

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	2
1. Szakirodalmi áttekintés	3
1.1. Szárítás folyamata fizikája	3
1.2. Az iparban alkalmazott szárítóberendezések	4
1.3. Vastagrétegű szárítók működése.....	7
1.4. A diszkrét elemes módszer	10
2. Saját modell bemutatása.....	12
3. Eredmények, következtetések	20
3.1. A halmaz sebességprofilja	20
3.2. Effektív sugár meghatározása különböző fordulatszámok és csigalevél- átmérők esetében.....	21
3.3. Egyes szimulációkban a csigára ható erők	26
Összefoglalás.....	31
Irodalomjegyzék.....	32

Bevezetés

A termelők által betakarított termények szárítása elengedhetetlen a későbbi feldolgozás és tárolhatóság szempontjából. A szárítás energiaigénye nagyon magas, (a fejlett országok energiafelhasználásának 15-30%-a a szárítási folyamatokból származik.) és a technológia sok esetben káros hatással van a környezetre. Az előbbieket miatt a mérnökök és kutatók régóta próbálkoznak a szárítás hatékonyságának növelésével. A kutatások célja, hogy környezetbarát és kevésbé energiaigényes szárítási technológiákat hozzanak létre.

A szemestermények szárítására számos berendezéstípust alkalmaznak az iparban. Vastagrétegű szárítók esetében az anyagréteg több méter magas is lehet, ezért a szárítás ideje is több mint más konstrukciók esetében. A vastagrétegű szárítóberendezések előnye az, hogy termény tárolására is alkalmasak.

Szárítás közben fontos, hogy a termény minden része ugyanolyan mértékben (egyszerre) száradjon. Ezért a vastagrétegű szárítóberendezések esetében a szárítandó anyagot folyamatosan keverni kell, amit függőlegesen rögzített csigákkal oldanak meg. A munkám témája a szemesterményben forgó csiga körül kialakult szemcse mozgásviszonyok és a csigákon fellépő erők vizsgálata.

A vizsgálatokat a diszkrét elemes modellezési módszer segítségével végeztem el. A diszkrét elemes modellek a szemcsés anyagok mechanikai viselkedését az egyes szemcsék mozgásának nyomon követésével modellezik. Diszkrét elemes modell készítésénél a vizsgált szemcsés halmazt idealizált tulajdonságokkal rendelkező szemcsék halmazaként kezelik. A szemcsék egymásra gyakorolt hatását erők és nyomatékok segítségével modellezik.

Dolgozatomban a keverőcsiga körül kialakuló áramlási viszonyok modellezését végzem el EDEM diszkrét elemes szoftver segítségével. A munkám konkrét célja az optimális száradáshoz vezető megfelelő anyagkeveredést létrehozó keverőcsiga méret és fordulatszám meghatározása.

1. Szakirodalmi áttekintés

1.1. Szárítás folyamatának fizikája

A szárítás azon folyamatok összessége, amelyek során szilárd vagy gáznemű anyagok nedvességtartalmának csökkenése fázisváltozás közben megy végbe. A szárítási folyamatok eredményeképpen az anyag nedvesség- és szárazanyag-tartalmának változása következik be. A folyamat magába foglalja az átmeneti hő-és anyagátadás különböző sebességű műveleteit. Ilyenek például a fizikai és/vagy kémiai átalakulás. A fizikai változásokhoz tartoznak a zsugorodás, duzzadás, kristályosodás és az üvegátmenet. A fizikai változások mellett bekövetkezhetnek kívánatos és nem kívánatos kémiai és biológiai reakciók, melyek például szín-, szövet-, szag tulajdonságok megváltozásához vezetnek. A szárítás során energiaközlés hatására a szilárd anyag folyadéktartalma elpárolog. Az energiaközlés lehet

- *konduktív* (kontakt vagy közvetett szárítók),
- *konvektív* (közvetlen szárítók) és
- *sugárzásos* hőközlés.
- Létezik egy negyedik fajtája is az energiaközlésnek. Ez a *térfogati* hőközlés, melyről akkor beszélünk, ha a nedves anyagot mikrohullámú vagy rádió frekvenciás elektromágneses térben szárítanak.

A gyakorlatban az ipari szárítók több mint 85% konvektív típusú. Az alkalmazott szárító közeg lehet meleg levegő vagy füstgáz-levegő keverék.

A konvektív szárítási eljárás lényege, hogy a szárítandó anyag nedvességtartalmának elpárologtatásához szükséges hőenergiát levegő vagy füstgáz-keverék segítségével juttatjuk a szárítótérbe. A hőenergiát hordozó gáznak vagy más néven szárítóközegnek három feladata van: a hőenergia felvétele és továbbítása, másrészt a nedves terményből kilépő vízgőz magába fogadása, és elszállítása a szárítótérből. A konvektív szárítási folyamatok az esetek döntő többségében légköri nyomáson zajlanak. A konvektív szárítási folyamatok légvezetés és anyagmozgatás szempontjából csoportosíthatóak.

Légvezetési megoldás szerint a konvekciós szárítás négyféle lehet:

- Egyenáramú: a szárító közeg és a száradó anyag mozgásiránya megegyezik
- Ellenáramú: a közeg és az anyag iránya párhuzamos, de ellentétes
- Keresztáramú: a közeg és az anyag iránya közelítőleg 90° -ot zár be
- Vegyesáramú: az előzőleg felsorolt folyamatok teljes vagy részleges kombinációja

A szárított anyag mozgatása szerint beszélhetünk szakaszos és folyamatos szárításról. Előbbinél a száradó anyag végig egy helyben áll míg a szárítási szakasz be nem fejeződik. Ha

vége a szakasznak az anyagot ki kell emelni a szárítótérből, majd be kell tölteni a következő adagot. A folyamat megvalósításához szükség van be- és kitároló rendszerre. A folyamatos eljárásnál az anyag állandó mozgásban van, így a szárítást nem kell megszakítani. A száradó termény állapotát a rajta átfújt közeggel szembeni ellenállása határozza meg. [1], [3]

1.2. Az iparban alkalmazott szárítóberendezések

A megfelelő szárítók kiválasztása összetett feladat, leginkább a gyakorlatban megszerzett tapasztalatoktól és a kereskedők ajánlataitól függ. A szárítás technológiaként alakult ki, és egyre változatosabbá és összetettebbé vált. Ennek következtében az adott termelési feladathoz leginkább megfelelő szárító kiválasztása nagyon nehéz feladatot jelent azok számára, akik nem rendelkeznek kellő, és átfogó ismeretekkel a különféle szárító berendezésekről. A feladatot tovább nehezítik egyes tényezők, mint például a szigorú minőségi előírások betartása, a magas termelékenység igénye, a magas energia árak és a szigorú környezetvédelmi előírások. Egy olyan mérnöknek, aki a szárítók vagy még inkább a szárító rendszer kiválasztásáért felelős, tudnia kell, hogy melyek azok a fő kritériumokat kell szem előtt tartania, a helyes szárítási technológia kiválasztásánál. Ebben a helyzetben egy rossz döntés súlyos anyagi következményekkel járhat. A műszaki szakirodalmakban több mint 400 szárító leírása található, de a gyakorlatban ezekből legfeljebb 50-et alkalmaznak. A szárítók osztályzására sokféle módszert dolgoztak ki. Minden szárító típusnak vannak olyan jellemzői, amelyek alkalmassá, illetve alkalmatlanná teszik az adott feladat elvégzésre. Az típusok közötti árkülönbség sem mindegy. Egyes típusok jellemzően drágák (pl. fagyasztva szárítók), de akadnak gazdaságosabbak is (pl. konduktív, konvektív szárítók).

	Szintek szerinti típusok:	Anyageloszlás szerinti típusok:
--	---------------------------	---------------------------------

Szakaszos üzemű:	-Kontakt (konduktív vagy közvetett típus, pl. vákuum kamra, kevert ágy, forgó halmaz -Konvektív (atmoszférikus -különleges típusok (pl.: mikrohullámú, fagyasztásos, napenergiás)	-Fluidágyas/folyóágyas -Vibrációs szárító
Folyamatos üzemű:	-Konduktív, pl. dob alakú, sík vákuum, illetve kevert ágyas közvetett forgó -Konvektív, pl. csatornás, gyorsforgó, keresztáramú, szállítószalagos -Különleges típusok, pl. mikrohullámú, rádiófrekvenciás, fagyasztásos, napenergiás	-Fluidágyas, vibrációs, közvetlen forgó, körforgó porlasztásos, sugárzónás

1. táblázat

Az 1. 2. és a 3. táblázat a legáltalánosabb kritériumokat és a hozzájuk illeszkedő szárító típusokat mutatja.

2. táblázat

Kritériumok	Működési mód	Hőbevezetés típusa:	Az anyagállapota a szárítóban	Működési nyomás
Típusok:	-halmaz -Átfolyó	-Konvekció, kondukció, radiáció, elektromágneses, kombinált -Szakaszos vagy folytonos -Adiabatikus vagy nem adiabatikus	-Állandó -Mozgó, kevertágyas, elosztásos	-Vákuum -Légköri -Túlnyomásos

3. táblázat

Kritériumok	Szárító közeg (konvekció)	Szárítási hőmérséklet:	A szárítóközeg és a szárítandó anyag mozgásának iránya	Szakaszok száma:
Típusok:	-Levegő -Túlhevített gáz -Füstgáz	-Forráspont alatti -Forráspont feletti -Fagyáspont alatti	-Egyenáramú -Ellenáramú -Vegyes áramú	-Egyszeres -Többszörös

A gyakorlatban leggyakrabban a konvektív vagy más néven közvetlen szárítással találkozhatunk. A leggyakrabban használt szárító közeg a meleg levegő, amit közvetett, vagy

közvetlen melegítéssel hoznak létre. A magasabb hatásfok és a jobb terményminőség elérésének érdekében, néhány különleges esetben szoktak túlhevített gőzt is használni. Füstgázt szárító közegként csak akkor lehet alkalmazni, ha a száradó anyag nem hőérzékeny, vagy ha a folyamat során keletkező égés termékek nincsenek rá kedvezőtlen hatással.

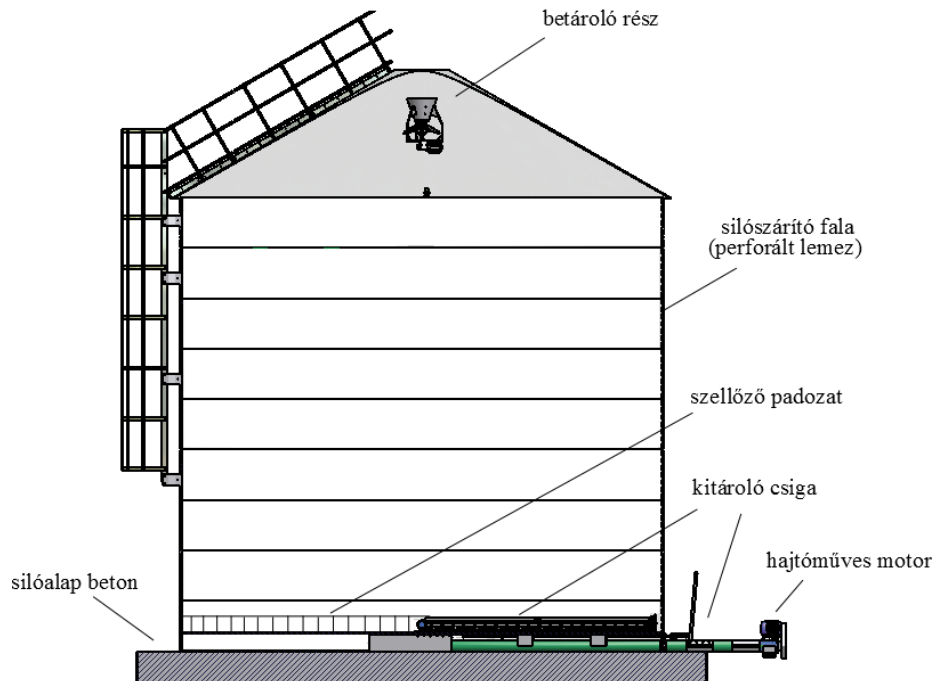
Konvektív szárítókban a szárítóközeg hőmérséklete 50-400 °C körül mozog a száradó anyag tulajdonságaitól és a szárítmány további hasznosításának függvényében. Ha robbanásveszélyes vagy gyúlékony anyagot szárítanak, akkor kémiaiilag közömbös gázokat (inert gázokat) szoktak alkalmazni (pl. nitrogén).

A szárítási technológia egyik legfontosabb és legmeghatározóbb műveletei a szárítóközeg kezelése (melegítés, keringtetés, tisztítás stb.) és a termény elszállítása.

A gyakran előfordul a különféle hőközlési módok kombinációja (pl. konvektív-konduktív, konvektív-sugárzásos, konvektív-dielektromos), annak érdekében, hogy a szárítóközeg mennyiségét csökkentsék. A kombinált energiaközlési módok ugyan növelik a beruházási költségeket, de a jobb minőségű termény és az üzemeltetési költségek csökkenése hosszabb távon behozza a beruházási költséget. [1], [2]

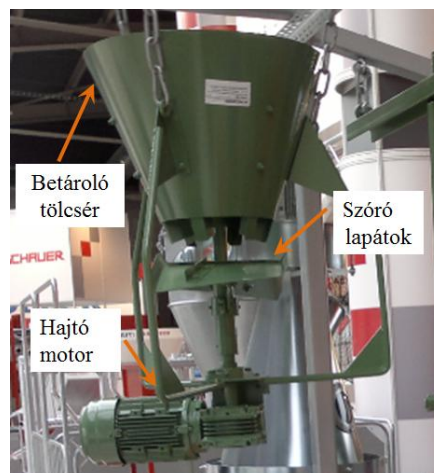
1.3. Vastagrétegű szárítók működése

A vastagrétegű szárítók esetén a szárítani kívánt anyagréteg több méter magasan van felhalmozva a szárítóban. Ezek a szárítók kiválóan alkalmasak a termény tárolására is. Az ilyen berendezéseket silószárítóknak is nevezik. A szárítási folyamat során a műveletei sorrendben: a betárolás, anyagcirkulációs szárítás, hűtés és kitárolás. A vastagrétegű szárítók többféle kialakításban léteznek. Az egyik tároló rendszerű szárító felépítését az 1.1. ábra mutatja.



1.1. ábra A silószárító felépítése

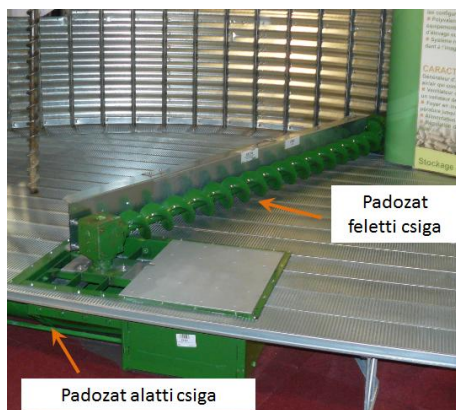
Az anyaghalmoz bejuttatása a silóba betároló szerkezetek segítségével történik . A betároló szerkezet egy tölsérből, szórólapátokból és egy hajtó motorból áll (1.2. ábra).



1.2. ábra A betároló rész felépítése

A betároló rész legfontosabb feladata, hogy a betöltés során biztosítsa az egyenletes szemelosztást a silóban. A motorral hajtott szórólapátok szórási szélessége a lapátokon található állítható lécs segítségével mechanikusan állítható. Ez a konstrukciós kialakítás lehető teszi a betároló rész alkalmazását különböző átmérőjű silószárítók esetén is.

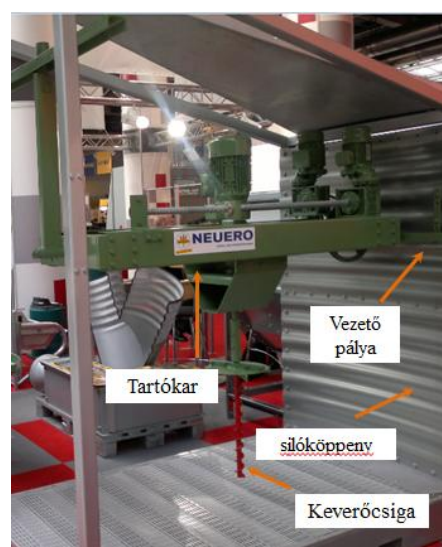
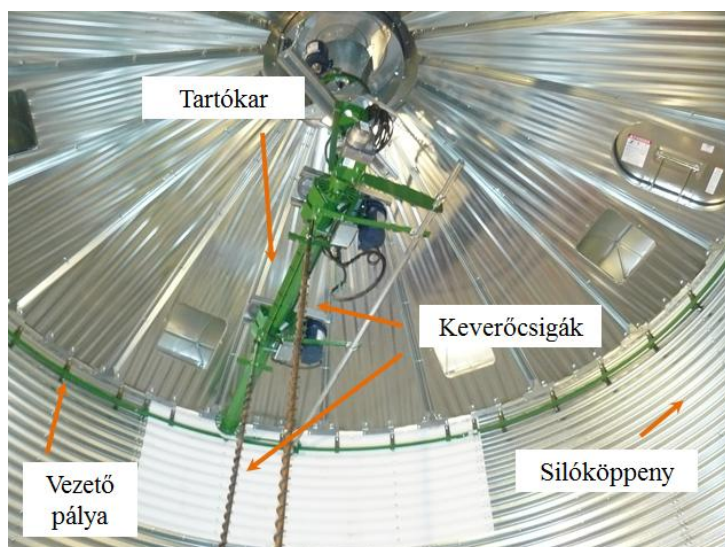
A termény kitárolása két csigás kitároló segítségével történik. A padozat feletti kitároló csiga a termény teljes kitárolását végzi el körkörös mozgással a tengelye körül. A padozat alatti csiga beömlő ún. surrantókon keresztül tárolja ki a felette elhelyezkedő terményt. A kitároló rendszer a 1.3 ábrán látható.



1.3. ábra A kitároló csigák elhelyezkedése

A terményszárító teljes alapterülete szellőző padozatos. A padozat nagy szilárdságú, teljesen galvanizált bevonatú, profilban perforált acél elemekből épül fel.

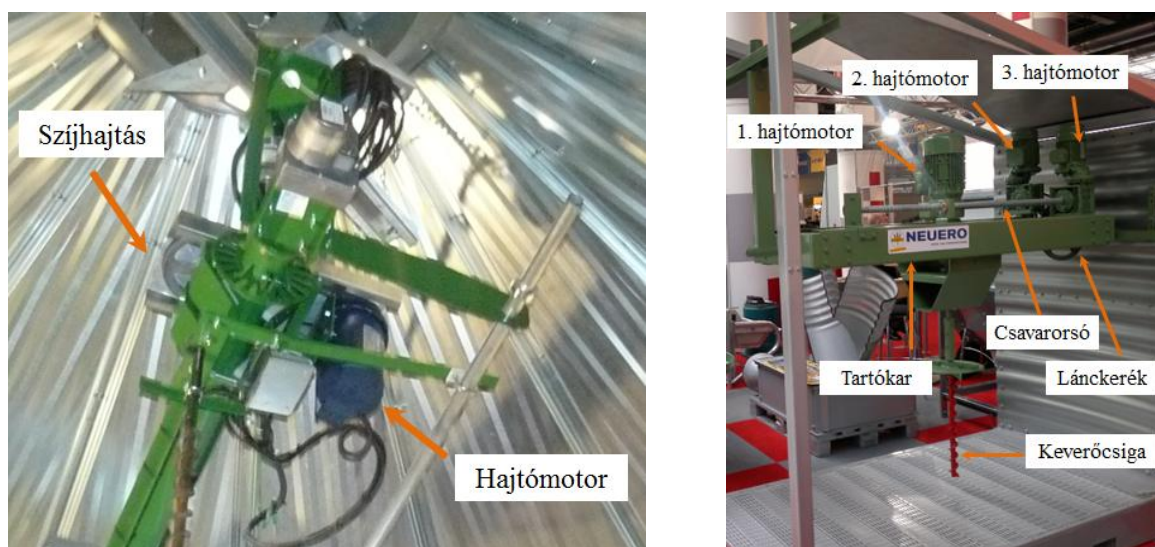
A termény egyenletes szárításához terménykeverő rendszereket alkalmaznak, melyeket a silószárító tetejére szerelnek fel. A keverőrendszert a legtöbb silószárítónál még nem alkalmaznak, pedig bizonyítottan javítja a száradó anyaghalmoz nedvességeloszlását. Amerikai és német cégek több konstrukciót is kitaláltak (1.4. ábra).



1.4. ábra A legelterjedtebb amerikai (jobb oldali) és a német (baloldali) keverőrendszer felépítése

Az eltérő szerkezeti megoldások ellenére működési módjuk hasonló. A lényege, hogy a siló tetejére rögzített tartókar hajtóműves motorok segítségével körbe fordul a siló fala mentén. A tartókar egy, a köpenyfalán körbefutó sínnel van megvezetve. A tartókaron a siló méretétől függően 2-4 keverőcsiga helyezkedik el. A keverőcsigák csavarorsókon periodikus mozgást végeznek a tartókar mentén. Így biztosítva van a pontos előhajtás. A csavarorsót szintén egy hajtó motor mozgatja. A csigák ejtését úgy kell kiválasztani, hogy megfelelően átkeverje az anyagot. A keverőrendszer részei kopásálló anyagból készültek, hogy az élettartamuk megfelelő legyen.

A keverés művelete három mozgás szuperpozíciójából tevődik össze. A csigák a tartókarral együtt körmozgást, a tartókar mentén egyenes vonalú periodikus mozgást és a tengelyük körül pedig forgó mozgást végeznek. A különböző konstrukciók közti eltérés ezen mozgások megvalósításában van. A tartókar mentén a csigák mozgását lehet dörzshajtással (amerikai konstrukció) vagy csavarorsó (német konstrukció) segítségével is biztosítani. A keverőcsigák forgómozgását általában szíjhajtással vagy hajtóműves motor segítségével oldják meg.



1.5. ábra A keverőrendszerek szerkezeti felépítése

Az amerikai konstrukció hátránya, hogy a világ legtöbb részén a szíjhajtás alkalmazását betiltották poros környezetben, mert tűz és robbanás veszélyes. A német konstrukciónál mindhárom mozgás hajtóműves motorok segítségével történik. A tartókar egy lánckerék hajtás segítségével fordul körbe a pályán. A keverőcsigák egy csavarorsón mozognak, amely a tartókaron fut végig. [5] A tudományos diákköri munkám során azt vizsgáltam, hogy a keverőcsigák geometriája és fordulatszáma hogyan befolyásolja az átkeveredés mértékét. A feladat megoldásához diszkrét elemes szimulációt alkalmaztam.

1.4. A diszkrét elemes módszer

A diszkrét elemes módszer (DEM) egy új numerikus eljárás a szemcsés halmazok mechanikai viselkedésének modellezésére. A DEM szimuláció lényege, hogy az összes részecske mozgási egyenletét egyenként oldjuk meg (Cundall és Strack, 1979). A diszkrét elemes megközelítés nagyon hatékony, mert annak eredményei sokkal komplexebb szerszámgeometriára kiterjeszthetők, mint az analitikus közelítés eredményei.

A halmaz mechanikai viselkedésének modellezésére mi az EDEM nevű diszkrét elemes szoftvert használtuk és a Hertz Mindlin modellt alkalmaztuk, A diszkrét elemes modellben a szimuláció kezdetétől a szimuláció kiszámolja az érintkezésből adódó erőket a Hertz-Mindlin csúszásmentes kapcsolati modellhez: az anyagi és kapcsolati paramétereknek hatása van a normál, illetve az érintőirányú erőkre. Ezek az erők illetve nyomatékok hatnak a száritandó szemcsék között a következő összefüggésnek megfelelően:

A normál irányú erő:

$$F_n = \frac{4}{3} E_0 \delta^{\frac{3}{2}} \sqrt{R_0} - 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \frac{\ln C_r}{\sqrt{\ln^2 C_r + \pi^2}} \sqrt{2 E_0} \sqrt[4]{R_0} \delta \sqrt{m_0} v_{\text{rel}} \quad (1)$$

Ahol $\frac{1}{E_0} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2}$ a egyenértékű Young modulusza a két kölcsönhatásban

lévő szemcsének, δ az átfedés a két szemcse között. A normál irányú átfedés mutatja meg a normál irányú deformációját egy szemcsének. A normál átfedés δ , az x_i és x_j pozícióban lévő i és j jelű részecske között(ahol x a két részecske közti, középpontokat összekötő egyenesen mért távolság) R_i és R_j sugárral: $\delta = R_i + R_j - (x_j - x_i)$. $R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ a egyenértékű sugár,

$m_0 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ a egyenértékű tömeg és v_{rel} a normális irányú komponense a relatív

sebességnek a szemcsék között. Az érintő irányú erő:

$$F_t = -8 G_0 \sqrt{R_0} \delta \delta_t - 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \frac{\ln C_r}{\sqrt{\ln^2 C_r + \pi^2}} \sqrt{2 G_0} \sqrt[4]{R_0} \delta \sqrt{m_0} v_{\text{rel}} \quad (2)$$

Ahol $\frac{1}{G_0} = \frac{2-\nu_1}{G_1} + \frac{2-\nu_2}{G_2}$ az egyenértékű nyírási modulusza két egymással kapcsolatba lépő szemcsének, δ_t az átfedés a két szemcse között. δ_t az érintőirányú átfedés a két részecske között, v_{rel} pedig az érintőirányú komponense a szemcsék közötti relatív sebességnek. Az érintőirányú átfedés az érintőirányú elmozdulása az érintkezési pontnak, egészen addig a pontig ameddig az érintkezés véget nem ér. vagy a szemcse el nem kezd gördülni vagy csúszni. Az érintő irányú átfedés reprezentálja az érintőirányú deformációját az adott részecskének. Az érintőirányú erőt a Coulomb törvény korlátozza: $\mu_s F_n$ ahol μ_s a csúszási súrlódási együttható.

A gördülési súrlódásból adódó nyomaték : $M_r = -\mu_r F_N R_i \omega_i$, ahol R_i az i szemcse középpontjának távolsága az érintkezés pontjától, ω_i pedig a szögsebesség vektor, amely dimenzió nélküli mennyiség és csak az i szemcse forgásának az irányát mutatja meg. μ_r a gördülési súrlódási együttható. Az érintő irányú erőnek szintén van nyomatéka a részecskére:

$$M_t = F_t R_i . \quad (3)$$

A szimulációk során lendülettétel illetve a perdülettétel segítségével írtuk fel a mozgási egyenleteket az összes különálló részecskére. Ez sok differenciálegyenlet megoldásához vezetett. A felhasznált időléptéknek nagy hatása van a numerikus modell stabilitására. A szimulációhoz mi a Rayleigh féle időlépték 25%-át választottuk [4]:

$$\delta_t = 0,25T_R = 0,25 \cdot (0,1631\nu + 0,8766)^{-1} \pi R \left(\frac{\rho_p}{G_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

2. Saját modell bemutatása

Az általam készített modell feladata, hogy megfelelően szimulálja a terményben forgó csiga körül kialakult mozgásokat. Ebben a fejezetben bemutatom a modell fizikai, geometriai paramétereit, illetve az általam használt szoftver beállításait a szimuláció során. Ehhez öt darab szimulációt futtattunk le, három szimulációt azonos fordulatszámmal de növekvő csigalevél átmérővel, illetve három szimulációt azonos átmérővel de növekvő fordulatszámmal.

Az acél mechanikai adatai (2.1. ábra):

A modell elkészítése a szimulációban résztvevő testek, illetve a termény mechanikai adatainak megadásával kezdődik (mint ahogy a jobboldali ábrán is látszik). A szimulációban résztvevő tartály, illetve a csigának az anyaga acél: Poisson tényező: 0,3

Sűrűség: 7500 kg/m^3

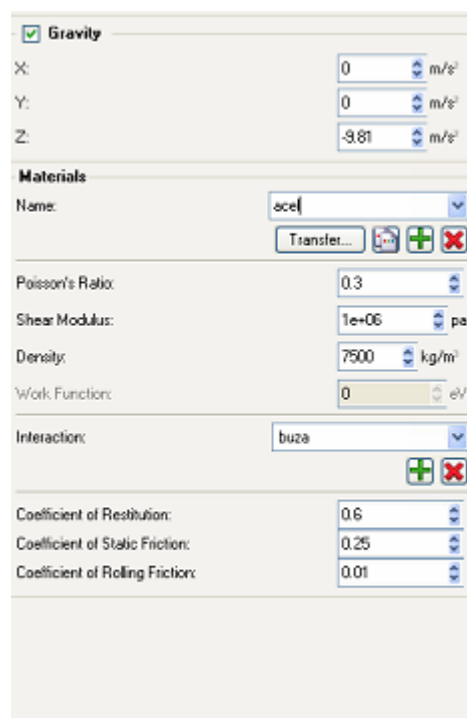
Nyírási modulus(G): 10^6 Pa .

A nyírási modulust a számítási idő csökkentése érdekében a program által megengedett legkisebb értékre állítottam be. A szimulációt végeredményét nem befolyásolja ez az adat. Az acél ütközési-, súrlódási- és gördülési ellenállási tényezőjét meg kell határoznunk a búzához képest:

Ütközési tényező: 0,6

Csúszási súrlódási együttható: 0,25

Gördülési súrlódási együttható: 0,01



2.1. ábra Az acél mechanikai adatai

A búza mechanikai adatai (2.2. ábra):

A szimulációban résztvevő szemcsés halmaznak a búzát választottam. A búza mechanikai paraméterei a mechanika tanszék korábbi méréseiből származnak. [4] Fontos megjegyezni, hogy itt nem a búzaszemekből álló szemcsehalmaz, hanem a búzaszem anyagtulajdonságait kell megadnunk.

A búza adatai:

Poisson tényező: 0,4 ;

Sűrűség: 1460 kg/m^3 ;

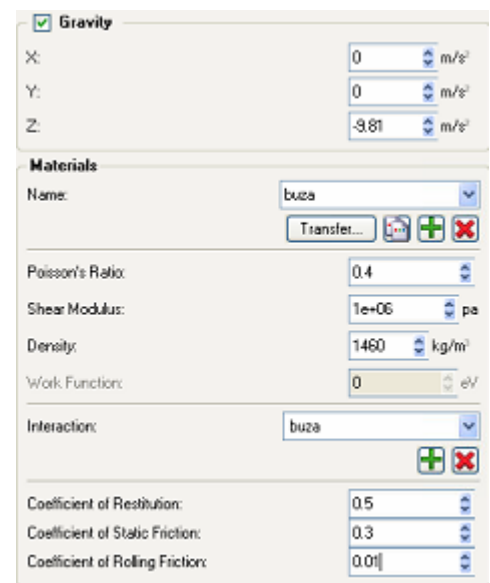
Nyírási modulus(G): 10^6 Pa .

A búzaszemek közötti kölcsönhatást leíró anyagi paraméterek:

Ütközési tényező: 0,5

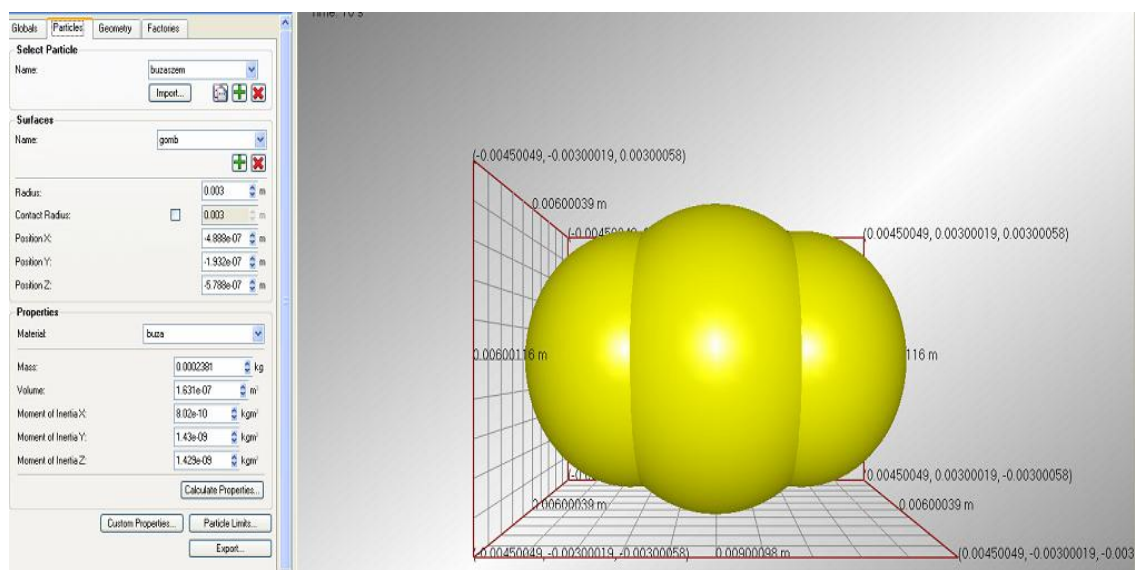
Csúszási súrlódási együttható: 0,3

Gördülési súrlódási együttható: 0,01



2.2. ábra A búza mechanikai adatai

A búzaszem geometriai adatainak megadása:



2.3. ábra A búzaszem modellje

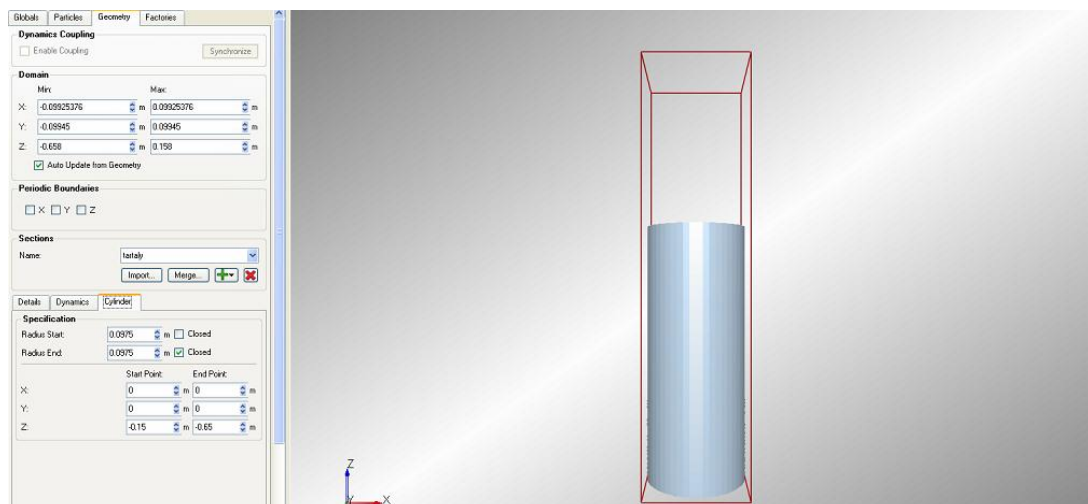
A búzaszemet egy 3 gömbből álló modellel helyettesítjük:

A búzaszemet alkotó gömbök adatai:			
Neve:	Gömb1:	Gömb2:	Gömb3:
Sugara:	3mm	2,5mm	2,5mm
Középpont helye:	$x=0; y=0; z=0$ (mm)	$x=2 y=0 z=0$ (mm)	$x=-2 y=0 z=0$ (mm)

2.4. táblázat A búzaszem modelljének geometriai adatai

Azokban a szimulációkban amelyeknél megnöveltem a csigalevél átmérőjét, a búzaszemet csak egy 2mm átmérőjű gömbbel modelleztem hogy csökkentsem a számítási időt, mivel a nagy számú szemcse a számítási időt a többszörösére növelte.

A tartály geometriája:



2.5. ábra A tartály geometriai beállításai

A tartály szerepe a szimulációban a szemcsék tárolása. Nélküle a szimuláció elején a szemcsék szétszóródnának, nem lehetne a csigát belemeríteni a halmazba. A tartály egy alulról zárt henger, melynek sugara háromszorosa a vizsgált csiga külső átmérőjének. A tartály anyagának acélt adtam meg.

A tartály geometriai adatai:

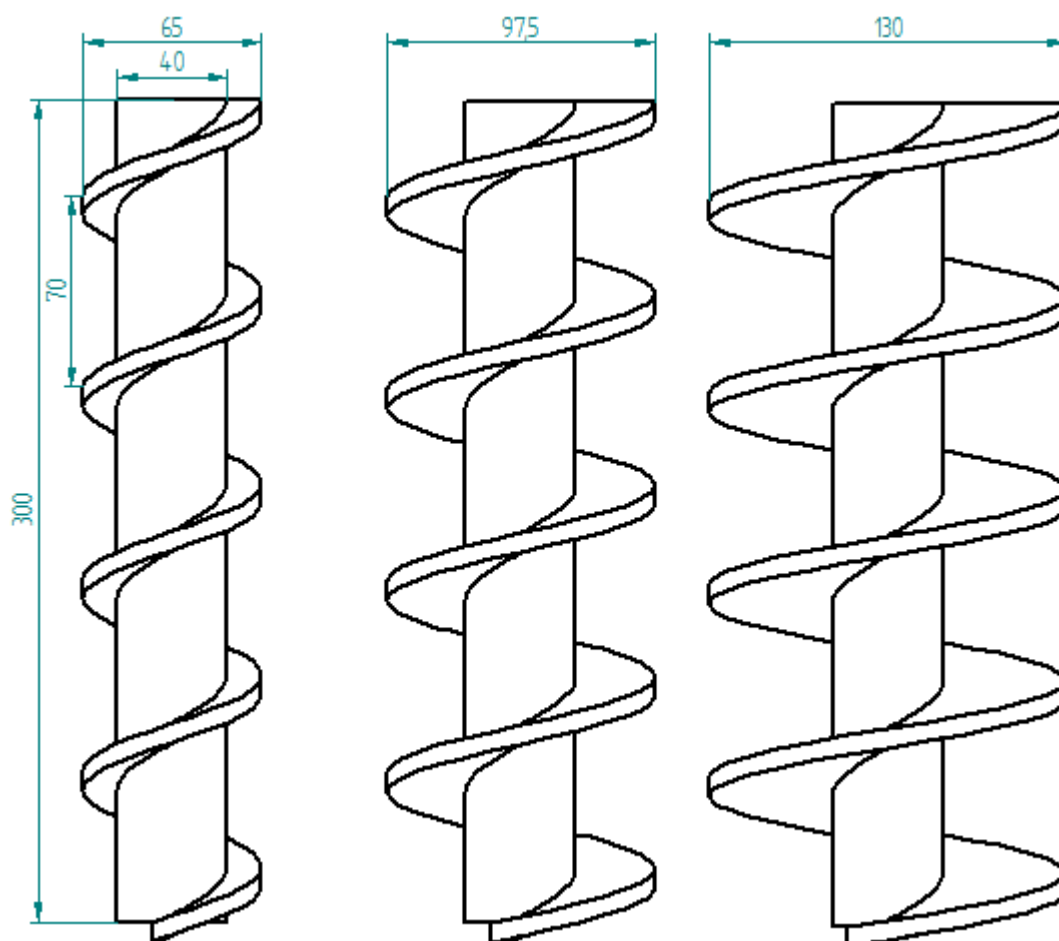
Ahol: $R = A$ vizsgált csiga külső sugarának a háromszorosa.

Magassága: 60 cm

A magasságot úgy adtam meg, hogy $Z = 0,15\text{cm}$ ől $Z = -45\text{cm}$ g terjedjen ki a henger. A henger felül nyitott, hogy a szimuláció során a keverőcsiga belesüllyedhessen a terménybe.

A csiga geometriai adatai:

A keverőcsigát három méretben készítettem el a Solid Edge nevű program segítségével. A három csiga tengelyének az átmérője végig azonos, csak a csigalevél szélességét változtattam meg. Az külső átmérők: 65mm, 97,5mm és 130mm. A csiga hosszát 30 cm-re választottam. Ez már elég hosszú ahhoz hogy megfelelő számú menet elférjen rajta, de nem lassítja le nagyon a szimulációt a háromdimenziós modell mérete. A csigavonal egy körülfordulás alatt 70 mm-t emelkedik.

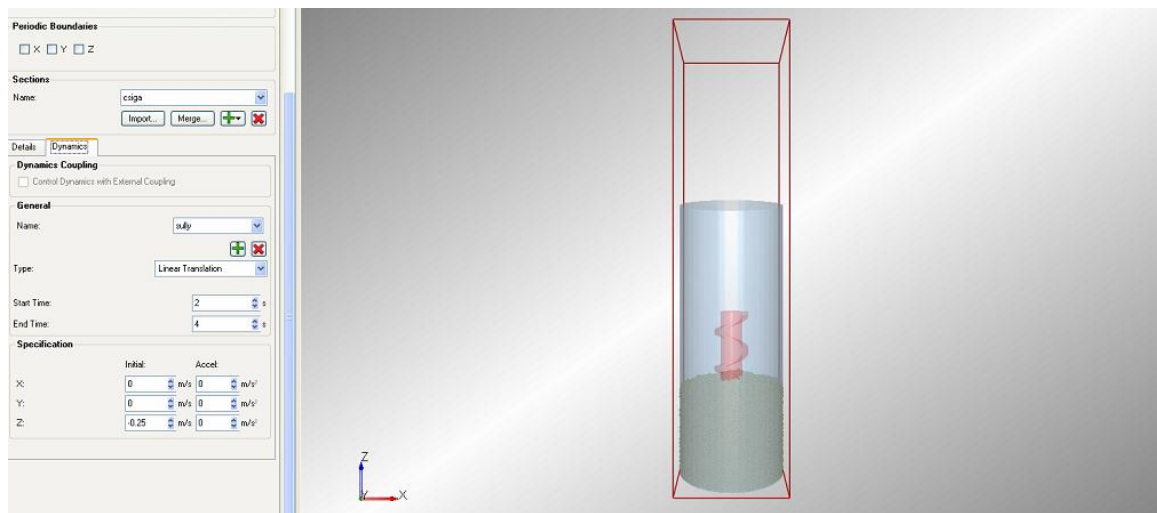


2.6.ábra A vizsgált csigák rajza

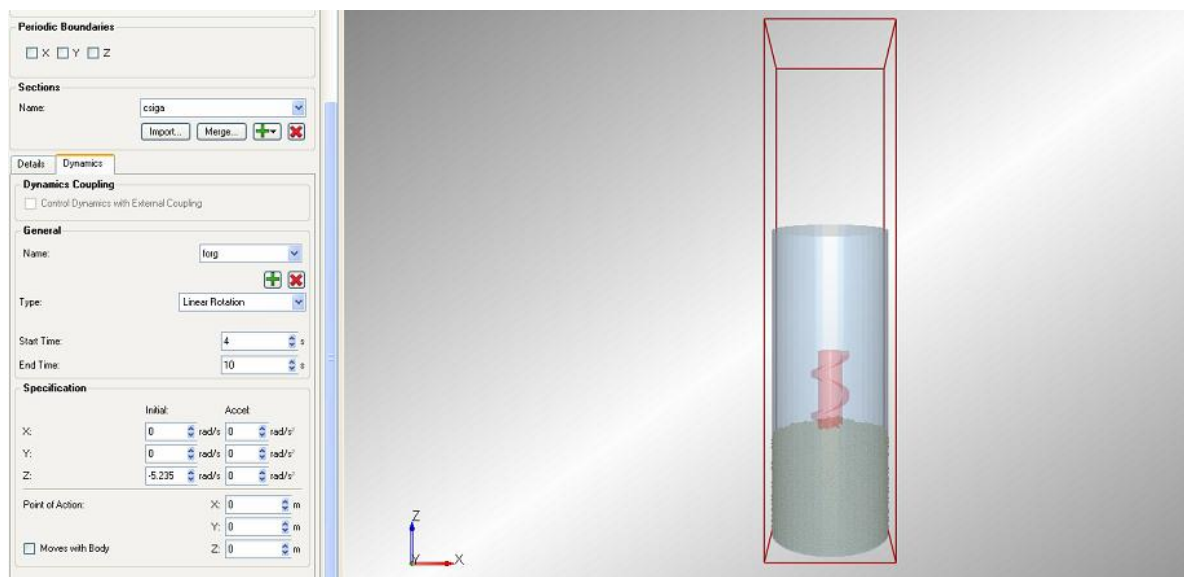
Az EDEM-be történő importálásnál fontos, hogy a Solid Edge-ben készült modellt .igs kiterjesztéssel mentjük el, mert a program csak így fogadja el.

A csiga mozgása:

A szimuláció összesen 10 másodpercig fut, ebből az első két másodpercben a halmaz lehull a tartály aljára és leülepszik. A csigát nem tudtam a tartályba helyezni a szimuláció elején, mivel akkor a program a csigamodellt is feltöltötte volna búzával. Ezért a csiga a tartály felett helyezkedik el a szimuláció kezdetén, majd innen ereszkedik bele a tartályba. Ez a mozgás 2s-tól 4-s-ig tart, $-0,25$ m/s-os állandó sebességgel. A csiga sebességénél figyelembe kellett vennem, hogy ha túl gyorsan engedem a csigát a terménybe, akkor a szimuláció „széteshet”. Miután a csiga leért a tartály aljára, elkezd forogni. A csiga a szimuláció végéig állandó szögsebességgel függőleges tengely körüli forgást végez. A szögsebesség vektor negatív irányú, ellenkező esetben a szemcséket lefelé és nem felfelé szállítaná a csiga.



2.7 A csiga süllyesztésének beállítása



2.8 A csiga forgásának beállításai

Az öt szimuláció közül hármat különböző fordulatszámokkal futtattam le:

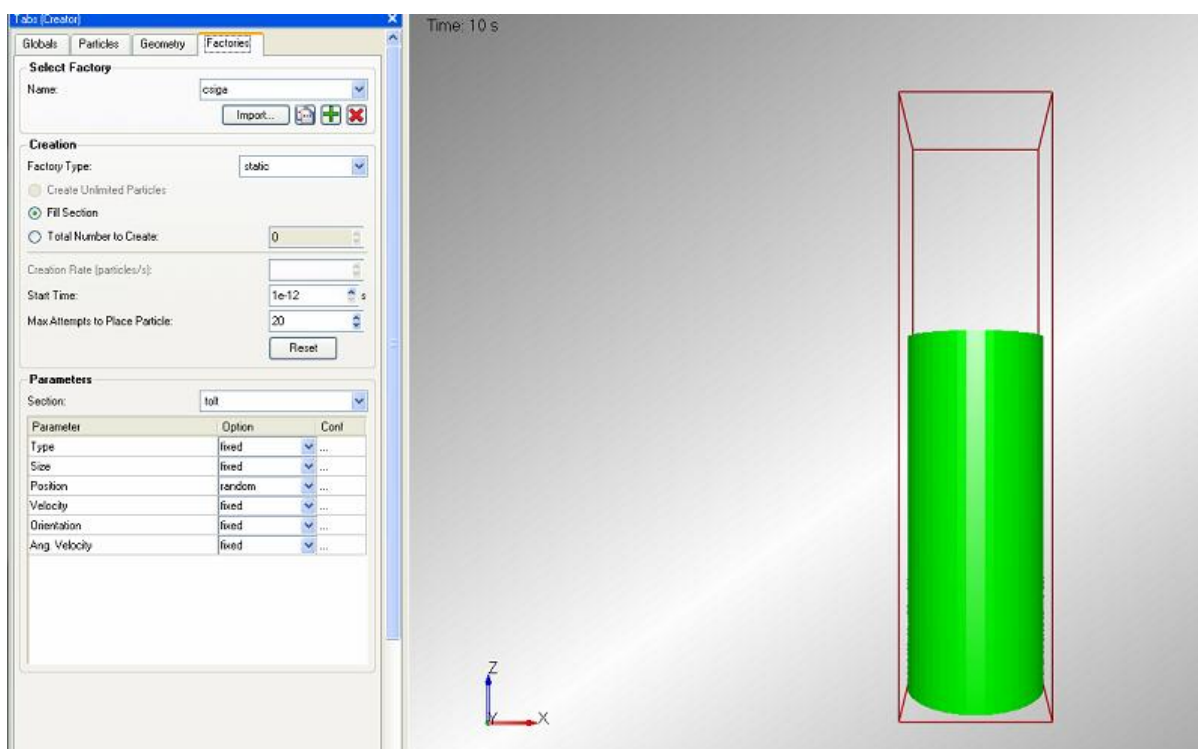
$$N_1=50 \text{ 1/s}, N_2=100 \text{ 1/s}, N_3=150 \text{ 1/s}$$

A programnak ezeket a fordulatszámokat rad/s mértékegységben kell megadni.

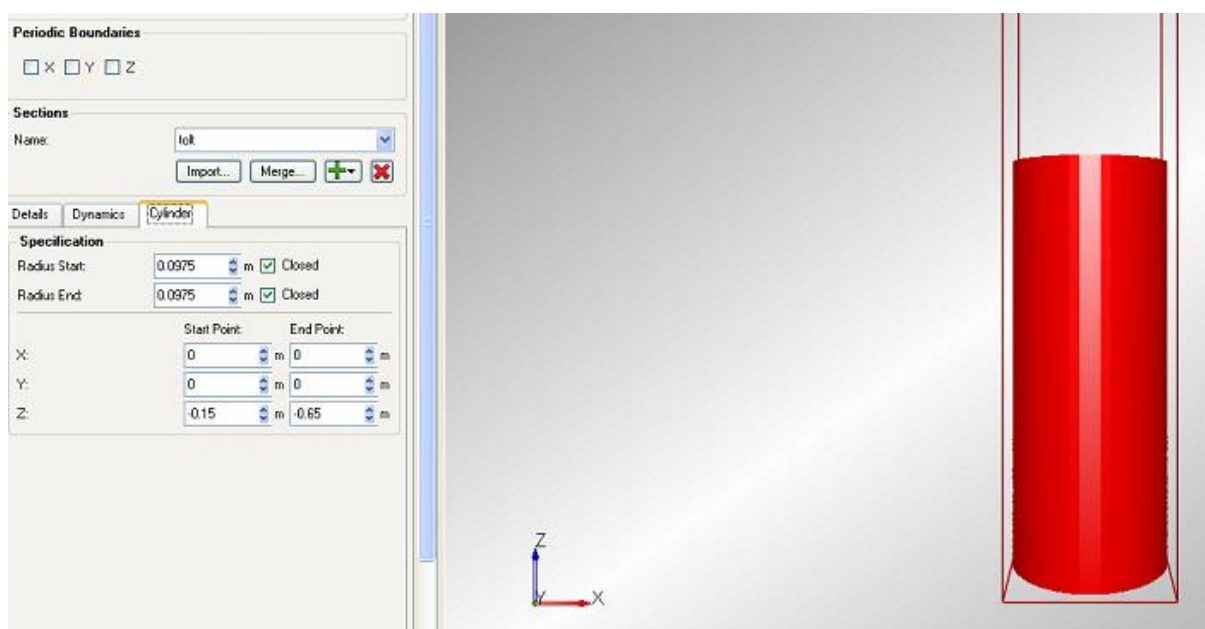
További beállítások:

A factories fül alatt be kell állítani a feltöltés módját, amit én statikusra állítottam be. Ez azt jelenti, hogy a szimuláció első időpillanatában a program feltölti a teljes térfogatot szemcsékkel, amik aztán a tartály aljára hullnak és összetömörödnek. Ezen kívül beállítható még a szemcsék száma, illetve a feltöltendő térfogat. A szemcsék számánál a programnak azt

az utasítást adtam, hogy töltsse fel a rendelkezésre álló térfogatot, feltöltendő térfogatnak pedig egy virtuális térfogatot adtam meg melynek geometriai adatai teljes mértékben megegyeznek a tartállyal, azzal a különbséggel, hogy ez mind a két végén zárt.



2.8 A feltöltés beállításai, a feltöltendő térfogat.



2.9 A feltöltendő virtuális geometria, és annak adatai.

A szimuláció indítása előtt még be kellett állítanom az időléptéket, a szimuláció idejét, hogy milyen gyakran mentsen ki adatokat (mintavételi frekvencia), a Grind Size-t valamint a számítást végző processzorok számát.

The screenshot shows a software interface with several configuration sections:

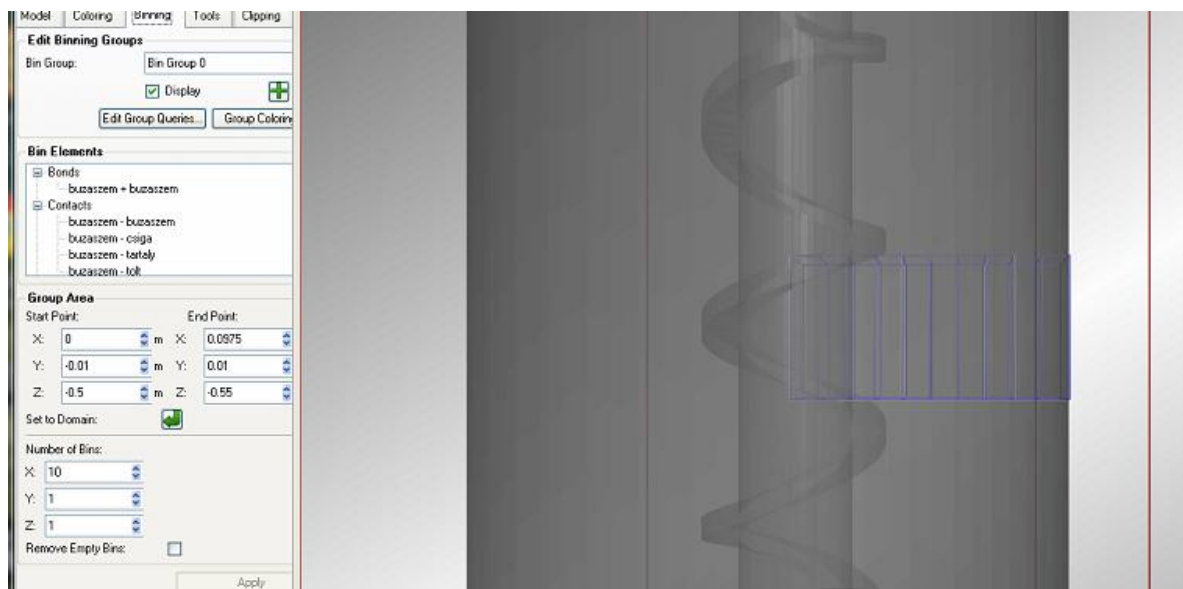
- Time Step**
 - Rayleigh Time Step: 0.000319 s
 - ☒ Fixed Time Step
 - 25 %
 - 7.97e-05 s
- Simulation Time**
 - Total Time: 10 s
 - Write out Every: 0.01 s
 - Required Iterations: 1.26e+05
 - Additional Data Points: 1e+03
 - Iterations per Data Point: 126
- Grid**
 - Smallest Radius (R min): 0.0025 m
 - Grid Size:
 - 25 R min
 - 0.0625 m
 - Approx Number of Grid Cells: 224
- Collisions**
 - ☐ Track Collisions
- Processors**
 - Number of Processors: 2

3. Eredmények, következtetések

3.1. A halmaz sebességprofilja

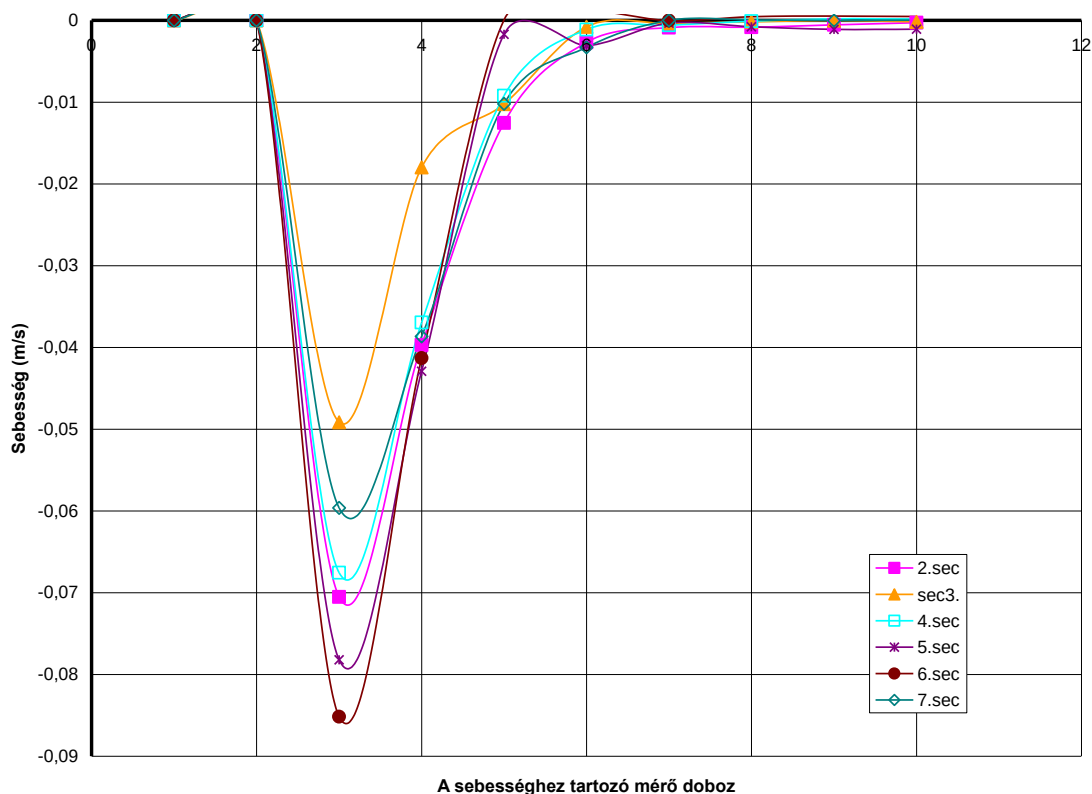
A vizsgálat során kiválasztottam az egyik szimulációt (65 mm-es átmérő, 50 1/perc-es fordulatszám) és megvizsgáltam, hogy a halmazban forgó csigától távolodva hogyan változik a halmazt alkotó szemcsék Z irányú sebessége.

A szimuláció kiértékeléséhez a csigatengelytől mért távolságot egészen a tartály faláig tíz egyenlő részre osztottam (3.1. ábra). Ezen a tíz intervallumon végezte el az EDEM nevű szoftver a sebességek mérését és ezeket intervallumonként átlagolta. Ezeket a sebességeket tüntettem fel a fenti diagramban.



3.1. ábra Mérési tartomány felosztása

Elsőként megvizsgáltuk a sebességek időbeni változását. Az ábrán látható hogy a sebességeloszlás időben állandósul, jellege nem változik (3.2. ábra).



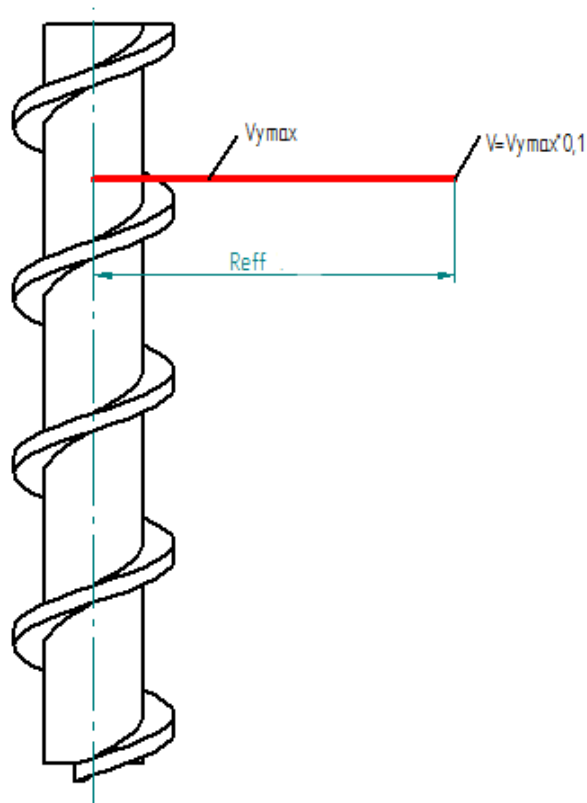
3.2. ábra Sebességprofil a különböző időpillanatokban

Az osztás első két intervallumában mért átlagsebesség a szimuláció teljes időtartamát tekintve végig nulla. Ennek az az oka, hogy ezeken az intervallumokon nincsenek szemcsék. (Mint ahogy a képen is látható a mérési tartomány belelóg a csigába).

3.2. Effektív sugár meghatározása különböző fordulatszámok és csigalevél-átmérők esetében

A szimulációkat az szerint értékeltem ki, hogy az egyes csigák az adott beállítások mellett milyen mértékben keverik át az anyagot. A keveredés mértékét az „effektív sugárral” jellemeztem.

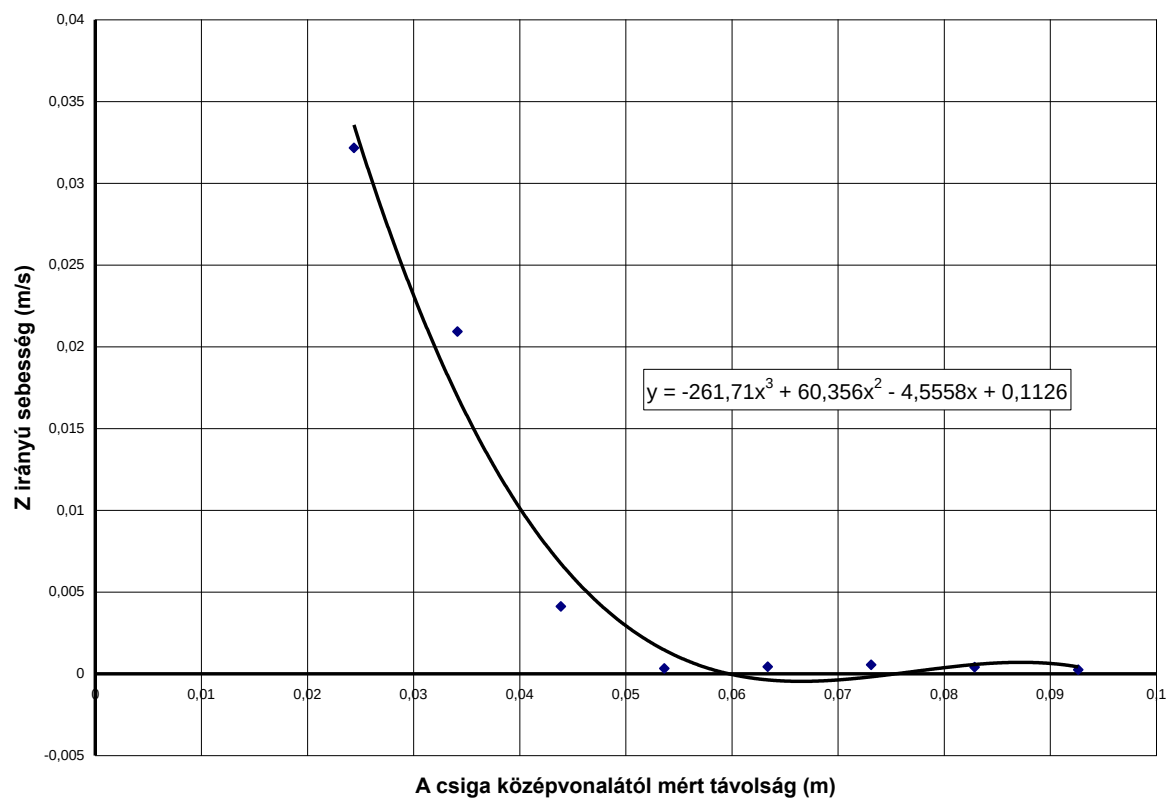
Effektív sugár definíciója: Az effektív sugár az a csiga hossz tengelyétől mért távolság, ahol a szemcsék csiga-tengely irányú sebessége a sugár mentén fellépő maximális csiga-tengely irányú sebesség értékének 10%-ával egyenlő. Azaz ahol $v_y = 0,1v_{y\max}$. .



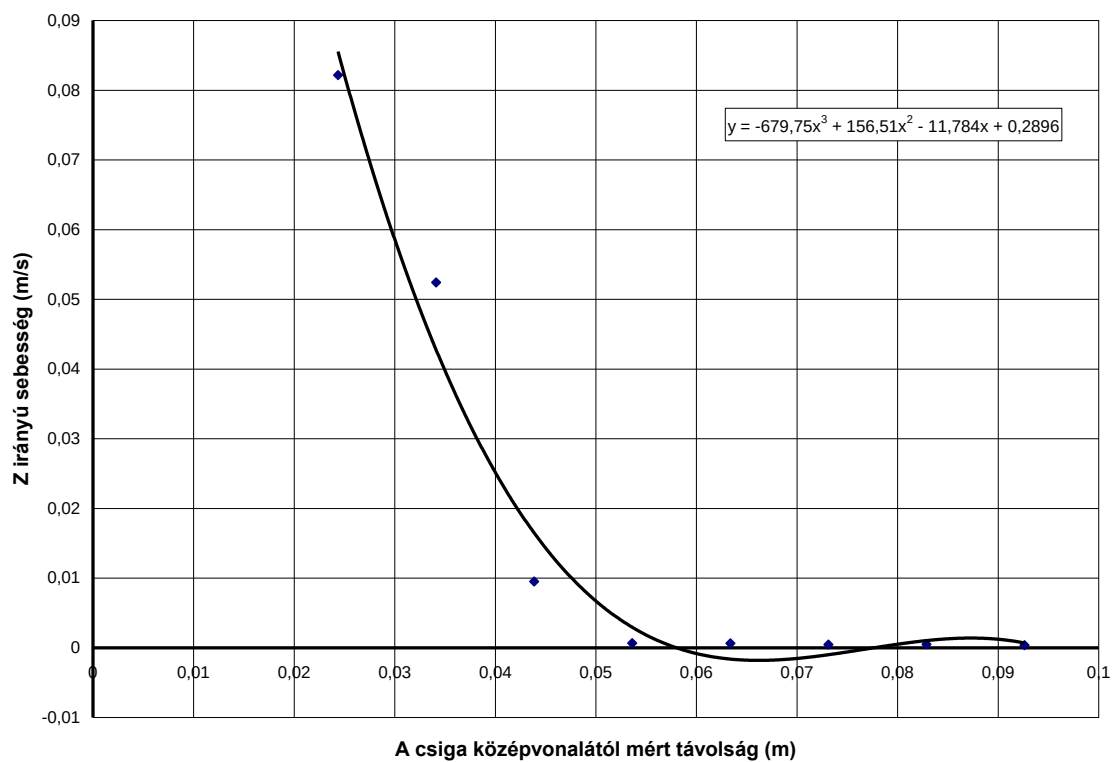
3.3. ábra Az effektív sugár

A vizsgálat menete a következő volt: A csiga tengelyétől kiindulva megmértem az átlagsebességeket, majd a mért értékekre trendvonalat illesztettem. Így minden szimulációra kaptam egy „távolság-tengely irányú sebesség” függvényt. Meghatároztam az adott távon mért legnagyobb sebességet, kiszámoltam a 10%-át, majd az EXCEL nevű program solver nevű funkcióját használva, célérték kereséssel meghatároztam, hogy melyik az a távolság, ahol a sebesség a sebességmaximum tíz százaléka lesz. A sebességmérést az előző fejezetben ismertetett módon végeztem el, minden szimuláció tizedik másodpercében. A mért függőleges irányú sebességek az adott mérési szakasz átlagsebességei. Az illesztett függvény ezeket az átlagolt értékeket közelíti, így pontos sebesség meghatározásra nem alkalmas, csupán az azonos módszerrel lefuttatott szimulációk azonos módszerrel mért eredményinek az összehasonlítását szolgálja.

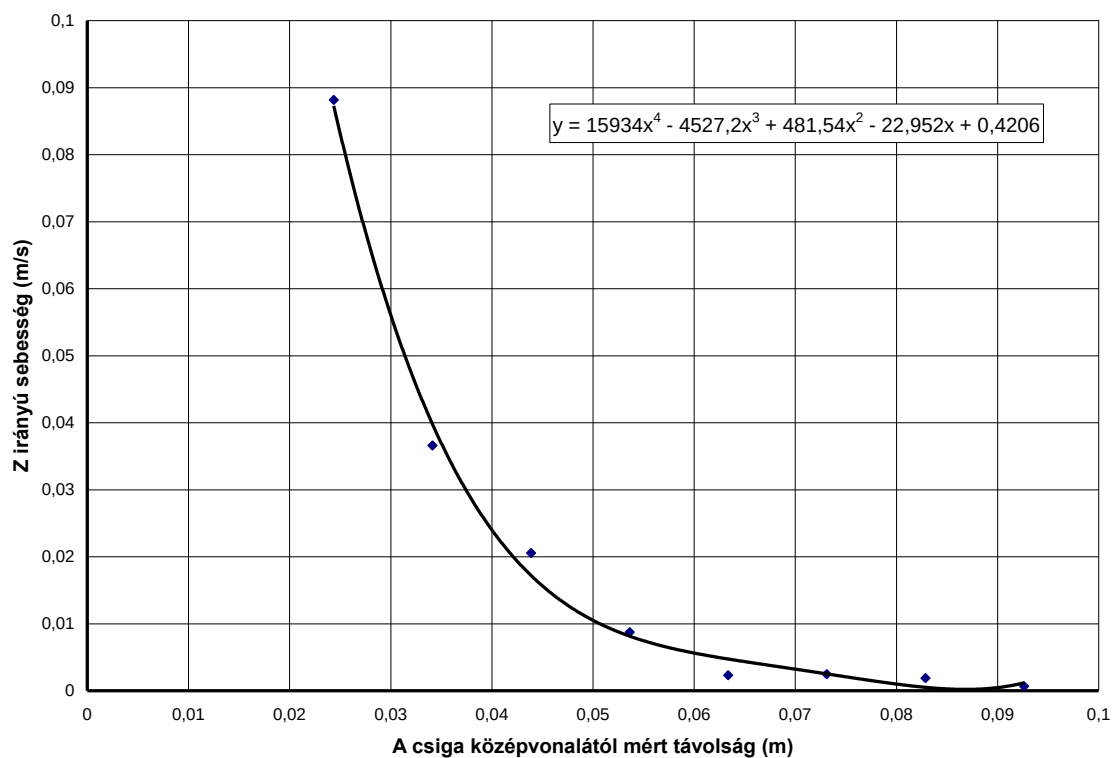
A kapott eredmények segítségével összehasonlíthatjuk a különböző szimulációkat. Öt darab szimulációt futtattam le, hogy megvizsgálhassam a fordulatszám, illetve a csigalevél átmérő növekedésének hatását az effektív sugárra. A csigalevél átmérők a következők: 65, 97,5 és 130 mm. A vizsgált fordulatszámok: 50, 100 és 150 1/perc. Az alábbi diagrammokon bemutatom a kiértékelés eredményét, valamint egy táblázatban az effektív sugarakat:



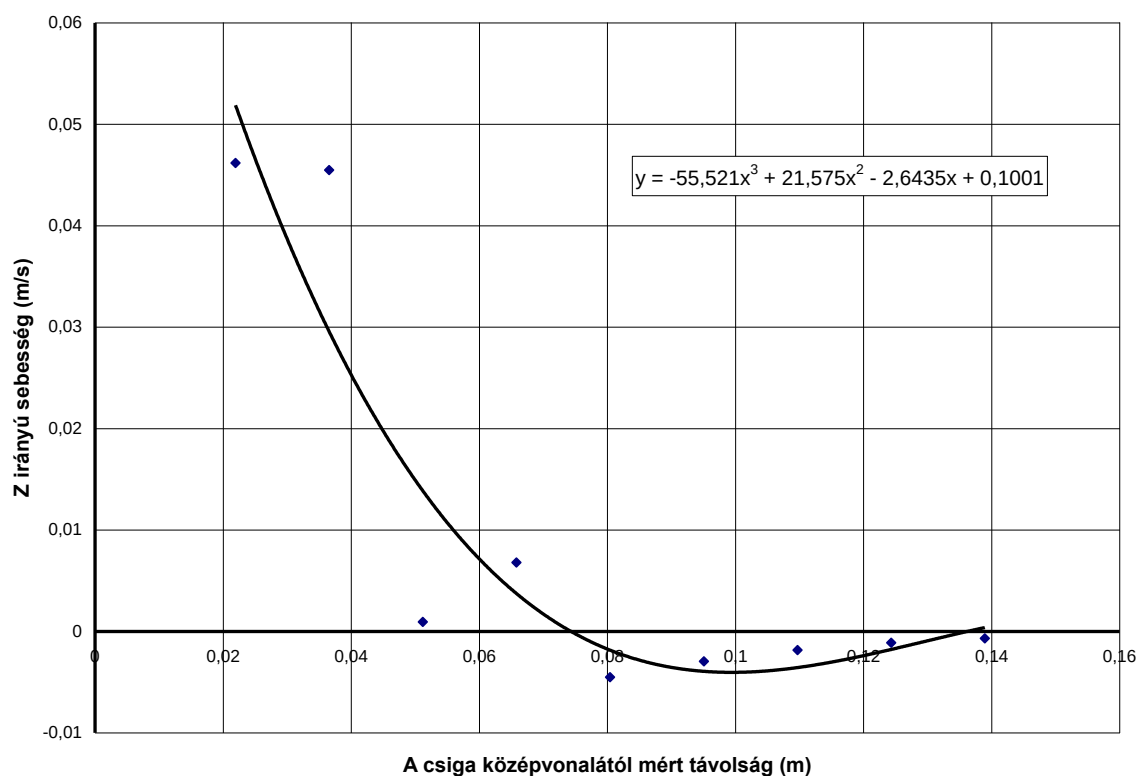
3.4.ábra A sebességek átlaga a sugár mentén (átmérő: 65mm, fordulatszám: 50 1/perc)



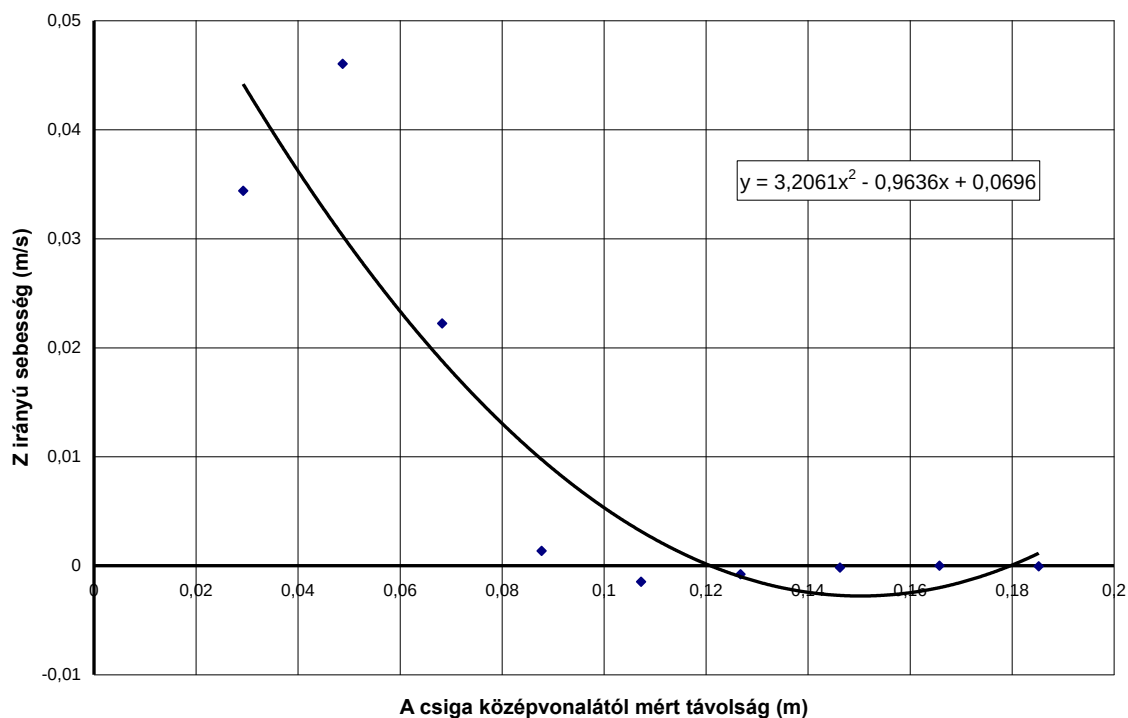
3.5.ábra A sebességek átlaga a sugár mentén (átmérő: 65mm, fordulatszám 100: 1/perc)



3.6.ábra A sebességek átlaga a sugár mentén (átmérő: 65mm, fordulatszám 150: 1/perc)



3.7.ábra A sebességek átlaga a sugár mentén (átmérő: 97,5mm, fordulatszám: 50 1/perc)



3.7.ábra A sebességek átlaga a sugár mentén (átmérő: 130mm, fordulatszám: 50 1/perc)

A görbéken megfigyelhető hogy azonos jellegűek, függetlenül a fordulatszámtól vagy a csigalevél átmérőjétől.

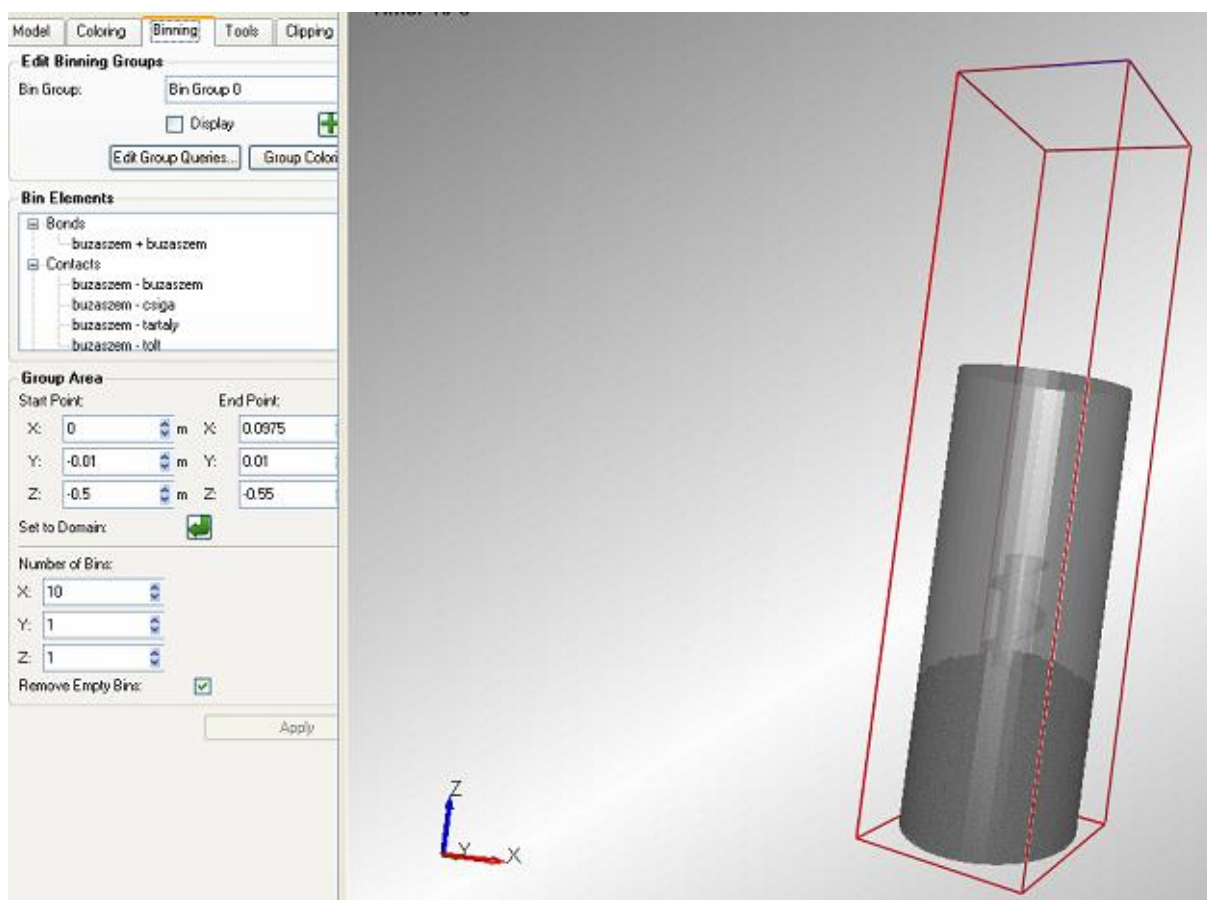
Effektív sugarak:

	vmax(m/s):	vmax _{10%} (m/s):	Reff(m):	Keverési hatékonyság:
d65n50	0,032163	0,0032163	0,049526	1,523875228
d65n100	0,08217	0,008217	0,048834	1,502584156
d65n150	0,088158	0,0088158	0,052496	1,615275534
d97,5n50	0,04618	0,004618	0,064204	1,323796458
d130n50	0,034384	0,0034384	0,106156	1,633165324

Az effektív sugarak összehasonlításából levonható következtetések: A fordulatszám változtatása nem okozott komolyabb változást az effektív sugár növekedésében. A csigalevél megnövelése már valamivel látványosabb változást okozott, a 130 mm levélátmérőjű csigához már több mint kétszer akkora effektív sugár tartozik, mint a 65 mm átmérőjűhöz. Ugyanakkor kiszámítottam a keverési hatékonyságát az egyes csigáknak, ami az effektív sugár és a csigalevél sugarának a hányadosa. Ezeket összehasonlítva arra a következtetésre jutottam, hogy a csigalevél átmérőjének a növelése nem vezet egyértelmű teljesítmény növekedéshez.

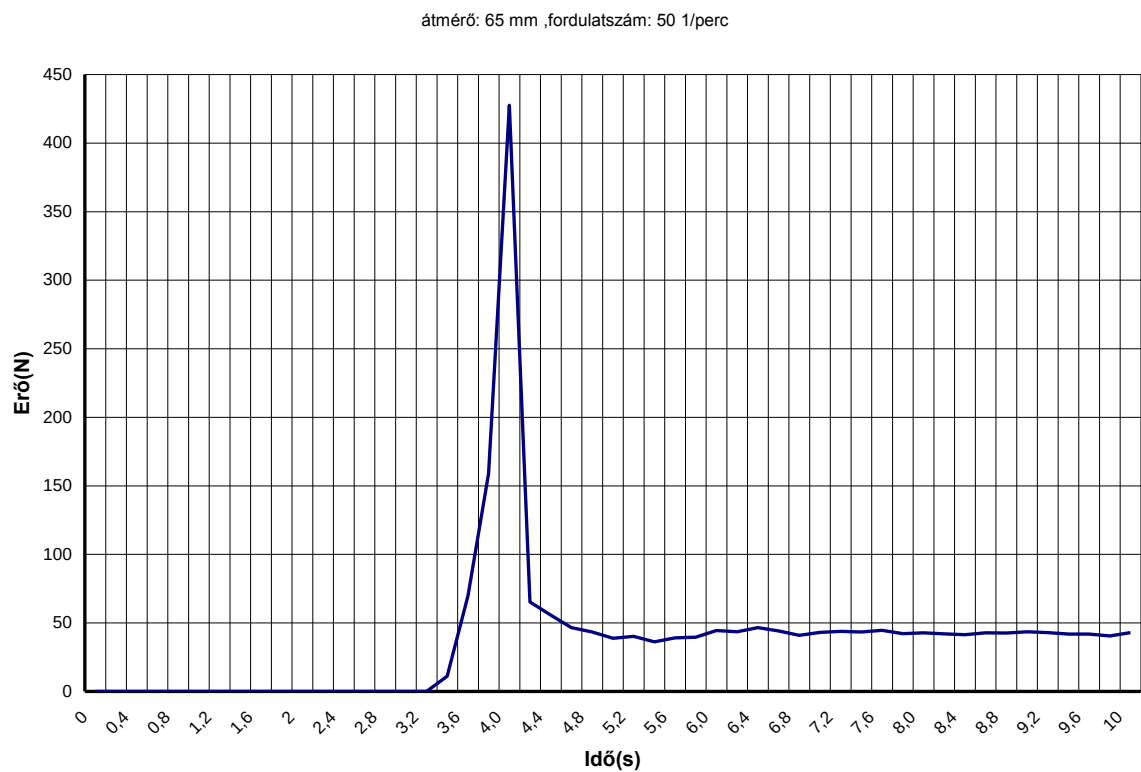
3.3. Egyes szimulációkban a csigára ható erők

A szimulációkban megvizsgáltam a csigára ható tengely irányú erőket is mivel a szerkezet méretezésének a csiga terhelése az alapja. Ez alapján kell méretezni a csigát hajtó motort, a csiga csapágyazását, illetve a csigákat tartó konzolt. Az adatok kinyerését az előzőekben leírtak szerint készítettem el azzal a különbséggel, hogy a vizsgálatot kiterjesztettem egy olyan téglatest geometriájú térre, ami a szimulációban résztvevő összes geometriát magában foglalja (szemcsék, csiga, tartály) de ezek közül csak a csigát vizsgáltam, azon belül is a rá ható tengelyirányú erők eredőjének idő szerinti változását.

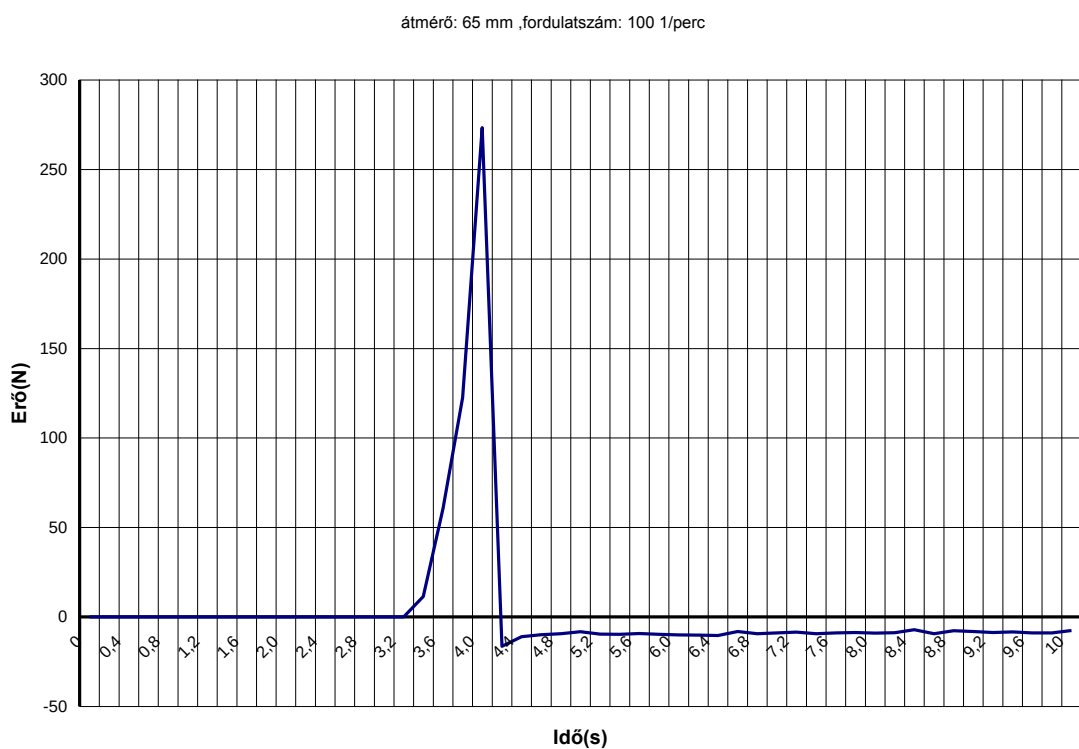


3.8. ábra Az erő méréséhez szükséges beállítások

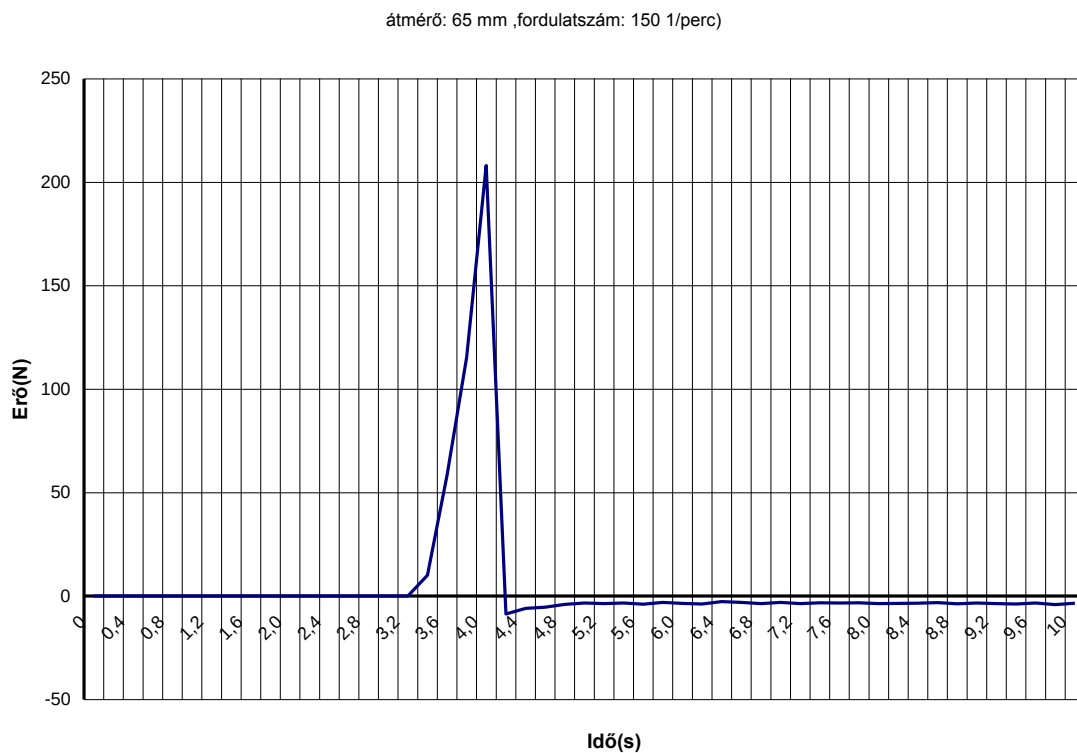
Az következő diagrammokon bemutatom az egyes szimulációkban mért csigára ható tengelyirányú erőket:



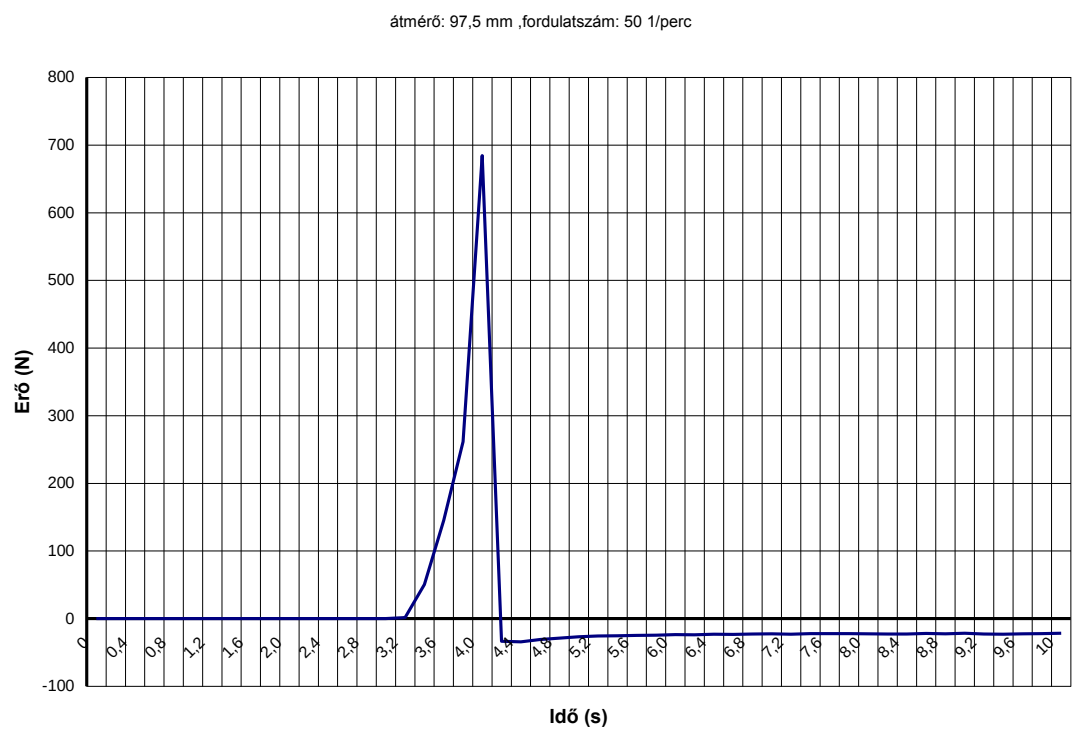
3.9.ábra A csigára ható tengely irányú erő az idő függvényében (átmérő: 65mm, fordulatszám: 50 1/perc)



3.10.ábra A csigára ható tengely irányú erő az idő függvényében (átmérő: 65mm, fordulatszám: 100 1/perc)

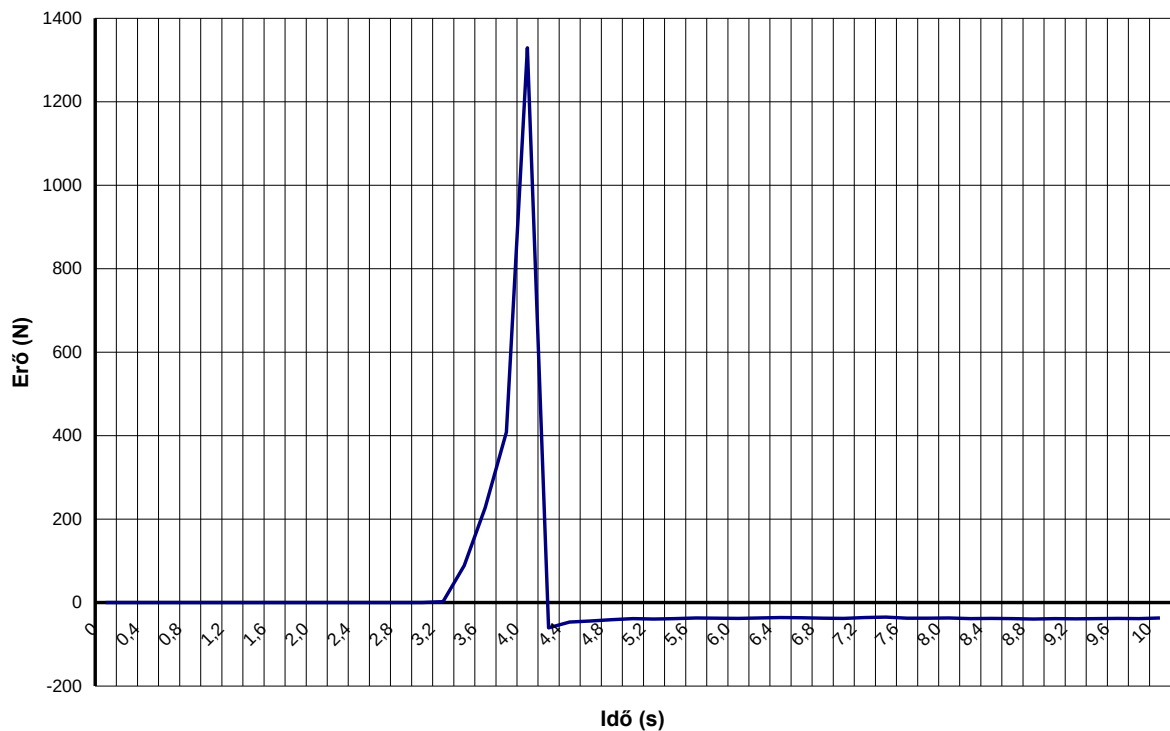


3.11.ábra A csigára ható tengely irányú erő az idő függvényében (átmérő: 65mm, fordulatszám: 150 1/perc)



3.12.ábra A csigára ható tengely irányú erő az idő függvényében (átmérő: 97,5mm, fordulatszám: 50 1/perc)

átmérő: 130 mm ,fordulatszám: 50 1/perc



3.13.ábra A csigára ható tengely irányú erő az idő függvényében (átmérő: 130mm, fordulatszám: 50 1/perc)

A diagramokon jól látszik, hogy a negyedik másodpercnél kezdődő forgás következtében a csiga terhelése hirtelen megugrik, majd nagyon gyorsan körülbelül 0,2 másodperc alatt a statikus értékre csökken és a szimuláció végéig változatlan marad. A valóságban a szárítóban a konzol egy tengely körül körbe forog ez pedig még egy hajlítással is terheli a csigákat, de ezzel az általam készített szimulációk nem foglalkoznak. Mivel a szimuláció során a csiga eleinte nem a halmazban van, hanem az összetömörödött halmazba süllyed bele. Ezalatt a halmaz függőlegesen fölfelé nyomja a csigát, amíg az le nem ér a halmaz aljára. Ez jól megfigyelhető a diagramm harmadik másodpercétől, amikor a csiga beleér a halmazba. Ezután a rá ható erő folyamatosan növekszik, majd amikor megáll azonnal forogni kezd ekkor jön létre az ugrás szerű erőhatás. A méretezés során tehát nem elhanyagolható az induláskor fellépő erőtöbblet. Azt hogy melyik szimuláció esetén milyen erőhatás jött létre az indítás pillanatában, a következő táblázat mutatja.

Induláskor fellépő erőtöbblet:			
fordulatszám növelésével:		csigaátmérő növelésével:	
fordulatszám(1/perc):	Erő(N):	Átmérő(mm):	Erő(N):
50	427,564	65	427,564
100	273,332	97,5	684,231
150	208,071	130	1328,82

3.14. Az egyes szimulációk során induláskor fellépő erőtöbblet.

A mért adatokból következtethető, hogy a fordulatszám növelésével az indításkor fellépő erőhatás csökken, míg a csigaátmérő növelése esetén ez az erő növekszik.

Összefoglalás

A munkám célja az volt, hogy elkészítsem a szemcsés anyagban forgó csiga diszkrét elemes modelljét, és megvizsgáljam hogy a csiga egyes paramétereinek változtatásával milyen hatással van a csiga terhelésére és az átkeveredés mértékére.

Eddigi munkám eredménye, hogy sikerült egy olyan diszkrételemes szimulációt készítenem, melynek segítségével a szemcsés anyagban forgó csiga terhelése illetve működésének hatékonysága vizsgálható. A vizsgálatok eddig azt mutatják hogy a csiga hatékonysága nagyban függ a csigalevél átmérőjétől, valamint a csigára ható függőleges irányú erőket is nagy mértékben befolyásolja a fordulatszám illetve a levélátmérő.

Következtetések:

1. A diszkrét elemes módszer alkalmas a vastagrétegű szárítókban használt keverőcsigák által létrehozott szemcsemozgás viszonyok modellezésére.
2. Az effektív sugár fogalmának bevezetésével lehetővé válik az egyes csigakonstrukciók összehasonlítása.
3. Egy rögzített csigageometria esetén a fordulatszám növelése nem változtatja meg számottevően a csiga effektív sugarát. A fordulatszám növelése bizonyos mértékben javíthat a keveredés mértékén mert nagyobb anyagmennyiséget mozgat át időegység alatt. Tapasztalataim szerint túl magas fordulatszámon a csiga „fúróként” működve az anyaghalmaznak csak egy kis részét mozgatja át.
4. A csigalevél átmérőjét növelve azt tapasztaltam, hogy bizonyos közepes mérettartományban az átkeverési hatékonyságra jellemző effektív sugár értéke jelentősen csökken.

További vizsgálatokat igényel annak meghatározása, hogy a fordulatszám és a csigageometria mellett milyen további paraméterek befolyásolják a szárítóbeli szemcsemozgás viszonyokat. Tisztázni kell azt hogy létezik e optimális csigatengely-csigalevél méretarány. Meg kell vizsgálni hogy a csigatengely vízszintes haladó mozgása hogyan befolyásolja az effektív keveredési sugár értékét. A hirtelen indításánál fellépő dinamikus terhelés pontosabb becslése érdekében finomítanunk kell a modellen, az azonnali bekapcsolás helyett állandó szöggyorsulással induló csiga vizsgálatát is el kell végeznünk. A vízszintes mozgásból adódó, csigatengelyben keletkező hajlító igénybevétel hatása szintén a továbbiakban elvégzendő vizsgálatok tárgyát képezi.

Irodalomjegyzék

- [1] Arun S. M, Beke J.: Gyakorlati szárítás, Szaktudás Kiadó Ház Budapest, 2002
- [2] Baker C. G. J.: Industrial Drying of Foods, Blackie Academic and Professional, London, 1997
- [3] Beke J.: Műszaki hőtan mérnököknek, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2000
- [4] Keppler István, Kocsis László, Oldal István, Farkas István, Csátár Attila: Grain Velocity distribution in a mixed flow dryer, Advanced Power Technology 23 (2012) 824-832
- [5] Varga A.: Bolygatott ágyas szárítóberendezés keverőrendszerének tervezése, Diplomamunka