

Sissejuhatus DEM simulatsioonidesse

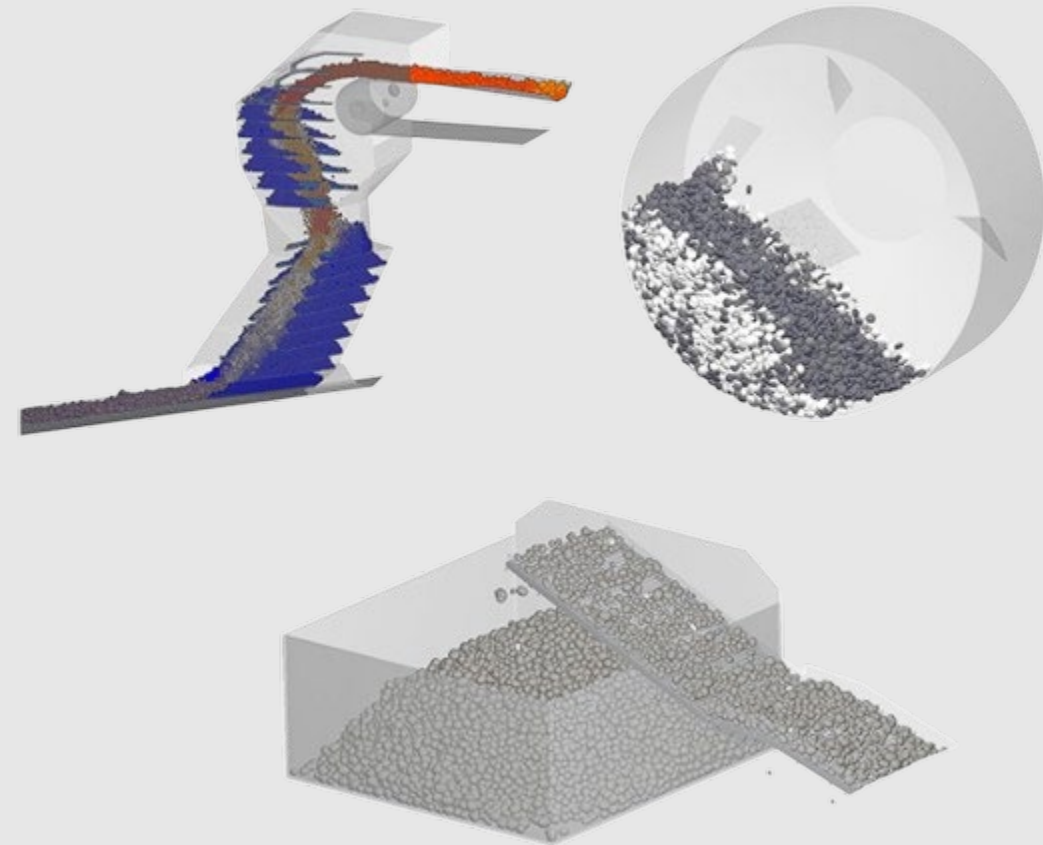
Presentation Subtitle

Author and Date



Mis on DEM?

Diskreetsete elementide meetodi (DEM) peamine eesmärk on füüsikaliste süsteemide modelleerimine, mis koosnevad paljudest väikestest eraldiseisvatest komponentidest. DEM-i tööpõhimõte on osakeste kokkupõrgete tuvastamine ja selle kontaktjõu arvutamine. Seejärel arvutatakse kiirendused, kiirused ja asukohad Newtoni liikumisseaduste ja numbrilise integreerimise abil.



DEM-i abil saab simuleerida erinevat tüüpi materjale: graanulid, kivimid, põllukultuurid jne

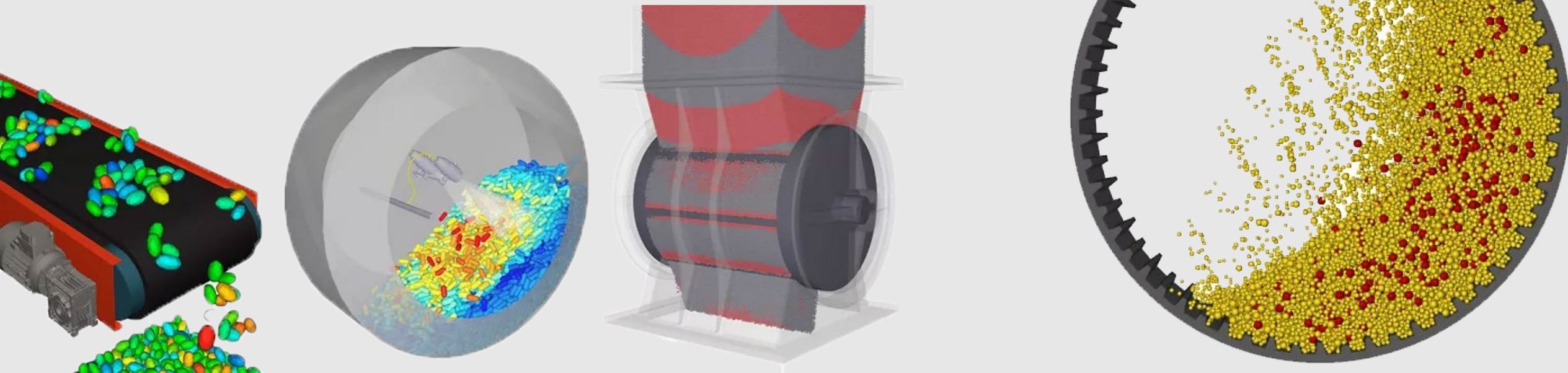


Mille jaoks saab DEM-i
kasutada?



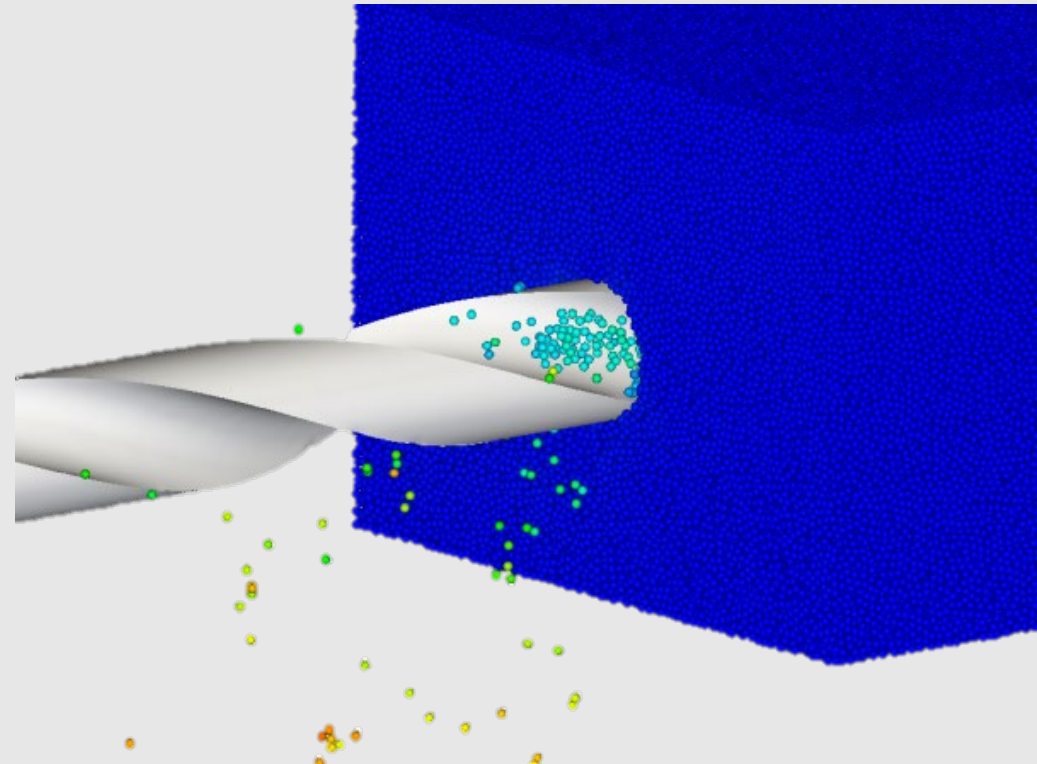
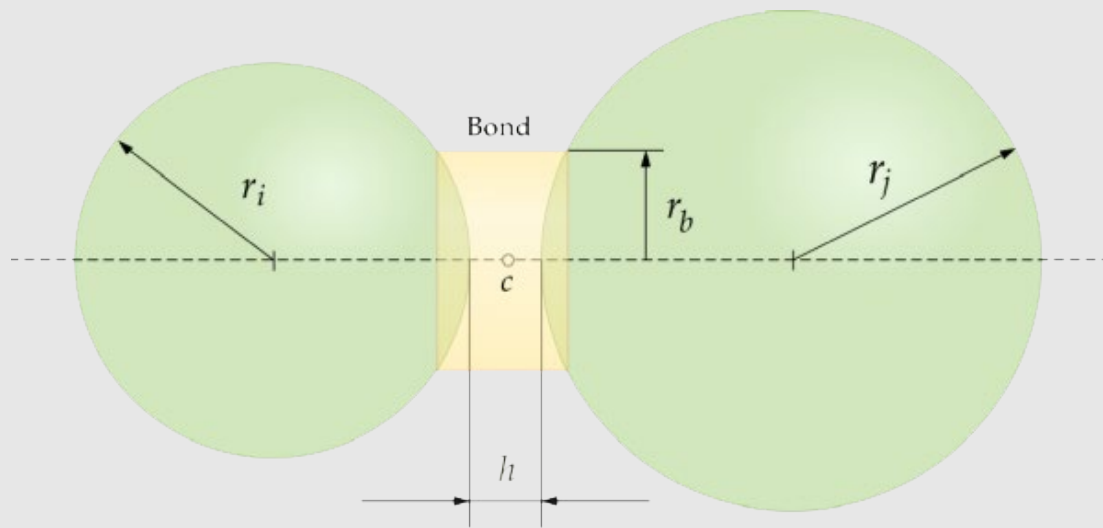
1. Kuiv granulaarne materjal

Seda tüüpi materjali saab DEM-is simuleerida mitmesuguste lineaarsete või mittelineaarsete mudelite abil. Kõige levinumad on lineaarne vedru või Hertz-Mindlini mudel (libisemiseta), mis on Altair EDEM programmis vaikimisi kontaktmudel.



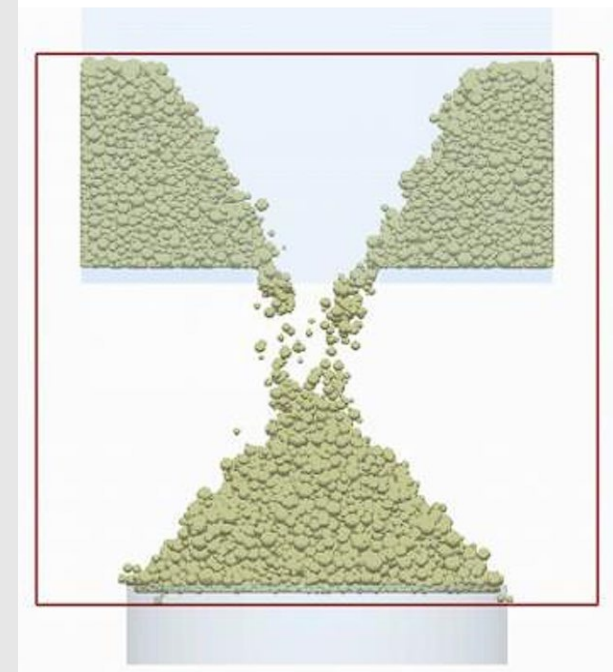
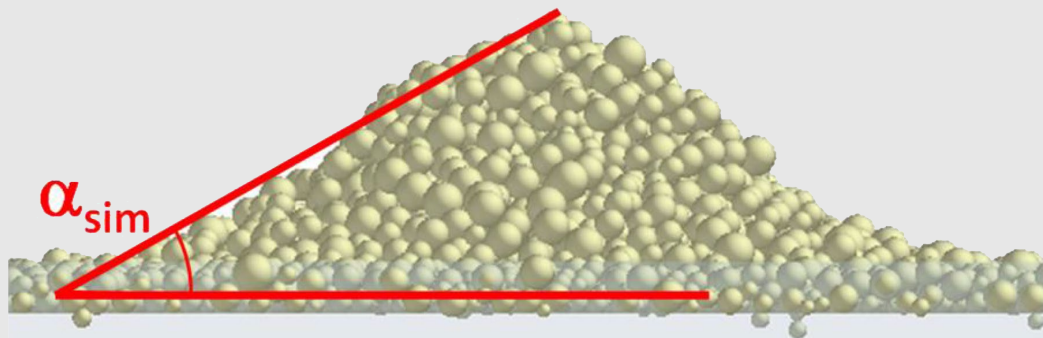
2. Seotud materjalid

DEM-i osakesi saab omavahel siduda, et takistada tangentsiaalset ja normaalset liikumist kuni maksimaalse väärtuseni (kasutaja poolt määratud), mille juures side katkeb. See mudel on eriti kasulik betoon- ja kivistruktuuride modelleerimisel.



3. Kuhjuvus

DEM-i kohesioonimudelid suudavad simuleerida Van der Waalsi jõudude mõju kontaktsoonides ja võimaldavad kasutajal modelleerida tugevalt adhesiivseid süsteeme, näiteks kuivpulbreid või märgmaterjale.





4. Elektrostaatika

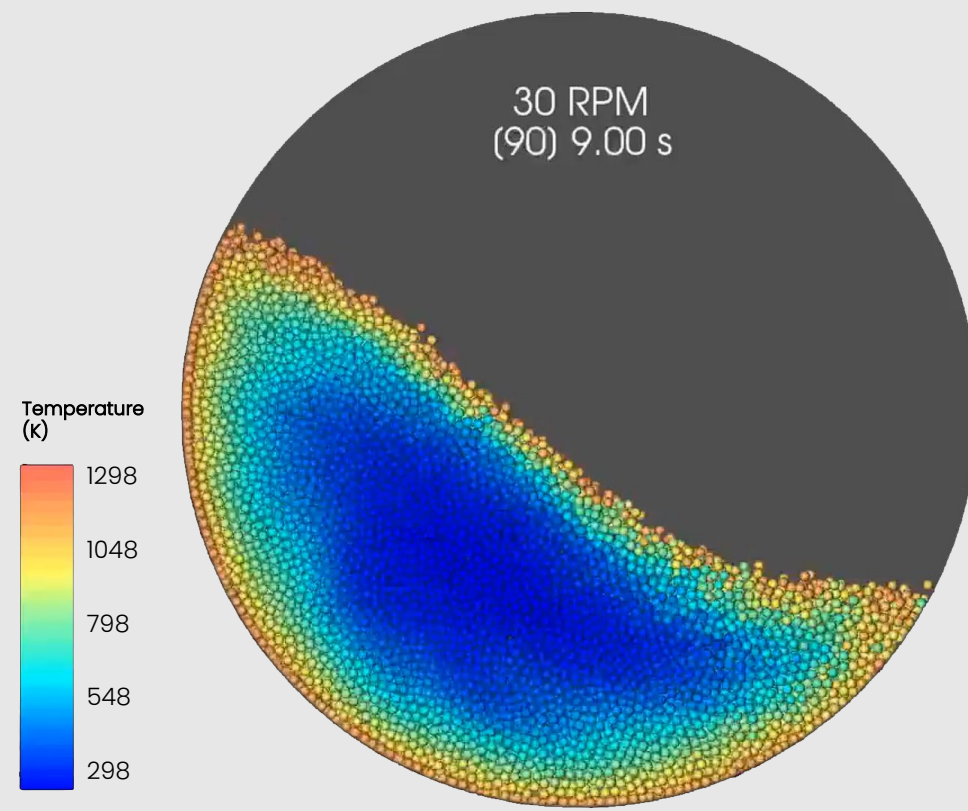
DEM-is saab modelleerida ka pikema ulatusega elektrostaatilisi interaktsioone. Osakestele omistatakse laeng ja nad kogevad jõude Coulombi seaduse põhjal. Sellise mooduliga saab simuleerida näiteks laserprinteri käitumist.





5. Soojusülekanne

Tihedate osakeste süsteemide puhul on osakestevahelised kontaktid märkimisväärsed ja soojusjuhtivus võib olla väga oluline. DEM-simulatsioonid võimaldavad modelleerida seda osakestevahelist soojusülekannet ja annavad ülevaate mitmesugustest rakendustest, alates mitmefaasilistest reaktoritest kuni ahjude ja kaltsineerimisahjudeni.



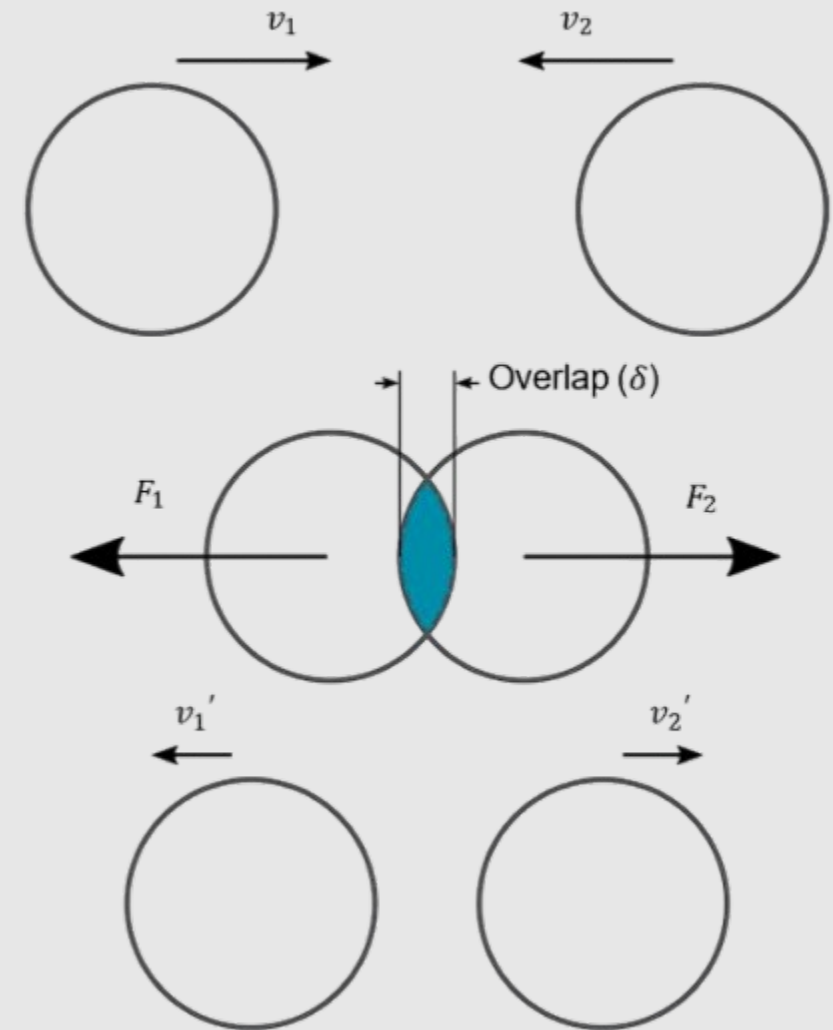


Kokkupuute mõju

Diskreetsete simulatsioonide jaoks on kaks peamist meetodit: pehme sfääri ja kõva sfääri meetod.

Pehme sfääri meetod, kus osakesi eeldatakse jäikadeks, kuid kokkupuute ajal tekkivate deformatsioonide kujutamiseks on lubatud väikesed kattumised.

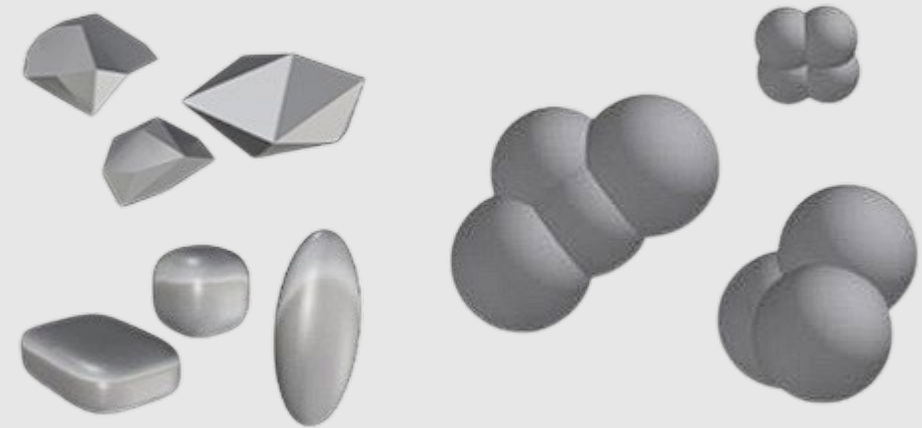
Kõva sfääri meetodi puhul eeldatakse, et interaktsioonijõud on impulsiivsed ja osakesed vahetavad impulssi ainult kokkupõrgete kaudu. Osakeste vahelisi jõude ei arvestata otseselt.



DEM-i abil saab simuleerida erinevat tüüpi materjale: graanulid, kivimid, põllukultuurid jne

Osakeste kuju

Kõigist 3D-kujunditest omavad sfäärid kõige lihtsamat ja tõhusamat kontakti tuvastamise meetodit, mis vähendab oluliselt simulatsiooniga. Mõnes rakenduses on aga vaja modelleerida osakeste ebakorrapärasusi, kuna osakeste kuju mõjutab materjali käitumist (nt mehaanilise blokeeringu kaudu). Mida raskemaks lähevad osakeste kujud, seda suuremaks läheb ka vajalik arvutusnõudlus.



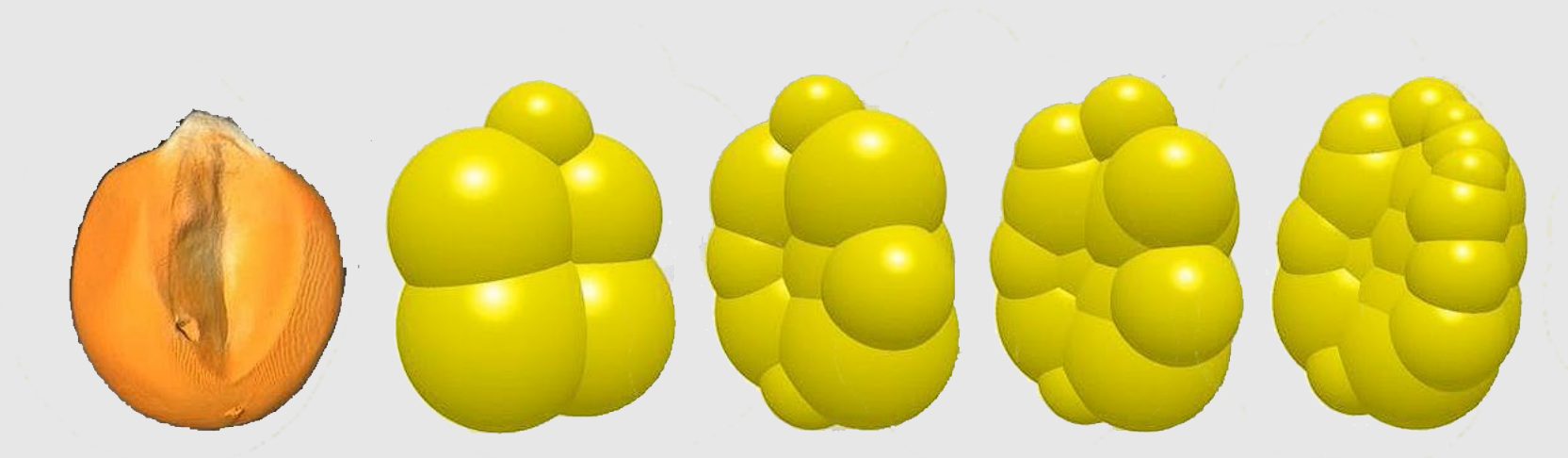
Kolm peamist ebakorrapärasust osakeste kuju, mida DEM-simulatsioonides kasutatakse. Päriläeva ülevaalt vasakult: polüeedrid, multisfäärid ja superruutfunktsioonid. On olemas ka teisi lähenemisviise, mis kasutavad nende kombinatsiooni (nt sferopolüeedrid).



Miks kasutatakse multisfääri

Sfäärid pakuvad kõige tõhusamat kontakti tuvastamise meetodit ja väga täpset kontakti kattumise hindamist. See võimaldab kontaktjõudude kiiret ja usaldusväärset arvutamist. Mitme sfääri kasutamine võimaldab modelleerida osakeste ebakorrapärasusi, säilitades samal ajal eespool mainitud efektiivsuse. See tähendab seda, et DEM arvutused on mõnes olukorras juba mitu korda kiiremad.

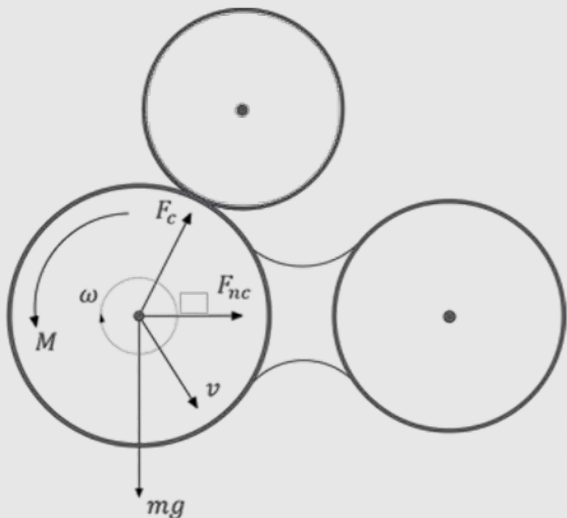
Teoreetiliselt saab mis tahes osakese kuju modelleerida kattuvate sfääride arvu suurendamise teel, kui arvutused jäävad mõistliku keerukusvahemiku piiresse. Vajadusel saab järeltötlusetapis visualiseerimise eesmärgil kasutada ka CAD-malle.



Seemne kujutamine 5, 10, 15 ja 20 kera abil. Kerade arvu muutmine kontrollib indutseeritud pinnakaredust.

Osakeste liikumise arvutamine

Granuleeritud voolus oleval osakesel on 6 vabadusastet ja seetõttu saab see liikuda kahte moodi: sirgjooneliselt ja pöörlevalt. DEM-simulatsioonides kasutatakse Newtoni teist seadust sirgjoonelise- ja pöörlemiskiirenduste arvutamiseks, mis seejärel integreeritakse numbriliselt üle ajasammu, et ajakohastada osakeste kiirusi ja positsioone.



Näited jõududest, mis mõjuvad 2D diskreetsele osakesele. Samad põhimõtted kehtivad ka 3D DEM-simulatsioonides 6-kordse lahkumiskindlusega.

Pöörleva liikumise valem

$$I \frac{d\omega}{dt} = M$$

- I – inertsimoment
- ω – nurkkiirus
- M – osakesele mõjuv kontaktmoment
- t – aeg

Sirgjoonelise liikumise valem

$$m \frac{dv}{dt} = F_g + F_c + F_{nc}$$

- v – osakese sirgjooneline liikumiskiirus
- m – osakese mass
- F_g – osakesele mõjuv resultantne gravitatsioonijõud
- F_c ja F_{nc} – osakese ja ümbritsevate osakeste või seinte vahelised resultantsed kontakt- ja mittekontaktjõud.



Miks on DEM ajamahukas?

Diskreetsete elementide meetodi (DEM) simulatsioonid on arvutuslikult väga nõudlikud suure osakeste arvu ja vajalike detailsete ajasammude arvutuste tõttu. Reaalsed süsteemid võivad sisaldada sadu tuhandeid või isegi miljoneid osakesi ning iga osakese jaoks tuleb igal ajasammul arvutada selle asukoht, kiirus, pöörlemine ning kõik toimivad jõud ja kontaktid. Märkimisväärne osa arvutuskuludest tuleneb kontaktide tuvastamisest: põhimõtteliselt tuleks iga osakest kontrollida iga teise osakese suhtes, mis viib kiiresti tohutu arvutuskoormuseni. Kuigi kontrollide arvu vähendamiseks kasutatakse selliseid tehnikaid nagu ruumilised võrgud ja naaberloendid, jääb see protsess tihedates pakendites, kus iga osakesel on palju lähedasi naabreid, intensiivseks.

Lisaks nõuab DEM väga lühikesi ajasamme. Kuna meetod tugineb selgesõnalisele integreerimisskeemile, peab ajasamm olema väiksem kui osakese loomulik vibratsiooniperiood, et tagada numbriline stabiilsus ja täpsus. Praktikas tähendab see, et isegi vaid mõne sekundi pikkuste protsesside puhul tuleb arvutada miljoneid või kümneid miljoneid ajasamme. Iga ajasammu jooksul tuleb iga kontakti jaoks lahendada keerulised jõu- ja pöördemomendi mudelid, mis arvestavad elastsust, hõõrdumist, adhesiooni ja energia hajumist. Kui osakesed ei ole sfäärilised või purunevad, muutuvad kontaktmudelid veelgi detailsemaks, mis suurendab veelgi arvutuskulusid.

Kokkuvõttes tuleneb DEM-simulatsioonide suur arvutusnõudlus nelja teguri kombinatsioonist: osakeste tohutu arv, keerukas kontaktide tuvastamine, äärmiselt lühikesed ajasammud ja detailsed kontaktmudelid.



Erinevad DEM programmimid



Altair EDEM

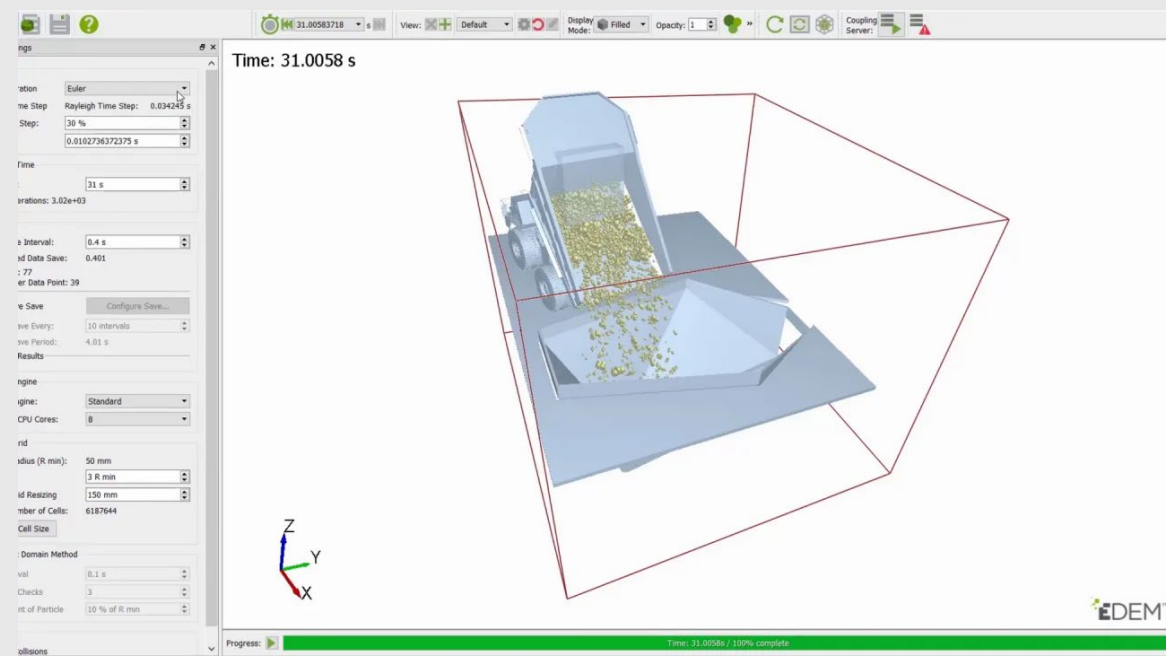


EDEM on üks enim kasutatud kommertslikke DEM-tarkvarasid, eriti tööstuses. Selle tugevuseks on suur valik osakeste kuju kirjeldamiseks – lisaks sfäärilistele saab kasutada polü- ja isegi konkavseid polüheedraalseid osakesi. Programm sisaldab tööriistu, millega saab kiiresti luua tihedalt pakitud osakeste jaotusvälju (*Bed Generation Tools, Volume Packing*).

Oluline omadus on „Dynamic Domain“, mis keskendub arvutustes ainult aktiivsetele piirkondadele (kus osakesed liiguvad või on kontaktis), vähendades seeläbi arvutusressursi kulu.

EDEM pakub suurt materjalide andmebaasi pulbrite ja graanulite omaduste kirjeldamiseks ning toetab videokaardi kiirendust.

Peamisteks piiranguteks on litsentsi kõrge hind ja osaliselt piiratud paindlikkus võrreldes avatud lähtekoodiga lahendustega. EDEM sobib eriti hästi suurtes tööstuslikes projektides, näiteks transportseadmete, kaevandustehnika või protsessitehnika optimeerimisel.



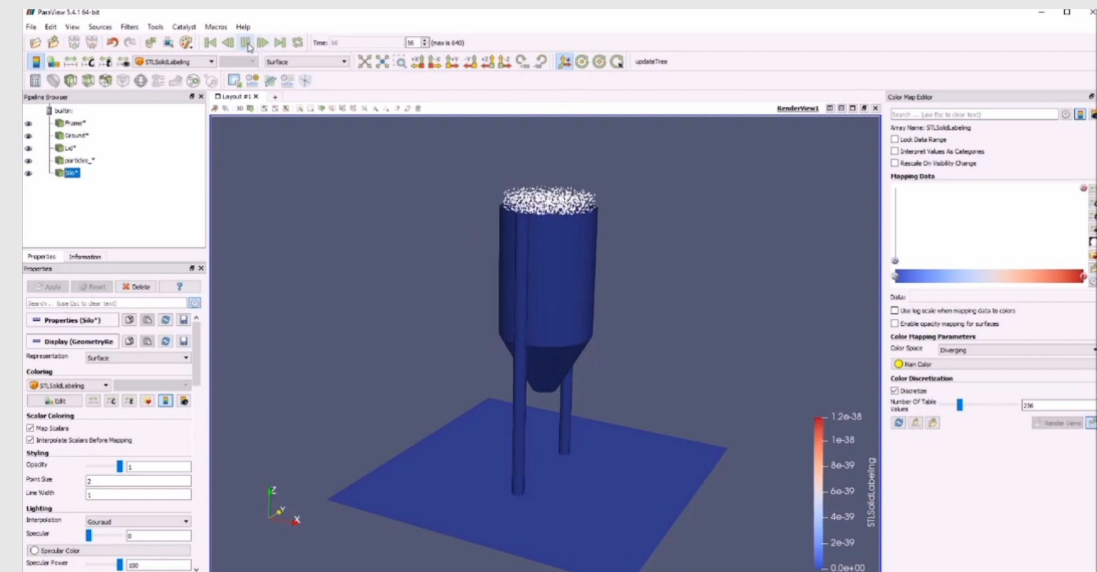


LIGGGHTS (PUBLIC ja PREMIUM)

LIGGGHTS on avatud lähtekoodiga DEM-kood, millel on ka kommertslik PREMIUM versioon lisafunktsioonidega. Tugevuseks on väga hea skaleeritavus: programm töötab paralleelarvutuse (MPI) toel ja suudab hallata väga suuri osakeste arve.

LIGGGHTS võimaldab kasutada erinevaid kontaktmudeleid ja importida keerukaid geomeetriaid STL jm failidena. Seda saab kombineerida CFD-tarkvaraga OpenFOAM läbi CFDEM liidese, et modelleerida osakeste ja vedelike koosmõju. Kuna tegemist on avatud koodiga, saab kasutaja ise koodi täiendada ja mudelid oma vajaduste järgi kohandada.

Puuduseks on see, et mõningaid täiustatud funktsioone saab kasutada ainult PREMIUM versioonis. Lisaks ei ole LIGGGHTS-il väga mugavat graafilist liidest – visualiseerimiseks kasutatakse sageli eraldi tööriistu (nt ParaView). See tarkvara on väga sobiv akadeemilisteks uuringuteks, suurte süsteemide modelleerimiseks ja juhtudeks, kus vaja siduda osakeste liikumist vedelike või gaasidega.



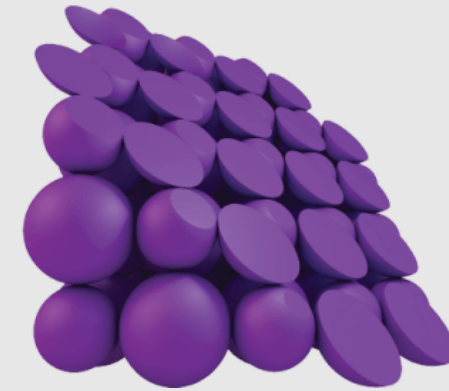


PFC (Particle Flow Code, Itasca)

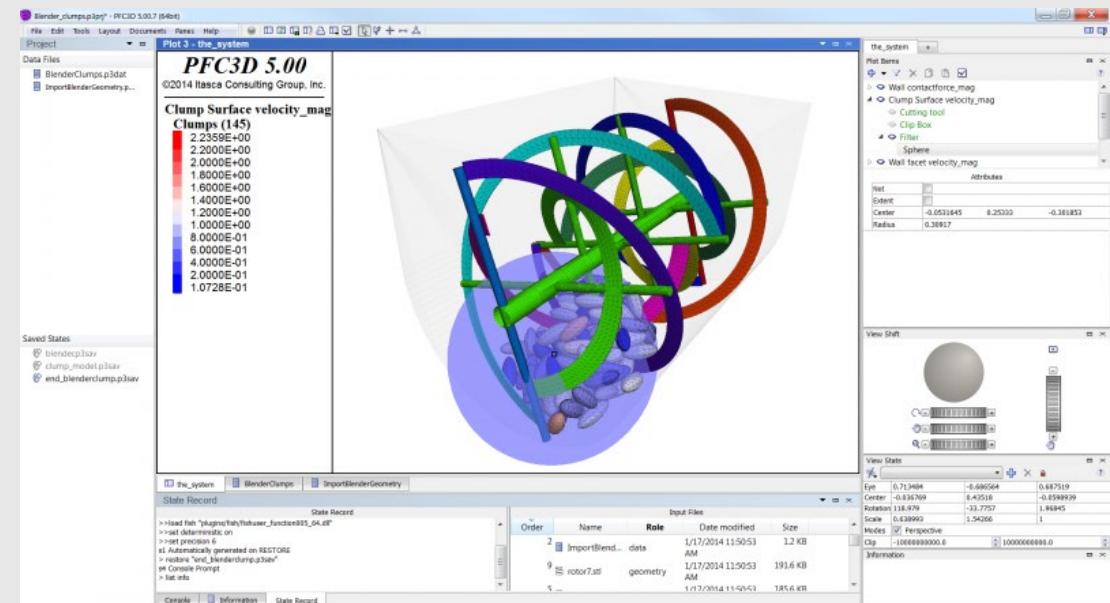
PFC on kommertstarkvara, mis on eriti populaarne geomehaanika ja kivimimehaanika valdkonnas. Programmis saab modelleerida nii 2D kui ka 3D süsteeme ning kasutada mitmesuguseid kontaktmudeleid, sealhulgas elastsus, kleepuvus ja plokkosakeste või klompide (clump) mudelid.

PFC eristub sellega, et suudab simuleerida materjalide purunemist, pragunemist ja kulumist, mis on kriitiline just geotehnilistes uurimistes. See suudab siduda ka mehaanilise käitumise termiliste protsessidega (nt soojusülekanne koos deformatsiooniga).

Selle piirangute hulka kuuluvad kõrged litsentsikulud ja väiksem paindlikkus võrreldes avatud lähtekoodiga lahendustega. Keerulise mudeli seadistamine võib võtta ka rohkem aega. PFC sobib ideaalselt teaduslikeks ja insenerirakendusteks, mis hõlmavad pinnase, kivimite ja maa-aluste konstruktsioonide koormust.



PFC™



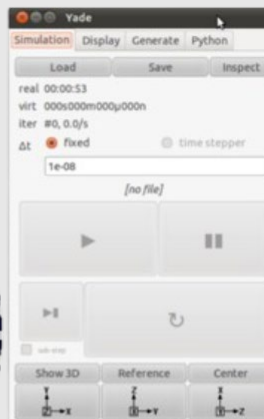
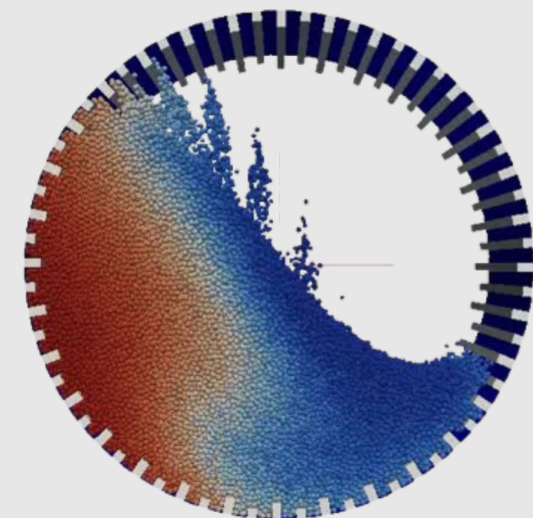
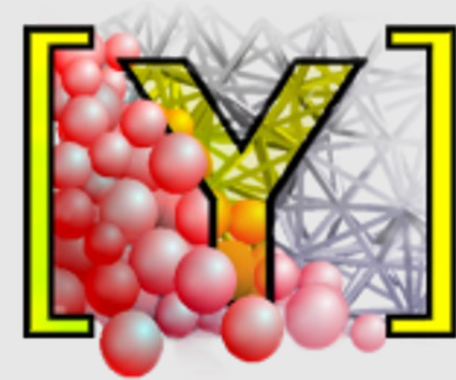


YADE

YADE on avatud lähtekoodiga DEM-raamistik, mis on kirjutatud C++ keeles Pythoni sidemetega. See on väga paindlik, võimaldades kasutajatel rakendada kohandatud kontaktseadusi, pluginaid ja kohandatud funktsioone. See on populaarne akadeemilistes ringkondades, kus seda kasutatakse geotehniliste simulatsioonide, pinnasemehaanika, granuleeritud voogude ja erosiooniuuringute jaoks.

Tarkvara toetab vedeliku ja osakeste sidestusmeetodeid (nt pooride voog, võre-Boltzmanni meetodid). See sobib kõige paremini väikeste ja keskmise suurusega simulatsioonide jaoks, kuna selle töö tugineb peamiselt OpenMP-le ja GPU tugi on piiratud.

Selle puuduste hulka kuuluvad lihvitud graafilise liidese puudumine ja programmeerimise vajadus simulatsioonide seadistamiseks. Suuremahulised arvutused võivad olla aeglasemad kui kommertscodeides. YADE sobib kõige paremini teadus- ja akadeemiliste projektide jaoks, kus paindlikkus ja mudeli kohandamine on olulisemad kui valmis töövood.



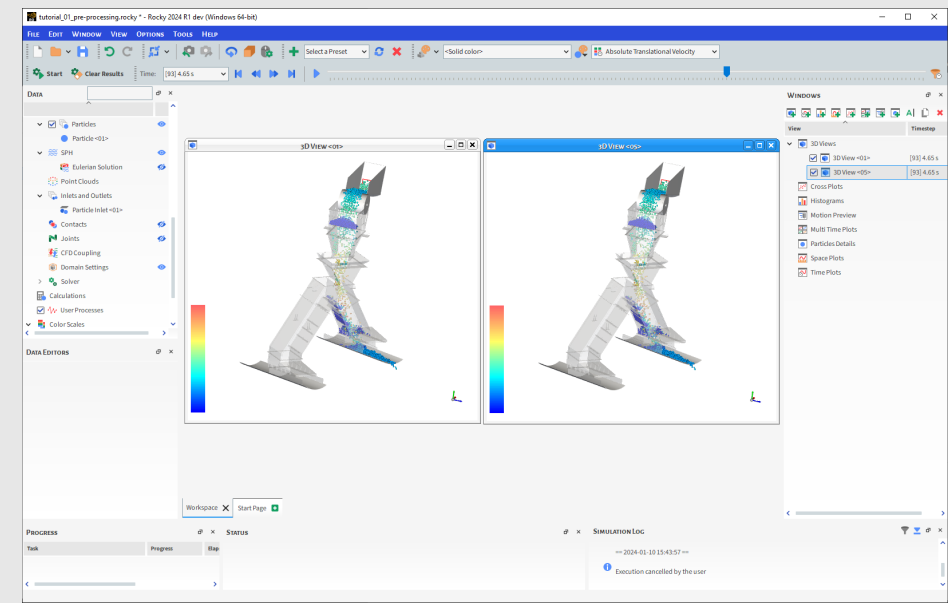


Ansys Rocky DEM

Rocky DEM on kommertstarkvarapakett, mis paistab silma oma võime poolest modelleerida väga keerulisi osakeste kujusid peale lihtsate sfääride. See on eriti oluline juhtudel, kui kuju mõjutab oluliselt süsteemi käitumist (nt purustatud kivi, ebakorrapäraseid graanulid).

Tarkvara kasutab videokaarti, et saavutada suurte süsteemide puhul efektiivsed ja kiired arvutused. See integreerub tihedalt ANSYS ökosüsteemiga (nt Fluent, Mechanical), muutes selle suurepäraseks tööriistaks tööstuslikeks multifüüsikalisteks simulatsioonideks, mis hõlmavad nii osakesi kui ka vedelikke või struktuure.

ANSYS Rocky puudusteks on kõrge hind ja litsentsimise keerukus. See on ka vähem paindlik kooditaseme kohandamiseks võrreldes avatud lähtekoodiga tööriistadega. Rocky DEM sobib kõige paremini ettevõtetele, kes vajavad täpseid, detailseid ja visuaalselt rikkalikke simulatsioone, mis hõlmavad ebakorrapärase kujuga osakesi.





Ansysis Rocky ülesseadmine DEM arvutusteks



Rocky nõuded arvutile

Nõuded arvutile:

- 8 GB vaba kettaruumi
- 8 GB muutmälu
- Vähemalt neljatuumaline protsessor (Intel või AMD)
- CAD tarkvara mudelite joonestamiseks (nt Fusion 360, Solid Edge)
- Microsoft Excel või muu arvutustabeli tarkvara
- AVI-ühilduv meediapleier, simulatsioonide kuvamiseks (nt VLC media player)

Täiendavad miinimumnõuded videokaardiga töötlemiseks

- Vähemalt 4 GB mälu
- Kiire topeltpäpsusega töötlemisvõime* (Fast double-precision processing capabilities)
- CUDA arvutusvõime (Compute capability) versioon vähemalt 3,5. Kontrolli [siit](#)
- Graafikakaardi draiveri versioon**, mis toetab CUDA tööriistakomplekti versiooni 10 või uuemat. ([CUDA draiverite tabelist leiate](#) loendi, milline draiveriversioon millist tööriistakomplekti versiooni toetab.)

* Nõutav ainult simulatsioonide puhul, mis kasutavad mitteümmargusi osakeste kujusid.

**Enne Rocky kasutamist veenduge, et teie GPU-kaardi draiverid on ajakohased.



Kontrollnimekiri enne simulatsiooni

- Ansys Rocky program on installeeritud arvutisse, mis vastab programmi miinimum nõuetele
- On tehtud valmis mudel/mudelid, millega hakkavad soovitud osakesed interakteeruma.
- Materjali kohta on teada tema tihedus, Young'i moodul, Poissoni suhe, hõõrdetegur
- Otsustage väljundid varakult (osakeste asukohad, kiirused, kontaktjõud, seina jõud, purunemisjuhtumid)
- Näidisfailid, millega õppematerjal edasi tegeleb saate [siit](#).

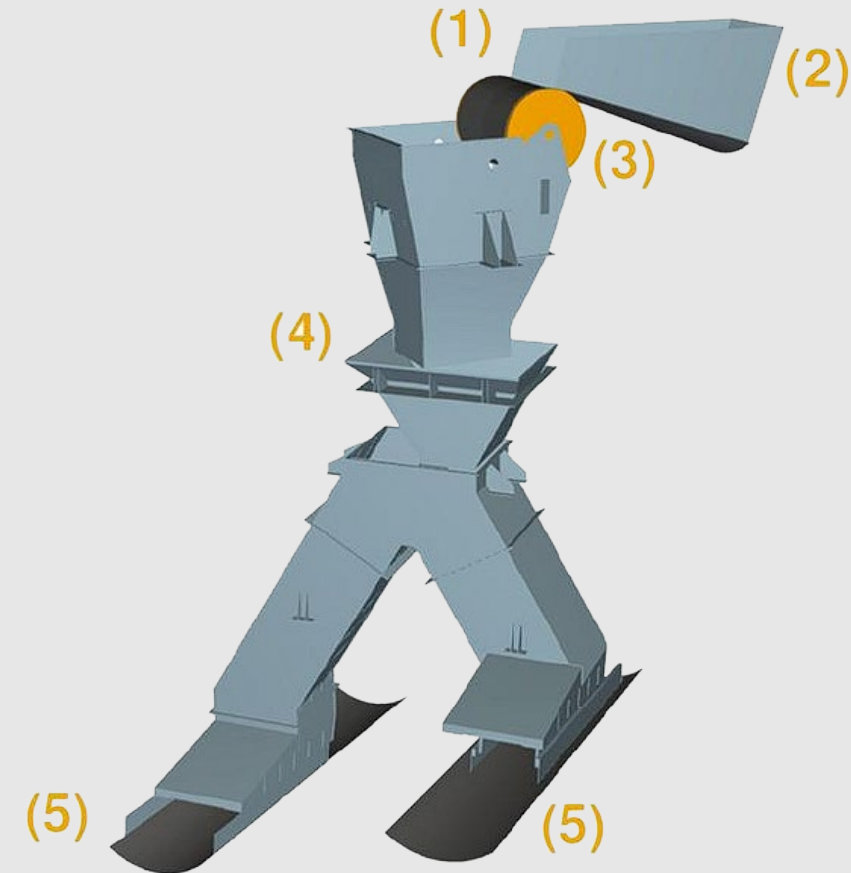


Geomeetria kirjeldus

Selle õpetuse geomeetria koosneb järgmisest osadest:

1. etteandekonveier;
2. ääris;
3. rihmaratas;
4. renn;
5. vastuvõtukonveierid.

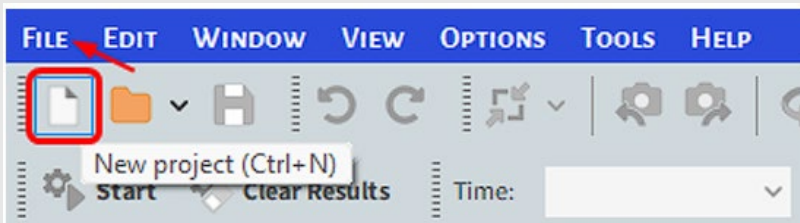
Kogu geomeetria on jagatud mitmeks osaks, et igaühele neist erinevaid liigutusi rakendada. Õpetuse kataloogist leiab iga .stl-faili.





Projekti tegemine

- Paki lahti allatõmmatud .zip fail
- Ava Rocky 2024 R1
- Vali "New Project" ülevalt ribalt või vali File – New Project



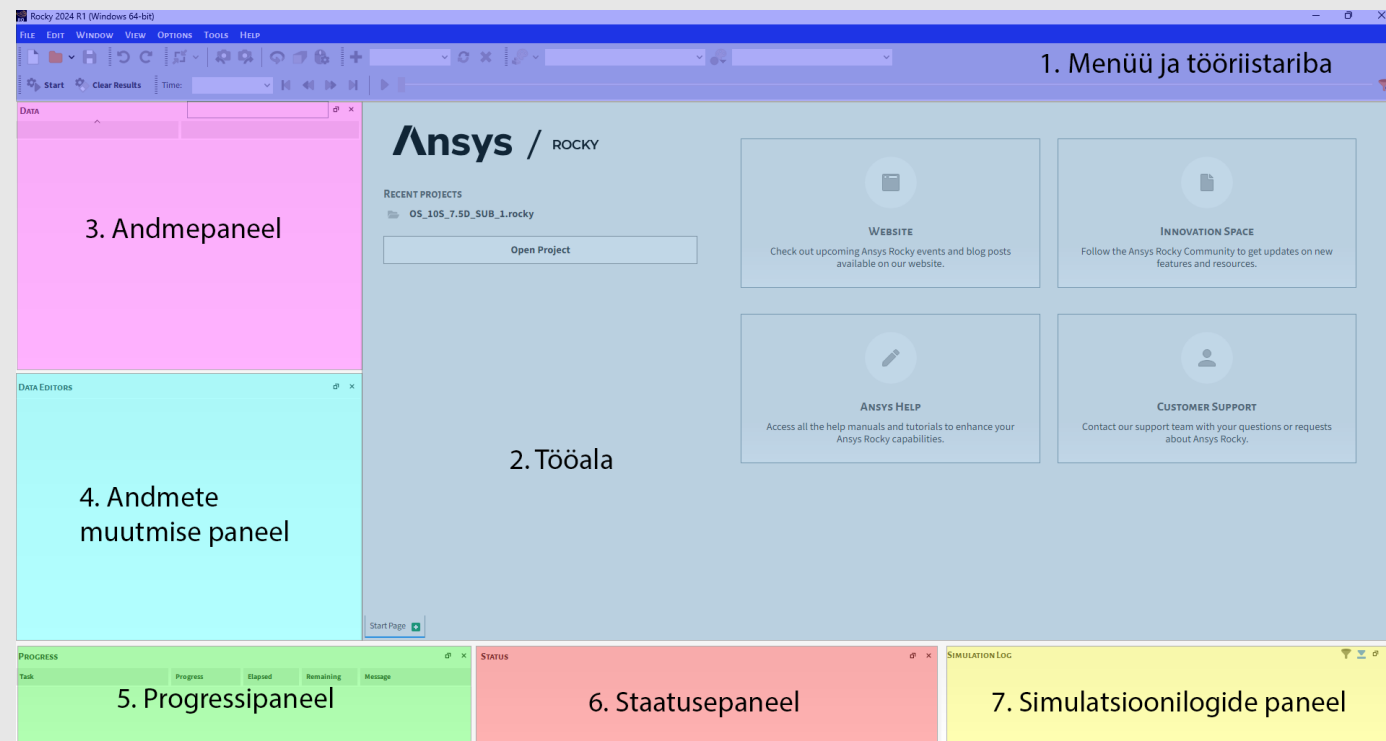


Kasutajaliides

Rocky kasutajaliides on kohandatav. Võimalik on lisada/eemaldada/ümber paigutada mis tahes saadaolevat akent või paneeli. Vaikesätete taastamiseks valige põhitööriistariibalt “View” ja seejärel klõpsake nuppu “Reset layout”.

Vaikimisi paigutus sisaldab järgmisi komponente:

1. **Menüü ja tööriistariiba (Menu and Toolbar):** sisaldab programmi peamenüüsid, otseteid, kaamera valikuid, ajasammu juhtelemente ja kuvamistööriistu.
2. **Tööala (Workspace):** kuvab projekti jaoks avatud saadaolevaid aknaid (3D-vaated, liikumise ja osakeste eelvaated ning graafikud ja histogrammid).
3. **Andmepaneel (Data Panel):** kuvab projektipuud, mille kaudu on määratletud seadistusparameetrid.
4. **Andmete muutmise paneel (Data Editors Panel):** kuvab andmepaneelil valitud elemendi üksikasju.
5. **Progressipaneel (Progress Panel):** kuvab hetkel teostatavaid töötlemistoiminguid.
6. **Staatusepaneel (Status Panel):** kuvab kõik praeguse projektiga seotud hoiatused või vead.
7. **Simulatsioonilogide paneel (Simulation Log Panel):** loetleb kõik lahendaja hoiatused või vead.

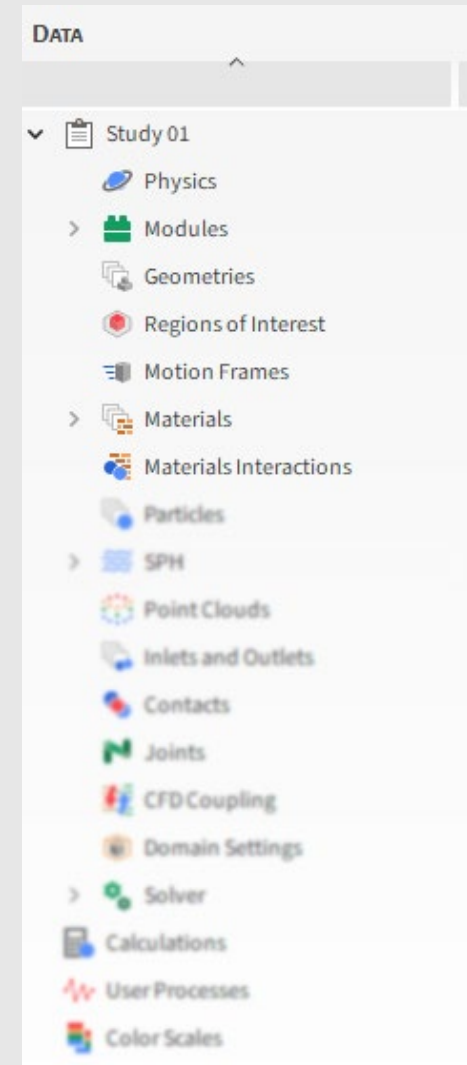




Projekti ülesseadmine

Mis tahes Rocky simulatsiooni seadistamiseks järgige andmete paneelil "Study 01" all ülalt alla ja ükshaaval loetletud samme:

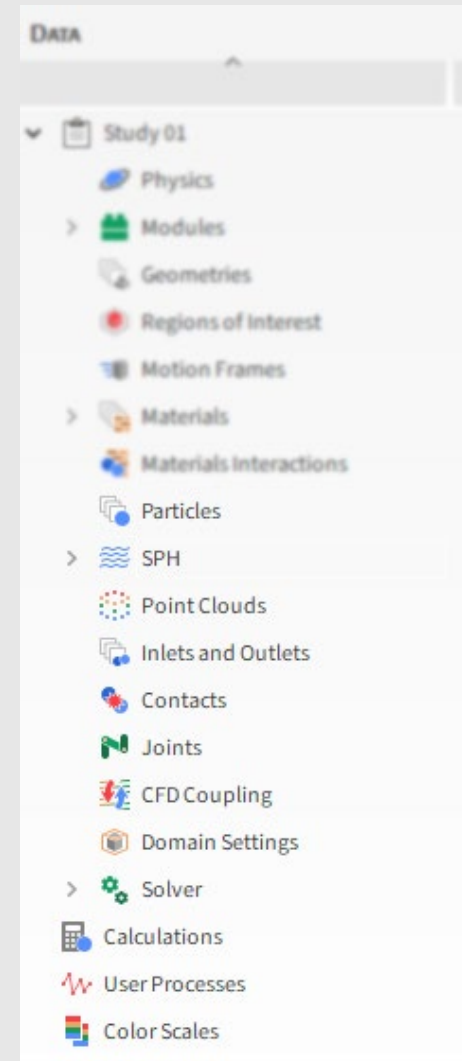
- **Study 01:** Muutke uuringu vaikenimi erinevaks ja lisage simulatsiooni kirjeldus.
- **Physics:** Määrake füüsikalised omadused (gravitatsiooni-, impulsi-, jämedateralise ja termilised mudelid).
- **Modules:** Lubage täiendavad mudelid ja andmekogumis valikud.
- **Geometries:** Importige, lisage ja muutke geomeetriakomponente.
- **Regions of Interest:** (Ainult teatud väliste moodulite puhul.) Looge kuubi- või silindripiirkond, kus saab teha kohandatud arvutusi.
- **Motion Frames:** Lisage simulatsioonikomponentidele (Geometries) liikumist ja vaadake selle eelvaadet.
- **Materials:** Määrake materjalid ning seadke tihedused ja muud omadused.
- **Materials Interactions:** Määrake materjalide interaktsioonide kleepuvus ja muud omadused.





Projekti ülesseadmise

- **Particles:** Looge osakesi, määrake suurusjaotusi ja visualiseerige osakeste kuju.
- **SPH:** Määrake vedeliku (SPH elementide) parameetrid ja piirtingimused.
- **Point Clouds:** (Ainult teatud väliste moodulite puhul.) Importige tekstifailis määratletud väljaandmeid.
- **Inlets and Outlets:** Määrake osakeste ja SPH sisse- ja/või väljalaskeavade kiirused ja vabanemiskohad.
- **Contacts:** Lubage kontaktandmete kogumine.
- **Joints:** Lubage liigendite andmete kogumine.
- **CFD Coupling:** Seadistage LBM õhuvool või määrake ühe- või kahesuunaline sidestus Ansys Fluent vedeliku dünaamika lahendajaga.
- **Domain Settings:** Määrake domeeni käitumine ja perioodilised piirid.
- **Solver:** Määrake, kuidas DEM lahendaja simulatsiooni töötleb ja andmeid kogub.
- **Calculations:** Kuvab kasutaja määratletud osakeste omadused, näiteks osakeste märgistamise.
- **User Processes:** Kuvab kasutaja määratletud protsessid, näiteks analüüsikuubikud ja tasapinnad.
- **Color Scales:** Kuvab kõigi joonistatud omaduste kuvamise üksikasjad.





Kirjelduse lisamine

- Vali "Data" paneelist projekti nimi (vaikimisi Study 01)
- Lisa sinna projekti info:
 - Nimi (Study name) – Transfer Chute
 - Kliendi nimi (Customer Name) – EMÜ
 - Kirjeldus (Description):
 - Sisselaske massi voolukiirus: 1000 t/h
 - Konveieri kiirus: 2,5 m/s
 - Simulatsiooni pikkus: 13 s

Transpordi renn

Physics

Modules

Geometries

Regions of Interest

Motion Frames

DATA EDITORS

Study

Project Not Saved

Study Name Transpordi renn

Customer Name EMÜ

Description

Sisselaske massivoolukiirus: 1000 t/h
Konveieri kiirus: 2.5 m/s
Simulatsiooni pikkus: 13 s

Meshed Particles Upscaling ☒



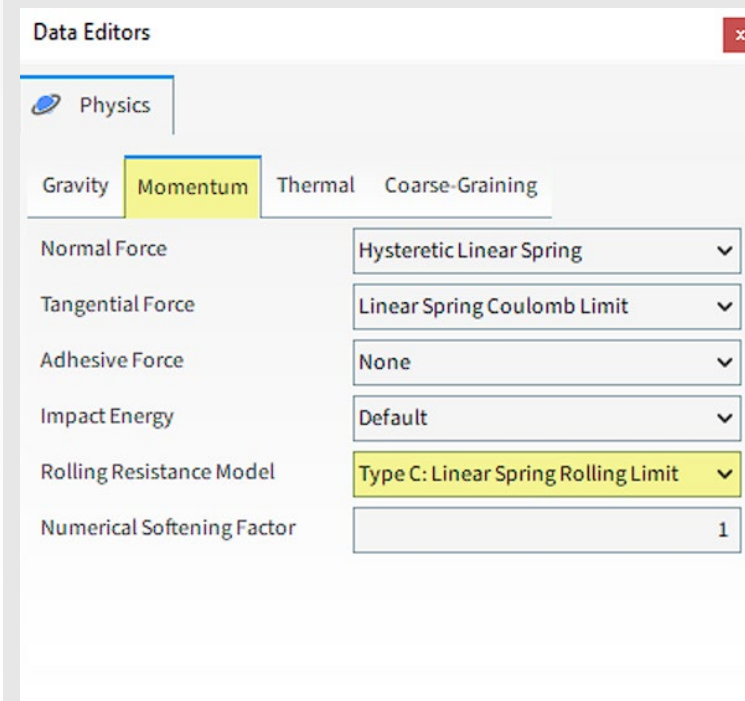
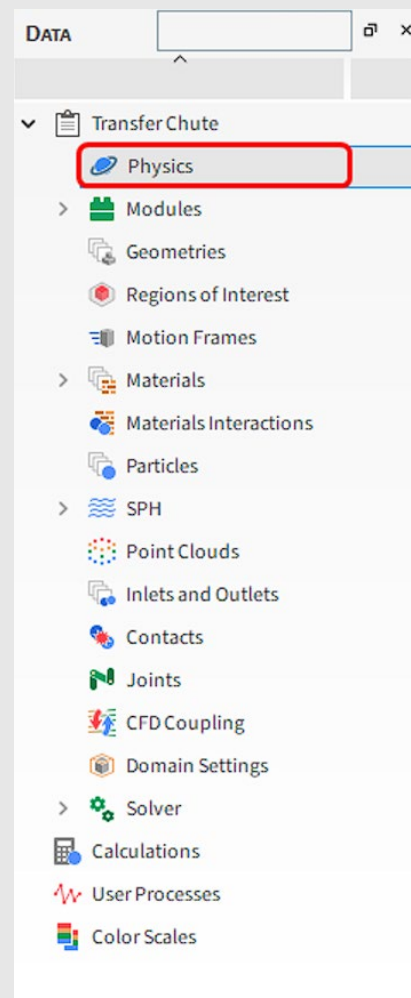
Füüsika

“Physics” etapis määratletakse DEM-i programmis kasutatavate erinevate mudelite lubamiseks/keelamiseks parameetreid:

- Gravitatsioon (Gravity)
- Impulss (Momentum)
- Termiline (Thermal)
- Jämedateraline struktuur (Coarse-Graining)

Meie programmi jaoks vali “Data” paneelist “Physics”

Seejärel vali “Momentum” vahekaart ja “Rolling Resistance Model” alt “Type C”



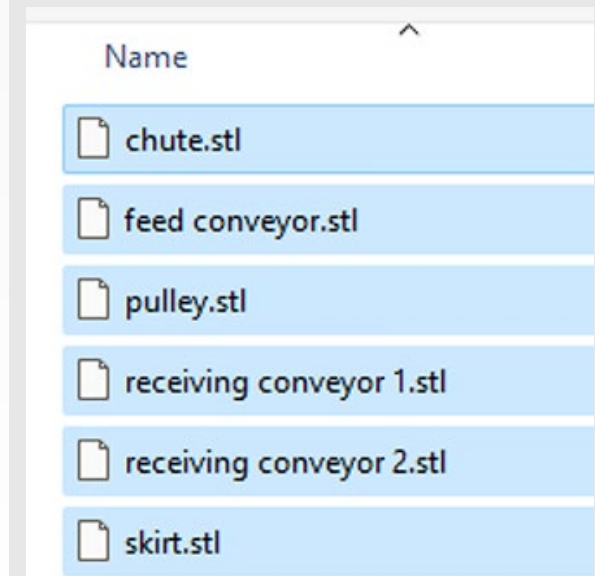
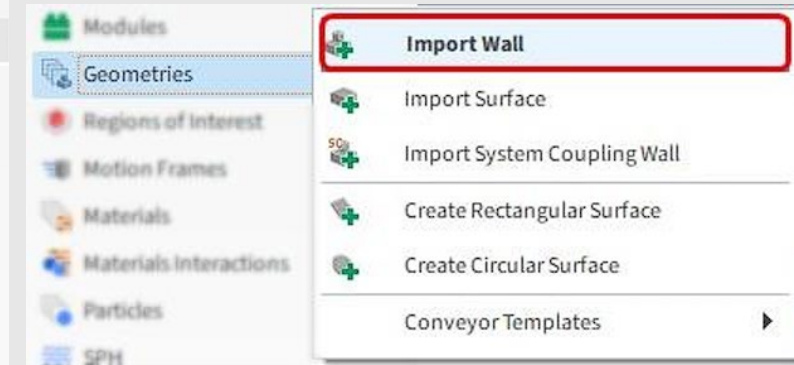
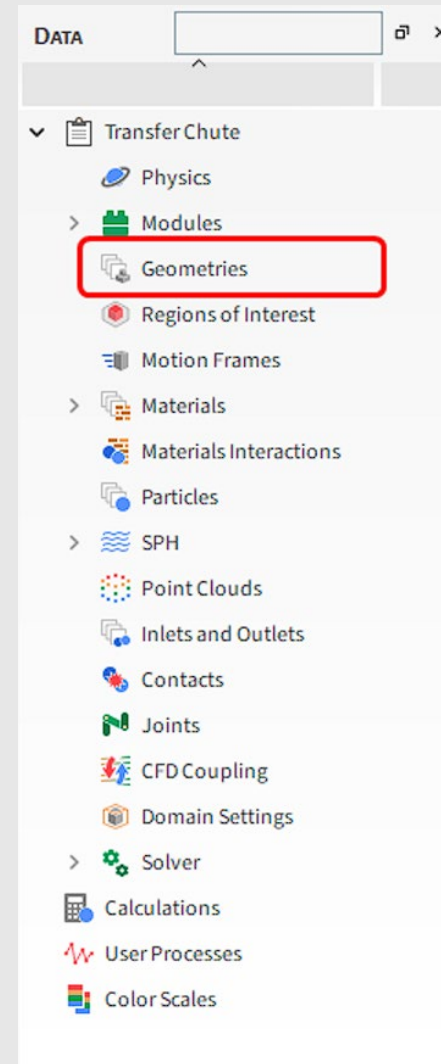


Geomeetria sisestamine

“Geometries” vahekaart võimaldab teil lisada vaikegeomeetriaid, näiteks konveiereid või pindu, või importida oma kohandatud geomeetriaid (seinu või pindu).

Hetkel sisestame geomeetriafailid .stl vormingus

1. “Data” paneelist vajuta hiire parema klahviga “Geometries” paneelile ning siis vali “Import Wall”. Rocky võimaldab kasutada stl, dxf, xgl, cas, cas.gz, cas.h5, msh, fmu, dfg faile
2. Allatõmmatud “dem_tut01_files” kaustast vali “geometry” kaust ja vali kõik 6 .stl faili
3. Seejärel tuleb ette “Save File” aken. Vali koht kuhu projekt salvestada.
4. Pärast salvestamist tuleb ette aken, kus on vaja seada imporditavate mudelite ühik. Vali “Import Unit” alt “mm” ja seejärel vali ok





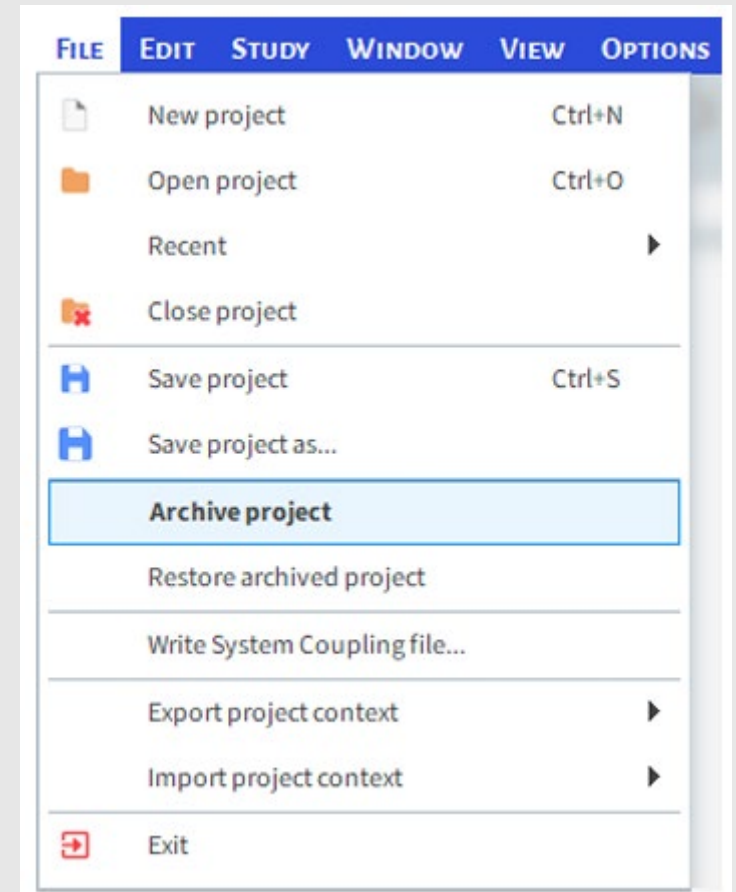
Projekti salvestamine

Ansyz Rocky salvestab projekti 2 osana:

- (Projekti_nimi).rocky – See on **Projekti fail**, mis sisaldab simulatsiooni ülesseadmise väärtusi
- (Projekti_nimi).rocky.files: See on **Projekti kaust**, mis sisaldab kõiki tehtud konfiguratsioone, logisid ja arvutatud ajasamme

Projekti jagamiseks, on väga tähtis alati saata mõlemad osad. Lihtne viis selle tegemiseks on järgnev:

- “File” menüüst vali “Archive project”. Rocky teeb selle peale faili nimega (Projekti_nimi).rocky_archive, mis on pakendatud fail, mis sisaldab mõlemat projekti osa
- Arhiveeritud projekti avamiseks tuleb valida “File” menüüst “Restore archived project”. Seejärel saad projekti salvestada arvutisse “Save project as” nupuga “File” menüüst





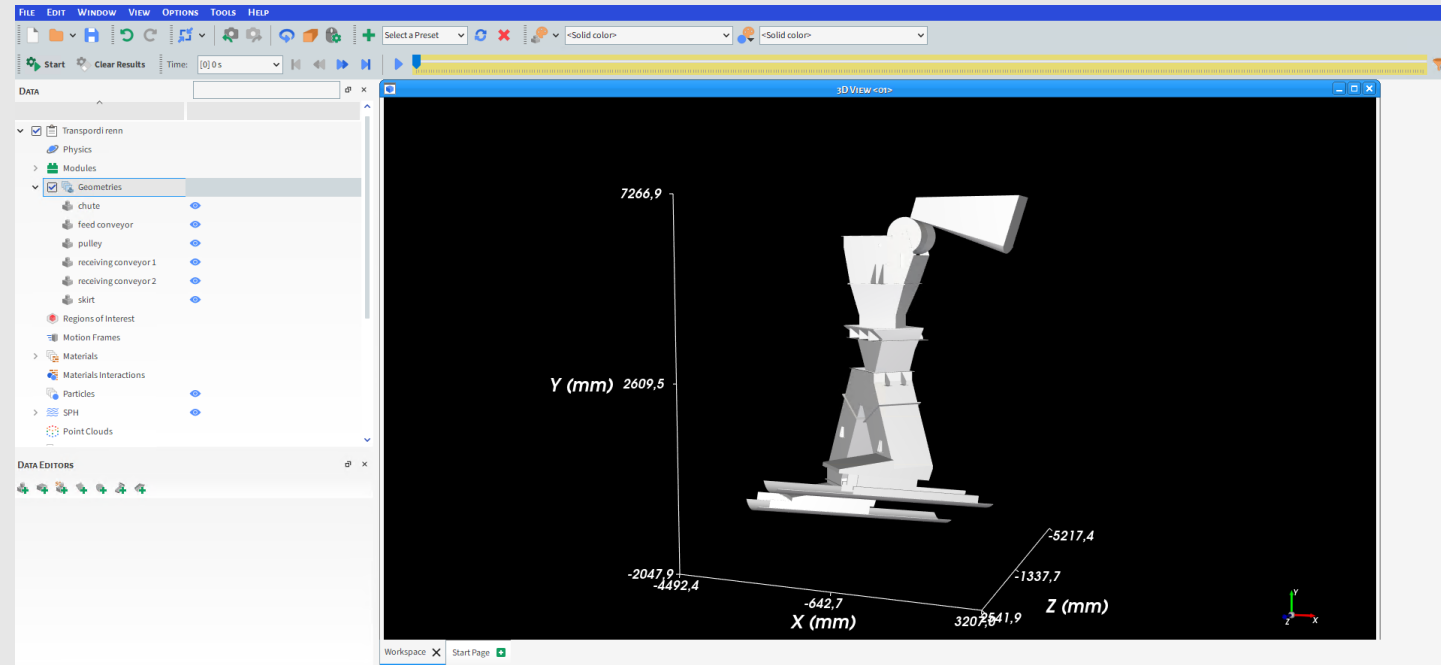
3D vaade

Geomeetria visualiseerimiseks Rocky programmis tee järgnevat:

- "Data" paneelist võta "Geometries" menüüst kinni ja tõsta see tööalale (paremal küljel)

Seejärel peaksid nägema sama pilti, mis slaidil kuvatud.

3D mudeli manipuleerimiseks saad kasutada paremal õpetusel näidatud nuppe.



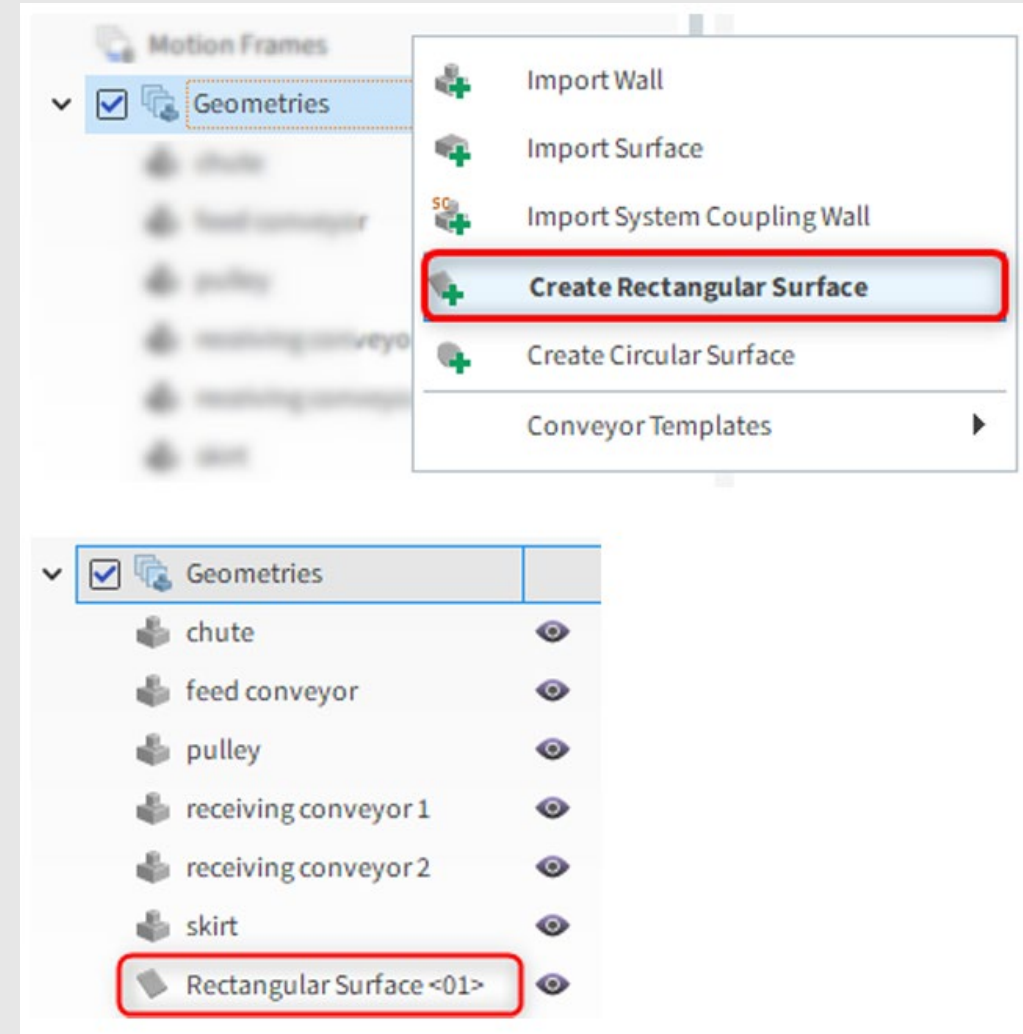


Sisselaskeava (inlet) seadistamine

Pärast geomeetria importimist tuleb määratleda pind, et seda hiljem mudeli sees osakeste vabastamiseks sisselaskeavana kasutada.

Märkus: Välja arvatud mahuline (volumetric) ja kohandatud (custom) sisselaskeava, peab sisse-(inlet) või väljalaskeava(outlet) olema seotud pinnaga.

1. "Data" paneelist vali parema klõpsuga "Geometries" ja seejärel "Create Rectangular Surface". Seejärel luuakse uus element nimega "Rectangular Surface <01>"





Sisselaskeava (inlet) seadistamine

2. "Data" paneelist vali "Rectangular Surface <01>" ja seejärel alt "Data Editors" paneelist määra sellele järgnevad parameetrid:

- Nimi (Name): Inlet Surface (Sisselaske ava pind)
- Keskkoha kordinaadid (Center Coordinates): 2,5; 6,5; -1,08 m
- Pikkus (Length): 0.4 m
- Laius (Width): 0.6 m
- Nurk (Angle): 270 dega
- Vektor (Vector): 0; 0; 1

Seejärel peaks riskülik tekkima slaidil oleval pildil näidatud kohta.



Data Editors

Coloring Rectangular Surface Info Properties Curves

Name Inlet Surface

Motion Frame <No motion selected>

Center Coordinates 2.5 6.5 -1.08 m

Length 0.4 m

Width 0.6 m

Orientation

Method Angle and Vector

Angle 270 dega

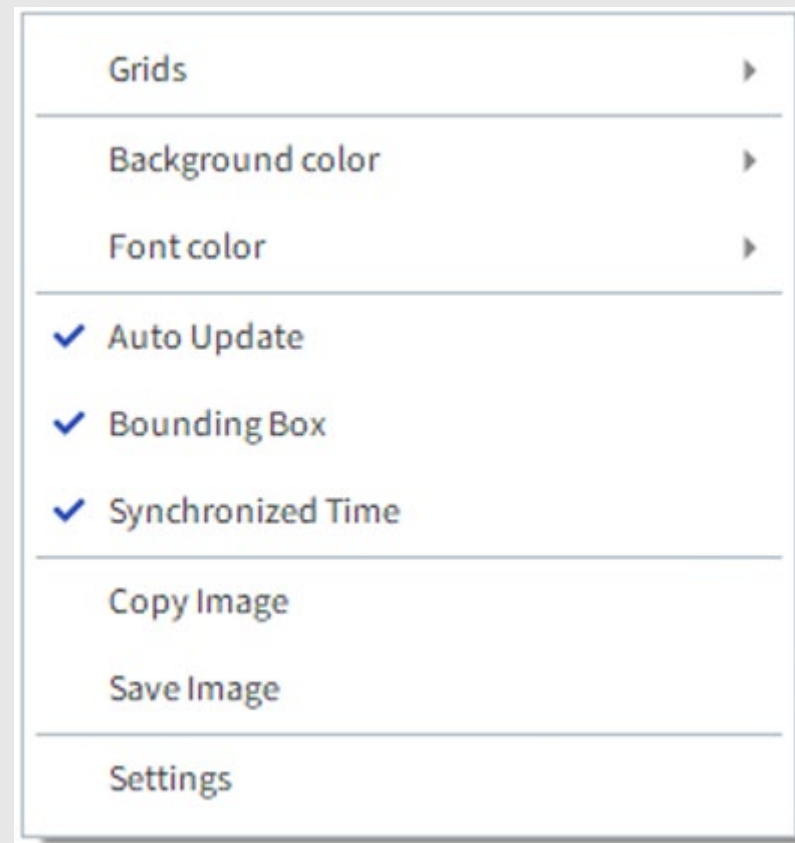
Vector 0 0 1



Vaate seadistamine

3D-vaate akent saab muuta, paremklõpsates taustal (väljaspool geomeetria osi). Mõned konfiguratsioonivalikud on järgmised:

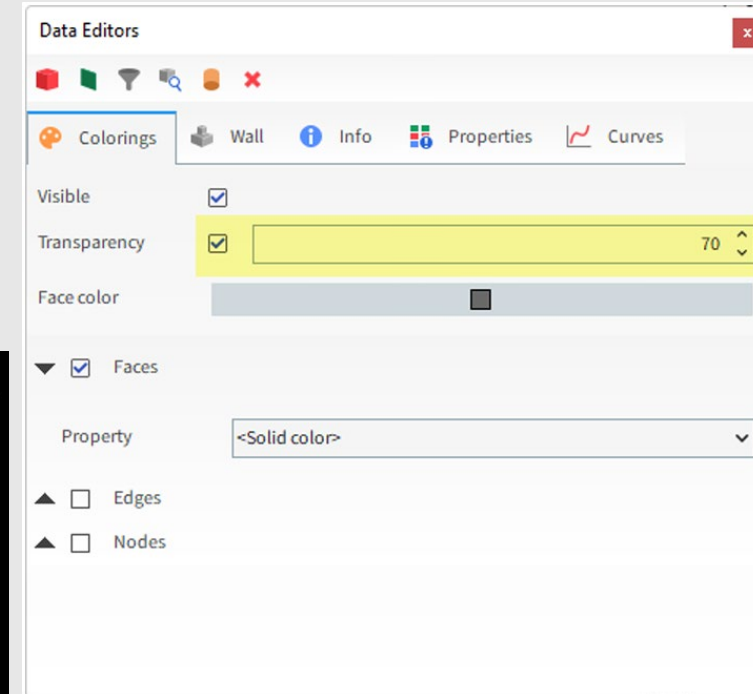
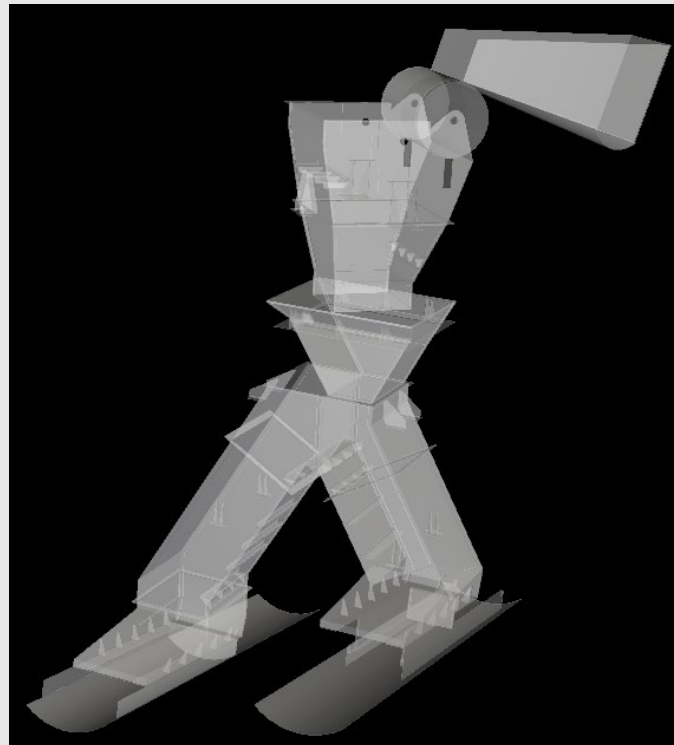
- Ruudustik (Grids): võimaldab muuta geomeetria tahkude ja servade värve ning kuvamismeetodit.
- Tausta ja fondi värv (Background/Font color): võimaldab muuta 3D-vaate tausta ja aknas kuvatava teksti värvi.
- Automaatne värskendamine (Auto Update): lubab/keelab graafilise 3D-vaate värskendamise vastavalt andmepaneeli muudatustele.
- Piirav kast (Bounding box): lubab/keelab geomeetria piirkoordinaatide visualiseerimise igal teljel.
- Sünkroniseeritud aeg (Synchronized Time): kui see on keelatud, võimaldab see kuvada mitut 3D-vaadet erinevatel aegadel või lukustada need samale ajasammule, kui see on lubatud.
- Pildi kopeerimine ja salvestamine (Copy/Save Image): saab akna kopeerida ja/või salvestada selle .png-, .bmp- või .jpg-failina.



Vaate seadistamine

Geomeetria iga osa värvi, läbipaistvust ja nähtavust saab muuta vahekaardilt Värvid (Coloring). Näiteks saate geomeetriad läbipaistvaks muuta järgmiselt:

1. Valige "Data" paneelilt "Geometries" vaheakna alt (klõpsamise ajal hoidke all klahvi CTRL või SHIFT) kõik kuus imporditud mudelit.
2. Valige "Data Editors" paneelilt vahekaart "Colorings" ja seejärel märkige ruut "Transparency" (nagu näidatud). See muudab kõik mudelid 70% läbipaistvaks.





Liikumise kaadrid (Motion Frames)

Pärast kõigi vajalike geomeetria importimist/loomist saab liikumisi lisada "Motion Frames" tööriista abil, mis asub "Data" paneelil.

Uue liikumise kaadri seadistamiseks toimige järgmiselt.

1. **Looge uus kaader:** saate määratleda uue kaadri, määrates asukoha ja suuna globaalse võrdlusraami abil või kasutades eelnevalt loodud raami (nested Motion Frame).
2. **Määrake kaadri liikumine:** igal kaadril saab määratleda mitu liikumist, mis võivad hõlmata järgmist:
 - Nihe ja pöörlamine (Translation and Rotation)
 - Perioodiline nihe ja pöörlamine (Periodic Translation and Rotation) (vibratsioon ja pendel)
 - Vaba keha nihe ja vaba keha pöörlamine (Free Body Translation and Free body Rotation)
 - Täiendavad jõud ja momendid (Additional Forces and Moments) (ainult vaba keha liikumise korral)
 - Vedru-armatuurlaua jõud ja momendid (Spring-Dashpot Forces and Moments)
 - Lineaarsed ajas muutuvad jõud ja momendid (Linear Time Variable Forces and Moments)
 - Ajaseeria (kohandatud) Nihe ja pöörlamine (Time Series (Customized) Translation and Rotation)

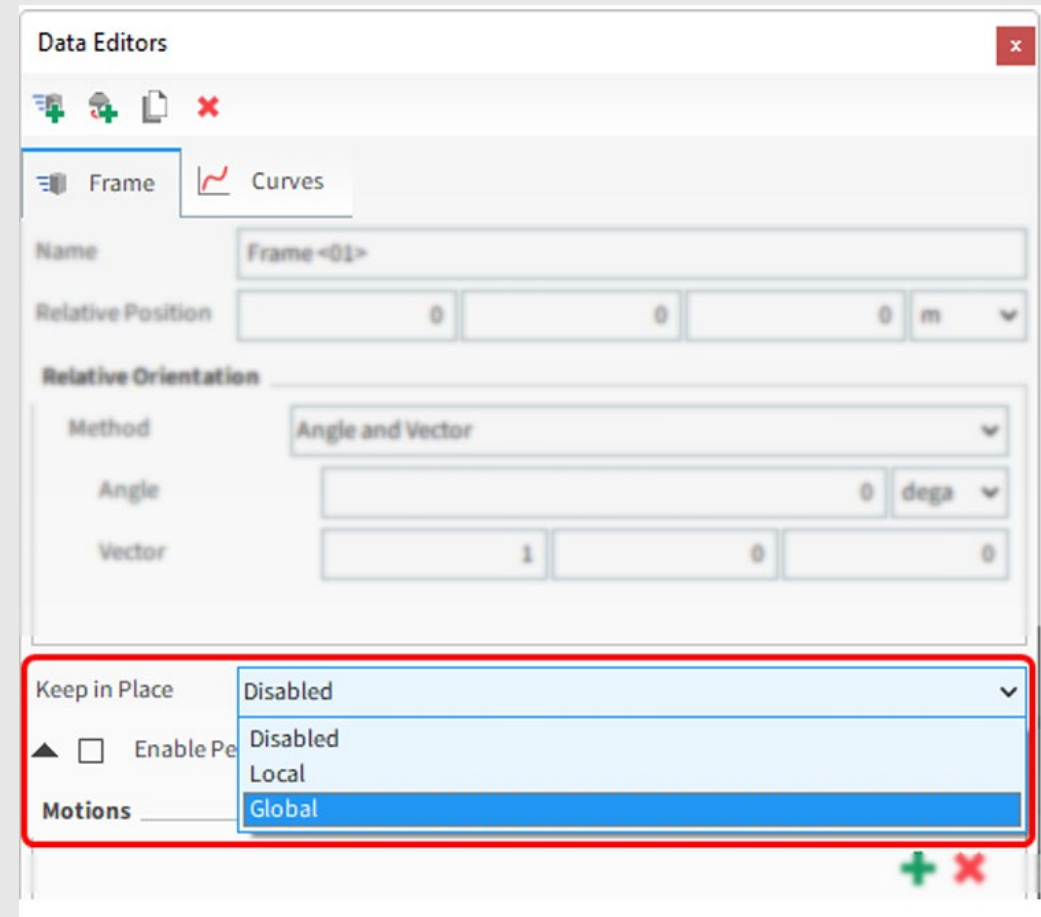


Liikumise kaadrid (Motion Frames)

3. **Seostage geomeetria liikumisega:** iga liikuva piiri jaoks valige üks liikumise kaader, mis selle piiriga seostatakse. Ühildatud (nested) liikumise kaadrite komplekti rakendamiseks määrake ainult madalaima taseme alamkaader.
4. **Vaadake liikumise eelvaadet:** kasutage "Motion Preview" tööriista, et veenduda, et kõik liikumised toimuvad nii nagu on soovitud.

Selle õpetuse jaoks luuakse kaks eraldi nihutamislükumist. Mõlemad liikumised kasutavad suvandit „Keep in Place: Global“. See tähendab, et geomeetriaga kokkupuutuvatel osakestel on etteantud kiirus, kuid geomeetria ise ei liigu.

- Globaalse ja lokaalse (Global and Local) eristuse tegemine on vajalik ainult keerukate ühildatud (nested) liikumiste puhul.
- Standardsete liikumiste puhul, nagu need, mida me selles õpetuses loome, on kummagi suvandi valimisel simulatsioonile sama mõju.





Liikumise kaadrid (Motion Frames)

Nihkliikumise määramiseks peate kas kaadri liikumissuunaga joondama või määrama kiiruse komponendid.

Mõlemat meetodit käsitletakse selles õpetuses:

- **Etteandekonveier:**

Nihe ilma nihketa Kiirus = 2,5 m/s

Meetod: Joondatud raam (Aligned Frame)

- **Vastuvõtukonveier 1:**

Nihe ilma nihketa Kiirus = 2 m/s

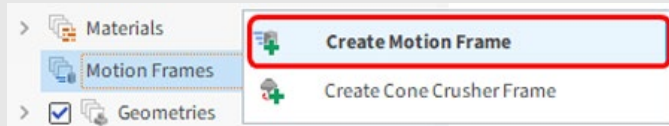
Meetod: Kiiruskomponendid (Velocity Components)



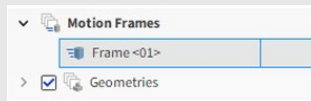
Liikumise kaadrid (Motion Frames)

Uue liikumise kaadri seadistamiseks projektile tee järgnevat:

1. Paremklopsake "Data" paneeli valikul "Motion Frames" ja seejärel valige "Create Motion Frame".

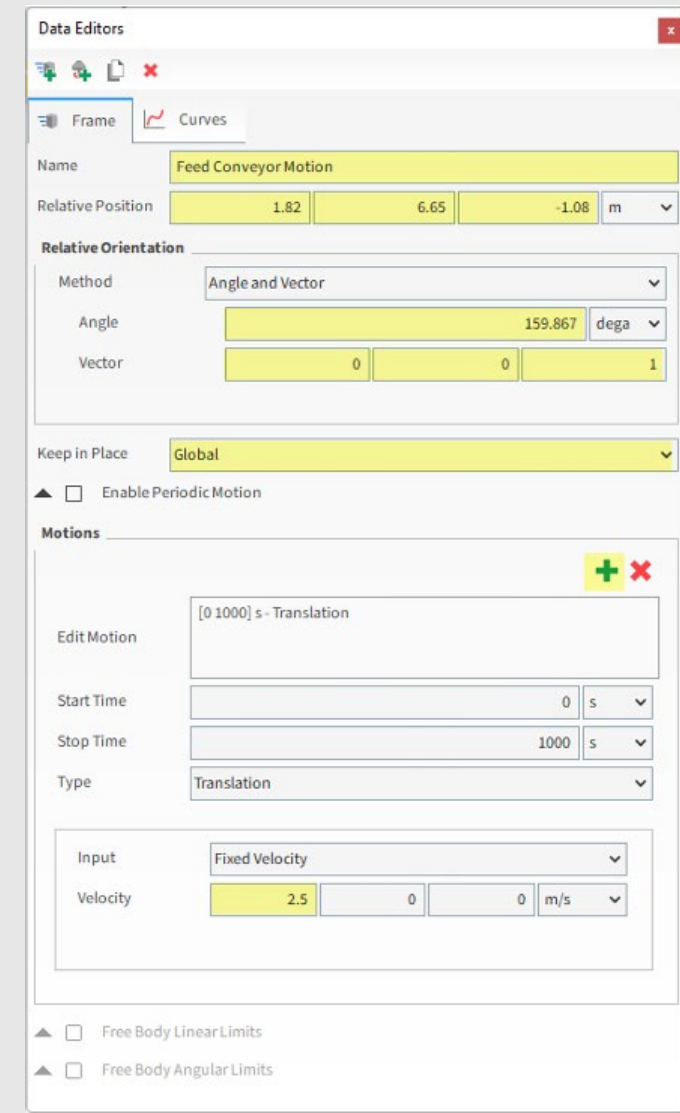


"Motion Frames" menüü alla tekib uus sissekanne "Frame <01>".



Vali see ja pane talle "Data Editors" paneelil järgnevad andmed (pildil andmed):

- **Nimi (Name):** Feed Conveyor Motion (Etteandekonveieri liikumine)
 - **Suhteline asukoht (Relative Position)** (kaadri alguspunkti koordinaat): 1,82; 6,65; -1,08 m
 - **Nurk (Angle):** 159,867 dega
 - **Vektor (Vector)** (näitab pöörlemissuunda määratletud nurga abil): 0; 0; 1
 - **Säilita paigal (Keep in Place):** Global
2. Selle kaadri abil uue liikumise loomiseks klõpsake rohelist plussnuppu (**Add Motion**). Vaikimisi lisatakse nihutamislükumine.
 3. Lisage kiiruse (**Velocity**) parameeter: 2,5; 0; 0 m/s





Liikumise kaadrid (Motion Frames)

Teise liikumise kaadri tegemise järgi järgnevaid samme:

1. Looge "Motion Frames" üksuse alt veel üks kaader ja seejärel defineerige
 - **Nimi (Name):** Receiving Conveyor Motion (Vastuvõtva konveieri liikumine)
 - **Säilita paigal (Keep in Place):** Global

See liikumine defineeritakse globaalsel võrdlusraamistikul (Global Reference Frame) põhinevate kiiruskomponentide abil, seega suhtelist asendit (Relative Position), suhtelist pöördevektorit (Relative Rotation Vector) ja pöördenurka (Rotation Angle) ei tohi muuta.

1. Selle kaadri abil uue liikumise loomiseks klõpsake rohelist plussnuppu (**Add Motion**).
2. Lisage kiiruse (**Velocity**) parameeter: -1,421; 0,313; 1,372 m/s

The screenshot shows the 'Data Editors' window with the 'Frame' tab selected. The configuration is as follows:

- Name:** Receiving Conveyor Motion
- Relative Position:** 0, 0, 0 m
- Relative Orientation:**
 - Method: Angle and Vector
 - Angle: 0 dega
 - Vector: 1, 0, 0
- Keep in Place:** Global
- ☐ Enable Periodic Motion
- Motions:**
 - Edit Motion:** [0 1000] s - Translation
 - Start Time:** 0 s
 - Stop Time:** 1000 s
 - Type:** Translation
 - Input:** Fixed Velocity
 - Velocity:** -1.421, 0.313, 1.372 m/s
- ☐ Free Body Linear Limits
- ☐ Free Body Angular Limits



Liikumise kaadrid (Motion Frames)

Kui mõlemad liikumise kaadrid on tehtud, saab need määrata vastavatele geomeetriatele.

1. "Data" paneelilt "Geometries" vahelehelts vali "feed conveyor"
2. "Data Editors" paneelilt "Wall" vaheaknast vali "Motion Frame" menüüst "Feed Conveyor Motion"
3. Tee samad sammud läbi "receiving conveyor 1" geomeetriaga kasutades "Receiving Conveyor Motion" liikumise kaadrit

The image shows two screenshots of the 'Data Editors' window in a software application. Both windows have a title bar with a close button (X) and a toolbar with icons for various functions. Below the toolbar is a tabbed interface with tabs for 'Coloring', 'Wall', 'Info', 'Properties', and 'Curves'. The 'Wall' tab is selected in both.

Top Screenshot: 'feed conveyor'

- Name: feed conveyor
- Load File: (button)
- Motion Frame: Feed Conveyor Motion (dropdown menu)
- Material: Default Boundary (dropdown menu)
- Enable Time: 0 s (input field with unit dropdown)
- Disable Time: 1e+06 s (input field with unit dropdown)

Bottom Screenshot: 'receiving conveyor 1'

- Name: receiving conveyor 1
- Load File: (button)
- Motion Frame: Receiving Conveyor Motion (dropdown menu)
- Material: Default Boundary (dropdown menu)
- Enable Time: 0 s (input field with unit dropdown)
- Disable Time: 1e+06 s (input field with unit dropdown)



Materjalide defineerimine

Materjalide etapp võimaldab teil määrata tiheduse, Youngi mooduli ja muud väärtused, mida soovite oma osakestele, veolintidele, geomeetriaale ja vedelikule (SPH simulatsioonide jaoks) määrata.

Selles õpetuses kasutatakse kolme vaikimisi tahke materjali vaikeväärtusi.

Kui kõik materjalid on määratletud, tuleb need seintele ja osakestele määrata. Vaikimisi määrab Rocky igale geomeetriaale, mis on defineeritud kui "Wall", materjaliks "Default Boundary". Kuna kolm meie imporditud seina on tegelikult konveierilindid, tahame kindlasti nende komponentide materjale muuta.

Data Editors		
 		
Material		
Name	Default Belt	
Use Bulk Density	☐	
Density	1400	kg/m3
Bulk Density	840	kg/m3
Young's Modulus	1e+11	N/m2
Thermal Conductivity	0.1	W/m.K
Specific Heat	1000	J/kg.K
Poisson's ratio	0.3	-

Data Editors		
 		
Material		
Name	Default Boundary	
Use Bulk Density	☐	
Density	7850	kg/m3
Bulk Density	4710	kg/m3
Young's Modulus	1e+11	N/m2
Thermal Conductivity	0.1	W/m.K
Specific Heat	1000	J/kg.K
Poisson's ratio	0.3	-

Data Editors		
 		
Material		
Name	Default Particles	
Use Bulk Density	☒	
Density	2666.67	kg/m3
Bulk Density	1600	kg/m3
Young's Modulus	1e+08	N/m2
Thermal Conductivity	0.1	W/m.K
Specific Heat	1000	J/kg.K
Poisson's ratio	0.3	-

DATA

Transfer Chute

Modules

Physics

Materials

Motion Frames

Geometries

Particles

Joints

Contacts

SPH

Inlets and Outlets

CFD Coupling

Domain Settings

Solver

Calculations

User Processes

Color Scales

chute

feed conveyor

pulley

receiving conveyor 1

receiving conveyor 2

skirt

Inlet Surface

Frame <01>

chute

feed conveyor

pulley

receiving conveyor 1

receiving conveyor 2

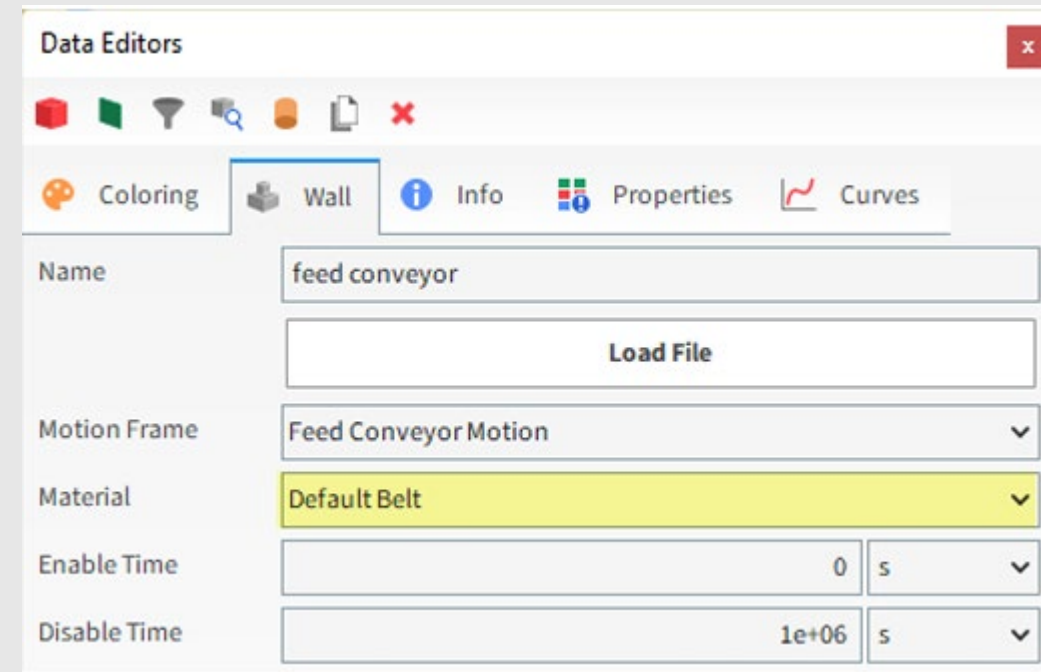
skirt

Inlet Surface



Materjalide defineerimine

1. Valige "Data" paneelilt "Geometries" jaotisest "feed conveyor"
2. Valige "Data Editors" paneelilt „Wall“ rippmenüüst materjali (Material) valik „Default Belt“
3. Korrake neid samme "receiving conveyor 1" ja "receiving conveyor 2" geomeetriaga.





Materjalide vahelised interaktsioonid

Materjalide interaktsioonid määravad materjalide omadused nagu näiteks kleepuvuse ja muud omadused.

Selles simulatsioonis on meil 3 tahket materjali: üks osakeste, üks vööde ja kolmas seinte jaoks.

Iga kokkupuutuva materjalipaari jaoks tuleb defineerida materjalide interaktsiooniomaduste komplekt.

Kuna iga materjaliga puutuvad kokku ainult osakesed, peame defineerima 3 interaktsioonipaari:

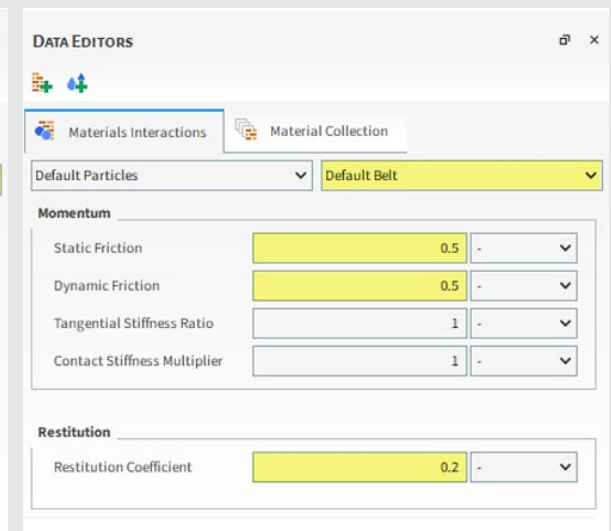
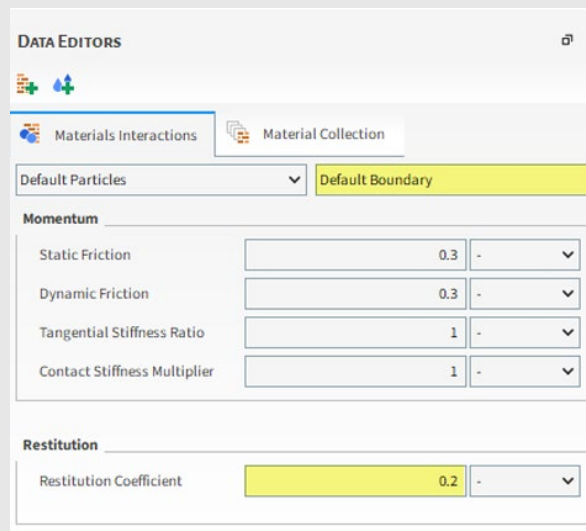
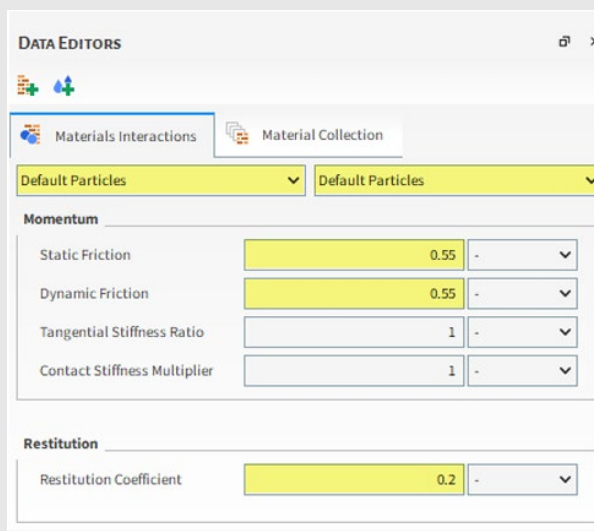
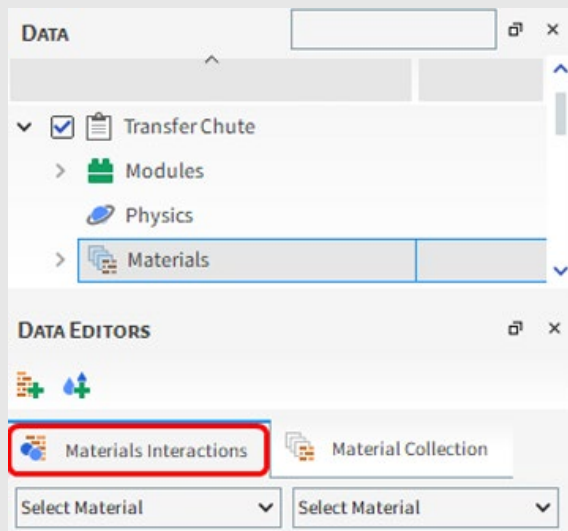
- Osake x Osake
- Osake x Vöö
- Osake x Korpus



Materjalide vahelised interaktsioonid

Interaktsioonimaduste määramiseks tehke järgmist.

1. Klõpsake "Data" paneelil valikut "Materials". Seejärel kuvatakse "Data Editors" paneelil "Materials Interactions" vahekaardil muudetavad parameetrid.
2. Valige vasakpoolsest rippmenüüst "Default Particles" ja parempoolsest rippmenüüst üks selle paaridest: "Default Particles", "Default Boundary" või "Default Belt".
3. Lisage iga paari kombinatsiooni parameetreid (nagu näidatud).

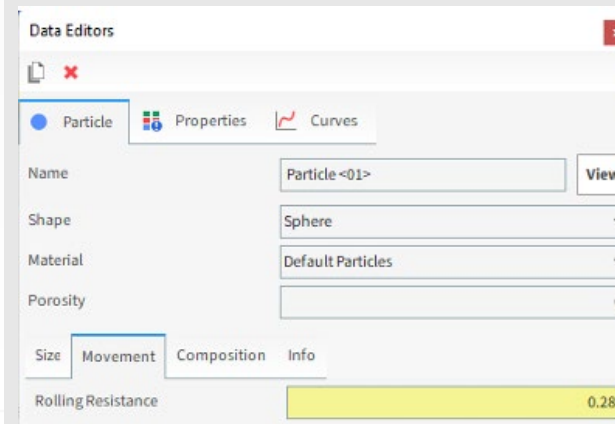
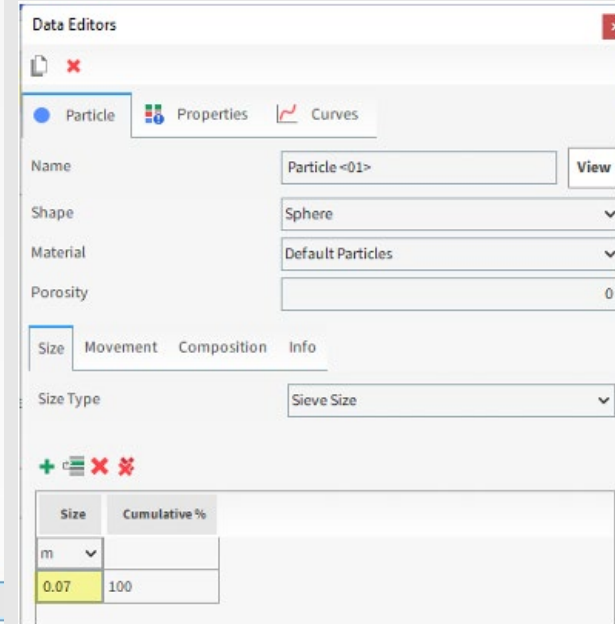
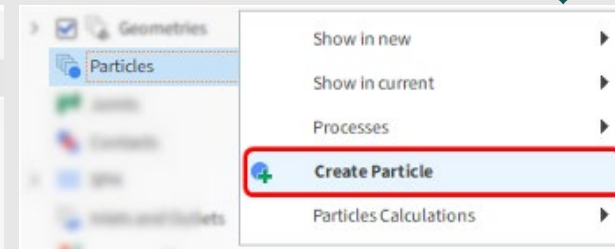
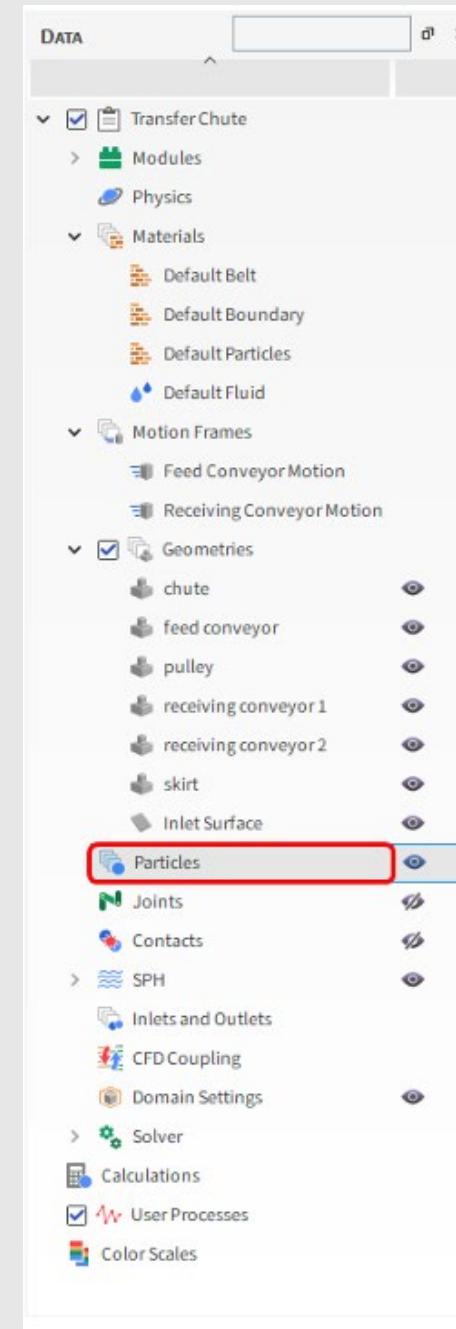


Osakesed

Osakeste etapis määratlete osakeste kuju, suuruse ja muud parameetrid.

Uue osakese tegemiseks tee järgnevat:

1. Paremkülpsake andmepaneelil "Particles" ja seejärel valige "Create Particle". Selle tulemusel ilmub uus osake nimega "Particle <01>".
2. Vali see uus osake "Data" paneelilt.
3. "Data Editors" paneelilt määra "Size" veerust osakesele suurus: 0,07.
4. "Movement" vaheaknast määra "Rolling Resistance": 0,28
5. Uue osakese kuvamiseks vajuta "View" nuppu.





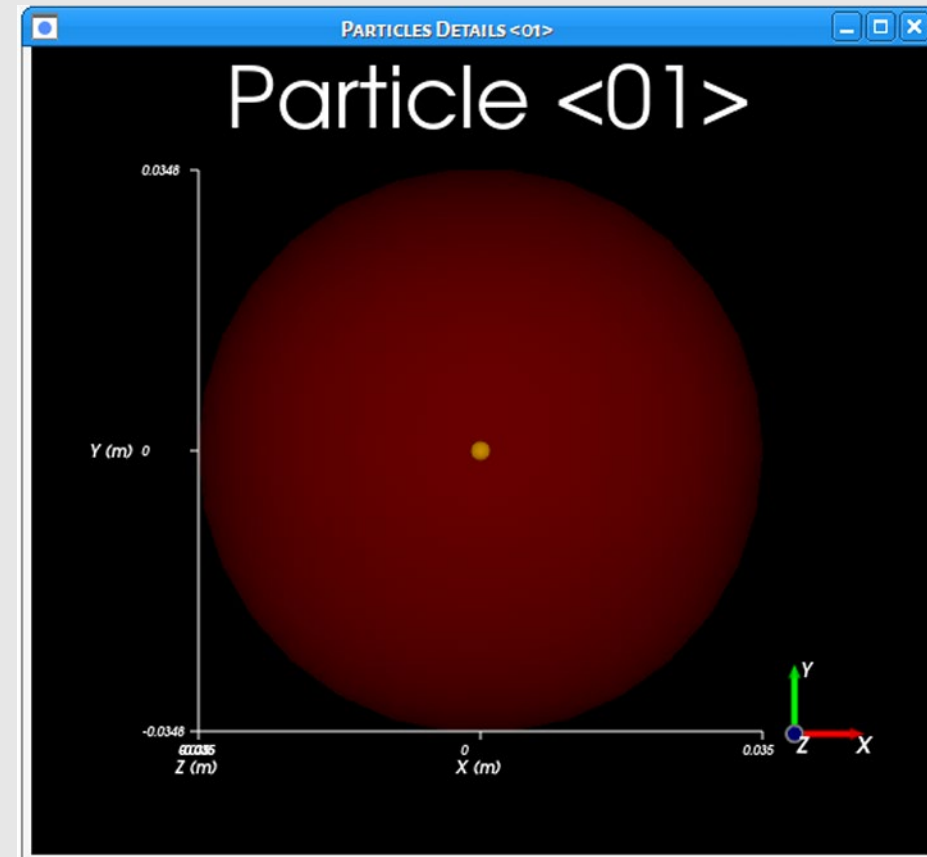
Osakese eelvaade

Uue osakese kuvamiseks vajuta "View" nuppu.

Ilmub uus osakeste detailvaate aken, mis näitab (läbipaistvat) osakest, selle geomeetrilist keskpunkti (kollane punkt) ja massikeset (sinine punkt).

Märkus: Homogeense osakese geomeetriline keskpunkt ja massikeset langevad kokku ning näha on ainult esimest (nagu pildil).

Mudeli 3D-vaate aknasse naasemiseks võite osakese mudeli akna sulgeda või minimaliseerida.

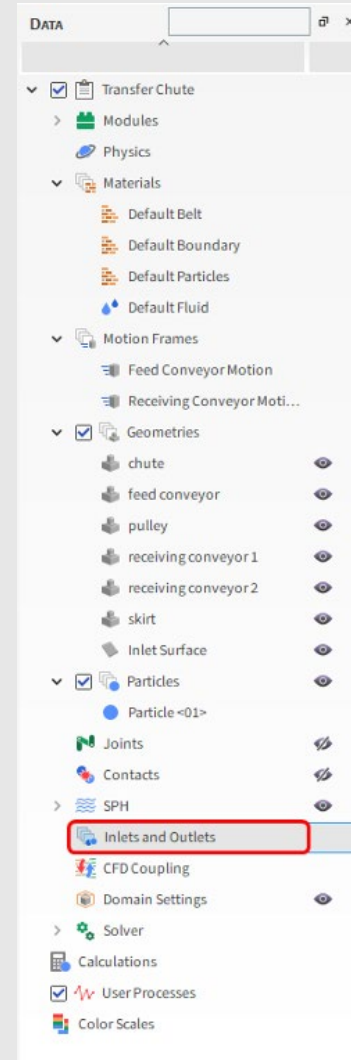




Sisse- ja väljalaskeavad

Sisse- ja väljalaskeavade samm võimaldab teil määrata, kuidas osakesed ja vedelik simulatsiooni sisenevad ja sealt väljuvad. Selles Rocky versioonis on viis valikut:

- **Osakeste sisselaskeava (Particle Inlet):** Vabastab osakesed pideva joana valitud pinnalt (või etteandekonveierilt). Samuti on võimalik süstida vedeliku (SPH elemente).
- **Kohandatud osakeste sisselaskeava (Particle Custom inlet):** Vabastab osakesi kasutaja määratud positsioonides, suurustes, aegadel, kiirustel, temperatuuridel ja orientatsioonides .csv, .xls, .xlsx, .xslm või .odf faili kaudu.
- **Vedeliku sisselaskeava (Fluid Inlet):** Sarnane osakeste sisselaskeavaga, aga osakeste asemel SPH elementide jaoks.
- **Mahuline sisselaskeava (Volumetric Inlet):** Täidab sfäärilise ala tihedalt pakitud osakestega või prismakujulise ala SPH elementidega.
- **Väljundava (outlet):** Määrab vedeliku või osakeste simulatsioonist väljumise punkti ja võimaldab määratleda etteantud rõhu.

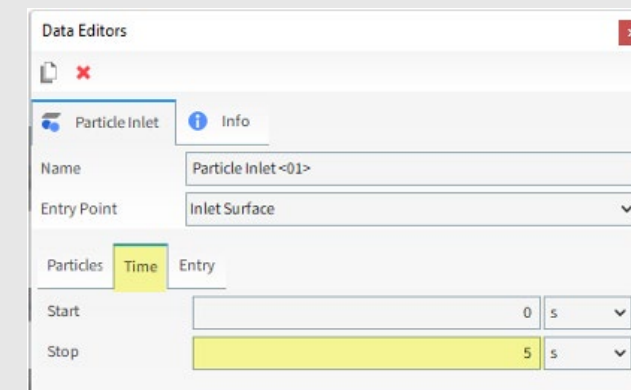
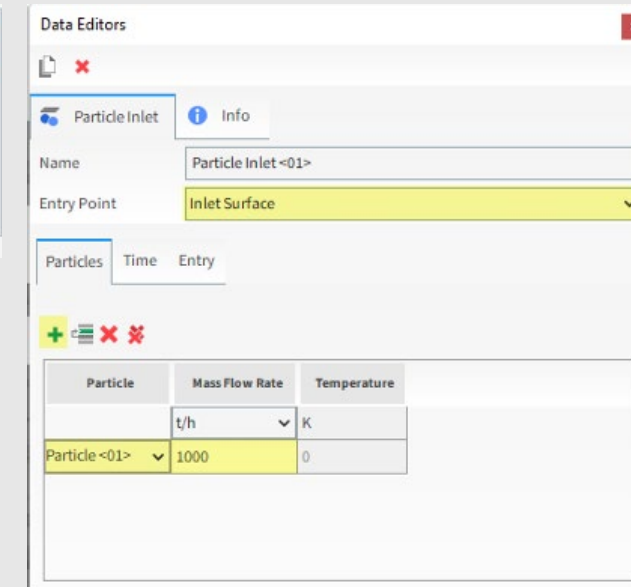
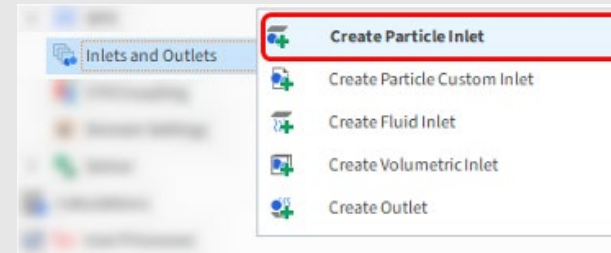




Sisse- ja väljalaskevad

Uue osakeste massivoo loomiseks tehke järgmist.

1. Paremklopsake "Data" paneeli valikul "Inlets and Outlets" ning seejärel valige "Create Particle Inlet". Sellega ilmub uus üksus "Particle Inlet <01>".
2. Valige see uus üksus "Data" paneelilt.
3. Valige "Data Editors" paneelilt "Entry Point" menüüst "Inlet Surface".
4. Klõpsake alamvahekaardil "Particles" nuppu "Add", et lisada uus osakeste massivoolukiiruse rida, ja seejärel valige "Particle" veerust "Particle <01>".
5. Määrake massivoolukiirus: 1000 t/h
6. "Time" vaheaknast määrake lõpu aeg: 5 s



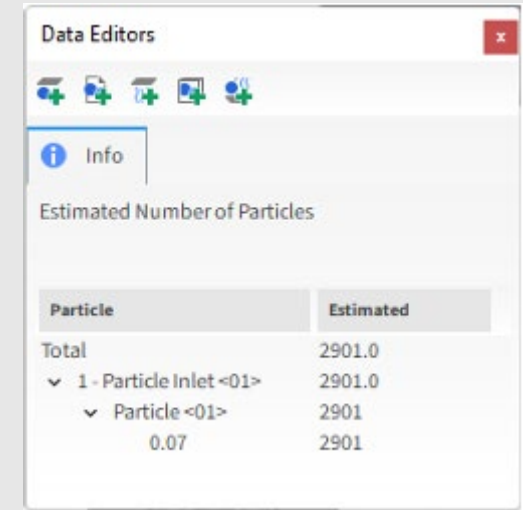


Sisse- ja väljalaskeavad

Enne simulatsiooni töötlemist saate sisse- ja väljalaskeavade "Info" vahekaardil üle vaadata, kui palju osakesi Rocky eeldab, et simuleeritakse. Need hinnangud võtavad arvesse iga sisendi jaoks määratletud vabastusaegu ja lahendaja (Solver) etapis määratletud simulatsiooni kestust (Simulation Duration), mis on näidatud järgmisel slaidil.

Peamise sisse- ja väljalaskeavade (Inlets and Outlets) üksuse alt vaadates näete kogu simulatsiooni hinnangut. (Esimene pilt)

Üksiku sisselaskeava (Inlet) vaatepunktist on näha ainult selle üksuse osakeste panuse hinnang. (Teine pilt)

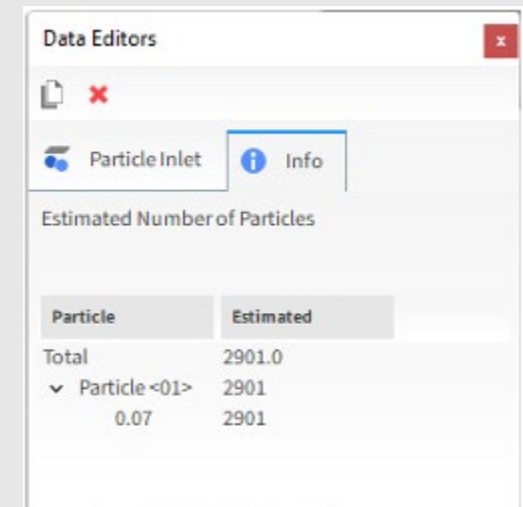


Data Editors

Info

Estimated Number of Particles

Particle	Estimated
Total	2901.0
1 - Particle Inlet <01>	2901.0
Particle <01>	2901
0.07	2901



Data Editors

Particle Inlet Info

Estimated Number of Particles

Particle	Estimated
Total	2901.0
Particle <01>	2901
0.07	2901

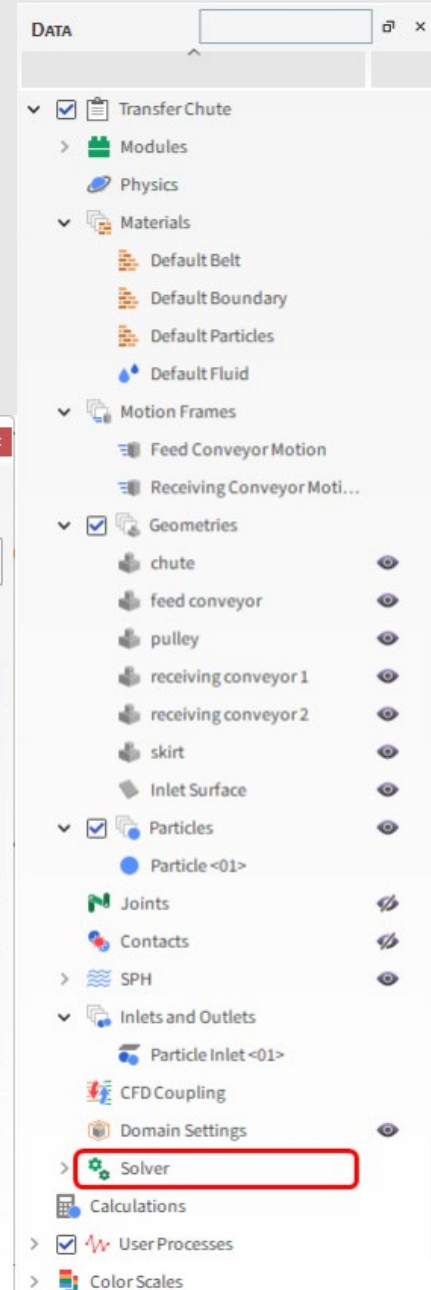
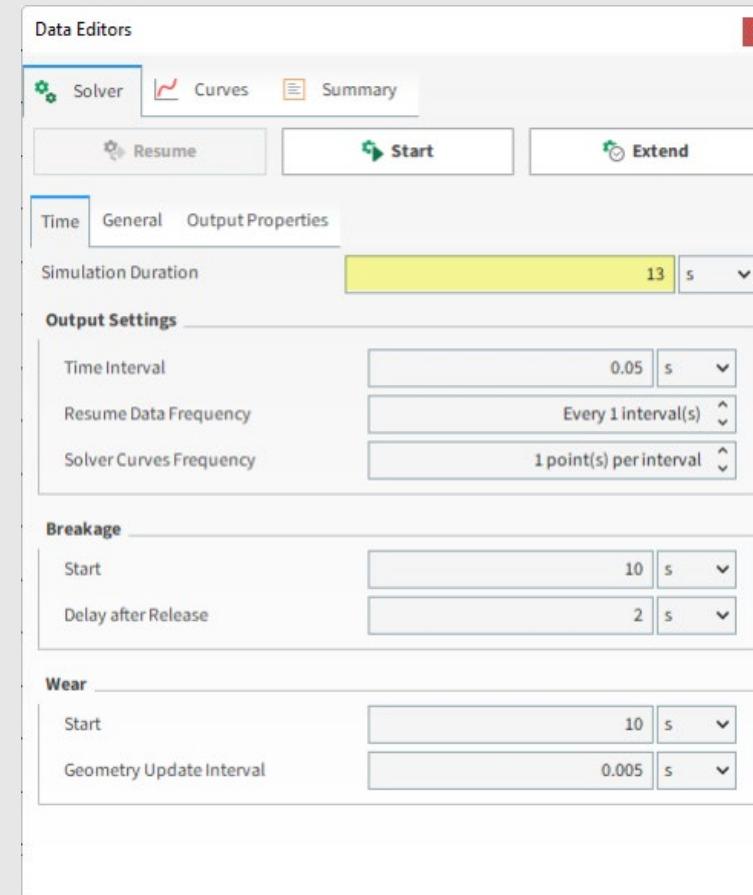


Lahendaja (Solver)

Lahendaja (Solver) etapis määrate töötlemisaja ja stabiilsuse üksikasjad ning lõpuks alustate simulatsiooni töötlemist.

Täpsemalt öeldes on lahendaja aja (Solver Time) vahekaart see, kus saate määrata järgmise:

- Simulatsiooni kestus (Simulation duration): Koguaeg, mille jooksul soovite simulatsiooni käitada.
- Väljundseaded | Ajavahemik (Output settings | Time Interval): Ajavahemikud, mille jooksul soovite oma väljundfaile salvestada.
- Väljundseaded | Andmete jätkamise sagedus (Output settings | Resume Data Frequency) : Salvestatavate andmete sagedus, mis võimaldab simulatsiooni jätkata.
- Väljundseaded | Lahendaja kõverate sagedus (Output settings | Solver Curves Frequency) : Kõverate tulemuste arv igas väljundis.
- Purunemine | Algus (Breakage | Start): Ajavahemik enne osakeste purunemise arvutamise alustamist.
- Purunemine | Viivitus pärast vabanemist (Breakage | Delay After Release) : Ajavahemik pärast osakese vabanemist enne osakeste purunemise arvutamise alustamist.
- Kulumine | Algus (Wear | Start): Ajavahemik enne geomeetria kulumise arvutamise alustamist.
- Kulumine | Geomeetria värskendamise intervall (Wear | Geometry Update Interval) : Ajavahemik kulumisgeomeetria värskenduste vahel



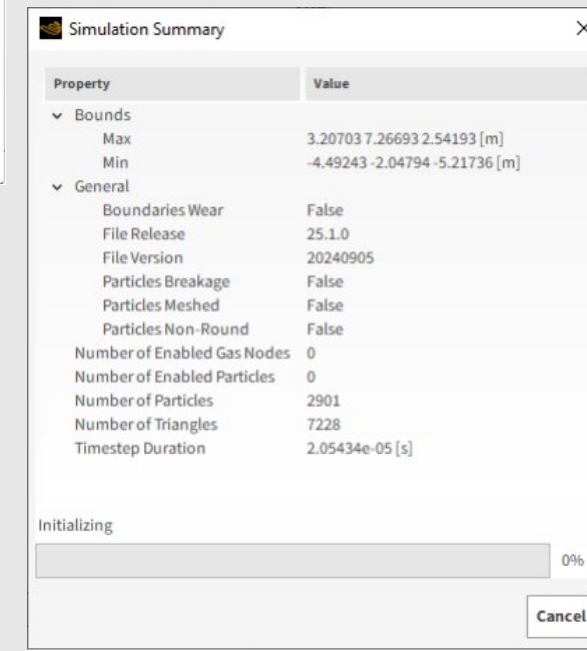
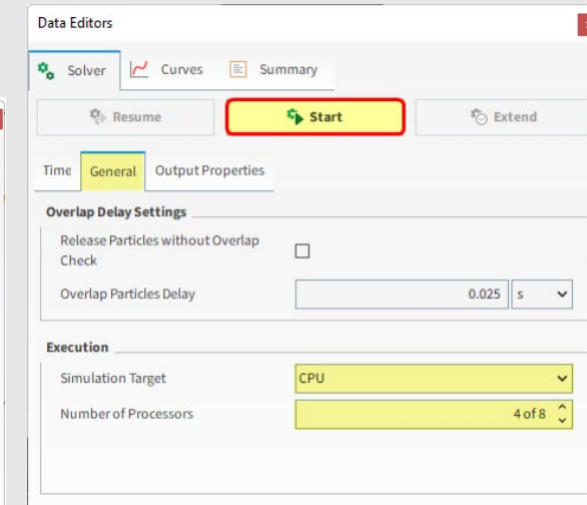
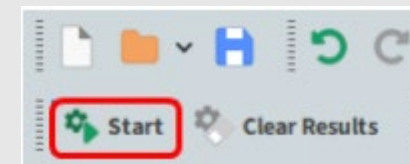
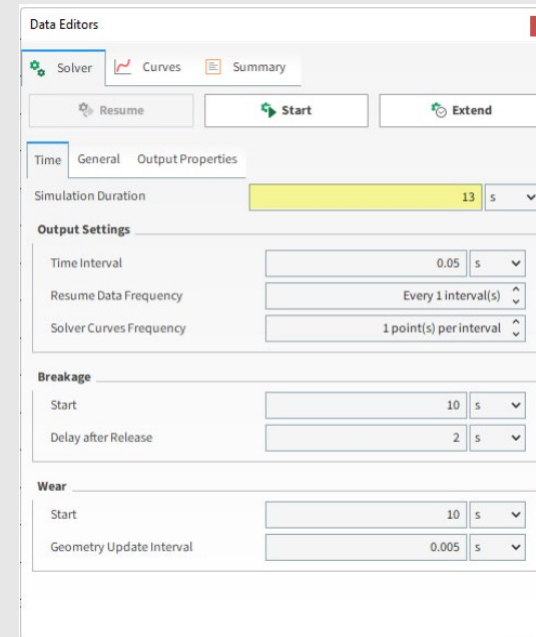


Lahendaja (Solver)

1. Klõpsake andmepaneelil nuppu Lahendaja ja seejärel valige andmeredaktorite paneelilt vahekaart "Solver | Time". Määrake simulatsiooni kestus (Simulation Duration).
2. Valige alamvahekaardilt "General", mida soovite simulatsiooni sihtmärgiks (protsessor või graafikaprotsessor(id)) ja seejärel protsessorite (või graafikaprotsessorite) arv. Selle õpetuse puhul on protsessor kiirem madala osakeste arvu tõttu.
3. Töötlemise alustamiseks klõpsake nuppu "Start".

Märkus: Pärast lahendaja valikute määratlemist on töötlemise alustamiseks võimalik kasutada ka simulatsiooni tööriistariba nuppu

Kui klõpsate nuppu „Start“, ilmub simulatsiooni kokkuvõtte (Simulation Summary) aken. See näitab geomeetria piire, lubatud mudeleid (kulumine, purunemine, mitteümarad osakesed), osakeste ja kolmnurkade arvu ning arvutatud ajasammu kestust. See aken kaob iseenesest ja seejärel algab töötlemine.

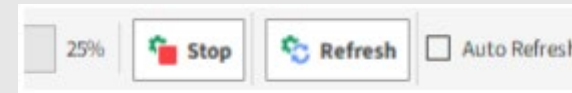
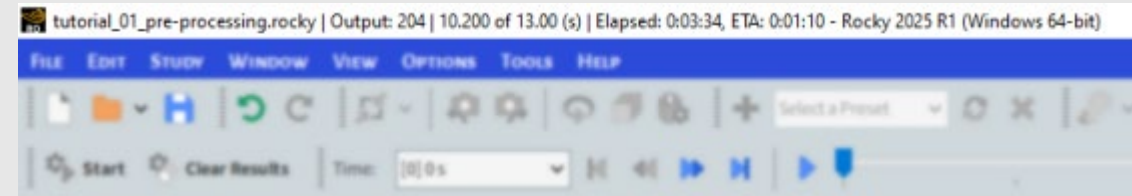




Simulatsiooni staatus

Simulatsiooni käigus kuvatakse programmi tiitliribal salvestatud ajasammude arv (Output), simuleeritud lahendamise aeg, lahendaja tegelik aeg (Elapsed) ja eeldatav lõpetamise aeg (ETA).

Ekraani allosas näete edenemisriba, nuppu „Stop“ (lahendaja peatamiseks), nuppu „Refresh“ (tulemuste visualiseerimiseks kuni viimase lahendatud väljundini) ja valikut „Auto Refresh“ (3D-vaate automaatseks värskendamiseks iga uue salvestatud väljundi puhul). Osakeste olekute reaajas vaatamiseks, klõpsake nuppu „Refresh“ või märkige ruut „Auto Refresh“.

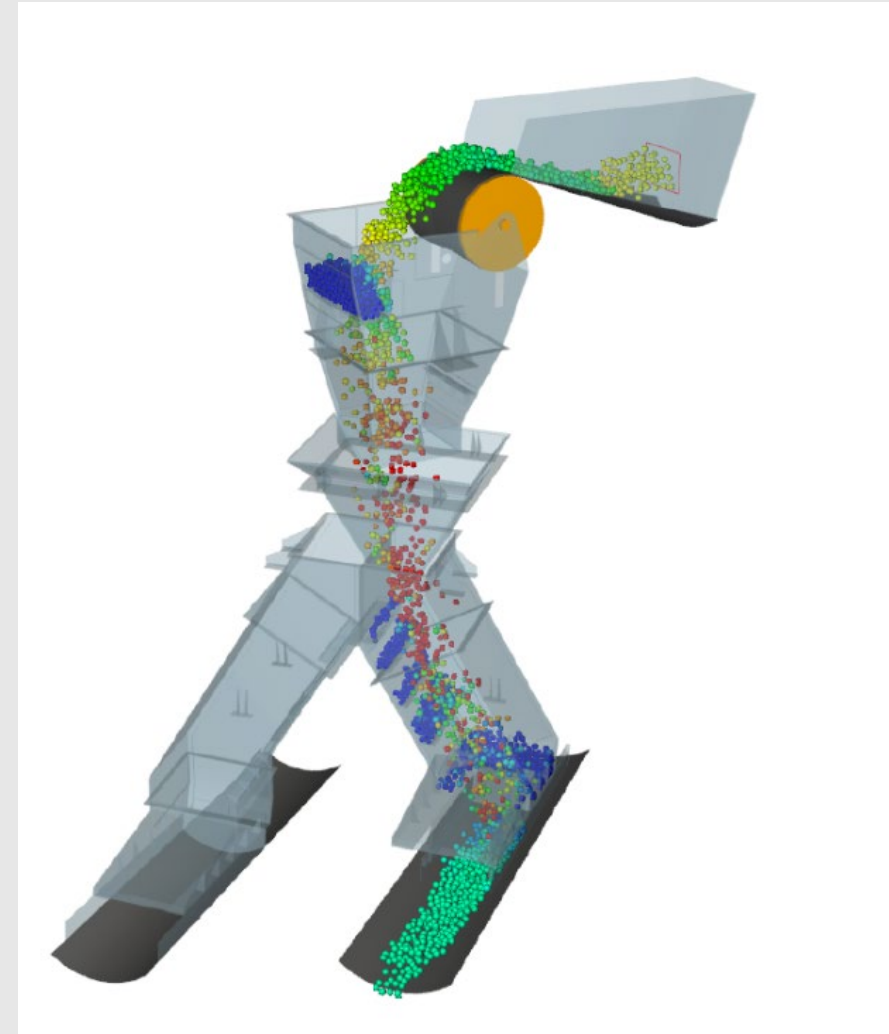


Simulatsioon

3D-vaateakna kaudu saab osakeste olekuid reaalsajas vaadata.

Simulatsiooni kiirus sõltub mitmest tegurist, näiteks:

- Geomeetria määratlemiseks kasutatavate võrguelementide (mesh elements) arv
- Simulatsioonidomeenis igal ajahetkel olevate kontaktide arv
- Väikseim osakese suurus ja materjali jäikus (stiffness)
- Osakese kuju ja kuju määratlemiseks kasutatavate tippude arv
- Faili väljundi sagedus





Järeltöötlus

Selle õpetuse eesmärk on tutvustada mõningaid simulatsiooni analüüsimise põhimeetodeid pärast selle töötlemist. Seletatakse kuidas:

- Luua animatsioon
- Visualiseerida omadusi 3D-vaateaknas
- Luua graafikuid
- Filtreerida andmeid kasutajaprotsesside abil
- Eksportida tulemusi

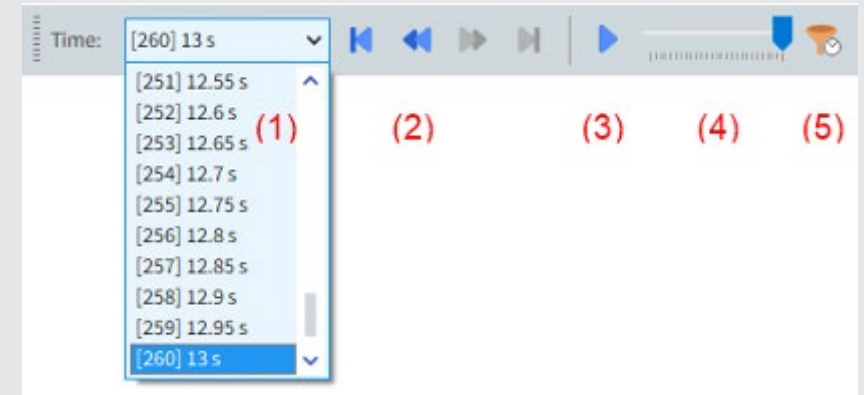
Selleks kasutad järgmisi funktsioone:

- Animatsioonipaneel (Animation panel) (videod)
- Aja tööriistariba (Time toolbar)
- Mitme aja graafik (Multi Time plot)
- Aja graafik (Time plot)
- Kasutajaprotsess – kuup (User Process – Cube)
- Kasutajaprotsess – tasand (User Process – Plane)

Väljundite vahel liikumine

Nüüd, kui projekti töötlemine on lõppenud, saame hakata seda analüüsima. Näiteks saate aja tööriistariba kasutada järgmistel viisidel:

1. Valige rippmenüüst konkreetne väljund/aeg.
2. Kasutage noolenuppe (vasakult paremale), et:
 1. Minna esimese väljundi juurde
 2. Liikuda ühe väljundi võrra tagasi
 3. Liikuda ühe väljundi võrra edasi
 4. Liikuda viimase väljundi juurde
3. Esitage animatsiooni.
4. Libistage liuguririba abil soovitud väljundini.
5. Kasutage ajavahemiku filtrit, et kuvada ainult määratud ajavahemik.

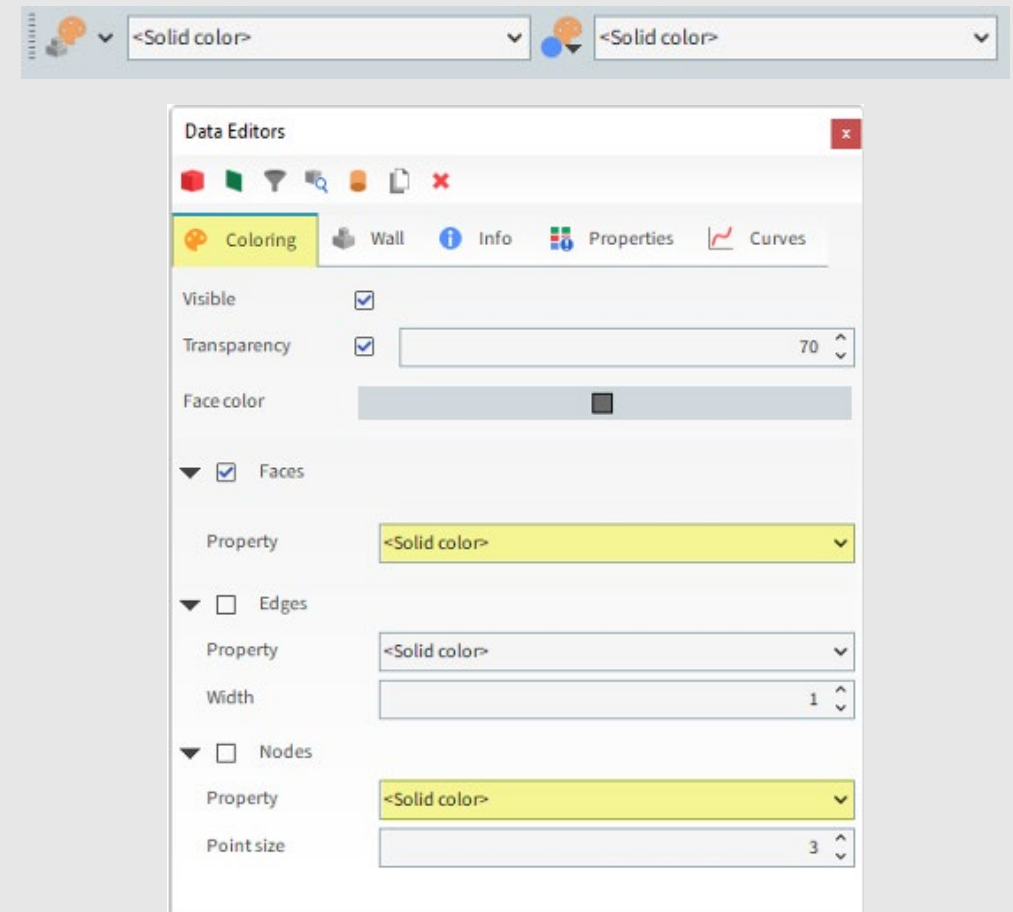


Geomeetria/ osakeste värvimine

Geomeetria ja/või osakeste värvimiseks on kolm erinevat viisi: Kasutage "Coloring" tööriistariba, et värvida kõiki geomeetriaid/osakesi omaduse järgi:

Värvimise vahekaardi kasutamiseks tehke järgmist.

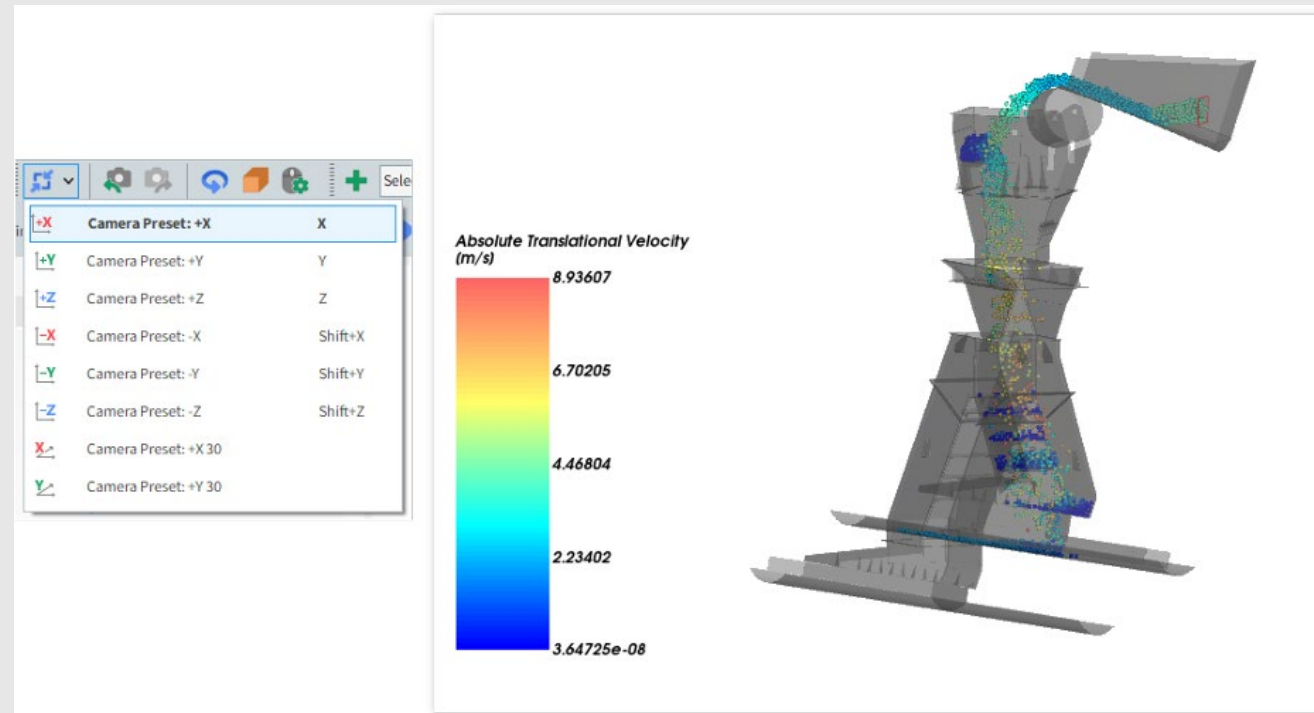
- Valige "Data" paneelilt kas "Wall" jaotises "Geometries" või peamine "Particles" üksus.
- Valige "Data Editors" paneelilt "Coloring", laiendage valikut "Faces" (piiride jaoks) või "Nodes" (osakeste jaoks) ja seejärel valige värvimiseks soovitud omadus. Sel viisil värvitakse ainult valitud objekt (mitte kõik, nagu teiste valikute puhul).



Geomeetria/osakeste värvimine

Kasutage "Properties" vahekaarti, lohistades soovitud omaduse 3D-vaate aknasse. Selles õpetuses tahame oma osakesi kiiruse järgi värvida.

1. Valige "Data" paneelilt „Particles” ja seejärel "Data Editors" paneelilt "Properties".
2. Valige "Absolute Translational Velocity" ja lohistage see 3D-vaate aknasse.
3. Seejärel saate hiirega suumida ja liikuda ning hiire või sobitusriba valikute (nagu näidatud) abil muuta vaatlussuunda.



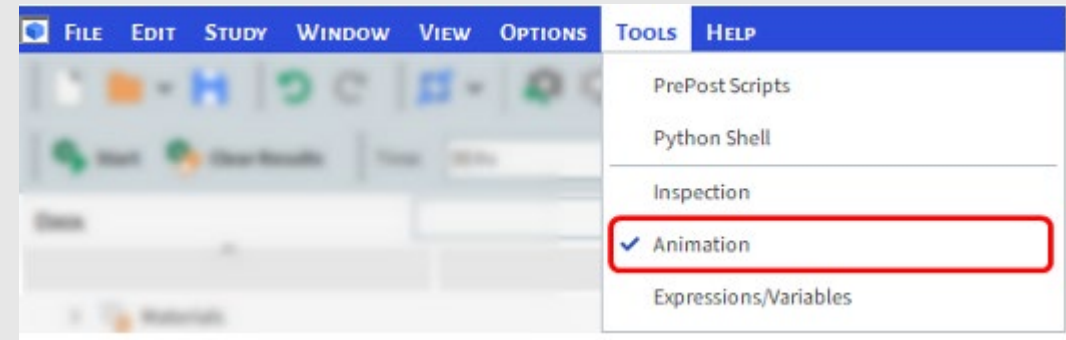


Animatsioon

Rockys animatsiooni (video) loomiseks tuleb määrata konkreetse 3D-vaate akna võtmekaadrid kindlatele väljunditele.

Rocky interpolateerib loodud võtmekaadrite vahel, kasutades simulatsiooni ajal salvestatud väljundeid.

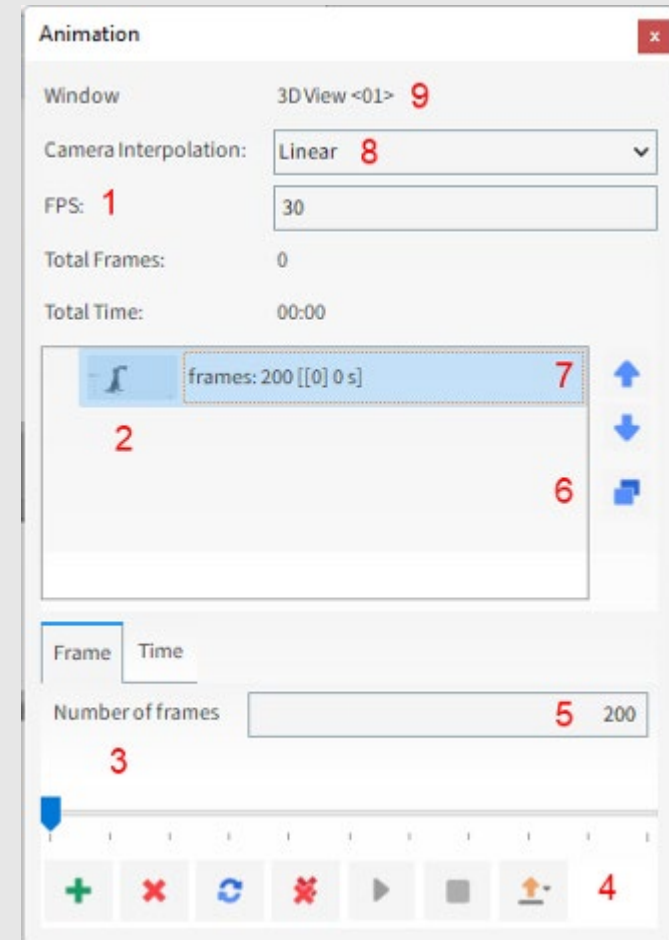
“Animation” paneeli kuvamiseks valige menüüst “Tools” ja siis “Animation”.





Animatsiooni paneel

1. Kaadreid sekundis (FPS) muudab animatsiooni taasesituse kiirust. Soovitav on vähemalt 30 FPS. Sujuva animatsiooni loomiseks ei tohiks ajaintervall olla suurem kui 1/FPS.
2. Võtmekaadrite (Key Frames) loend.
3. Valige animatsioonist konkreetne hetk.
4. Lisa võtmekaader / Eemalda võtmekaader / Värskenda praegust võtmekaadrit / Eemalda kõik võtmekaadrid / Esita / Peata / Ekspordi (video või pildid).
5. Kaadrite arv valitud võtmekaadri ja järgmise vahel. Kaadrite arvu jagatis FPS-iga annab animatsiooni tegeliku aja. Seda väärtust saab muuta, et kuvada animatsiooni reaalajas.
6. Dubleerige valitud võtmekaader.
7. Liigutage valitud võtmekaadrit üles või alla, et muuta järjekorda.
8. Kaamera interpolatsiooni meetod.
9. Praegu valitud 3D-vaate akna nimi.

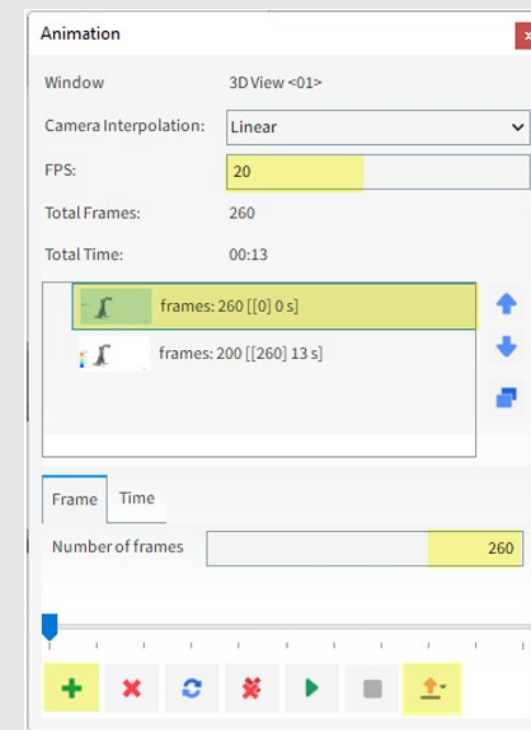
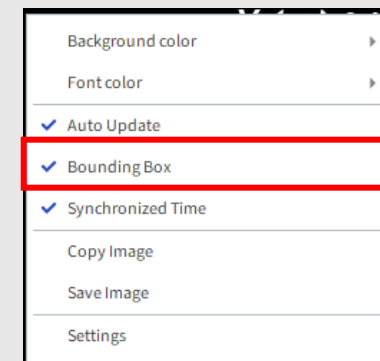




Animatsiooni tegemine

Selle õpetuse jaoks luuakse lihtne animatsioon, mis kasutab reaalsajas ainult kahte võtmekaadrit (13 sekundit).

1. Alustame piirava kasti eemaldamisega 3D-vaatest, et see animatsioonis ei kuvataks. Paremklopsake 3D-vaatel ja keelake piirav kast.
2. Kuna me kasutame ajaintervalli 0,05 sekundit, peaksime kasutama kaadrisagedust (FPS) 20 või vähem (FPS peaks olema väiksem või võrdne $1/\text{ajaintervall}$). Kasutage kaadrisagedust, mis on võrdne 20-ga.
3. Valige varem seadistatud 3D-vaade. Seejärel muutke aja tööriistaribal väljundiks 0 sekundit.
4. Lisage esimene võtmekaader, klõpsates nuppu "Add Key Frame" (roheline plussmärk).
5. Valige uus kaader ja seejärel muutke kaader vahekaardil kaadrite arv väärtuseks 260 (nagu näidatud). Kuna selles simulatsioonis on 260 väljundfaili ja meie FPS on 20, annab see meile esimese ja teise kaadri vahele kõik 13 sekundit. ($260 / 20 = 13$)
6. Muutke viimase väljundi aega tööriistaribal ja lisage teine võtmekaader.
7. Teie koguaeg peaks olema 00:13 (reaalsajas).
8. Filmi eelvaatamiseks 3D-vaate aknas klõpsake nuppu Esita.
9. Filmi AVI-faili salvestamiseks klõpsake nuppu "Export Animation" (oranž ülesse nool).





Ajast sõltuvad graafikud

Kõik omadused (properties) arvutatakse iga ajasammu ja iga kolmnurga (geometry mesh) või osakese (particle) kohta.

Ajagraafiku või mitme ajagraafiku loomiseks peate valima ühe järgmistest toimingutest, et teisendada omadused üheks ajast sõltuvaks kõveraks:

- Miinimum (Minimum): kõigi osakeste/kolmnurkade seas madalaim väärtus
- Maksimum (Maximum): kõigi osakeste/kolmnurkade seas kõrgeim väärtus
- Keskmine (Average): kõigi osakeste/kolmnurkade seas keskmine väärtus
- Summa (Sum): kõigi osakeste/kolmnurkade seas kõigi väärtuste summa
- Ruutsumma (Sum squared): kõigi osakeste/kolmnurkade seas ruutväärtuste summa
- Dispersioon (Variance): väärtuse ruuthälve keskmisest
- Standardhälve (Standard deviation): dispersiooni ruutjuur

Nii osakesed (Particles) kui ka lahendaja (Solver) sisaldavad vahekaarti "Curves", mis sisaldab mitut eelnevalt määratletud kõverat, mida saab joonistada ilma täiendavaid toiminguid rakendamata.

Name	Value	Min	Max	Unit
> custom				
Time				
Contacts Adhesive	?	?	?	-
Contacts Adhesive Geometry	?	?	?	-
Contacts Adhesive Particle	?	?	?	-
Contacts Frictional	?	?	?	-
Contacts Frictional Geometry	?	?	?	-
Contacts Frictional Particle	?	?	?	-
CPU Memory Free	?	?	?	Byte
CPU Memory Total	?	?	?	Byte
CPU Memory Usage	?	?	?	Byte
Execution Total Time	?	?	?	s
IO Fraction	?	?	?	%
Neighbor Computation Fraction	?	?	?	%
Neighbor Count	?	?	?	-
Particles Enabled	?	?	?	-
Particles Released	?	?	?	-
Particles Total	?	?	?	-
Simulation ETA	?	?	?	s
Simulation Output Index	?	?	?	-
Simulation Pace	?	?	?	s
Total Elapsed Simulation Time	?	?	?	s

Name	Value	Min	Max	Unit
Out Count per Residence Time	<Unknown>	<Unknown>	<Unknown>	-
Particles Count	<Unknown>	<Unknown>	<Unknown>	-
Particles In Count	<Unknown>	<Unknown>	<Unknown>	-
Particles Mass	<Unknown>	<Unknown>	<Unknown>	kg
Particles Mass Flow In	?	?	?	t/h
Particles Mass Flow Out	?	?	?	t/h
Particles Out Count	<Unknown>	<Unknown>	<Unknown>	-
Residence Time (Out)	<Unknown>	<Unknown>	<Unknown>	s
Residence Time (Out) Average	<Unknown>	<Unknown>	<Unknown>	s



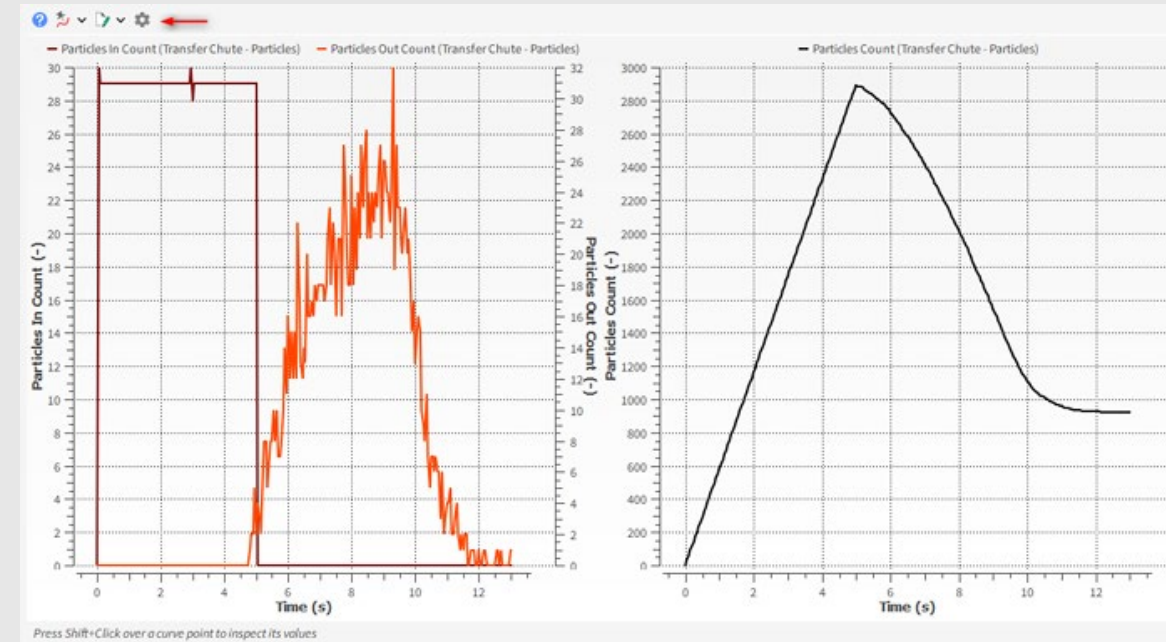
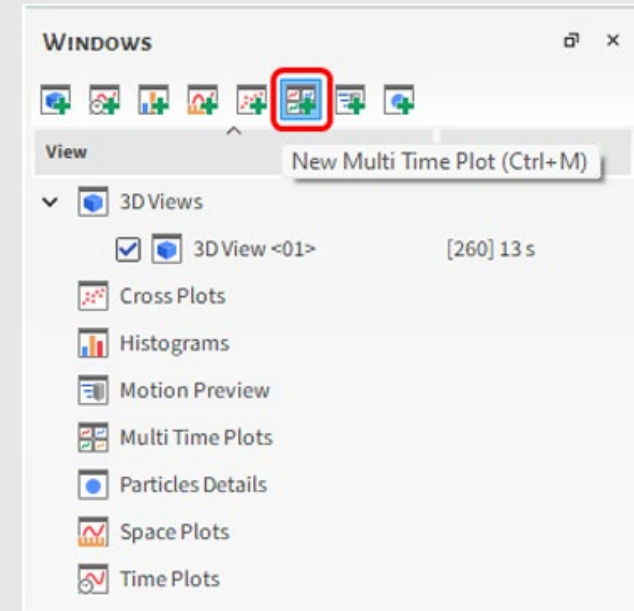
Mitme aja graafik

Mitme aja graafik (Multi Time Plot) on kasulik tööriist erinevate kõverate samaaegseks võrdlemiseks, mis on joonistatud kas samale ruudustikule või eraldi graafikule (subplot).

Selles õpetuses võrdleme domeeni sisenenud osakeste hulka (Particles In Count), domeenist lahkunud osakeste hulka (Particles Out Count) ja domeenis olevate osakeste koguhulka (Particle Count) iga väljundi juures.

Mitme aja graafiku loomiseks tehke järgmist.

1. Valige "Windows" paneelilt (kui see pole nähtav, valige "View" ja klõpsake "Windows"), valige "New Multi Time Plot" või kasutage otseteed Ctrl+M.
2. Valige "Data" paneelilt "Particles" ja seejärel "Data Editors" paneelilt "Curves" vahekaart.
3. Lohistage vahekaardilt "Curves" valik "Particles In Count" graafikuaknale. Korrake sama protseduuri valiku "Particles Out Count" jaoks.
4. Osakeste koguarvu eraldi alamdiagrammil kuvamiseks klõpsake ja hoidke all nuppu "Particles Count" ning seejärel lohistage Ctrl-klahvi all hoides kõver graafikule.
5. Joonise vasakus ülanurgas saate valida akna seadistamise, et muuta teksti kuvamist, värve, telgede piiranguid, ühikuid ja muid seotud valikuid.





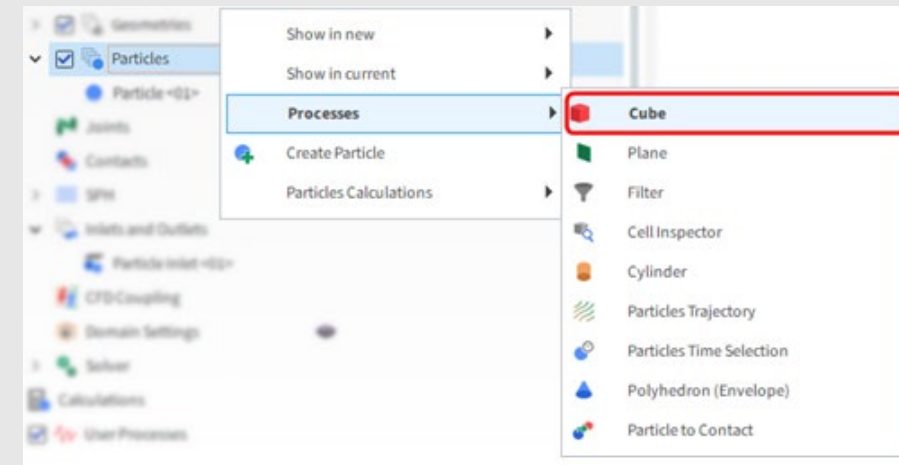
Kasutaja protsessid

Mõne DEM-analüüsi puhul tuleb andmeid piirata kindla piirkonna või materjali alamhulgaga. Rockys kasutatakse "User Processes" osakeste, geomeetria ja vedelike jagamiseks ja analüüsimiseks ning need hõlmavad järgmisi tüüpe:

- Kuup (Cube): Loo andmete alamhulk kasti piirkonna põhjal.
- Silinder (Cylinder): Loo andmete alamhulk silindri piirkonna põhjal.
- Tasapind (Plane): Loo andmete alamhulk tasapinna põhjal.
- Polüheeder (Polyhedron): Loo andmete alamhulk kohandatud kuju piirkonna põhjal, mille impordite .stl-faili kaudu.
- Omadus (Property): Loo osakeste/geomeetria alamhulk konkreetse omaduse väärtuse või vahemiku põhjal.
- Lahtri inspector (Cell Inspector): Vali üksik osake või kolmnurk (geomeetria).
- Osakeste trajektoor (Particles Trajectory): Loo osakeste teekonnajooned määratud ajavahemiku jaoks.
- Osakese aja valik (Particle Time Selection): Loo osakeste alamhulk ajafiltri põhjal.
- Euleri statistika (Eulerian Statistics): Teisenda diskreetsed omadused pidevateks väärtusteks, keskmistades väärtused diskretiseeritud piirkondade lõikes.

Nende tööriistade kasutamise illustreerimiseks kasutatakse vastuvõtukonveieri massi tasakaalustamatuse analüüsimiseks kuubi ja tasapinna kasutajaprotsessi.

Kasutatakse ühte kuupi ja kahte tasapinda: kuup isoleerib vastuvõtukonveieri ja tasapinnad jagavad need osakesed kaheks alamhulgaks: vasak (oranž) ja parem (roheline).



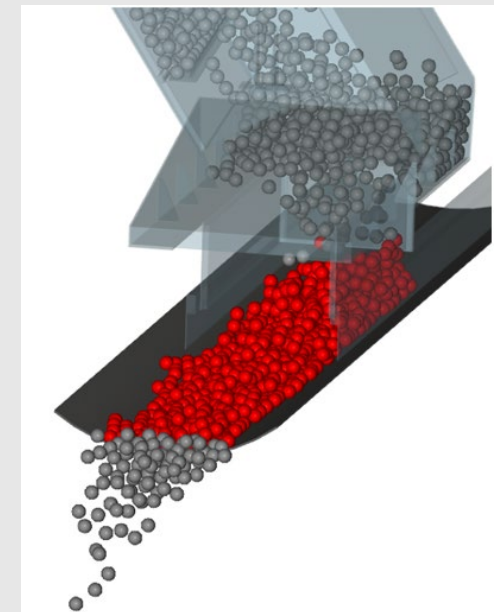
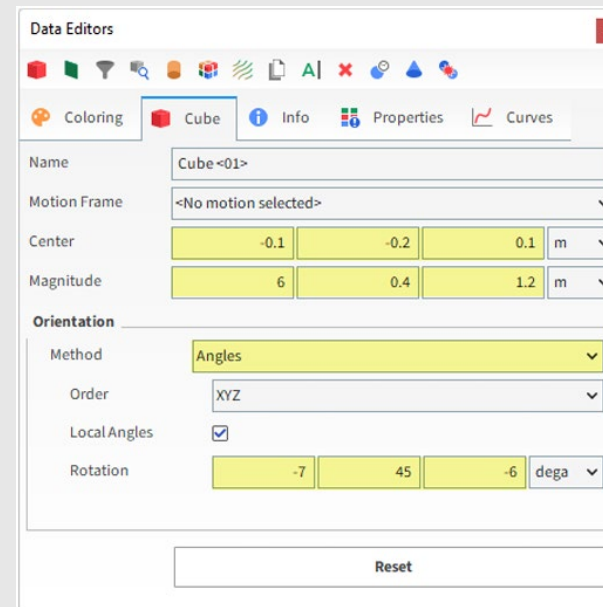
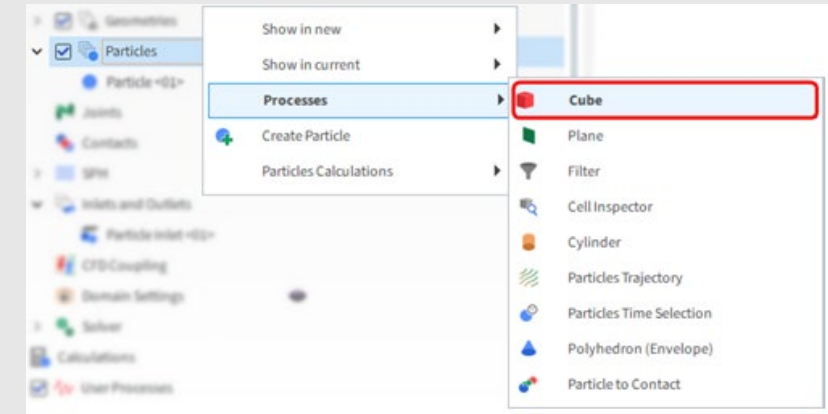
User Processes – Cube

Esimene kasutajaprotsess on kuup. Selle loomiseks tehke järgmist.

1. Paremklopsake andmete paneelil ikooni "Particles", valige "Processes" ja seejärel valige "Cube".
2. Kasutage "Data Editors" paneelil "Cube" vahekaardil pildil näidatud väärtusi
 - Keskpunkt (Center) – -0,1; -0,2; 0,1 m
 - Suurus (Magnitude) – 6; 0,4; 1,2 m
 - Meetodi (Method) – Angles
 - Pöörde (Rotation) – -7; 45; -6 dega
3. Valige "Windows" paneelilt aken "3D-vaade <01>".
4. Vahekaardilt "Coloring" märkige "Nodes" märkeruut ja valige "Property" väärtuseks "Solid Color". Veenduge, et sõlme värv (Node color) oleks punane ning märkeruut "Visible" oleks märgitud.

Märkus: Kasutajaprotsesse saab käsitsi muuta 3D-vaate abil või kohandada "Data Editors" paneelil kuvatavate parameetrite abil. Selle õpetuse jaoks defineerisime andmeredaktorite paneelil täpsed parameetrid.

Kui kuup on loodud, saab selle piirkonna osakeste alamhulka kasutada spetsiifiliste graafikute, uute omaduste ja ka sellest tuletatud uute alamhulkade loomiseks. Selles õpetuses tahame jagada ainult konveieril olevad osakesed (mida hõlmab kuup <01>) kahte rühma: vasak ja parem. Selleks luuakse kaks tasapinda, mis põhinevad osakeste kuubi alamvalikul.

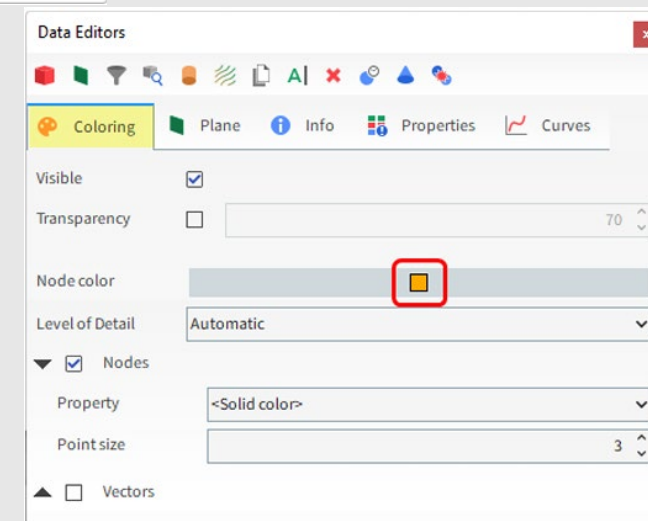
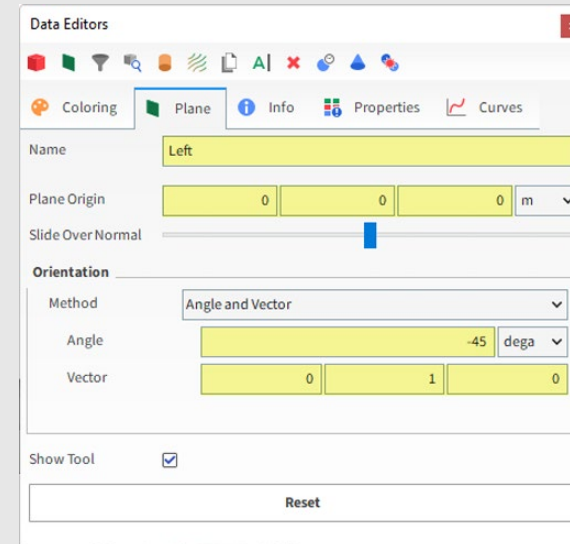




User Processes – Plane

Esimese tasapinna loomiseks tehke järgmist.

1. Paremklopsake ikooni "Cube <01>", osutage valikule "Processes" ja seejärel valige "Plane".
2. Valige "Data Editors" paneelilt vahekaart "Plane" ja seejärel määrake väärtused
 - Nimi (Name) – Left
 - Tasandi alguspunkt (Plane Origin) – 0; 0; 0 m
 - Suund (Orientation)
 - Angle – -45 dega
 - Vector – 0; 1; 0
3. "Coloring" vahekaardilt määrake "Node Color" oranž.

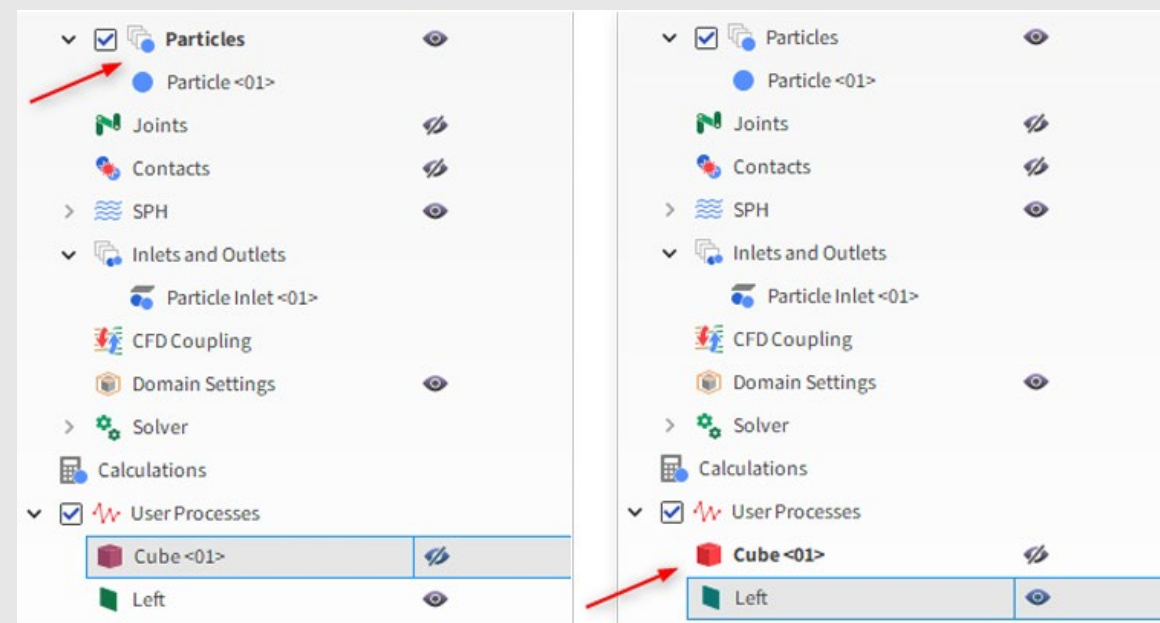




User Processes – Plane

Kui "Data" paneelil on valitud kasutajaprotsess, tõstab Rocky esile selle seose teiste kasutajaprotsessidega, kuvades ülemkasutajaprotsessi nime paksus kirjas.

Näiteks kui valite "Cube <01>", kuvatakse "Particles" paksus kirjas. Ja kui valite "Left" tasapinna, on "Cube <01>" paksus kirjas.

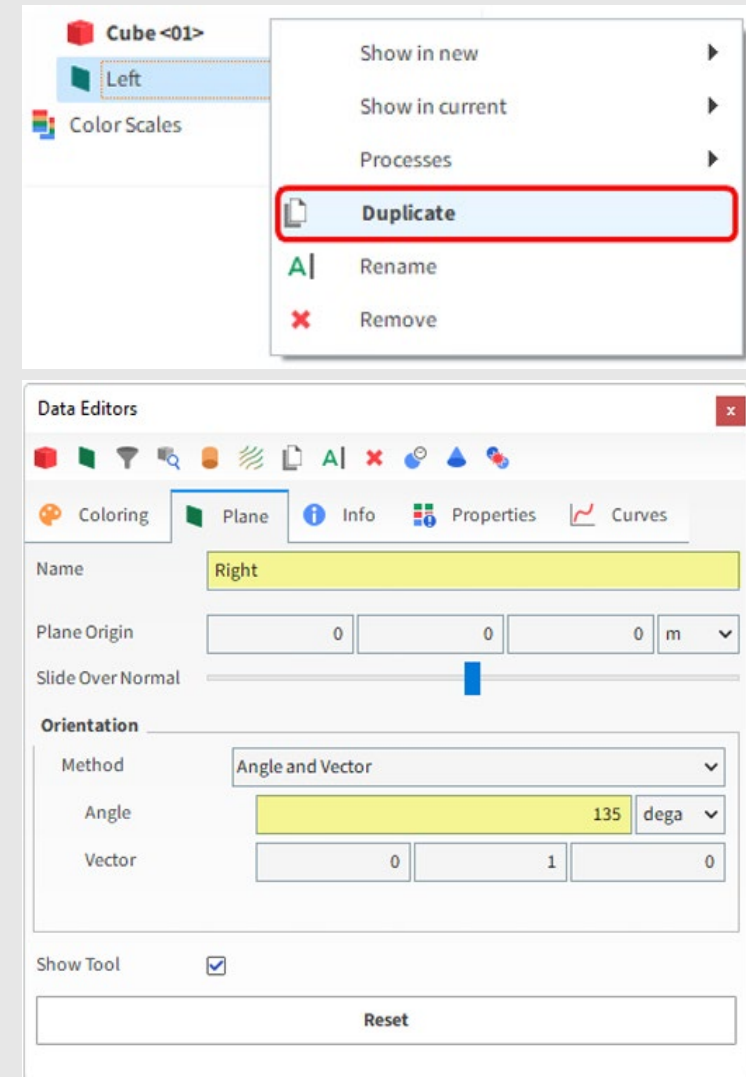
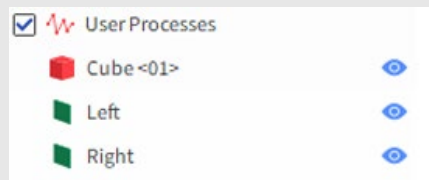


User Processes – Plane

Teine tasand on eelmisega täpselt vastupidine, seega loome sellest koopia:

1. Paremklopsake "Data" paneelil "Left" ja seejärel valige "Duplicate".
2. Valige "Data editors" paneelilt vahekaart „Plane” ja seejärel muutke väärtusi
 - Nimi (Name) – Right
 - Tasandi suund | Nurk (Orientation | Angle) – 135 dega
3. "Coloring" vahekaardilt määrake ka "Node Color" roheliseks.

Saate tasapindu 3D-vaate aknas visualiseerida, veendudes, et vasaku ja parema silmaikoonid on sisse lülitatud.





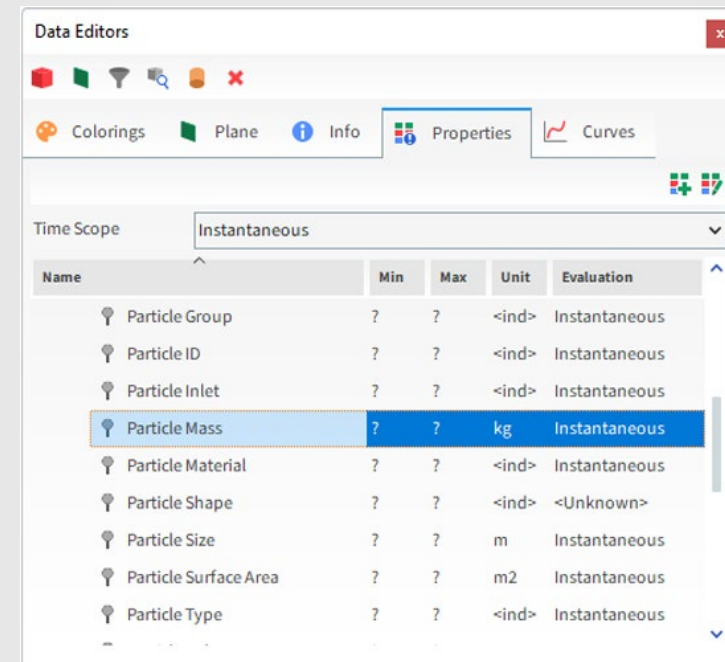
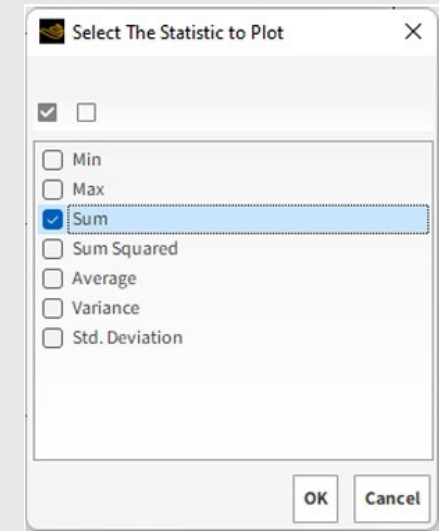
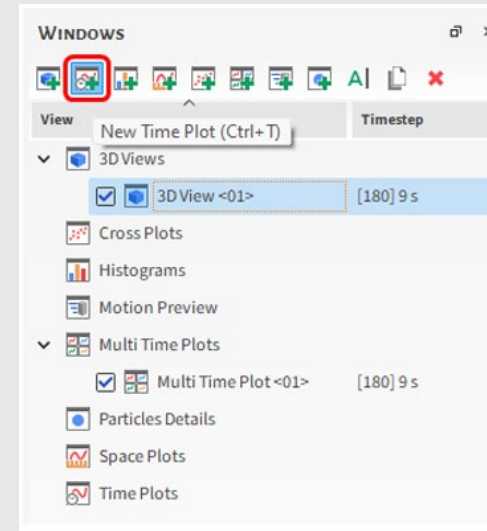
Ajagraafik

Järgmine samm on ajagraafiku loomine, mis võrdleb konveieri mõlema poole tasakaalustamatust.

1. Sarnaselt "Multi Time Plot"-iga looge "Time Plot", valides "Windows" paneelilt "New Time Plot" või kasutades kiirklahvikombinatsiooni Ctrl+T.
2. "Data" paneelilt "User Processes" alt valige nii "Left" kui ka "Right" tasapind hoides all Ctrl nuppu ja vajutades neile vasaku klahviga peale.
3. Valige "Data Editors" paneelilt vahekaart "Properties" ja lohistage seejärel "Particle Mass" graafikule.

Märkus: Omadused on kas hetkelised või statistilise analüüsi tulemusel saadud. See kategoriseerimine kuvatakse veerus „Evaluation“.

4. Kuvatakse uus dialoogiboks, kus küsitakse, millist toimingut soovite omadustele rakendada, et see kõveraks muuta. Valige ainult "Sum" ja seejärel klõpsake "OK".



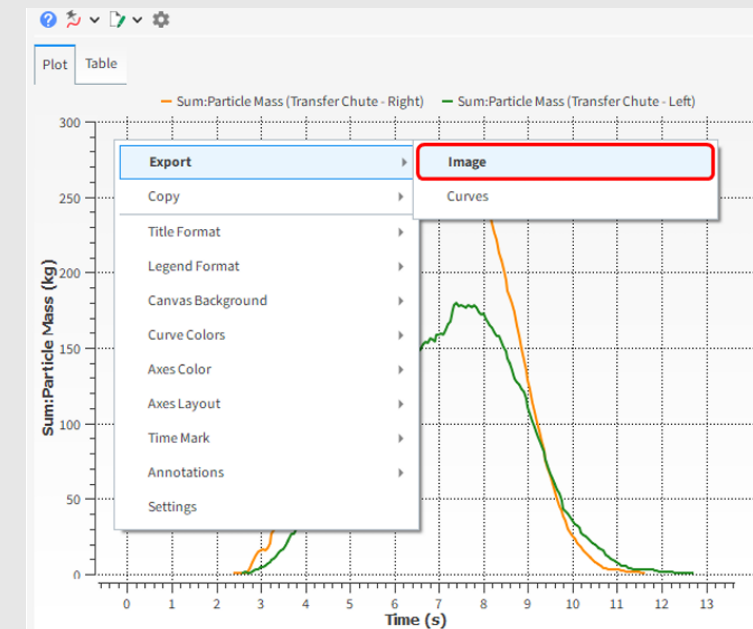
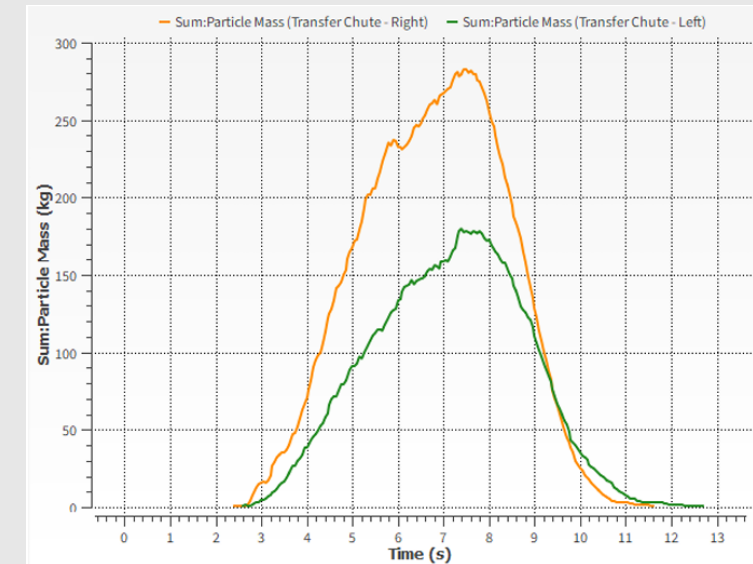


Järeltöötlus – User Processes

Kuvatav "Time Plot" näitab, et konveieri kahe poole vahel on tasakaalu erinevus, mis võib põhjustada tööprobleeme ja lindi pinna täiendavat kulumist.

Rocky graafikuid on võimalik eksportida ja 3D-vaateid piltidena salvestada.

1. Graafiku pildi eksportimiseks paremklõpsake selle tühjal alal, valige "Export" ja seejärel klõpsake "Image".
2. Valige dialoogiboksis "Image" "Snapshot Size" ja seejärel klõpsake nuppu "OK".
3. Määrake dialoogiboksis "Snapshot" failinimi, salvestustüüp, pildilaiend ja faili asukoht ning seejärel klõpsake nuppu "Save".



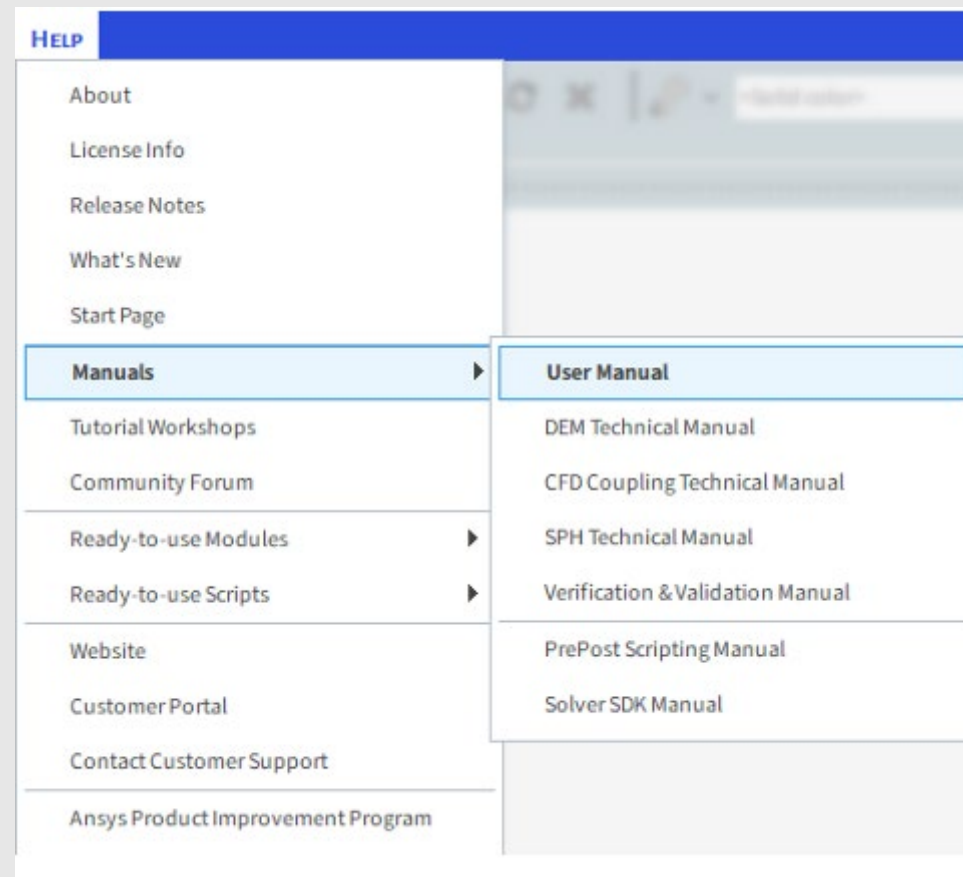
Press Shift+Click over a curve point to inspect its values



Kasutajajuhend

Lisateabe saamiseks mis tahes esitatud teema kohta soovitame otsida kasutusjuhendist, mis sisaldab tööriistade ja parameetrite põhjalikke kirjeldusi.

Sellele juhendile juurdepääsemiseks klõpsake põhitööriistaribal nuppu "Help", osutage valikule "Manuals" ja seejärel klõpsake nuppu "User Manual".



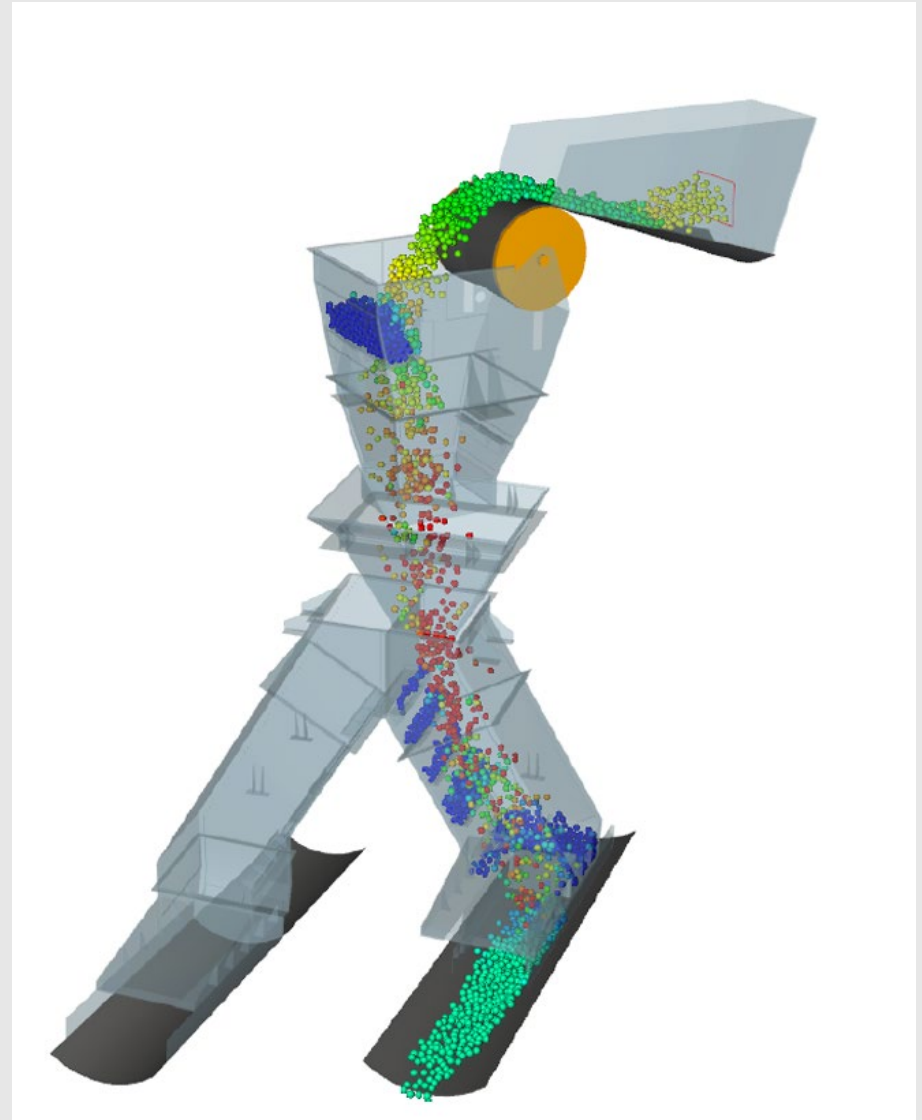
Kokkuvõte

Antud sissejuhatuse raames saite ülevaate erinevatest DEM programmidest ja nende tööpõhimõtetest.

Seejärel täpsemalt Rocky programmist mida kasutati ülekannderenni simulatsiooni seadistamiseks ja töötlemiseks.

Selle õpetuse käigus oli võimalik:

- Mõista Rocky kasutajaliidese põhitõdesid
- Importida näidisgeomeetriaid
- Määrata põhiparameetrid
- Luua oma simulatsioonist animatsioon
- Visualiseerida omadusi 3D-vaate aknas
- Joonistada omadusi ja kõveraid
- Filtreerida andmeid kasutajaprotsesside (User Processes) abil
- Kasutada järeltöötlustööriistu tulemuste analüüsimiseks ja eksportimiseks





emu.ee



maaylikool



maaylikool



Aitäh! Thank You!