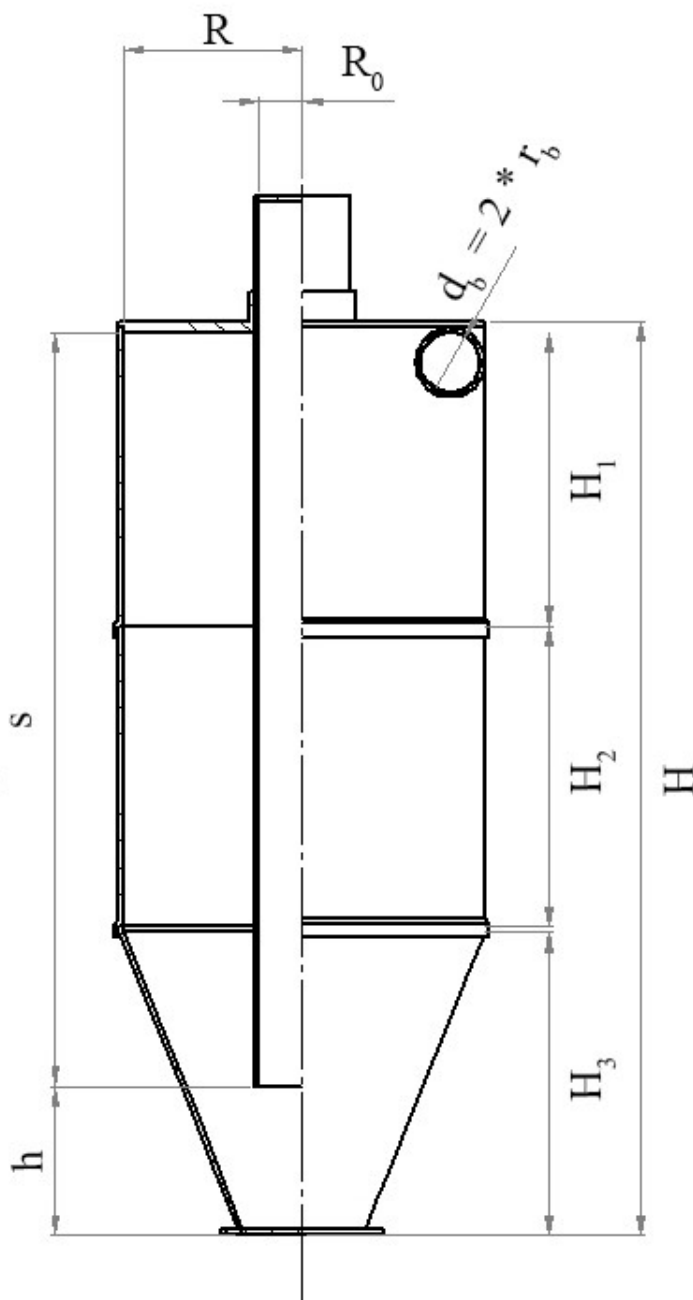
Az egyes összeállításoknál a határszemcse méretének meghatározása az alábbi képlet segítségével történik:

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * A_b^2 * \eta}{\pi * \varrho_{sz}}} * \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * \sqrt{\frac{1}{h * q_v}} \quad (4.15.)$$

Ahogy az a táblázatból is látszik az egyes összeállításoknál a beömlő cső keresztmetszete (A_b) és a merülő cső sugara (R₀) állandó. Továbbá a számításokban, a szimulációkban és a mérésekben egyaránt a beáramló levegő sebességét 30 [m/s]

értékben definiálom. A mérést szobahőmérsékleten ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) fogom elvégezni, ezért ennek megfelelően a fluidum dinamikai viszkozitását $\eta=18,691\cdot 10^{-8}\text{ [Pa}\cdot\text{s]}$. [8.] (89.)

A számításban használt jelöléseket az alábbi ábra tartalmazza:



19. ábra Számításokban használt jelölések ábrázolása.

4.3.1 Az „1” -es számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása

$$R_0: 14,4 \text{ [mm]} = 0,0144 \text{ [m]}$$

$$R: 30 \text{ [mm]} = 0,03 \text{ [m]}$$

$$h: 50 \text{ [mm]} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$H: 200 \text{ [mm]} = 0,2 \text{ [m]} - (H=H_1+H_3=100+100=200 \text{ [mm]})$$

$$s: 150 \text{ [mm]} = 0,15 \text{ [m]}$$

$$A_b: A_b = r_b^2 * \pi = 10^2 * \pi = 314,159 \text{ [mm}^2\text{]} = 3,142 * 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\eta: \eta = 18,691 * 10^{-8} \text{ [Pa*s]} \text{ (} T = 25 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{szobahőmérsékletre vonatkoztatva)}$$

$$\rho: \rho_{sz} = 1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v: v_{be} = 30 \text{ [m/s]}$$

$$q_v: q_v = A_b * v_{be} = 3,142 * 10^{-4} * 30 = 9,426 * 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$n: 0,5 - 0,9 \text{ közötti érték; számításban } n=0,5$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * A_b^2 * \eta}{\pi * \rho_{sz}}} * \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * \sqrt{\frac{1}{h * q_v}}$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * (3,142 * 10^{-4})^2 * 18,691 * 10^{-8}}{\pi * 1500}} * \left(\frac{0,0144}{0,03}\right)^{0,5} * \sqrt{\frac{1}{0,05 * 9,426 * 10^{-3}}}$$

$$d_h = 1,8945 * 10^{-7} \text{ [m]}$$

A számítás alapján az „1” -es összeállítású ciklon határszemcse mérete:

$$\underline{\underline{d_h = 0,189 \text{ [}\mu\text{m]}}}$$

4.3.2 Az „2” -es számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása

$$R_0: 14,4 \text{ [mm]} = 0,0144 \text{ [m]}$$

$$R: 30 \text{ [mm]} = 0,03 \text{ [m]}$$

$$h: 50 \text{ [mm]} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$H: 300 \text{ [mm]} = 0,3 \text{ [m]} - (H=H_1+H_2+H_3=100+100+100=300 \text{ [mm]})$$

$$s: 250 \text{ [mm]} = 0,25 \text{ [m]}$$

$$A_b: A_b = r_b^2 * \pi = 10^2 * \pi = 314,159 \text{ [mm}^2\text{]} = 3,142 * 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\eta: \eta = 18,691 * 10^{-8} \text{ [Pa*s]} \text{ (} T = 25 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{szobahőmérsékletre vonatkoztatva)}$$

$$\rho: \rho_{sz} = 1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v: v_{be} = 30 \text{ [m/s]}$$

$$q_v: q_v = A_b * v_{be} = 3,142 * 10^{-4} * 30 = 9,426 * 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$n: 0,5 - 0,9 \text{ közötti érték; számításban } n=0,5$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * A_b^2 * \eta}{\pi * \rho_{sz}}} * \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * \sqrt{\frac{1}{h * q_v}}$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * (3,142 * 10^{-4})^2 * 18,691 * 10^{-8}}{\pi * 1500}} * \left(\frac{0,0144}{0,03}\right)^{0,5} * \sqrt{\frac{1}{0,05 * 9,426 * 10^{-3}}}$$

$$d_h = 1,8945 * 10^{-7} \text{ [m]}$$

A számítás alapján az „2” -es összeállítású ciklon határszemcse mérete:

$$\underline{d_h = 0,189 \text{ [}\mu\text{m}]}$$

Megjegyzés: a számított érték nem változik, mivel a képlet szerint a ciklon teljes magassága (H) nem befolyásolja a határszemcse méretét.

4.3.3 Az „3” -as számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása

$$R_0: 14,4 \text{ [mm]} = 0,0144 \text{ [m]}$$

$$R: 60 \text{ [mm]} = 0,06 \text{ [m]}$$

$$h: 50 \text{ [mm]} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$H: 200 \text{ [mm]} = 0,2 \text{ [m]} - (H=H_1+H_3=100+100=200 \text{ [mm]})$$

$$s: 150 \text{ [mm]} = 0,15 \text{ [m]}$$

$$A_b: A_b = r_b^2 * \pi = 10^2 * \pi = 314,159 \text{ [mm}^2\text{]} = 3,142 * 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\eta: \eta = 18,691 * 10^{-8} \text{ [Pa*s]} \text{ (} T = 25 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{szobahőmérsékletre vonatkoztatva)}$$

$$\rho: \rho_{sz} = 1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v: v_{be} = 30 \text{ [m/s]}$$

$$q_v: q_v = A_b * v_{be} = 3,142 * 10^{-4} * 30 = 9,426 * 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$n: 0,5 - 0,9 \text{ közötti érték; számításban } n=0,5$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * A_b^2 * \eta}{\pi * \rho_{sz}}} * \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * \sqrt{\frac{1}{h * q_v}}$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * (3,142 * 10^{-4})^2 * 18,691 * 10^{-8}}{\pi * 1500}} * \left(\frac{0,0144}{0,06}\right)^{0,5} * \sqrt{\frac{1}{0,05 * 9,426 * 10^{-3}}}$$

$$d_h = 1,402 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

A számítás alapján az „3” -as összeállítású ciklon határszemcse mérete:

$$\underline{\underline{d_h = 1401,51 \text{ [}\mu\text{m]}}}$$

Megjegyzés: a számítás egyértelműen igazolja, hogy a ciklon hengeres test sugarának növelése a határszemcse méretét növeli.

4.3.4 Az „4” -es számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása

$$R_0: 14,4 \text{ [mm]} = 0,0144 \text{ [m]}$$

$$R: 60 \text{ [mm]} = 0,06 \text{ [m]}$$

$$h: 50 \text{ [mm]} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$H: 300 \text{ [mm]} = 0,3 \text{ [m]} - (H=H_1+H_2+H_3=100+100+100=300 \text{ [mm]})$$

$$s: 250 \text{ [mm]} = 0,25 \text{ [m]}$$

$$A_b: A_b = r_b^2 * \pi = 10^2 * \pi = 314,159 \text{ [mm}^2\text{]} = 3,142 * 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\eta: \eta = 18,691 * 10^{-8} \text{ [Pa*s]} \text{ (} T = 25 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{szobahőmérsékletre vonatkoztatva)}$$

$$\rho: \rho_{sz} = 1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v: v_{be} = 30 \text{ [m/s]}$$

$$q_v: q_v = A_b * v_{be} = 3,142 * 10^{-4} * 30 = 9,426 * 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$n: 0,5 - 0,9 \text{ közötti érték; számításban } n=0,5$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * A_b^2 * \eta}{\pi * \rho_{sz}}} * \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * \sqrt{\frac{1}{h * q_v}}$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * (3,142 * 10^{-4})^2 * 18,691 * 10^{-8}}{\pi * 1500}} * \left(\frac{0,0144}{0,06}\right)^{0,5} * \sqrt{\frac{1}{0,05 * 9,426 * 10^{-3}}}$$

$$d_h = 1,402 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

A számítás alapján az „4” -es összeállítású ciklon határszemcse mérete:

$$\underline{\underline{d_h = 1401,51 \text{ [}\mu\text{m]}}}$$

Megjegyzés: a számított érték nem változik, mivel a képlet szerint a ciklon teljes magassága (H) nem befolyásolja a határszemcse méretét.

4.3.5 Az „5”-ös számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása

$$R_0: 14,4 \text{ [mm]} = 0,0144 \text{ [m]}$$

$$R: 90 \text{ [mm]} = 0,09 \text{ [m]}$$

$$h: 50 \text{ [mm]} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$H: 200 \text{ [mm]} = 0,2 \text{ [m]} - (H=H_1+H_3=100+100=200 \text{ [mm]})$$

$$s: 150 \text{ [mm]} = 0,15 \text{ [m]}$$

$$A_b: A_b = r_b^2 * \pi = 10^2 * \pi = 314,159 \text{ [mm}^2\text{]} = 3,142 * 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\eta: \eta = 18,691 * 10^{-8} \text{ [Pa*s]} \text{ (} T = 25 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{szobahőmérsékletre vonatkoztatva)}$$

$$\rho: \rho_{sz} = 1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v: v_{be} = 30 \text{ [m/s]}$$

$$q_v: q_v = A_b * v_{be} = 3,142 * 10^{-4} * 30 = 9,426 * 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$n: 0,5 - 0,9 \text{ közötti érték; számításban } n=0,5$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * A_b^2 * \eta}{\pi * \rho_{sz}}} * \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * \sqrt{\frac{1}{h * q_v}}$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * (3,142 * 10^{-4})^2 * 18,691 * 10^{-8}}{\pi * 1500}} * \left(\frac{0,0144}{0,09}\right)^{0,5} * \sqrt{\frac{1}{0,05 * 9,426 * 10^{-3}}}$$

$$d_h = 9,733 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

A számítás alapján az „5”-ös összeállítású ciklon határszemcse mérete:

$$\underline{\underline{d_h = 9732,67 \text{ [}\mu\text{m]}}}$$

Megjegyzés: a számítás tovább igazolja, hogy a ciklon hengeres test sugarának növelése a határszemcse méretét növeli.

4.3.6 Az „6” -os számú összeállítás határszemcse méretének meghatározása

$$R_0: 14,4 \text{ [mm]} = 0,0144 \text{ [m]}$$

$$R: 90 \text{ [mm]} = 0,09 \text{ [m]}$$

$$h: 50 \text{ [mm]} = 0,05 \text{ [m]}$$

$$H: 300 \text{ [mm]} = 0,3 \text{ [m]} - (H=H_1+H_2+H_3=100+100+100=300 \text{ [mm]})$$

$$s: 250 \text{ [mm]} = 0,25 \text{ [m]}$$

$$A_b: A_b = r_b^2 * \pi = 10^2 * \pi = 314,159 \text{ [mm}^2\text{]} = 3,142 * 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\eta: \eta = 18,691 * 10^{-8} \text{ [Pa*s]} \text{ (} T = 25 \text{ } ^\circ\text{C} - \text{szobahőmérsékletre vonatkoztatva)}$$

$$\rho: \rho_{sz} = 1500 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$v: v_{be} = 30 \text{ [m/s]}$$

$$q_v: q_v = A_b * v_{be} = 3,142 * 10^{-4} * 30 = 9,426 * 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$n: 0,5 - 0,9 \text{ közötti érték; számításban } n=0,5$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * A_b^2 * \eta}{\pi * \rho_{sz}}} * \left(\frac{R_0}{R}\right)^n * \sqrt{\frac{1}{h * q_v}}$$

$$d_h = \sqrt{\frac{9 * (3,142 * 10^{-4})^2 * 18,691 * 10^{-8}}{\pi * 1500}} * \left(\frac{0,0144}{0,09}\right)^{0,5} * \sqrt{\frac{1}{0,05 * 9,426 * 10^{-3}}}$$

$$d_h = 9,733 * 10^{-3} \text{ [m]}$$

A számítás alapján az „6” -os összeállítású ciklon határszemcse mérete:

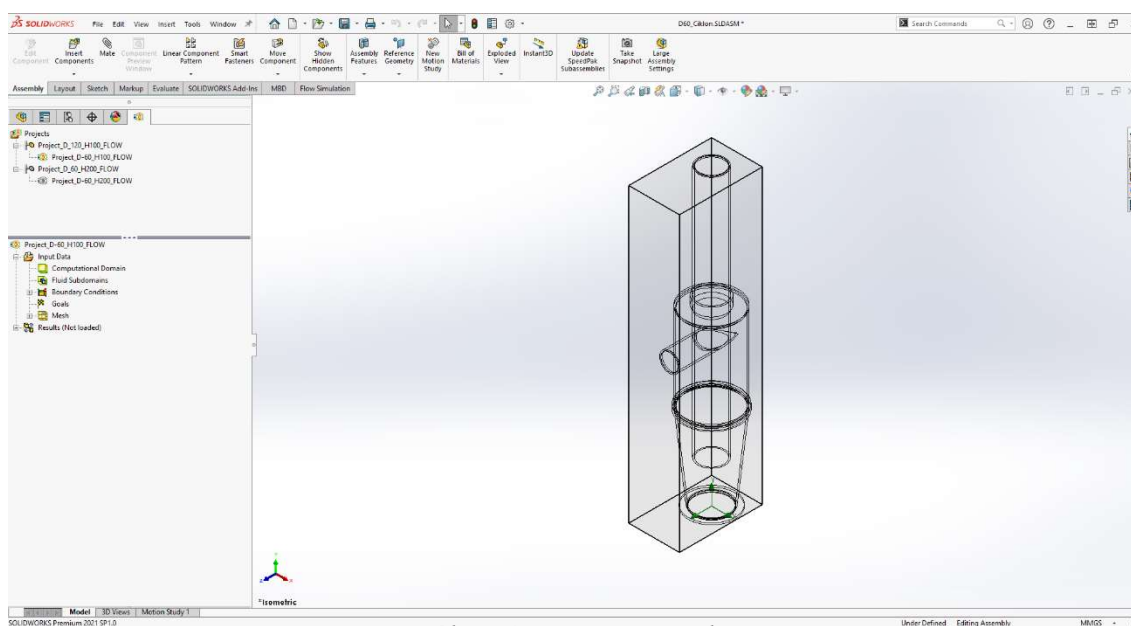
$$\underline{d_h = 9732,67 \text{ [}\mu\text{m]}}$$

Megjegyzés: a számított érték nem változik, mivel a képlet szerint a ciklon teljes magassága (H) nem befolyásolja a határszemcse méretét.

4.4 Az elvégzett szimulációk és azok eredményeinek ismertetése

A szimulációkat a SOLIDWORKS tervezőprogram SOLIDWORKS FLOW SIMULATION bővítményének segítségével végeztem el.

Az alábbi képen látható a „D60_Ciklon” elnevezésű összeállítás.



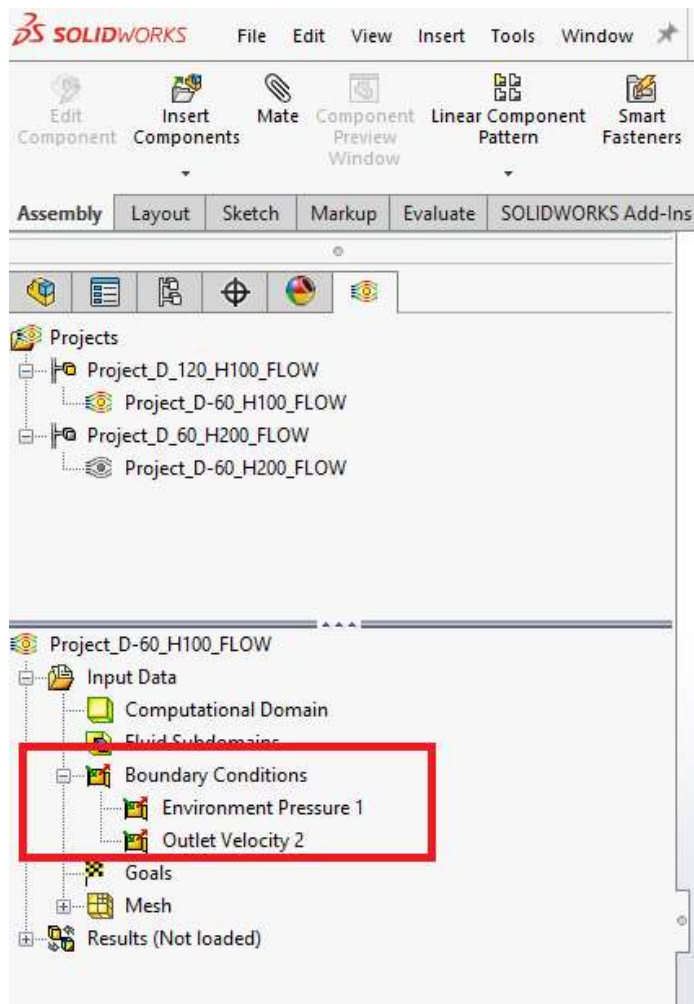
20. ábra SOLIDWORK alapmenü.

A szimuláció sikeres lefuttatásához először is meg kell adnunk a szükséges peremfeltételeket. A célkitűzések szerint a szimulációk segítségével a ciklon nyomásviszonyait és a benne áramló gáz (levegő) áramlási sebességét szeretném vizsgálni.

Az alábbi néhány képernyőfotó segítségével szeretném ismertetni a programban használt beállításokat. A képernyőfotók csak az alapvető beállításokat tartalmazzák, minden apró részletre azok nem terjednek ki, mivel szakdolgozatomban nem a SOLIDWORKS tervező program működésének részletes ismertetéséről szeretnék beszélni.

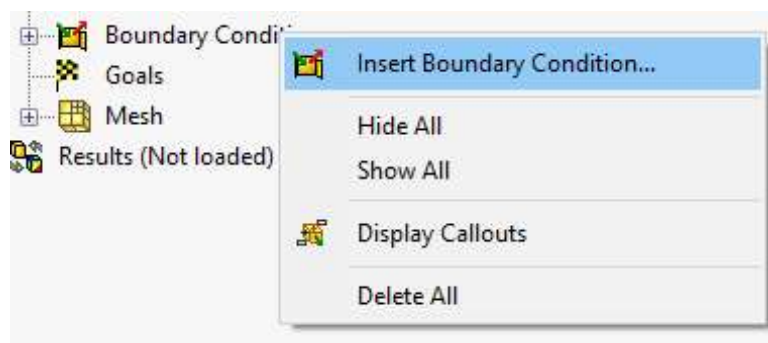
A bemutatott lépések segítségével a szimulációban használt beállítások is megismerhetők, így az elkészült szimulációk értelmezhetővé válnak.

A szimuláció elvégzéséhez első lépésként a peremfeltételeknél az alábbi menüpontok beállítása szükséges:



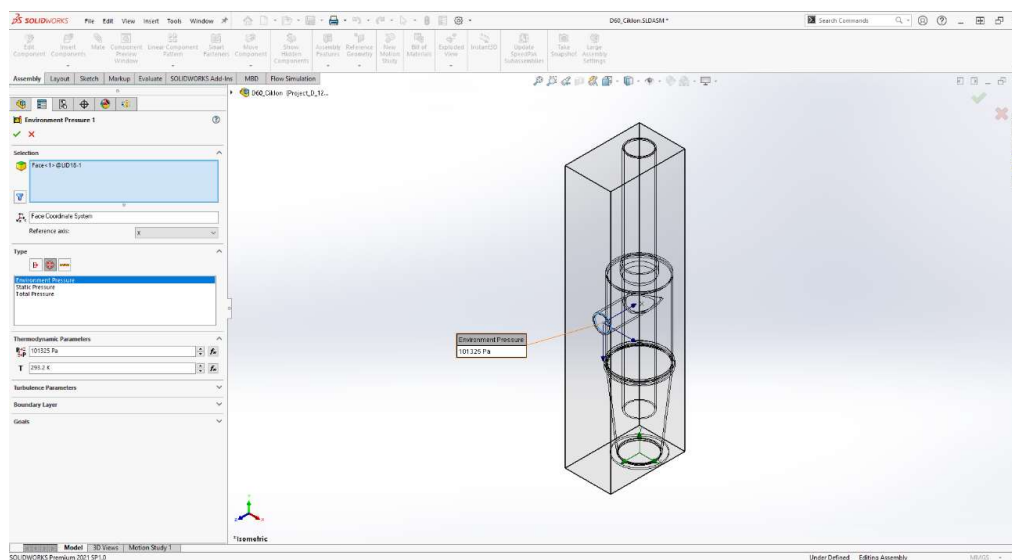
21. ábra SOLIDWORK peremfeltételek menü.

A peremfeltételek a „Boundray Conditions” menüre kattintva az „Insert Boundary Conditions” parancsal hozhatók létre.

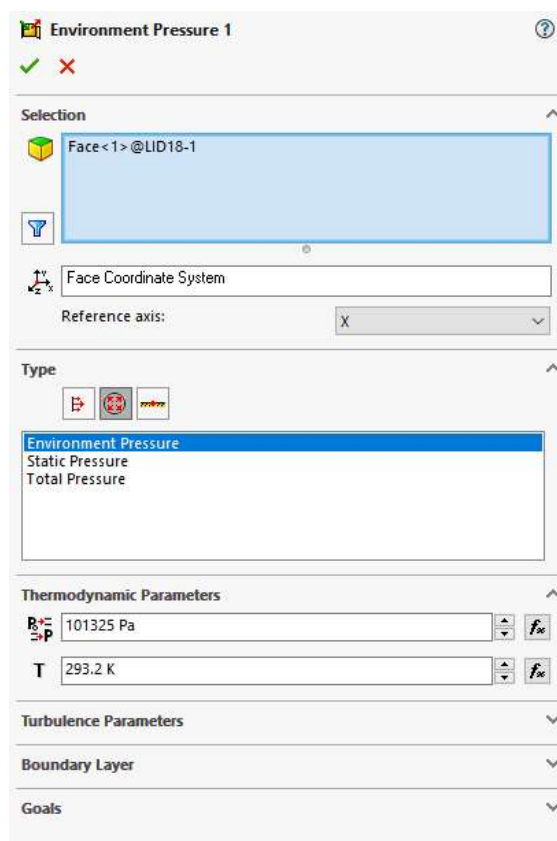


22. ábra SOLIDWORK peremfeltételek beszúrása.

Peremfeltételként először is meg kell adni a ciklon beömlő csövön a környezeti nyomás értékét.

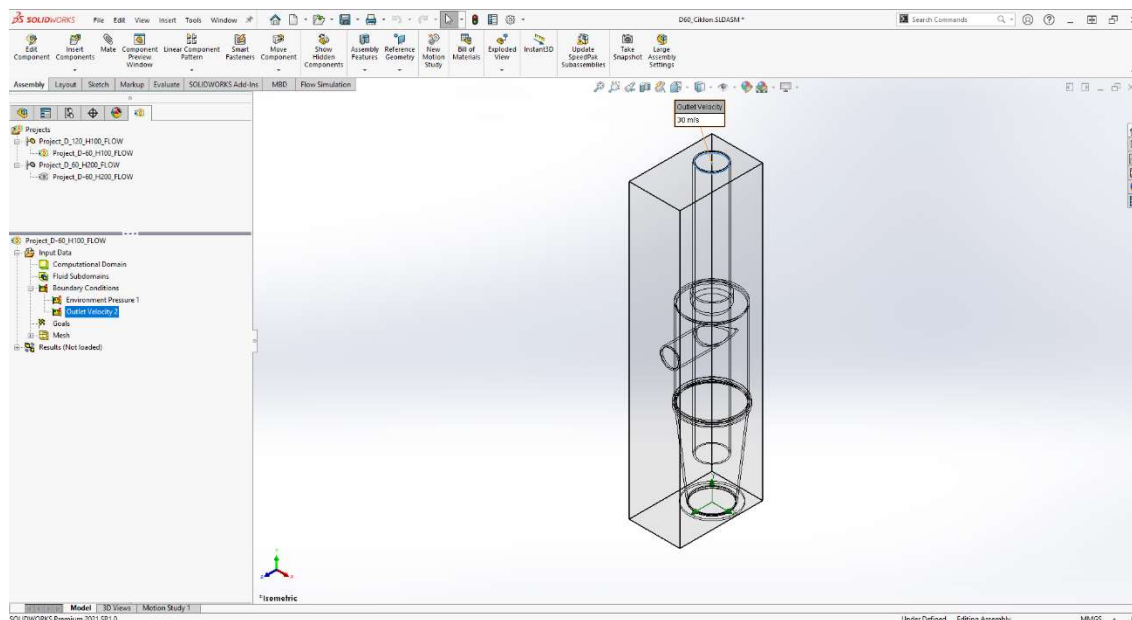


23. ábra SOLIDWORKS beömlő nyomásértékének megadása.

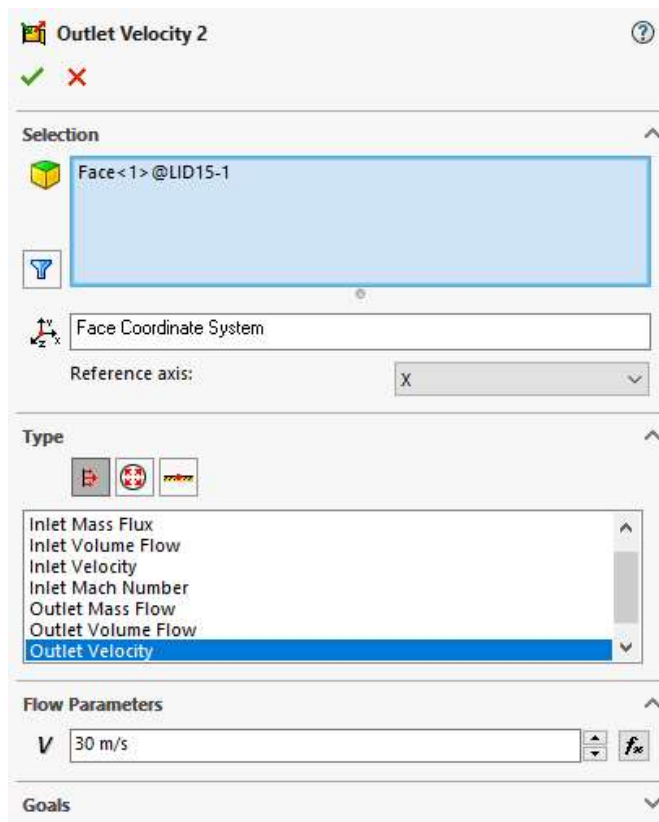


24. ábra SOLIDWORKS légköri nyomás értékének beállítása.

Ezt követően további peremfeltételként meg kell adni a ciklon kiömlő csövön a kilépő sebesség értékét.

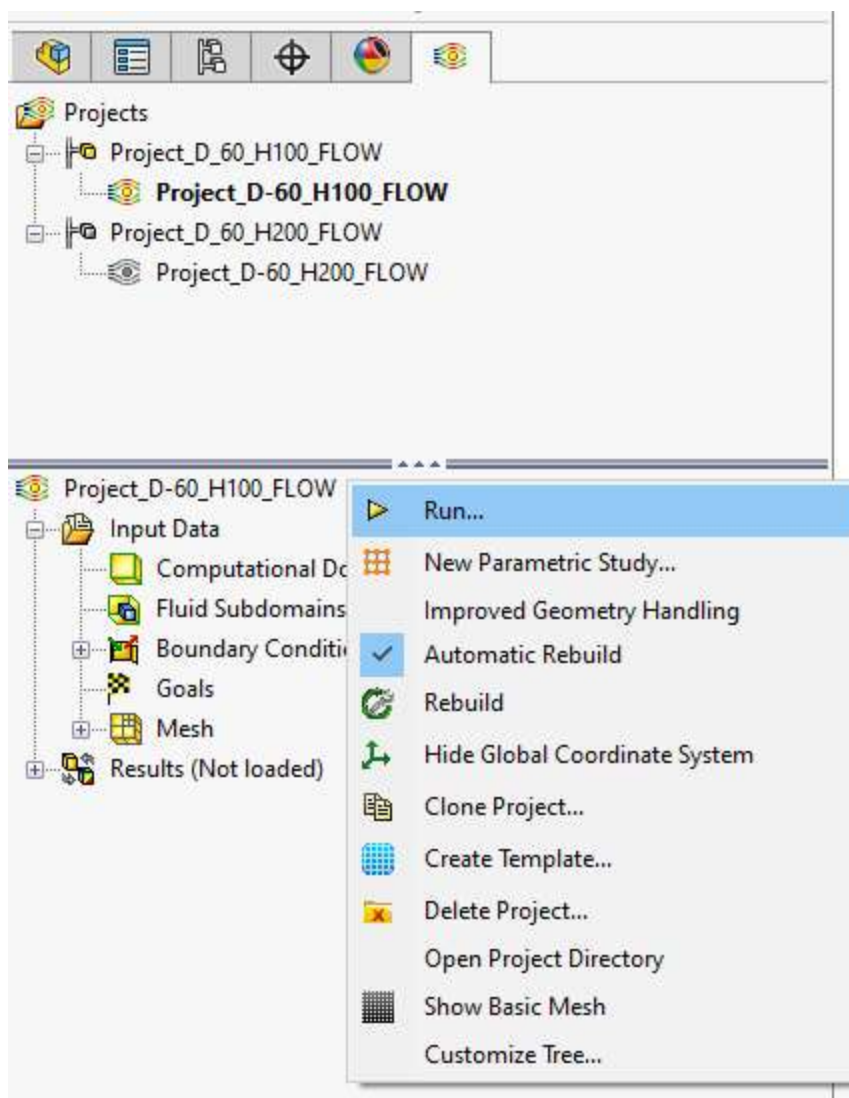


25. ábra SOLIDWORKS kiömlő sebességértékének megadása.



26. ábra SOLIDWORKS sebesség értékének beállítása.

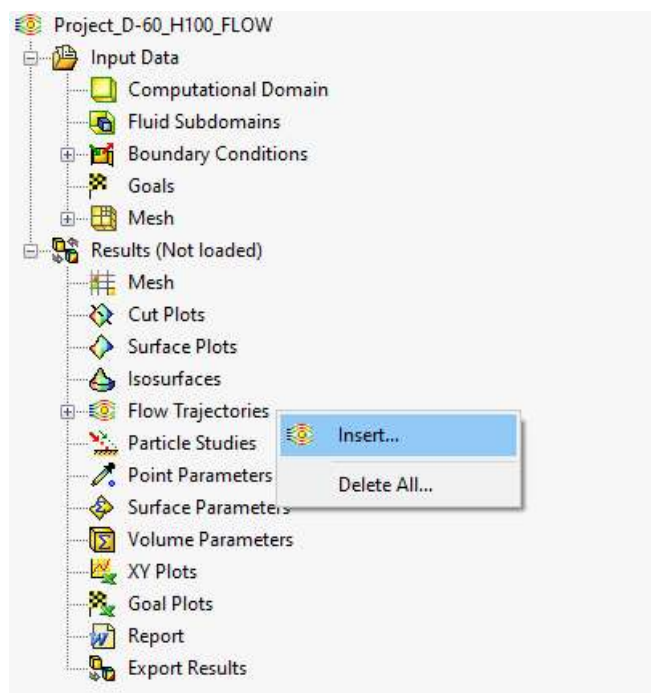
Miután az ismertetett peremfeltételek beállításra kerültek, az adott összeállítás áramlástan projektjére kattintva lefuttatjuk a solver-t.



27. ábra SOLIDWORKS solver lefuttatásának elindítása.

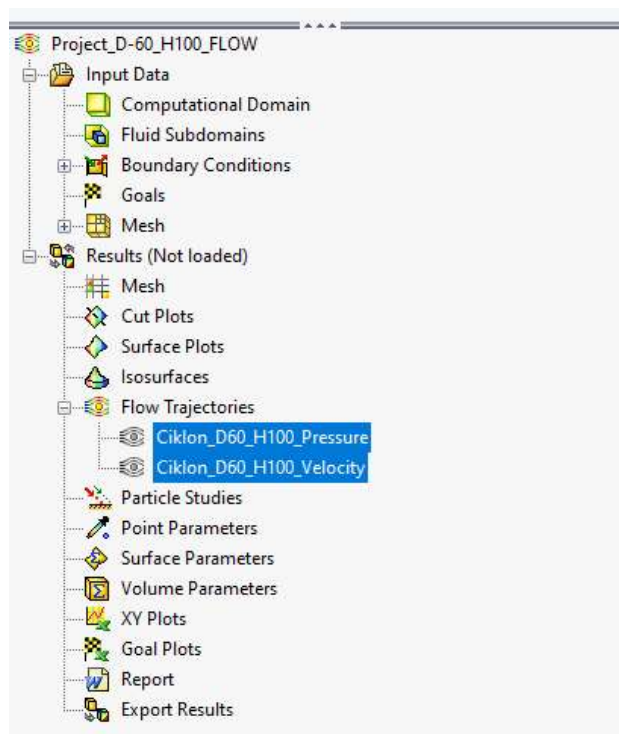
A solver lefuttatását követően elérhetővé válik a projekt eredményei között a „Flow Trajectories” – azaz „Áramlási pályák” menü, ahol az „Insert” – „Beillesztés” parancs segítségével új áramlási pályákat tudunk hozzáadni.

A művelet az alábbi képen látható:



28. ábra SOLIDWORKS áramlási pályák beszúrása.

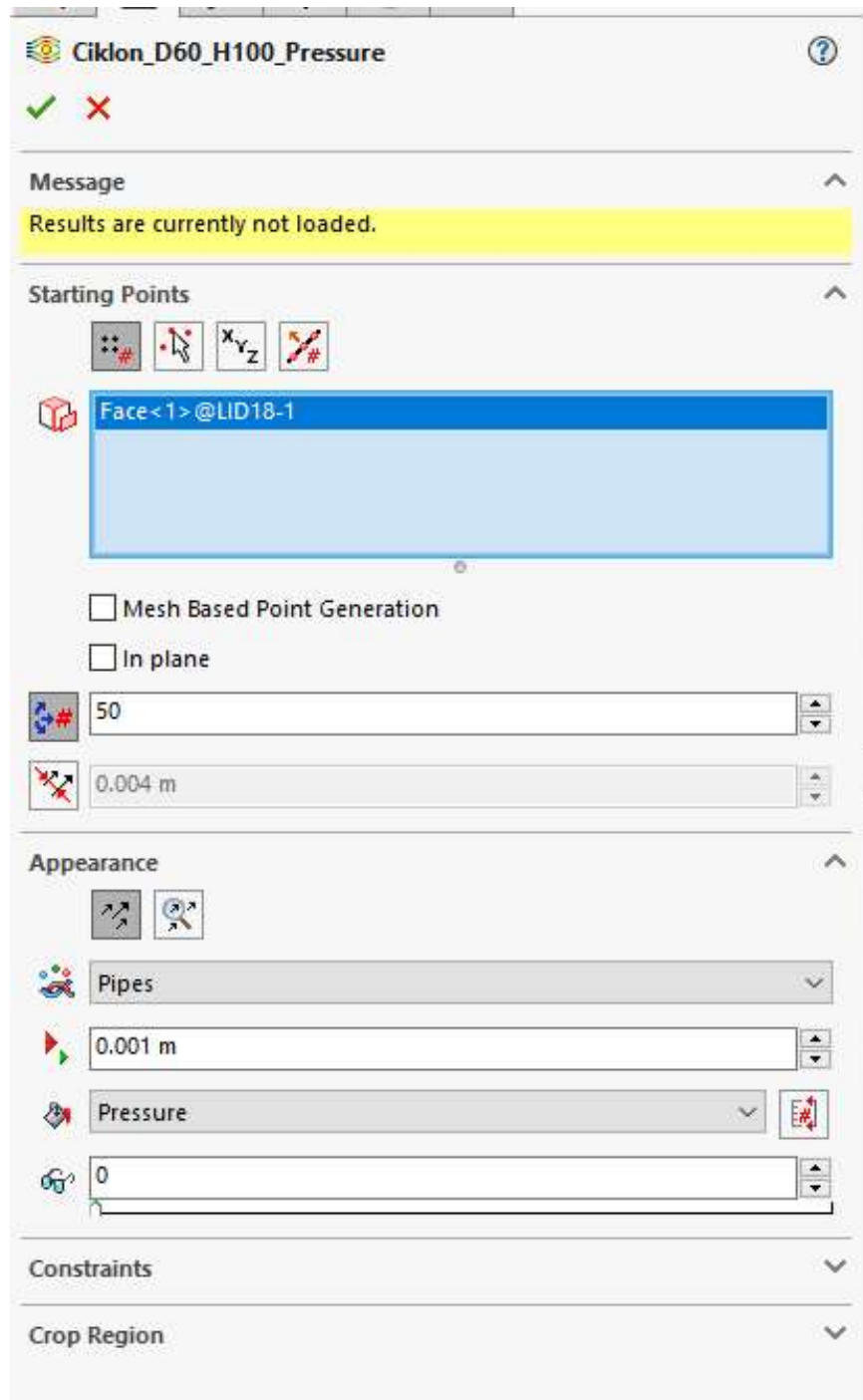
A vizsgálathoz szükségünk lesz a „Pressure” – „Nyomás” továbbá a „Velocity” – „Sebesség” pályák és adatok vizsgálatára.



29. ábra SOLIDWORKS a szükséges áramlási pályák meghatározása.

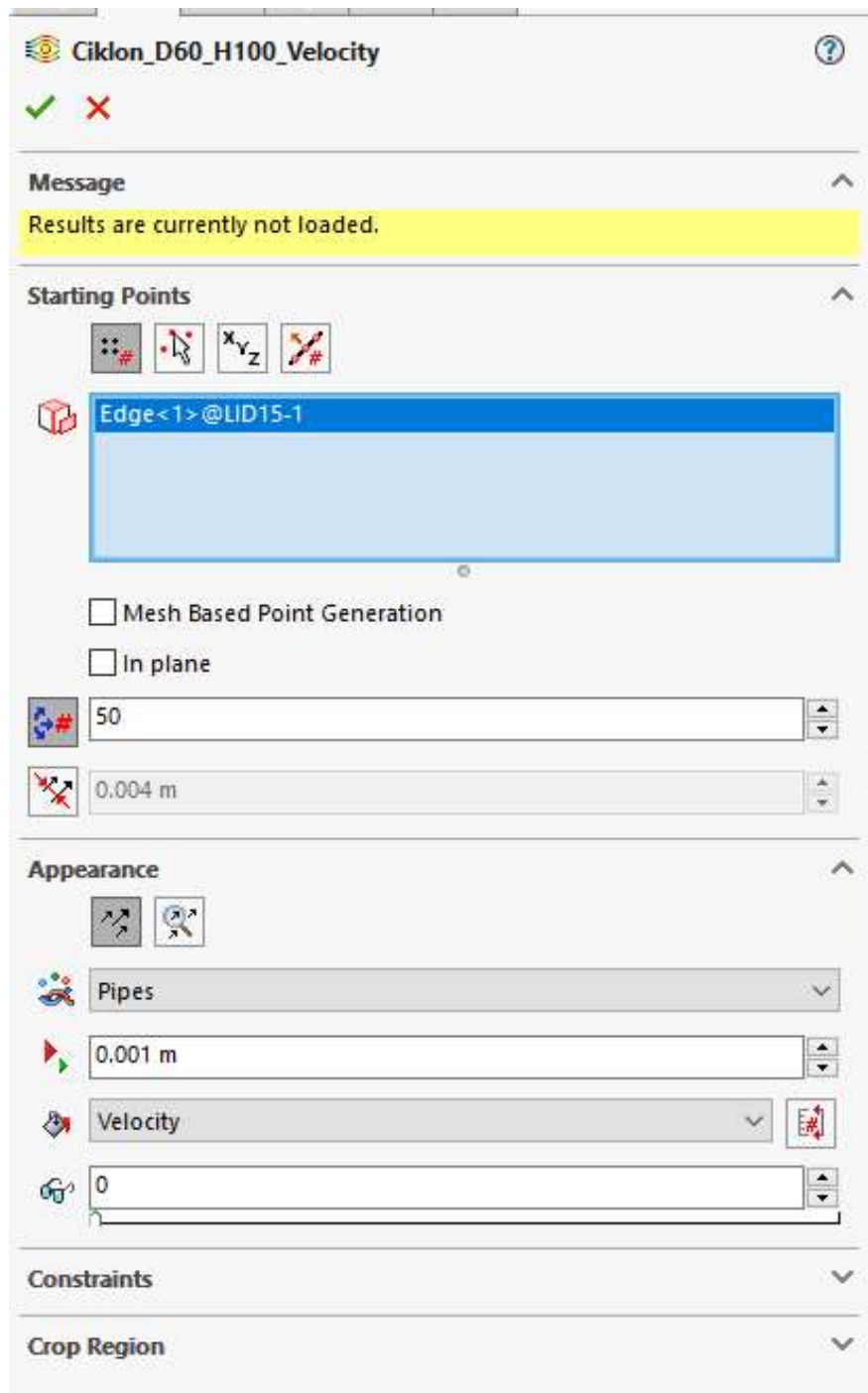
A fenti képen kijelölt pályagörbék beállításait a képen látható sorrendben a következő képernyőfotó ábrázolja:

A nyomás áramlási pályáinak beállításainak lehetőségét az alábbi képernyőfotó ábrázolja:



30. ábra SOLIDWORK a nyomás áramlási pálya beillesztése.

A sebesség áramlási pályáinak beállításainak lehetőségét az alábbi képernyőfotó ábrázolja:

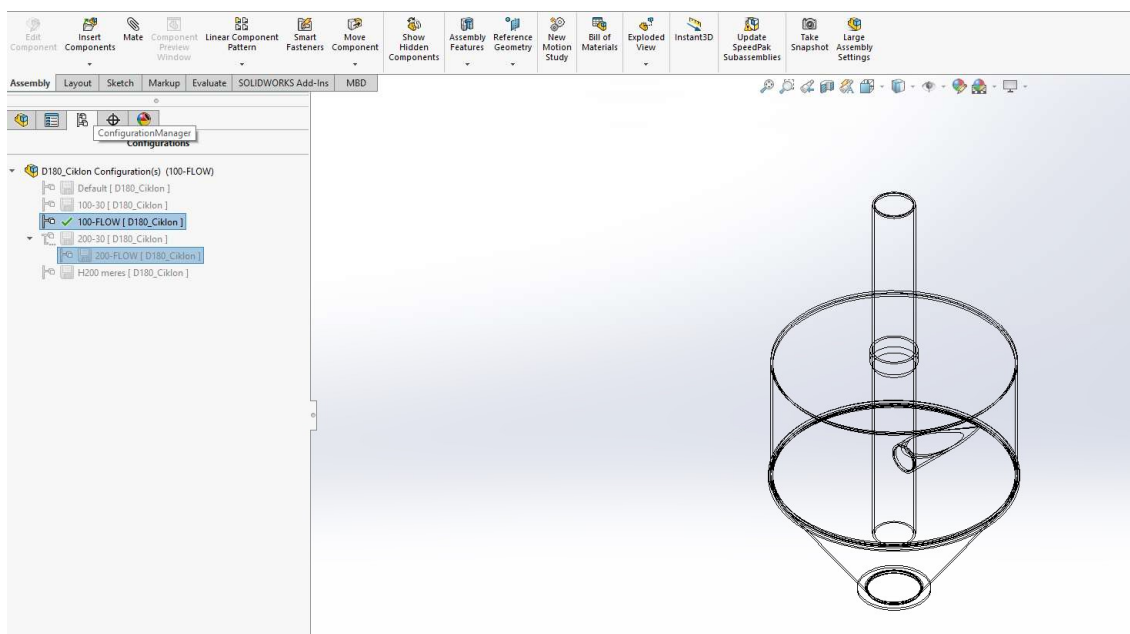


31. ábra SOLIDWORK a sebesség áramlási pálya beillesztése.

A paraméterek beállítását követően az egyes pályagörbékre kattintva a „Run” – „Futtatás” parancs segítségével lejátszhatjuk a szimuláció eredményeit.

A SOLIDWORKS-ben a „Configuration Manager” – „Konfigurációkezelő” segítségével lehetőségünk nyílik különböző összeállítások létrehozására, klónozására, mely jelentősen megkönnyíti az elvégzendő feladatok nehézségét, továbbá hozzájárul ahhoz, hogy a feladatainkat minél rövidebb idő alatt el tudjuk végezni.

Az összeállítások alösszeállításaként létrehozhatunk külön olyan összeállításokat, melyekben csak pl. szilárdságtani, vagy az én esetemben áramlástan vizsgálatokat, szimulációkat végzünk.

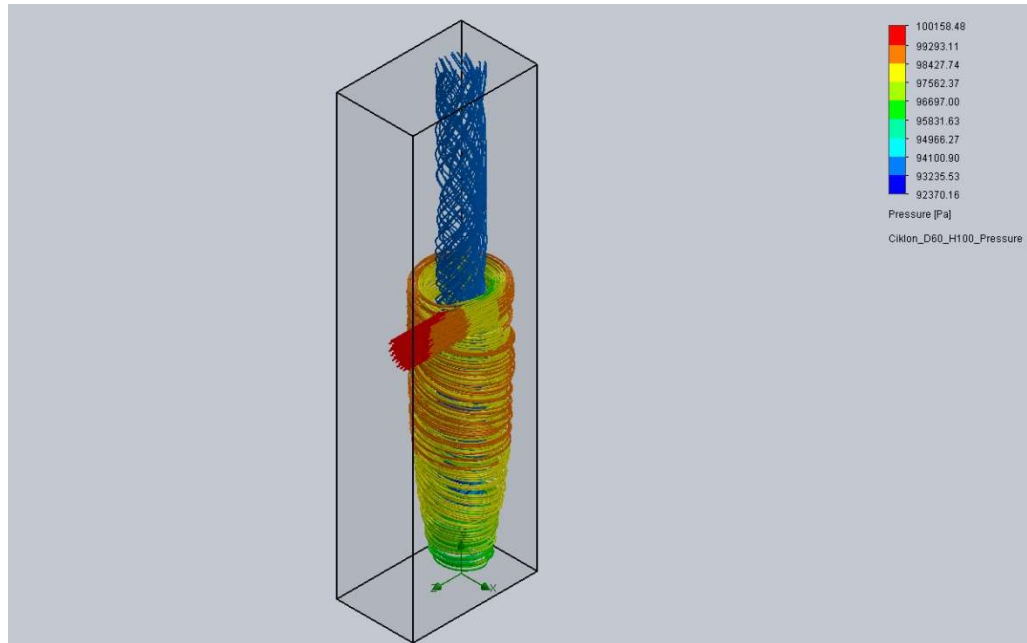


32. ábra SOLIDWORK alösszeállítások létrehozása a konfigurációkezelő segítségével.

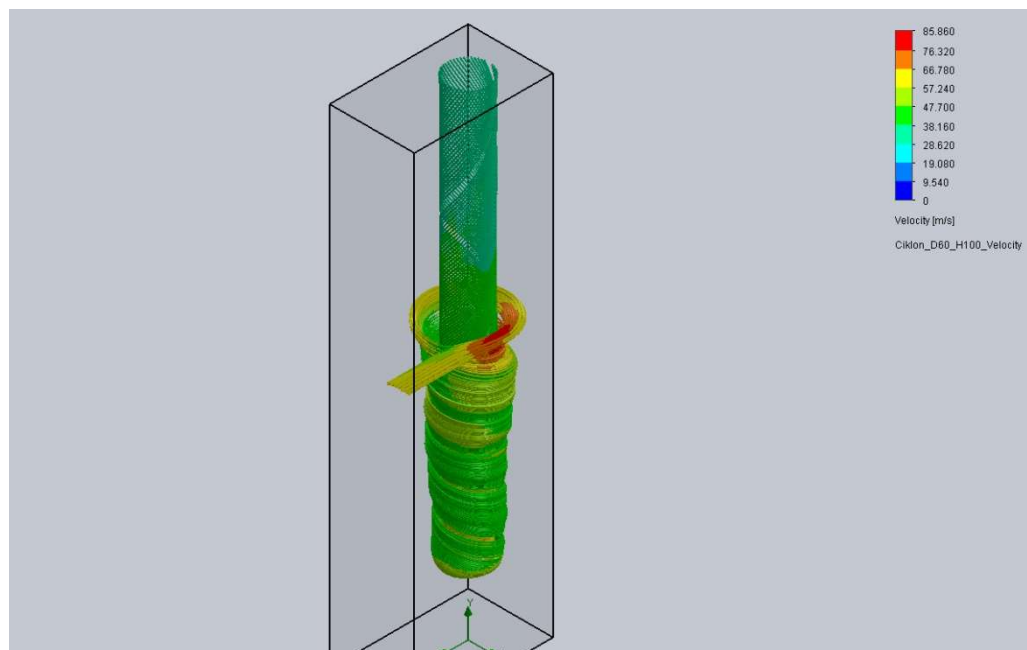
A következő fejezetben a tervezett összeállítások szimulációinak eredményeit ismertetem. A tervezett ciklonok alkatrészrajzai és összeállítási rajzai a mellékletekben megtalálhatóak.

4.4.1 A D60-as ciklon szimulációs eredményei

H-100 -as összeállítás - Az összeállítás egy hengeres részt, melynek magassága 100 [mm] és egy csonka kúpos részt, melynek magassága 100 [mm] tartalmaz.

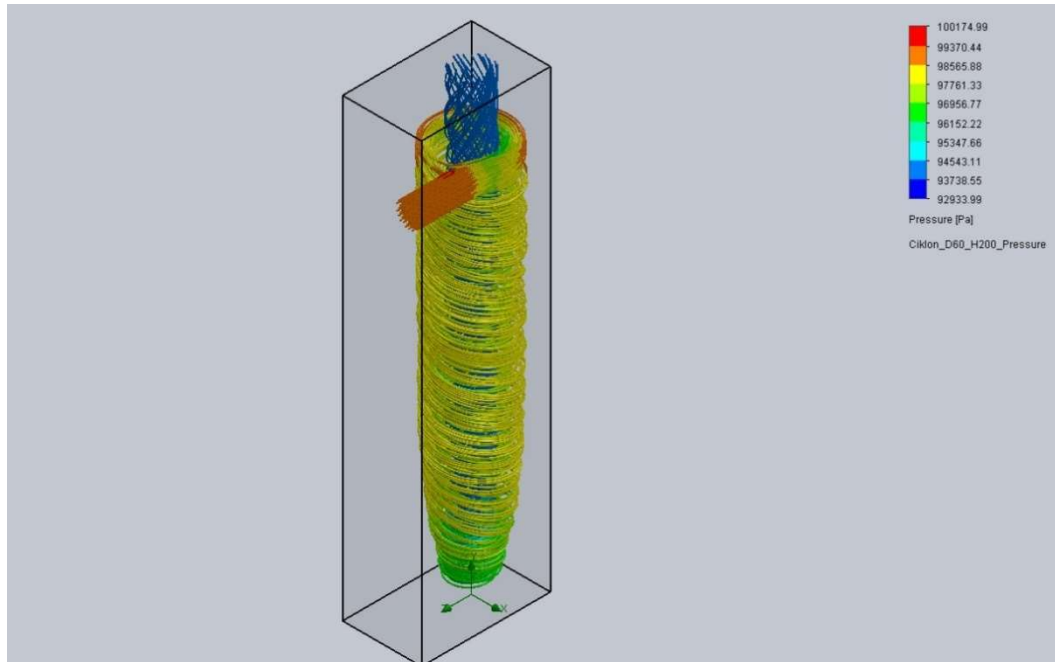


33. ábra SOLIDWORK A D60-as ciklon H100-as magassági értékű konfigurációjának nyomás értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

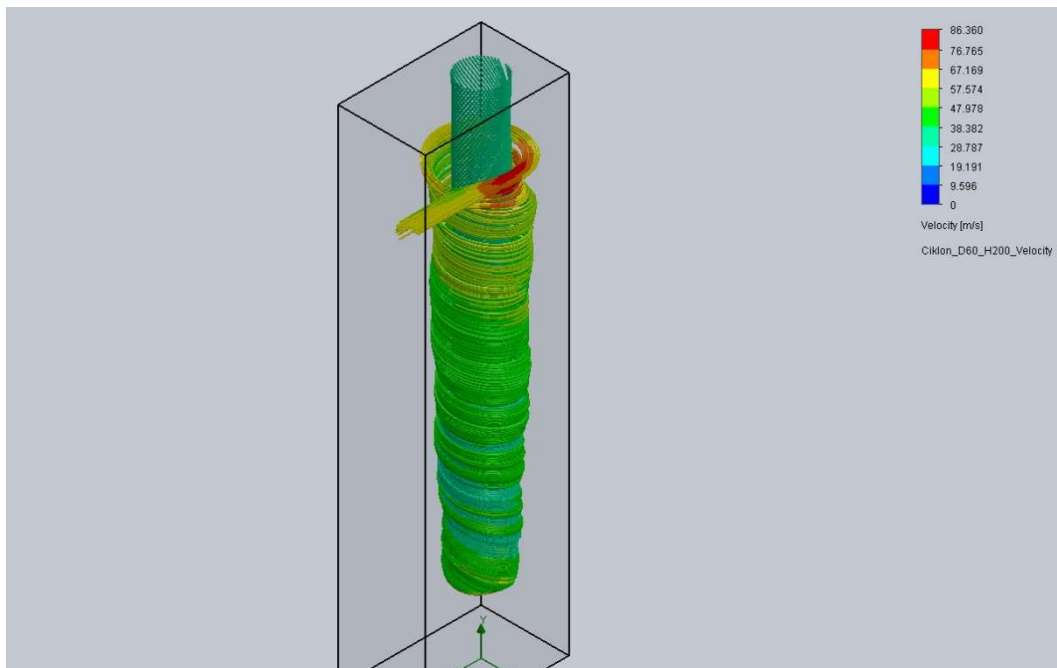


34. ábra SOLIDWORK A D60-as ciklon H100-as magassági értékű konfigurációjának sebesség értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

H-200 -as összeállítás - Az összeállítás kettő hengeres részt, melynek magassága $2 \cdot 100$ [mm] és egy csonka kúpos részt, melynek magassága 100 [mm] tartalmaz.



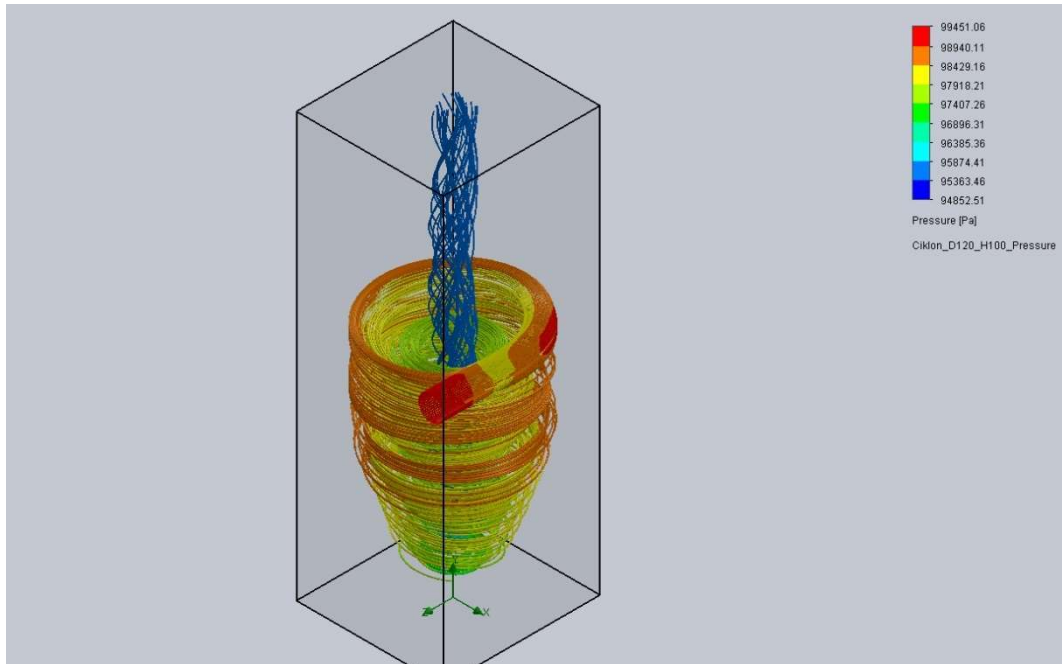
35. ábra SOLIDWORK A D60-as ciklon H200-as magassági értékű konfigurációjának nyomás értéket tartalmazó szimulációs eredménye.



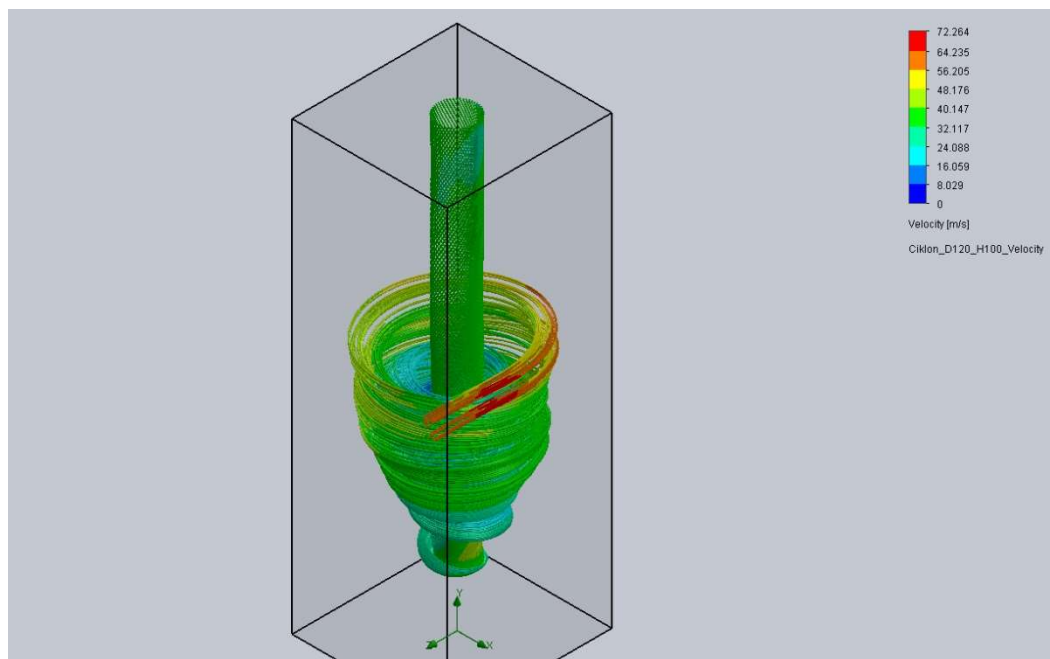
36. ábra SOLIDWORK A D60-as ciklon H200-as magassági értékű konfigurációjának sebesség értéket tartalmazó szimulációs eredménye.

4.4.2 A D120-as ciklon szimulációs eredményei

H-100 -as összeállítás - Az összeállítás egy hengeres részt, melynek magassága 100 [mm] és egy csonka kúpos részt, melynek magassága 100 [mm] tartalmaz.

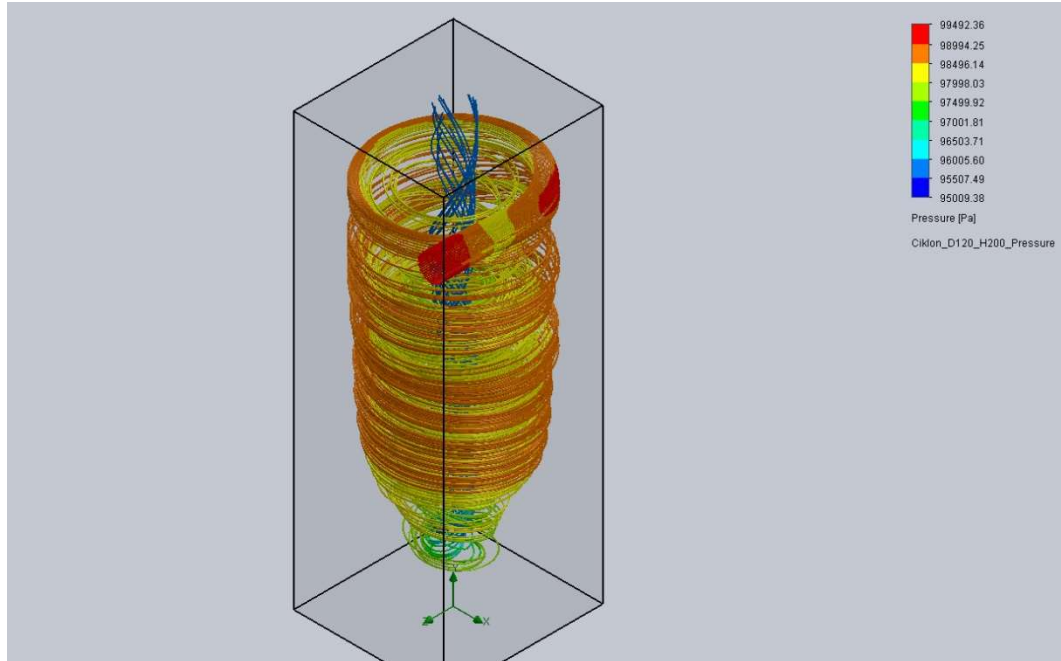


37. ábra SOLIDWORK A D120-as ciklon H100-as magassági értékű konfigurációjának nyomás értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

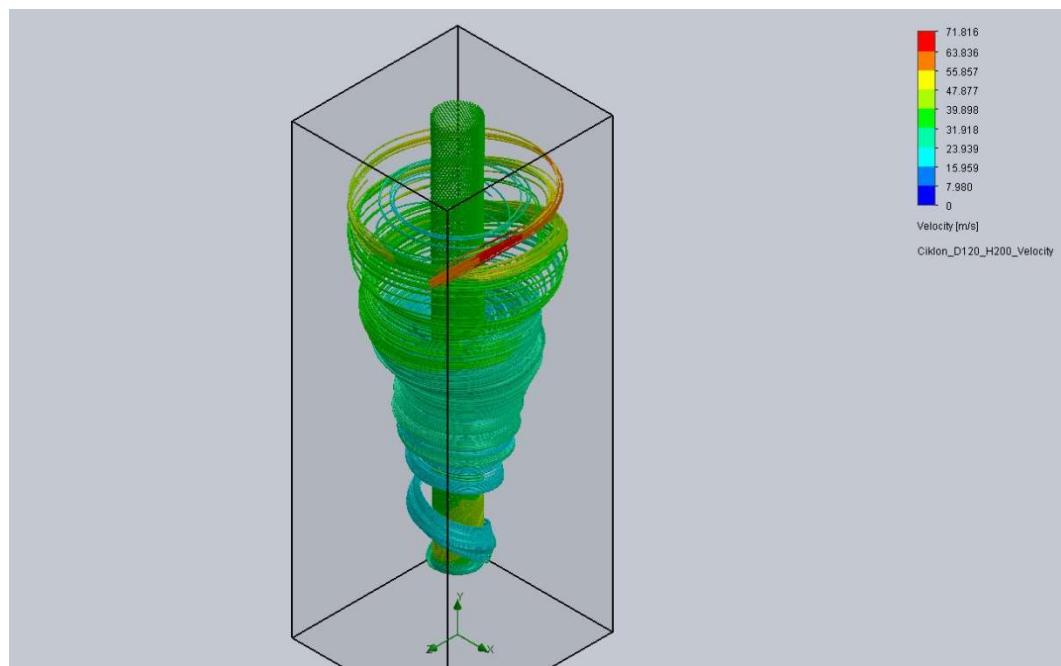


38. ábra SOLIDWORK A D120-as ciklon H100-as magassági értékű konfigurációjának sebesség értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

H-200 -as összeállítás - Az összeállítás kettő hengeres részt, melynek magassága $2 \cdot 100$ [mm] és egy csonka kúpos részt, melynek magassága 100 [mm] tartalmaz.



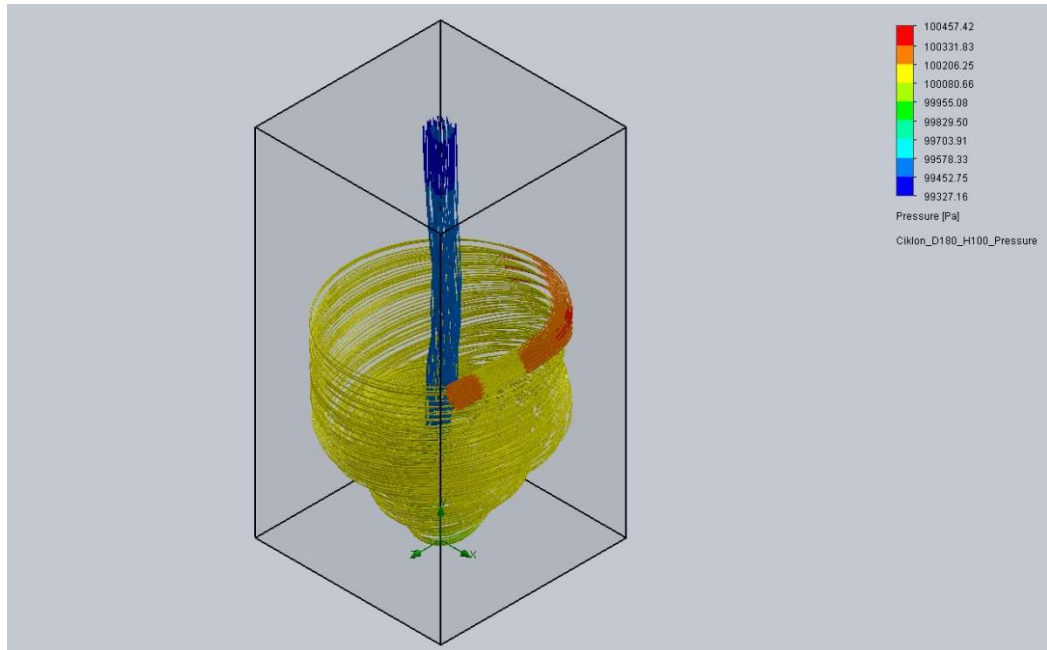
39. ábra SOLIDWORK A D120-as ciklon H200-as magassági értékű konfigurációjának nyomás értékét tartalmazó szimulációs eredménye.



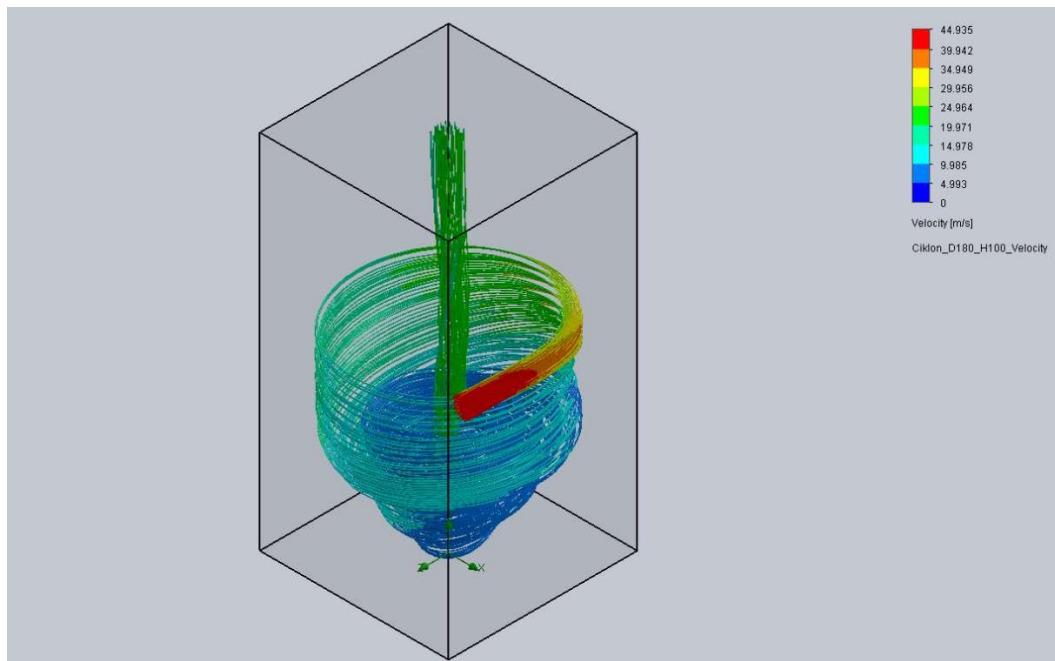
40. ábra SOLIDWORK A D120-as ciklon H200-as magassági értékű konfigurációjának sebesség értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

4.4.3 A D180-as ciklon szimulációs eredményei

H-100 -as összeállítás - Az összeállítás egy hengeres részt, melynek magassága 100 [mm] és egy csonka kúpos részt, melynek magassága 100 [mm] tartalmaz.

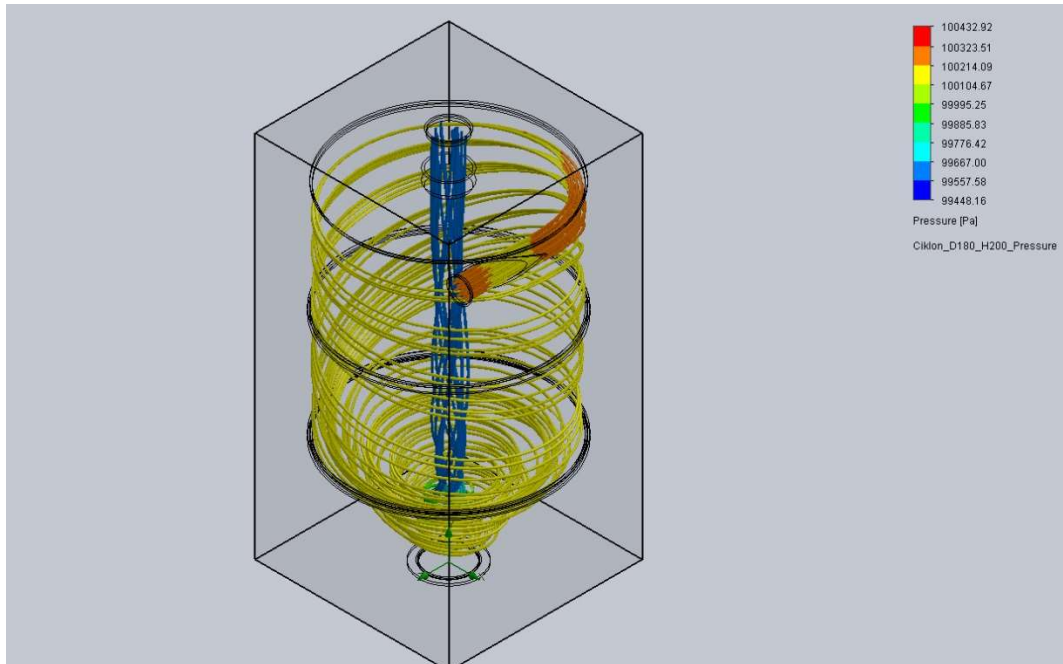


41. ábra SOLIDWORK A D180-as ciklon H100-as magassági értékű konfigurációjának nyomás értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

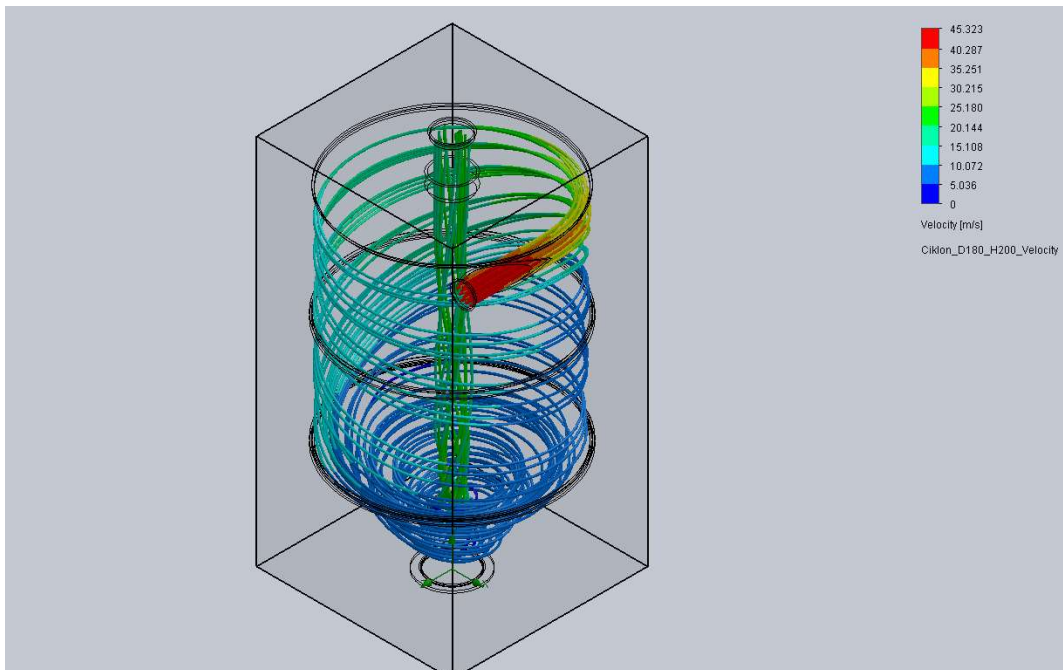


42. ábra SOLIDWORK A D180-as ciklon H100-as magassági értékű konfigurációjának sebesség értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

H-200 -as összeállítás - Az összeállítás kettő hengeres részt, melynek magassága $2 \cdot 100$ [mm] és egy csonka kúpos részt, melynek magassága 100 [mm] tartalmaz.



43. ábra SOLIDWORK A D180-as ciklon H200-as magassági értékű konfigurációjának nyomás értékét tartalmazó szimulációs eredménye.



44. ábra SOLIDWORK A D180-as ciklon H200-as magassági értékű konfigurációjának sebesség értékét tartalmazó szimulációs eredménye.

4.5 Az elvégzett szimulációk megállapításai, az eredmények értékelése

A szimulációk segítségével egyértelmű megállapításokat tehetünk a különböző ciklon összeállításokban kialakuló nyomás- és sebességállapotokra vonatkozóan.

4.5.1 A nyomásállapotok értékelése

Az eredmények értékelése alapján megállapítható, hogy a ciklonok átmérőjének növelése során a kiömlő nyíláson mérhető nyomás értéke egyre inkább megközelíti a beömlő nyíláson mérhető (a szimulációban is előre beállított) légköri nyomás értékét.

A D60-H100-as összeállítás és a D60-H200-as összeállítás vizsgálata során kijelenthető, hogy a nyomáskülönbség értéke a D60-H100-as összeállításban valamennyivel kisebb. Átlagosan a beömlő nyílás és a kiömlő nyílás közötti nyomáskülönbség a szimulációs eredmények alapján 10 % alatti.

A D120-H100-as összeállítás és a D120-H200-as összeállítás vizsgálata során kijelenthető, hogy a nyomáskülönbség értéke ezen összeállítások összehasonlításában a D120-H200-as összeállításban egy kicsit kisebb. Átlagosan a beömlő nyílás és a kiömlő nyílás közötti nyomáskülönbség a szimulációs eredmények alapján körülbelül 5 %, egy kicsivel az alatti.

A D180-H100-as összeállítás és a D180-H200-as összeállítás vizsgálata során is az tapasztalható, hogy a nyomáskülönbség értéke ezen összeállítások összehasonlításában ismételtelen a magasabb hengeres résszel rendelkező D180-H200-as összeállításban minimálisan kisebb. Átlagosan a beömlő nyílás és a kiömlő nyílás közötti nyomáskülönbség a szimulációs eredmények alapján maximum egy kicsivel haladja meg az 1 %-os értéket.

A kezdeti megállapítások után a különböző összeállítások eredményeinek részletes összehasonlítását követően megerősíthetjük, hogy a ciklonok átmérőjének növelésével a beömlő és kiömlő nyílások nyomásértéke egymáshoz közeledő tendenciát mutat, azaz a ciklon nyomáskülönbsége egyre inkább csökken.

Amennyiben a ciklon hengeres részének magasság értékét növeljük azt tapasztalhatjuk, hogy annak a zónának a mérete megnő, ahol a ciklon testben a nyomás értéke lecsökken.

4.5.2 A sebességállapotok értékelése

Amennyiben a kiömlő nyílások átmérőjére merőlegesen előre meghatározott áramlási sebességet állítunk be (ahogyan ezt a szimulációban is tettem – 30 [m / s]) azt tapasztalhatjuk, hogy a beömlő nyílás keresztmetszetére merőlegesen mért áramlási sebesség értéke jelentősen mértékben növelhető a ciklon átmérőjének csökkentésével.

A D60-H100-as összeállítás és a D60-H200-as összeállítás vizsgálata során kijelenthető, hogy az áramlási sebesség maximális értéke a D60-H200-as összeállításban minimálisan nagyobb. Átlagosan a beömlő nyílás után mért sebességérték a szimulációs eredmények alapján 280 %-val nagyobb, mint a kilépési sebességé.

A D120-H100-as összeállítás és a D120-H200-as összeállítás vizsgálata során az tapasztalható, hogy az áramlási sebesség maximális értéke a D60-H100-as összeállításban egy kicsit nagyobb. Átlagosan a beömlő nyílás után mért sebességérték a szimulációs eredmények alapján 240 %-val nagyobb, mint a kilépési sebességé.

A D180-H100-as összeállítás és a D180-H200-as összeállítás vizsgálata során ismételtén az mutatkozik, hogy a maximális áramlási sebesség értéke a két összeállítás közül a D60-H200-as összeállításban észlelhető. Az összeállításokban átlagosan a beömlő nyílás után mért sebességérték a szimulációs eredmények alapján már csak 150 % körüli értékkel nagyobb, mint a kilépési sebességé.

A kezdeti megállapításokat követően, a különböző összeállítások eredményeinek részletes vizsgálata rámutat arra, hogy a ciklonok átmérőjének növelésével a beömlő nyíláson mérhető sebesség értéke jelentősen csökken, ez által csökken a ciklon beszívási teljesítménye is.

A ciklon hengeres testmagasságának növelésével, a beömlő nyílás keresztmetszetére merőlegesen mért áramlási sebesség értékének változása nem jelentős, mondhatni elhanyagolható mértékben nő.

4.5.3 A szimulációs eredmények összevont értékelése

A szimulációk eredményeiből arra következtetnek, hogy a kísérletek során a legkedvezőbb mérések a legkisebb átmérővel rendelkező összeállítások alacsonyabb hengeres magassággal rendelkező ciklonja esetén lesznek tapasztalhatóak.

4.6 A mérés, a mérés során használt eszközök és a mérési összeállítások bemutatása

4.6.1 A mérési folyamat ismertetése

A valós méréseket egy Craftbot Flow IDEX XL típusú 3D nyomtató segítségével elkészített modelleken (melyek tervdokumentációi a mellékletekben találhatóak) fogom elvégezni. A ciklonok kiömlő nyílására egy 1000 [W] teljesítményű, Nilfisk gyártmányú, BUDDY II 12 típusú ipari porszívót fogok rácsatlakoztatni, mely működésbe hozza a ciklont elérve a kívánt áramlási sebességet. Az áramlási sebesség pontos meghatározása érdekében egy VOLTCRAFT gyártmányú, AN-10 típusú anemometer kerül használatra. A minták előkészítése egy Windaus Labortechnik gyártmányú II-es szitakészlet (szitasor átmérője csökkenő sorrendben: 3,34 mm; 2,00 mm; 0,50 mm; 0,125 mm; 0,063 mm; $d_h < 0,063$ mm) megnevezésű szitasorral valósul meg. A minták pontos előkészítéséhez és az eredmények le méréséhez egy ProScale gyártmányú XC500 típusú digitális mérleg (melynek mérési tartománya 500,00 [g] -tól 0,01 [g]-ig terjed) került kiválasztásra. A ciklon merülőcsöveként egy kereskedelmi forgalomban megtalálható PVC 32/0,5m-es tokos cső került kiválasztásra.

Az eszközök az alábbi képeken láthatóak:



45. ábra. Craftbot Flow IDEX XL [9]



46. ábra. Nilfisk BUDDY II 12 [10]



47. ábra. VOLTcraft AN-10 típusú anemometer [11]



48. ábra. Windaus Labortechnik II-es szitakészlet

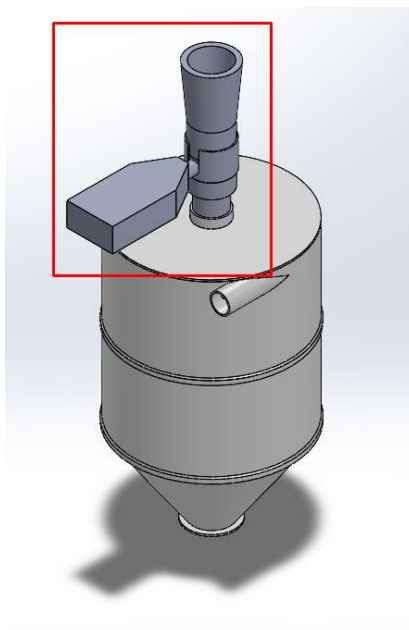


49. ábra. ProScale XC500 digitális mérleg [12]



50. ábra. PVC 32/0,5m-es tokos cső [13]

Az anemometer megfelelő csatlakozása érdekében egy egyszerű készülék megtervezésére és legyártására volt szükség, mely egyszerű összeállítási modellje az alábbi képen látható:



51. ábra. Anemometer rögzítő készülék.

4.6.2 A mérési minták előkészítése

A mérési minták előkészítése során $\sim 6,5$ [kg] tömegű talaj került átszitálásra a fentiekben ismertetett szitasor szitaszövelein.



52. ábra. Átszitált talajminták.

A 25. ábra felső sorába balról jobbra haladva a 2,00 mm-es, 0,50 mm-es, 0,25 mm-es, az alsó sorban balról jobbra haladva a 0,125 mm-es, 0,063 mm-es és a kisebb mint 0,063 mm-es átszitált porfrakciók láthatók.

A minták előállítása során minden egyes frakcióból 3,00 g tömegű mintát tettem a keverőedénybe, majd azokat összekevertem. Az így kialakult minták együttes tömege 18,00 g.



53. ábra. A mérőedény üres és mintával teli állapotban.

4.6.3 A mérési összeállítások ismertetése

A fenti fejezetekben ismertetett metodika szerint elkészítésre került mind a 6 darab ciklon összeállítás. A mérést minden összeállításon 10-10 alkalommal végeztem el.

Az alábbi képen látható egy összeállítás nagyobb méretben, majd az alatta található képen láthatóak az elkészült ciklonok (A kép a H200-as összeállításokat tartalmazza), illetve minden egyes összeállítás kisebb méretben (Balra a H100-as, jobbra a H200-as összeállítások láthatóak).



54. ábra. Egy kiválasztott összeállítás részletes szemléltetése.



55. ábra. Az elkészült ciklonok teljes testmagasságú összeállítása.



56. ábra. Az összes mérési összeállítás.

4.6.4 A mérési eredmények ismertetése

Annak ellenére, hogy a számítások és a szimulációk eredményei kecsegtetőek voltak, és azok alapján úgy bizonyult, hogy az összeállítások a merülő cső kedvezőtlen elhelyezkedése mellett is le fogják választani a mintákat, sajnálatos módon a mérési eredmények mindegyike ezzel ellentétes eredményt hozott. Minden egyes összeállításban, minden egyes mérésnél az előállított minta teljes tömege bekerült a porszívó porgyűjtő tartályába, azaz a ciklonok semmilyen mértékben nem választották le a port. Fentiek okán az eredmények részletes módon nem kerültek dokumentálásra.

Az empirikus vizsgálatok bebizonyították, hogy a merülő cső elhelyezkedése miatt nem tudott megvalósulni egyik esetben sem a porleválasztás. A porszemcsék hiába ütköztek a ciklonok falának és a gravitációs erőnek köszönhetően hiába hullottak le a ciklon alsó részére, ott a merülő cső által kifejtett szívó hatás által bekerültek a csőbe, ezt követően a porszívó porgyűjtő tartályába.

A mérések rávilágítottak arra, hogy a merülő cső s-h viszonyának módosításával szabályozni tudjuk a leválasztandó határszemcse méretét. További kísérletek elvégzésével fel tudunk állítani egy olyan határszámot, melyet a méretezés során figyelembe lehet venni.

A mérések során a rendszerben elektrosztatikus feltöltődés volt tapasztalható, de véleményem szerint a rendszer egyenpotenciálra hozása sem vezetett volna eltérő eredményhez.

A mérésekből arra lehet következtetni, hogy az elvégzett számítások és szimulációk csak közelítik a valóságot. Az általam elvégzett kísérletek, a használt eszközök és fennálló körülmények miatt szintén csak közelítő eredményt adhattak. Fentiek összességének ismeretében azonban egyértelműen kijelenthető, hogy a merülő cső elhelyezkedése esszenciális fontossággal bír.

5. Összefoglalás

A szakdolgozatomban a porleválasztó ciklonok geometriai paramétereinek vizsgálatát próbáltam több aspektusból megközelíteni és bemutatni. A geometriai paraméterek közül a ciklon átmérőjének nagyságát, a ciklon hengeres testének magasságának nagyságát és a merülő cső a ciklon talpához közeli (kedvezőtlen) elhelyezkedését vizsgáltam.

Köztudott tény, hogy az ipar számos területén a különböző anyagi minőségű porok kedvezőtlen hatást gyakorolnak az előállítandó termékre, vagy a használt technológiákra. Ezen hatások mértéke az esztétikai problémáktól egészen az elvárt vagy elvárható felületi minőségig, érdességig terjedhet, továbbá amortizációs problémákat okozhat.

Dolgozatomban a szükséges elméleti áttekintést követően bemutatásra kerültek az általam tervezett, különböző paraméterekkel rendelkező ciklonok, melyek leválasztási határszemcse átmérőjét számítással határoztam meg.

Ezt követően elkészítettem a ciklonok 3D-s modelljeit, a SOLIDWORKS tervezőprogram segítségével, mely ciklonok gyártási és összeállítási rajzai megtalálhatóak a mellékletben.

A modellek előállítását követően a SOLIDWORKS FLOW SIMULATION bővítményének segítségével elkészítettem a ciklonok áramlástan szimulációit, melyek a nyomás- és sebességállapotok vizsgálatára terjednek ki.

A szimulációs vizsgálatokat követően 3D nyomtató segítségével elkészítettem a ciklonok valós 3D-s modelljeit, majd valós mérések segítségével meg szerettem volna határozni az egyes összeállítások által leválasztott határszemcse méreteket. A valós mérésekhez használt eszközöket (ipari porszívó, szélességmérő, digitális mérleg) próbáltam, úgy megválasztani, hogy azok ár-érték szempontjából a lehető legpontosabb méréseket eredményezzék.

A mérés technikai kritériumoknak megfelelően dokumentált mérési eredmények a dolgozatban nem kerülnek bemutatásra, mert sajnálatos módon a mérések nem a számítások és szimulációk által prognosztizált eredményekhez vezettek.

Annak ellenére, hogy az elvégzett számítások és szimulációk eredményei bizakodásra adtak okot, az elvégzett mérések során azt tapasztaltam, hogy minden bemutatott összeállítás, minden egyes mérésénél egyáltalán nem valósult meg szemcse leválasztás. Mint kiderült, ennek oka teljes mértékben a merülő cső kedvezőtlen elhelyezkedése volt.

Összességében kijelenthető, hogy a ciklon átmérőjének csökkenése jelentős mértékben csökkenti a leválasztott határszemcse átmérőjét, míg a ciklon hengeres testének magasságnövelésével ettől jóval csekélyebb eredményeket érhetünk el.

Releváns megállapítás, hogy a merülő cső megfelelő elhelyezésének fontosságát a gyakorlati tapasztalatok is egyértelműen igazolták, úgy ahogyan az a szakirodalomban is javasolt. A mérési eredmények rávilágítottak arra, hogy a ciklonok s-h értékeinek módosításával hatást tudunk gyakorolni a határszemcse méretének beállítására.

Fentiek értelmében a mérési összeállításokat úgy tudnánk továbbfejleszteni, ha kiterjedt vizsgálatokat folytatnánk le a merülőcsövek különböző elhelyezkedését illetően a különböző összeállításokban. Ezek összehasonlítására szintén alkalmasak az általam meghatározott matematikai és szimulációs módszerek, illetve gyakorlati mérések.

6. Summary

In my thesis, I tried to study the geometrical parameters of dust collection cyclones from several aspects. Among the geometrical parameters, I have investigated the size of the cyclone diameter, the height of the cyclone cylindrical body and the (unfavourable) position of the dip tube close to the cyclone base.

It is a well-known fact that in many areas of industry, dusts of different material qualities have a negative impact on the product to be manufactured or the technologies used. The extent of these effects can range from aesthetic problems to the surface quality and roughness expected or anticipated, and can also cause amortisation problems.

In my study, after the necessary theoretical overview, I presented the cyclones with different parameters, which I designed and calculated the separation boundary diameter.

After that I created 3D models of the cyclones using the SOLIDWORKS design software, the production and assembly drawings can be found in the appendix.

After the model generation, I used the SOLIDWORKS FLOW SIMULATION extension to create cyclone flow simulations involving pressure and velocity conditions.

Following the simulation studies, I used a 3D printer to create real 3D models of the cyclones and then I wanted to determine the boundary mesh sizes separated by each assembly using real measurements. I tried to choose the instruments used for the real measurements (industrial vacuum cleaner, wind speed meter, digital scale) in order to obtain the most accurate measurements in terms of price/value.

Measurement results documented in accordance with the measurement criteria are not presented in this study because, unfortunately, the measurements did not lead to the results predicted by the calculations and simulations.

Despite the fact that the results of the calculations and simulations carried out gave reason for optimism, the measurements carried out showed that in all the assemblies presented, in every single measurement, no grain separation was achieved at all. As it turned out, the reason for this was entirely due to the unfavorable location of the immersion tube.

Overall, decreasing the diameter of the cyclone significantly decreases the diameter of the separated boundary particles, while increasing the height of the cylindrical body of the cyclone yields much smaller results.

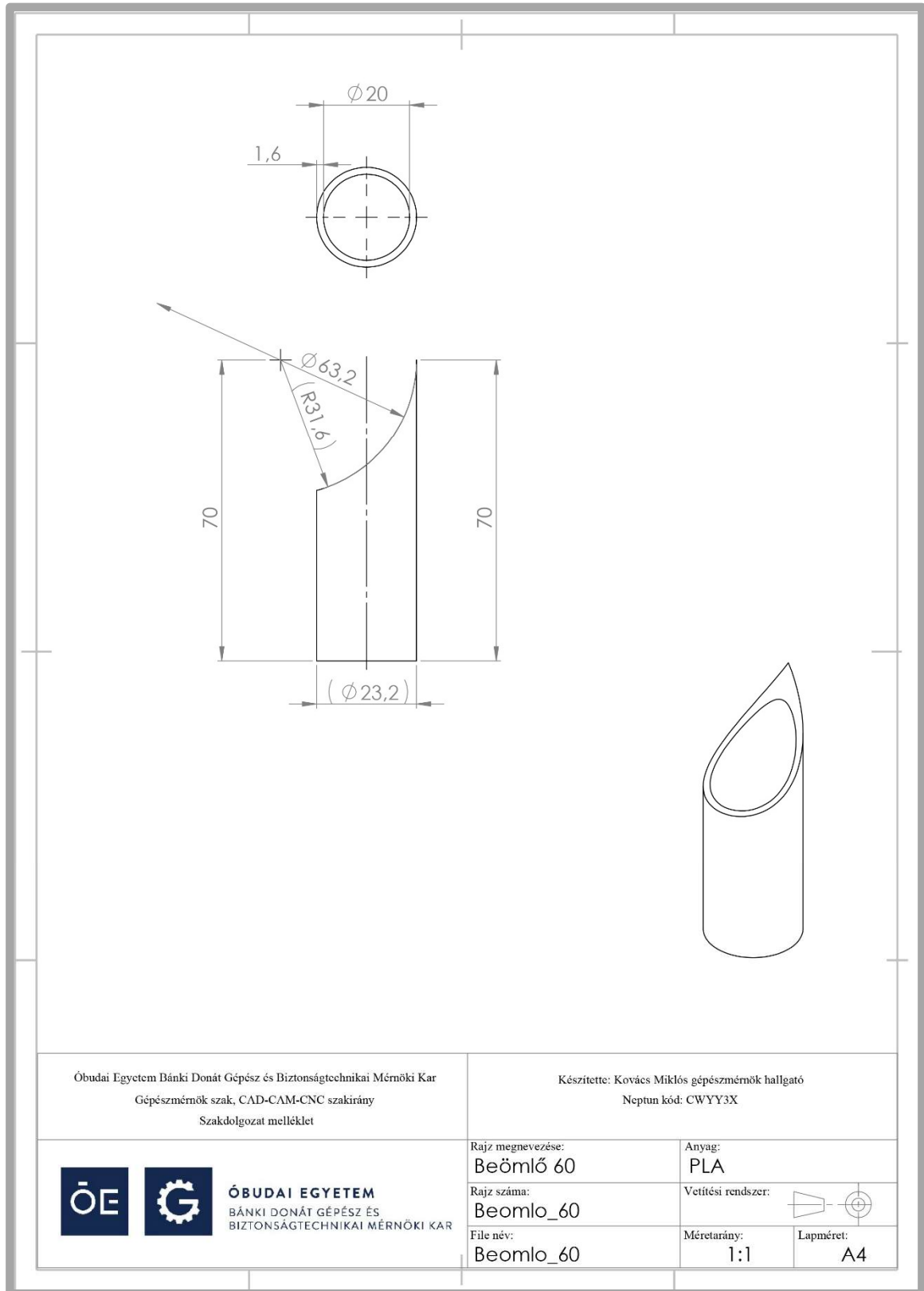
A relevant finding is that the importance of proper placement of the immersion pipe has been clearly demonstrated by practical experience, as recommended in the scientific literature. The measurement results have shown that by adjusting the s-h values of the cyclones we can influence the adjustment of the boundary mesh size.

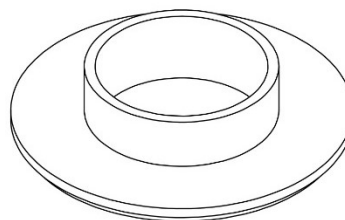
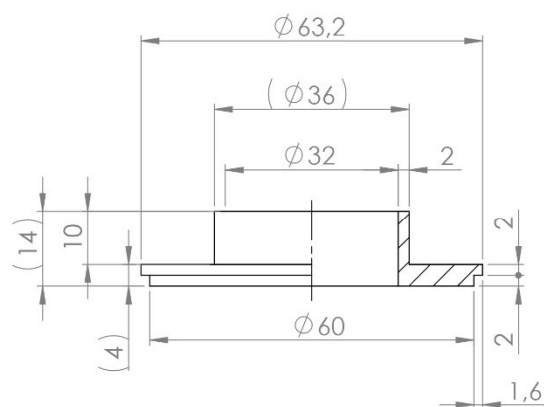
As mentioned above, the measurement set-ups could be further improved by conducting extensive studies on the different locations of the dip tubes in the different set-ups. These can also be compared using the mathematical and simulation methods I have defined, as well as practical measurements.

7. Felhasznált irodalom vagy Irodalomjegyzék

- [1] Sircz János: Porleválasztó berendezések szerelése, üzemeltetése, és karbantartása. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1989.
- [2] Dr. Koncz István: Portalanítás és por-leválasztás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1982.
- [3] Dr. Patkó István: Környezettechnika I. ÓE RKK 6006. Budapest, 2010.
- [4] Hirsch Lajos: Porelszívás, porleválasztás, Táncsics Könyvkiadó, Budapest, 1964.
- [5] Ryan Kushner, <https://www.woodfloorbusiness.com/business/history/article/15135697/a-wood-flooring-history-timeline-ancient-times-to-today>, 2020. 12. 08.
- [6] Dr. Kiss Endre Környezetvédelem. <http://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/12535>, 2013. 09. 23.
- [7] Heumann Environmental Company – hivatalos elektronikus oldala: <https://www.heumannenviro.com/high-efficiency-cyclone-features/#1471478073119-5d09ae60-31c7> – 2021. 11. 20.
- [8] László Zsuzsanna, Kertész Szabolcs, Veréb Gábor: Környezetvédelmi műveletek – Gyakorlati segédlet és példatár: http://eta.bibl.u-szeged.hu/2861/7/K%C3%B6rnyezetv%C3%A9delmi%20M%C5%B1veletek_Gyakorlati%20seg%C3%A9dlet%20%C3%A9s%20p%C3%A9ldat%C3%A1r_.pdf, 2019. 09. 06. (88-89.)
- [9] <https://hu.craftbot.com/products/craftbot-flow-idex-xl-grey>
- [10] https://www.nifisk.com/hu-hu/consumer/term%C3%A9kek/sz%C3%A1raz-nedves-porsz%C3%ADv%C3%B3k/buddy-ii/buddy-ii-12/c_18451119/
- [11] <https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/cs/001662854PI02/image.jpg?x=&y=>
- [12] <https://hbitech.com/products/>
- [13] <https://gepeszplaza.hu/webshop/products/getPicture/pid:4185/type:main/thumb:false/pic/tid:virtual.jpg>

8. Mellékletek





Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

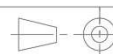
Rajz megnevezése:
Tető DN 60

Rajz száma:
DN60_Teto

File név:
DN60_Teto

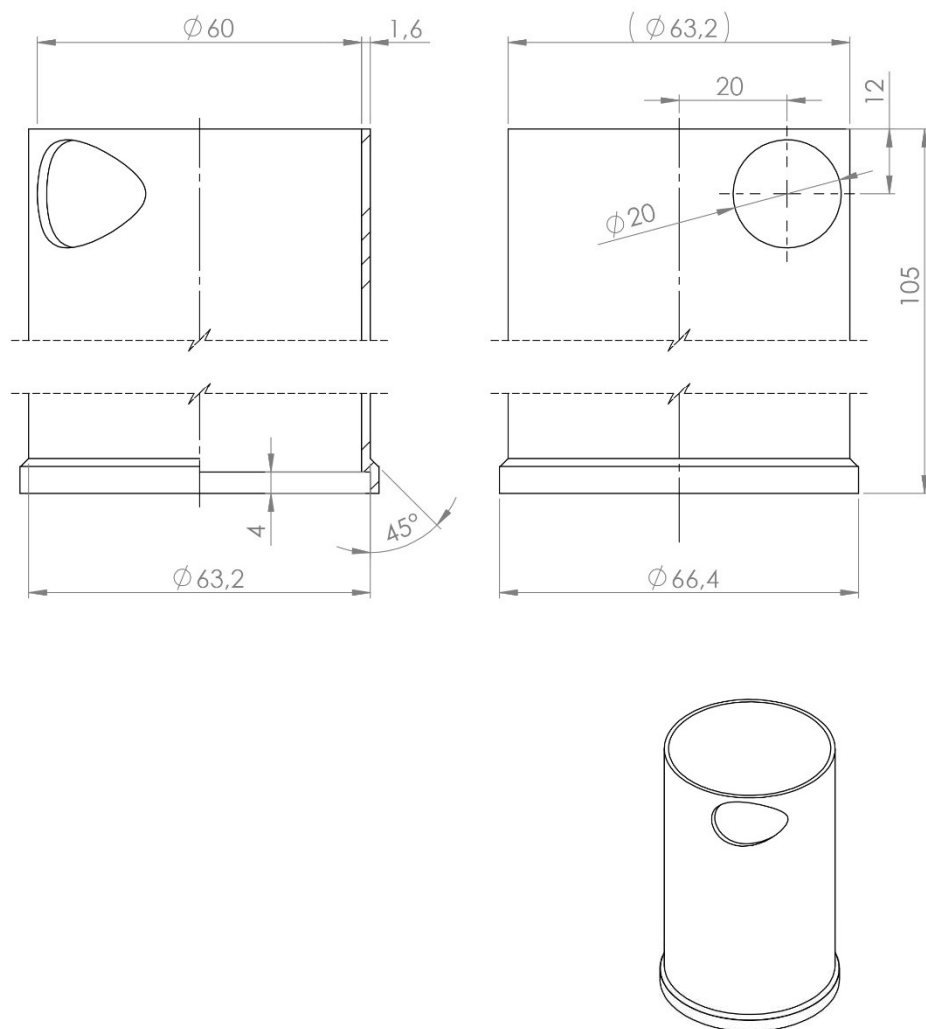
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:



Méretarány:
1:1

Lapméret:
A4



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



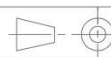
ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Do60_H1_100_F

Anyag:
PLA

Rajz száma:
Do60_H1_100_F

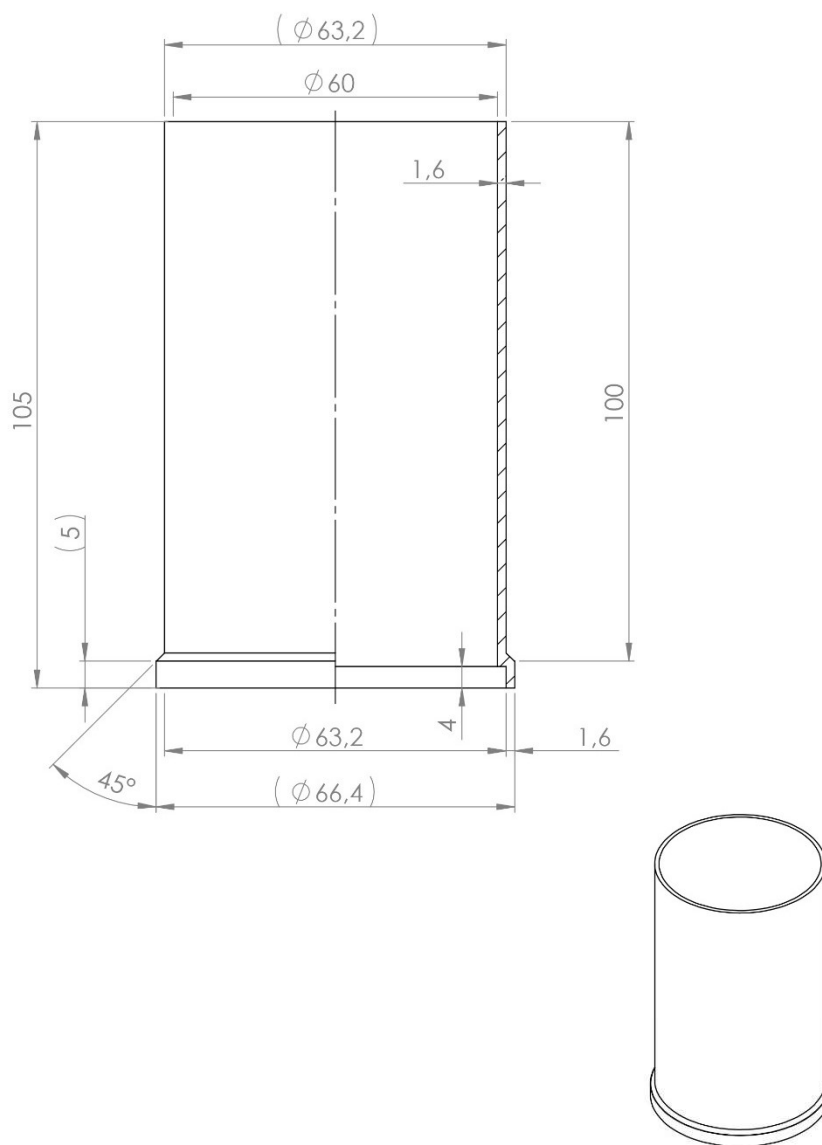
Vetítési rendszer:



File név:
Do60_H1_100_F

Méretarány:
1:1

Lapméret:
A4



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



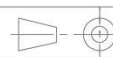
ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Do60_H1_100_A

Anyag:
PLA

Rajz száma:
Do60_H1_100_A

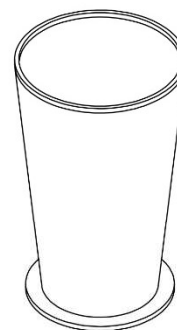
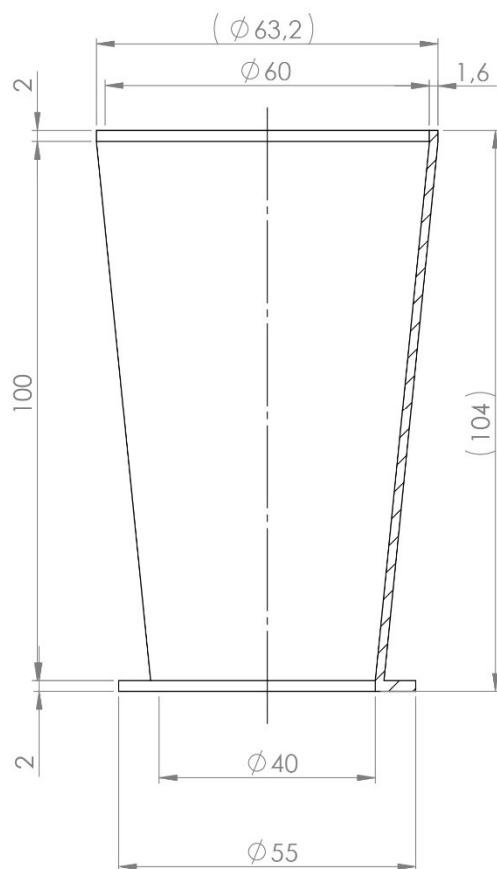
Vetítési rendszer:



File név:
Do60_H1_100_A

Méretarány:
1:1

Lapméret:
A4



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

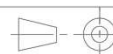
Rajz megnevezése:
Tölcsér DN 60

Rajz száma:
D60_H2_100

File név:
D60_H2_100

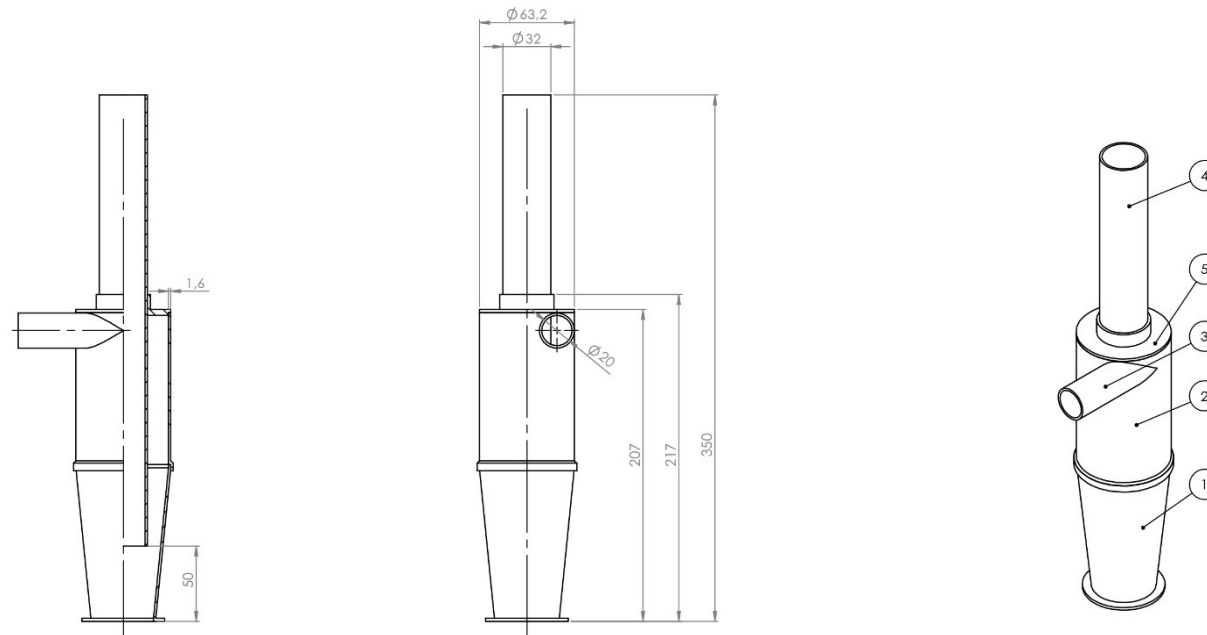
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:



Méretarány:
1:1

Lapméret:
A4



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	D60_H2_100	Tölcsér DN 60	1
2	Do60_H1_100_F	Do60_H1_100_F	1
3	Beomlo_60	Beömlő 60	1
4	Dn32_H_300		1
5	DN60_Teto	Tető DN 60	1

Óbudai Egyetem Békési Donát Gépész és Bionaságotchnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Nyelven kód: CWYYJX



ÓBUDAI EGYETEM
BÁK-KI DÖNÁT GÉPÉSZ ÉS
BIONASÁGOTCHIKAI MÉRŐKÉI KAR

Rajz megnevezése:
D60 Ciklon H100

Rajz száma:
D60_Ciklon

Fájl neve:
D60_Ciklon

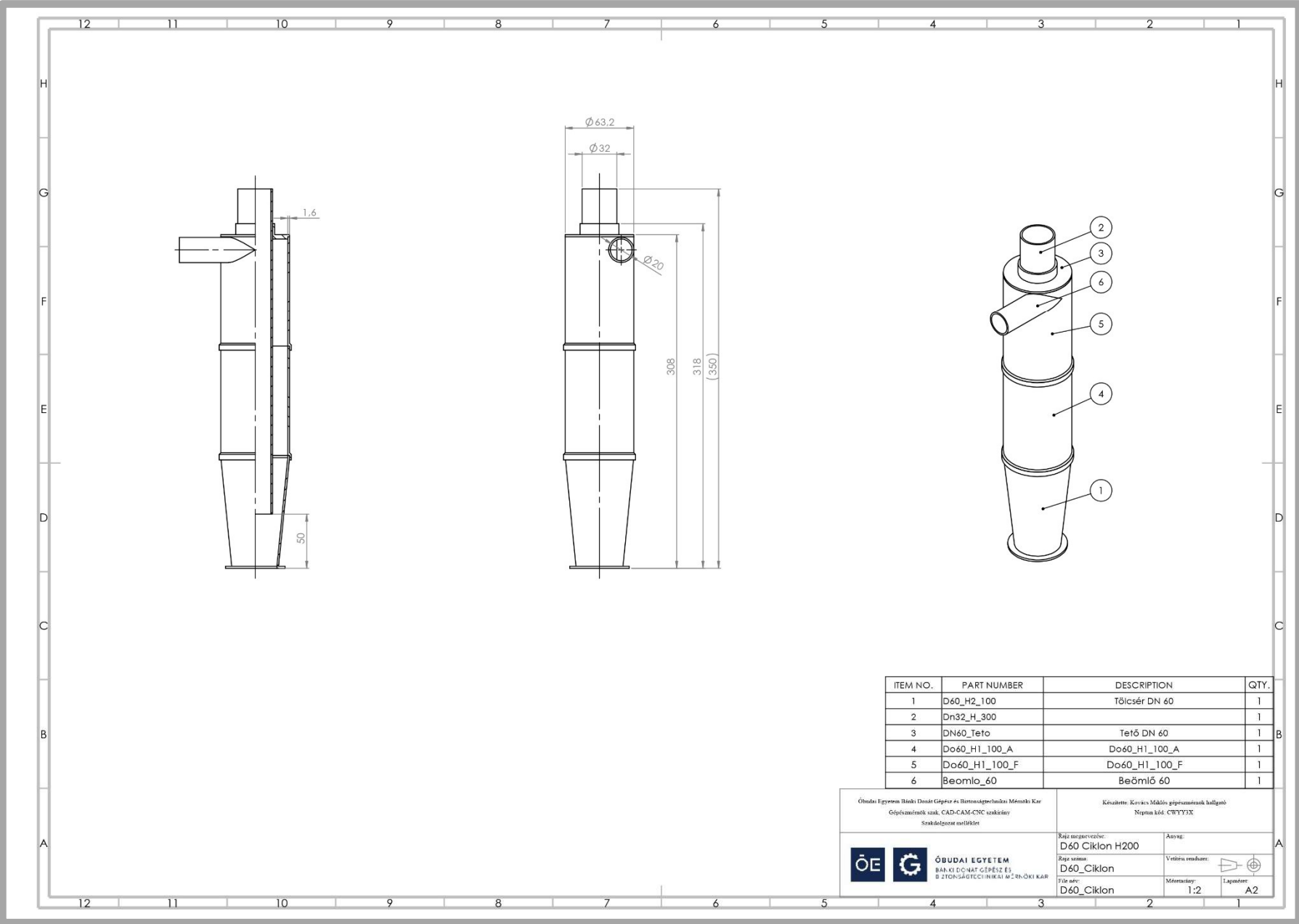
Anyag:

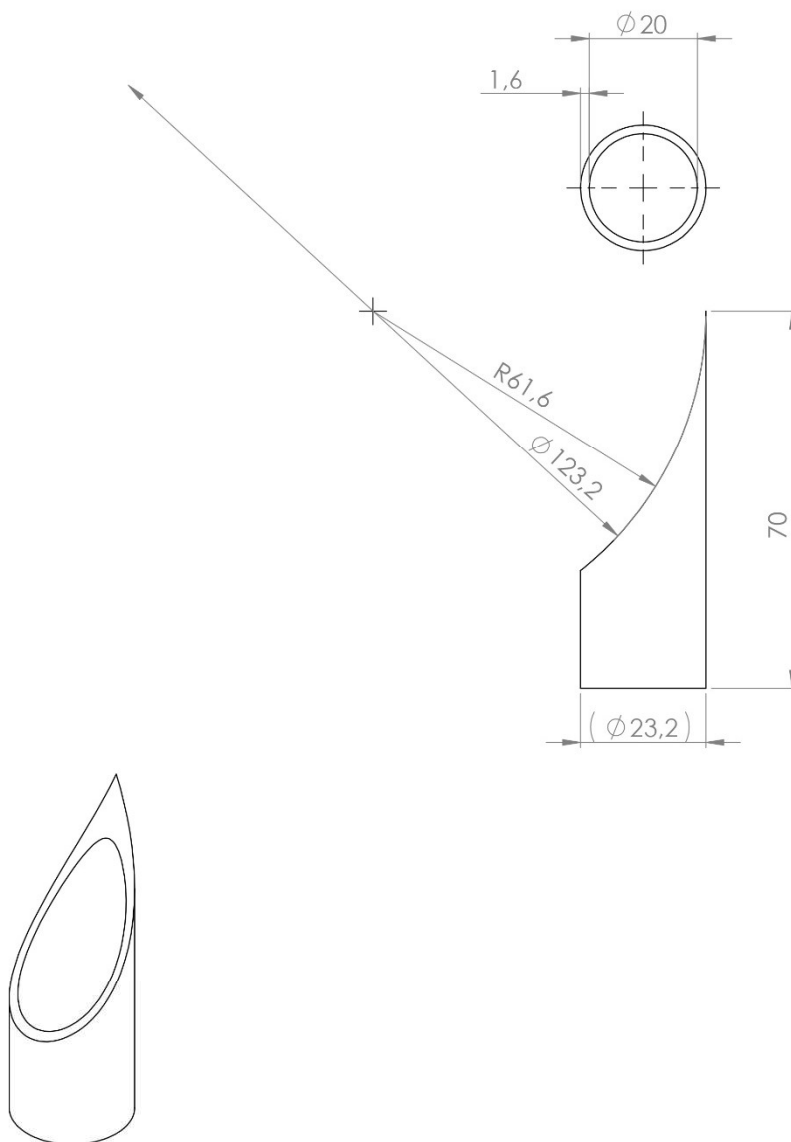
Verzió száma:

Méretarány:
1:2

Lapjel:

A2





Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Beömlő 120

Rajz száma:
Beomlo_120

File név:
Beomlo_120

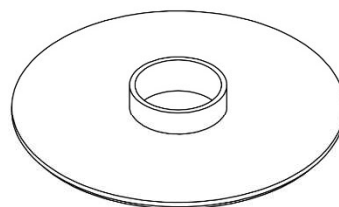
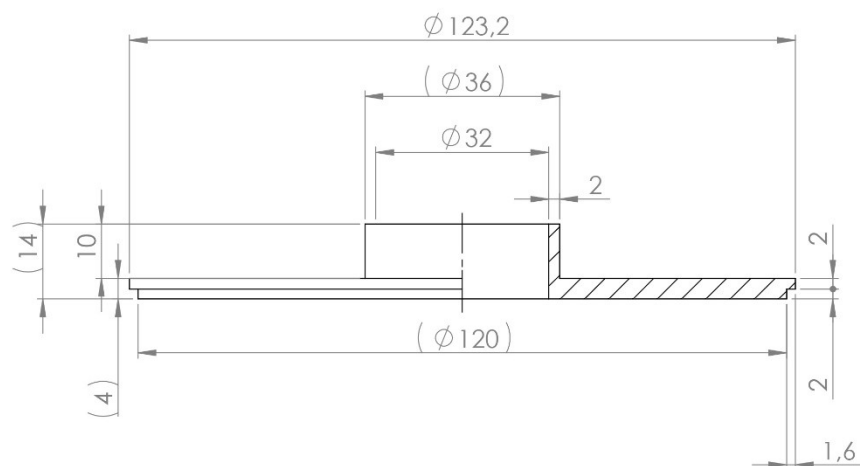
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:



Méretarány:
1:1

Lapméret:
A4



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

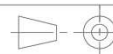
Rajz megnevezése:
Tető DN 120

Rajz száma:
DN120_Teto

File név:
DN120_Teto

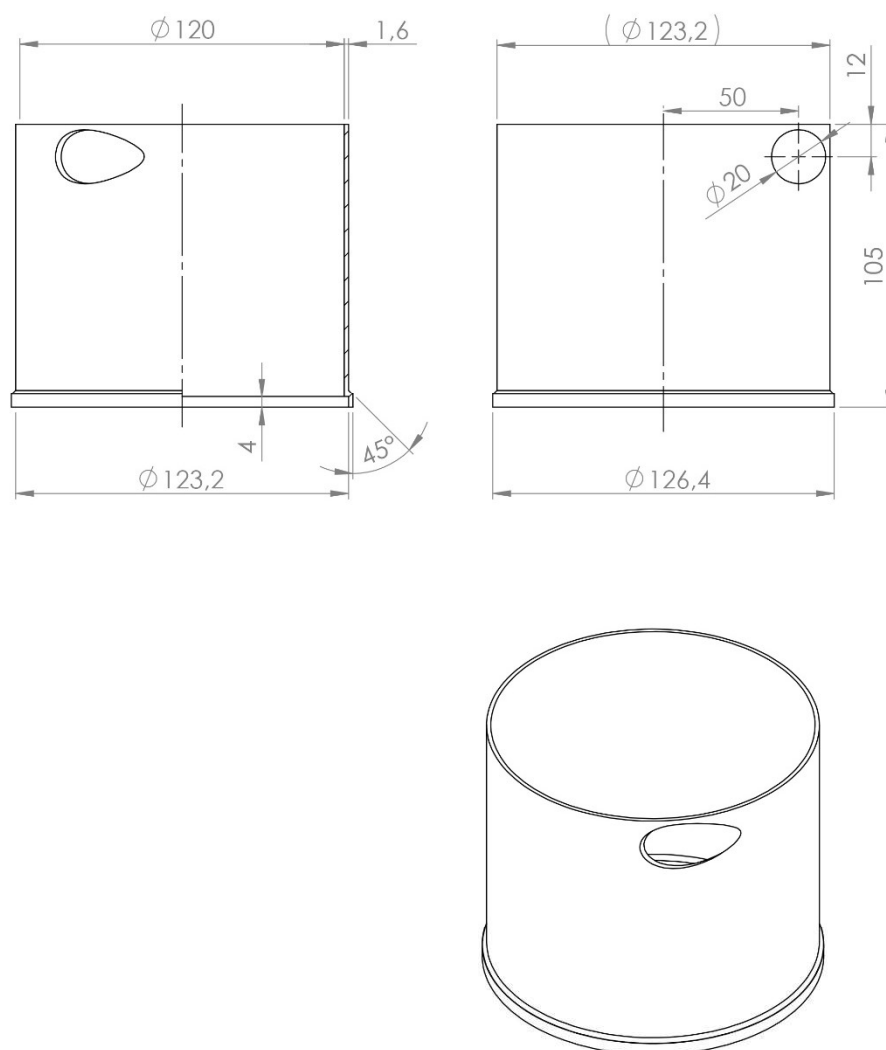
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:



Méretarány:
1:1

Lapméret:
A4



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

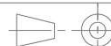
Rajz megnevezése:
Do120_H1_100_F

Rajz száma:
Do120_H1_100_F

File név:
Do120_H1_100_F

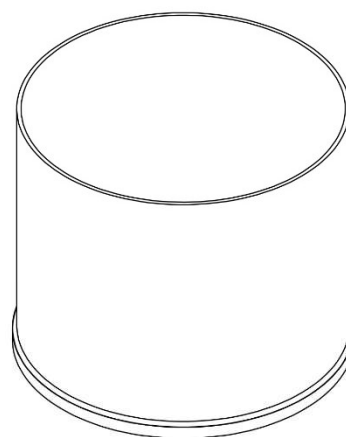
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:

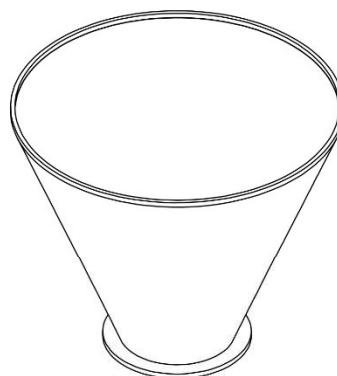
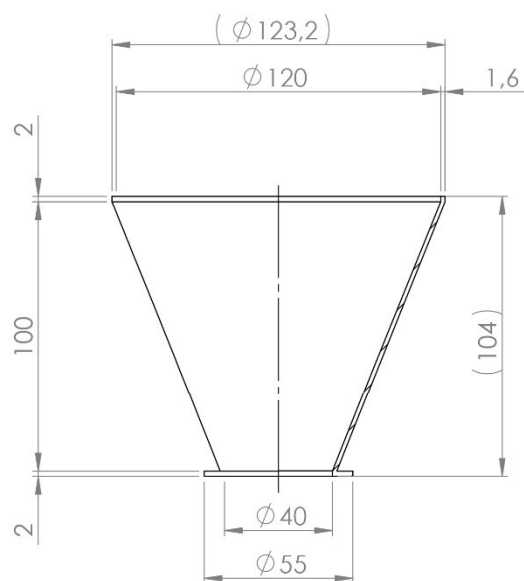


Méretarány:
1:2

Lapméret:
A4



Lapméret:	A4
-----------	----



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Tölcsér DN 120

Rajz száma:
D120_H2_100

File név:
D120_H2_100

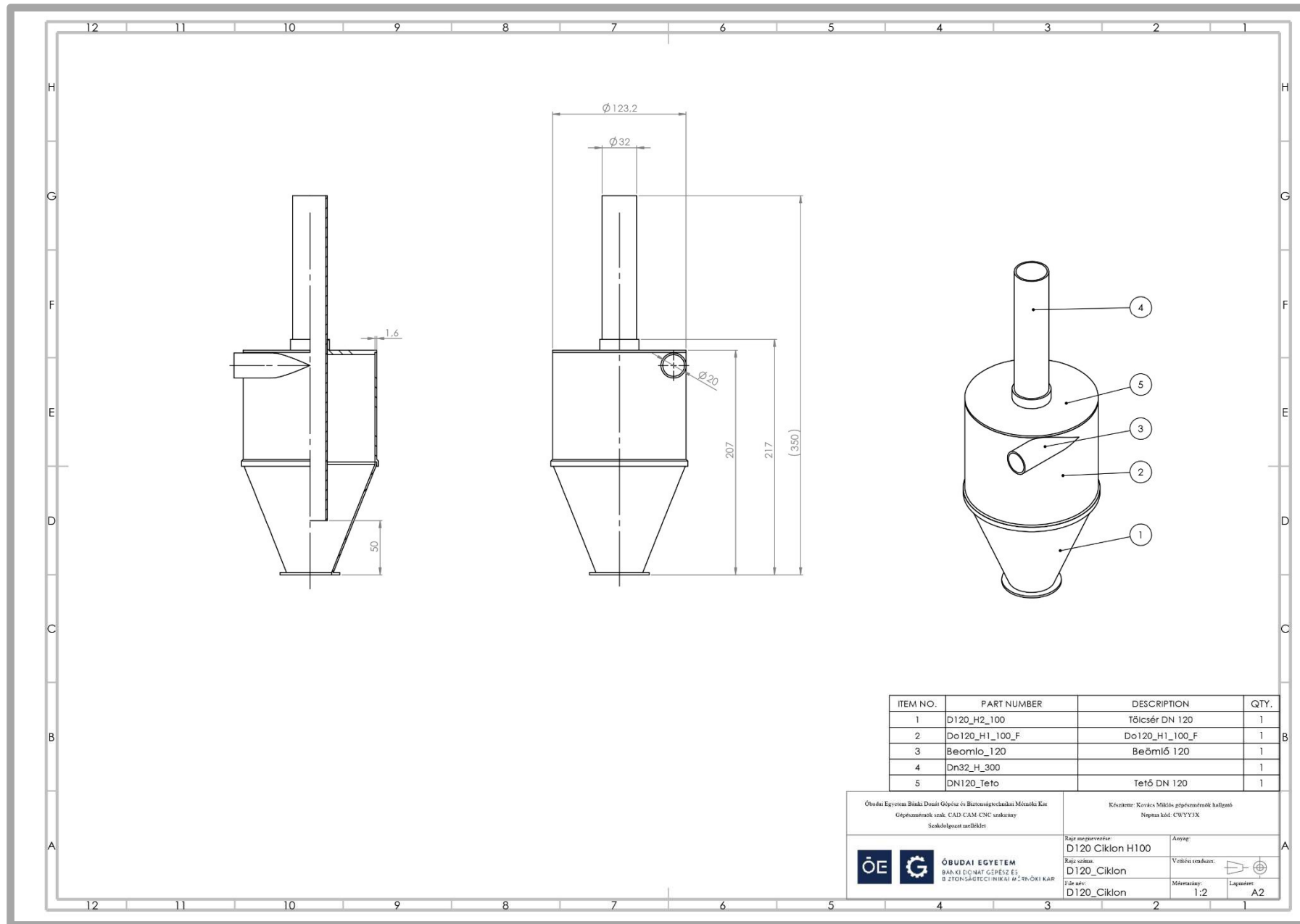
Anyag:
PLA

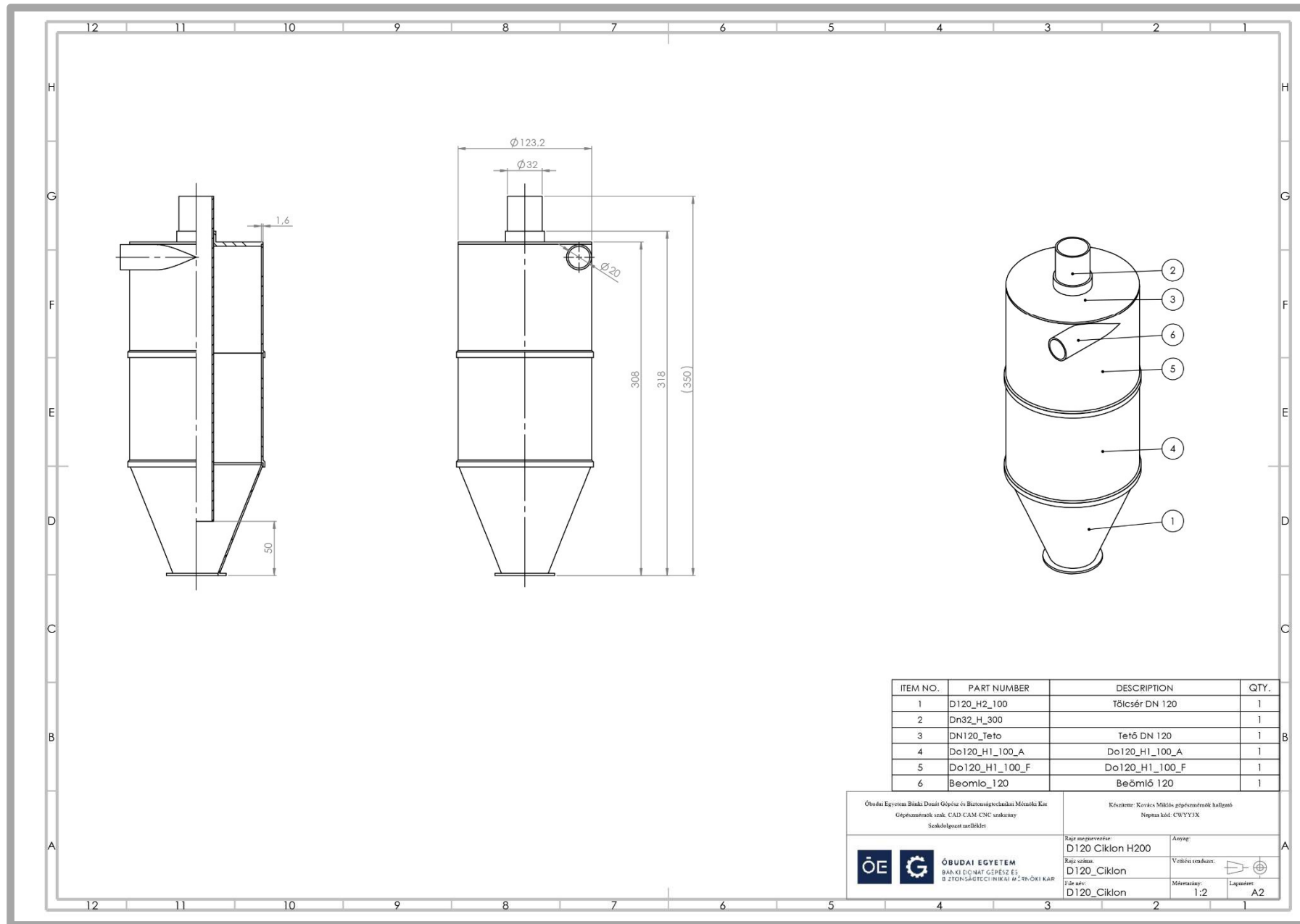
Vetítési rendszer:

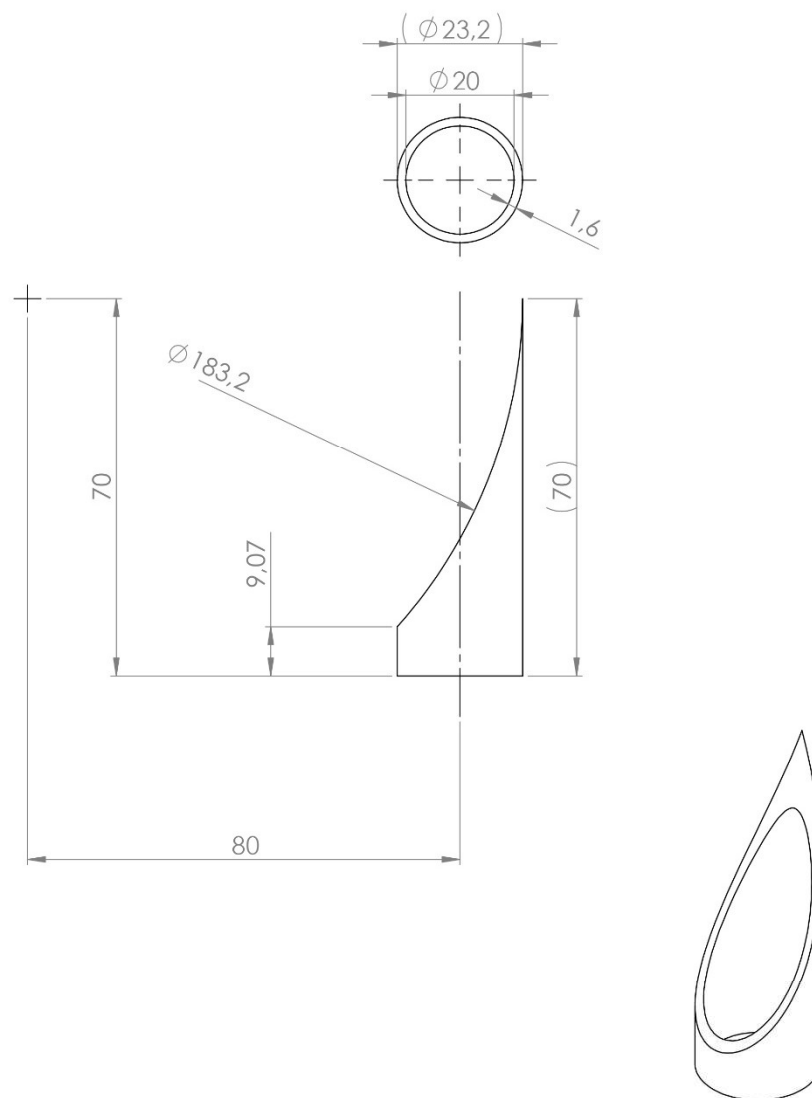


Méretarány:
1:2

Lapméret:
A4







Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Beömlő 180

Rajz száma:
Beomlo_180

File név:
Beomlo_180

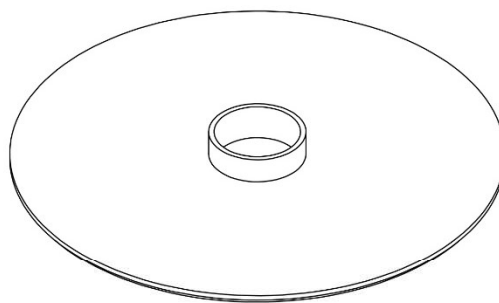
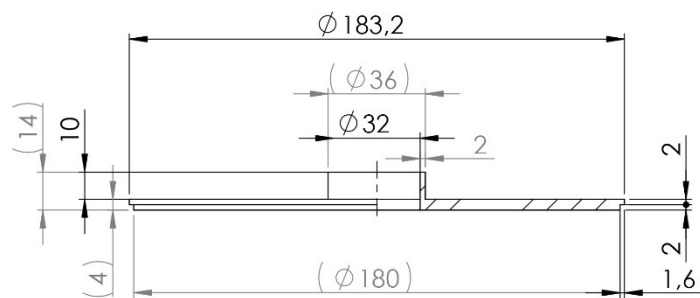
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:



Méretarány:
1:1

Lapméret:
A4



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Tető DN 180

Rajz száma:
DN180_Teto

File név:
DN180_Teto

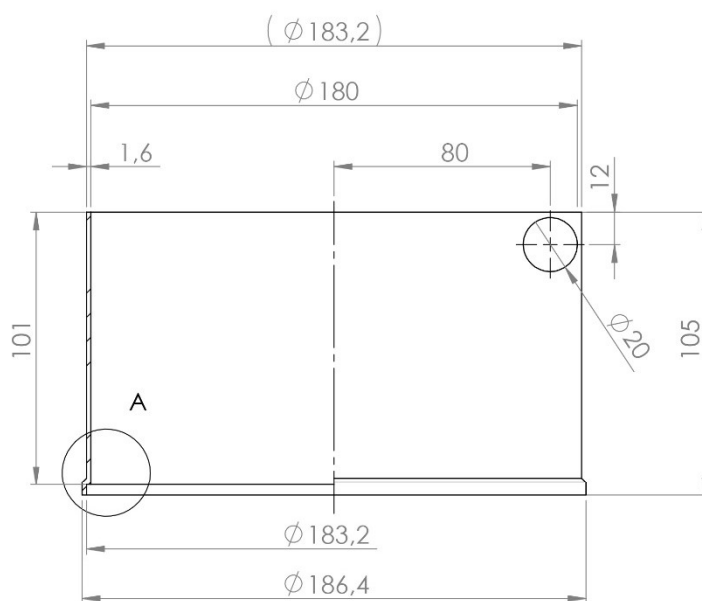
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:

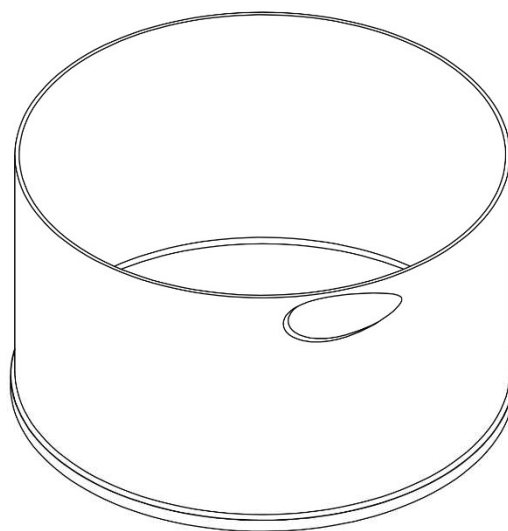
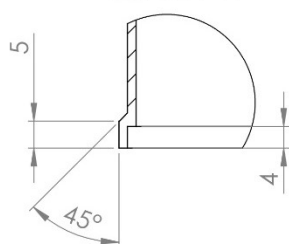


Méretarány:
1:2

Lapméret:
A4



DETAIL A
SCALE 1 : 1



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

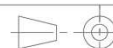
Rajz megnevezése:
Do180_H1_100_F

Rajz száma:
Do180_H1_100_F

File név:
Do180_H1_100_F

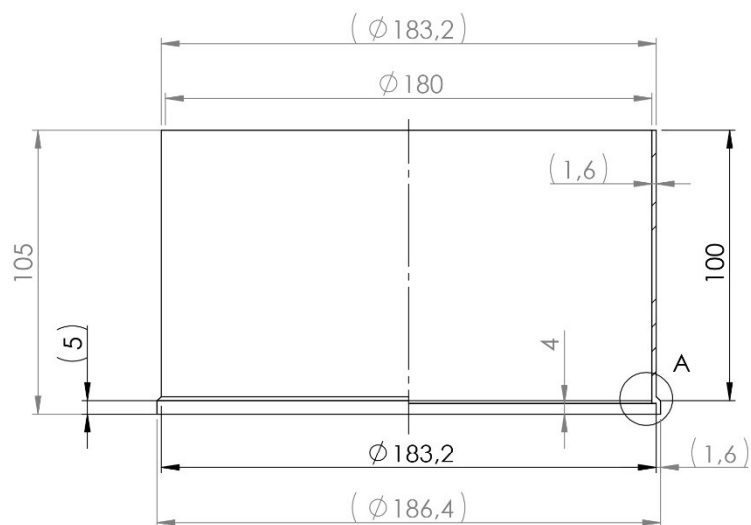
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:

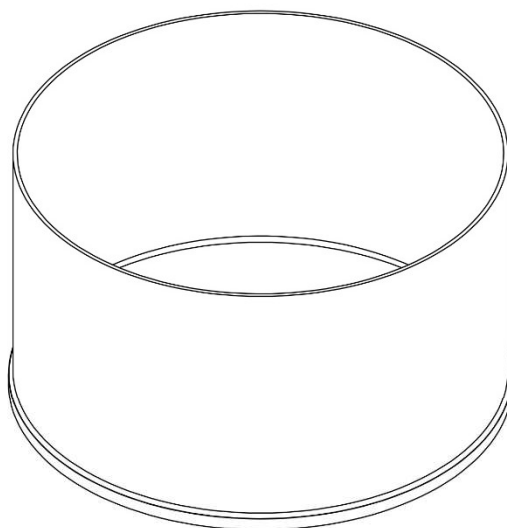
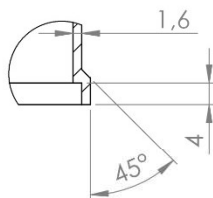


Méretarány:
1:2

Lapméret:
A4



DETAIL A
SCALE 1 : 1



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Do180_H1_100_A

Rajz száma:
Do180_H1_100_A

File név:
Do180_H1_100_A

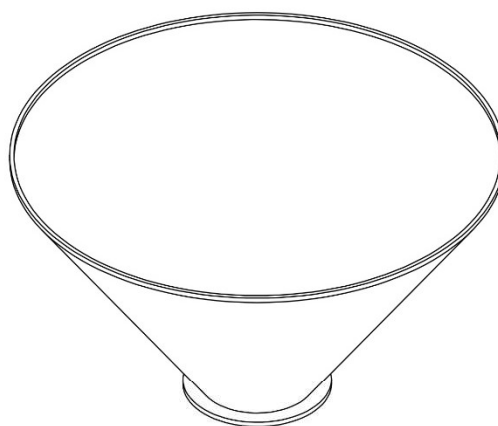
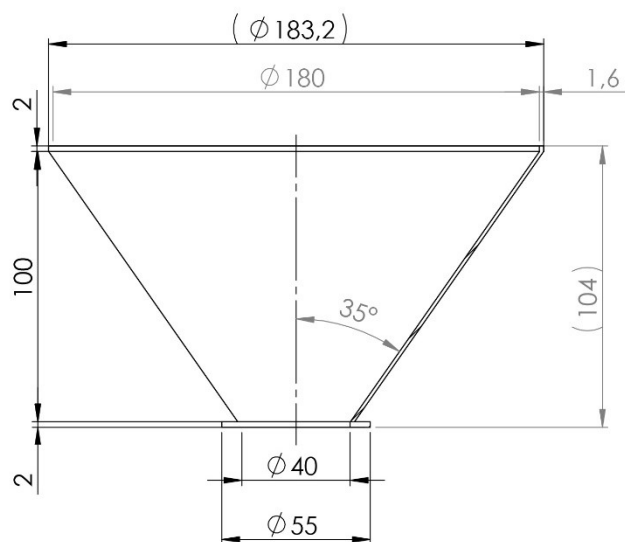
Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:



Méretarány:
1:2

Lapméret:
A4



Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Gépészmérnök szak, CAD-CAM-CNC szakirány
Szakdolgozat melléklet

Készítette: Kovács Miklós gépészmérnök hallgató
Neptun kód: CWYY3X



ÓBUDAI EGYETEM
BÁNKI DONÁT GÉPÉSZ ÉS
BIZTONSÁGTECHNIKAI MÉRNÖKI KAR

Rajz megnevezése:
Tölcsér DN 180

Rajz száma:
D180_H2_100

File név:
D180_H2_100

Anyag:
PLA

Vetítési rendszer:



Méretarány:
1:2

Lapméret:
A4

