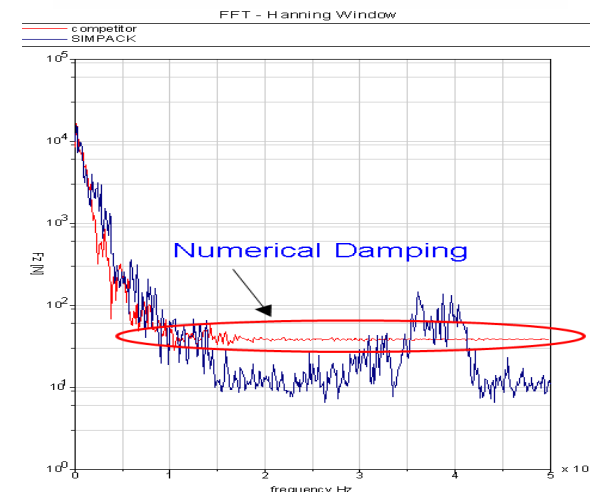
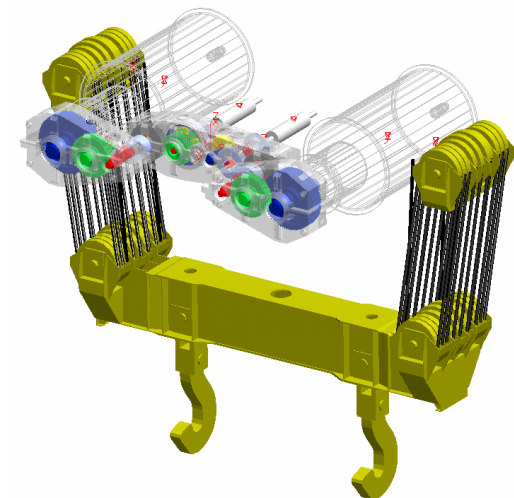


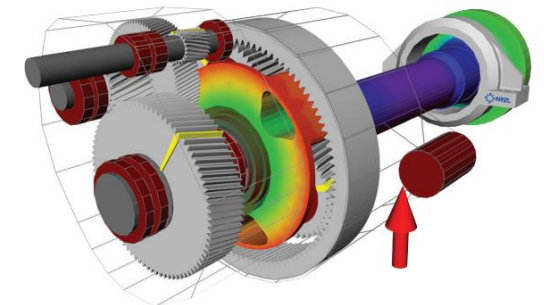
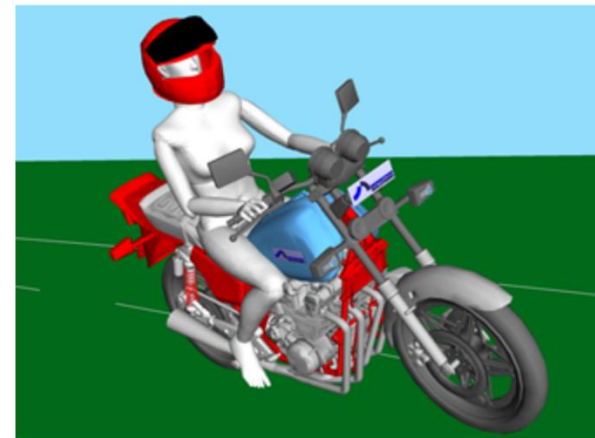
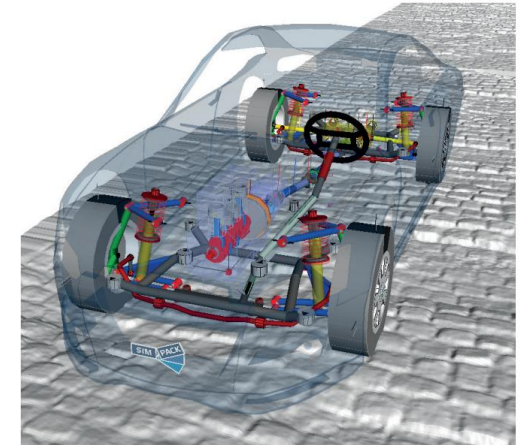
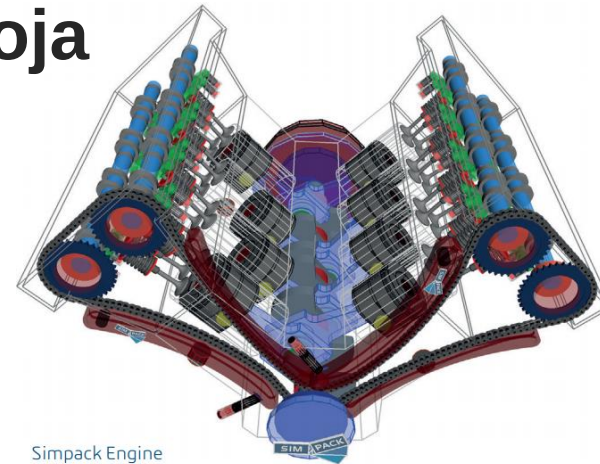
SIMULIA Simpack – Leading MBS Technology for Technology Leaders

- **Mikä on SIMULIA Simpack?**
 - Monikappalesimulointiin räätälöity ohjelmisto, jolla voidaan mallintaa mekaanisten tai mekatronisten laitteiden toimintaa
 - Voidaan rakentaa 3D-malleja joilla voidaan mallintaa laitteen liikkeitä, värähtelyjä ja voimia
- **Mihin SIMULIA Simpackia voidaan hyödyntää?**
 - Isoimmat asiakkaat autoteollisuudesta, moottorin ja voimansiirron, raideliikenteen ja tuulivoiman sektoreilta
 - Sovellettavissa mihin tahansa konetekniikan osa-alueeseen
- **Miksi valita SIMULIA Simpack?**
 - Helppokäyttöinen ja selkeä käyttöliittymä – laskentamallia mahdollista testata samalla kuin mallia rakentaa
 - Soveltuu erityisesti korkeiden taajuuksien värähtelyiden mallinnukseen, jopa akustiselle alueelle
 - Täysin muokattavissa – Voidaan automatisoida osaksi muuta tuotekehitysjärjestelmää



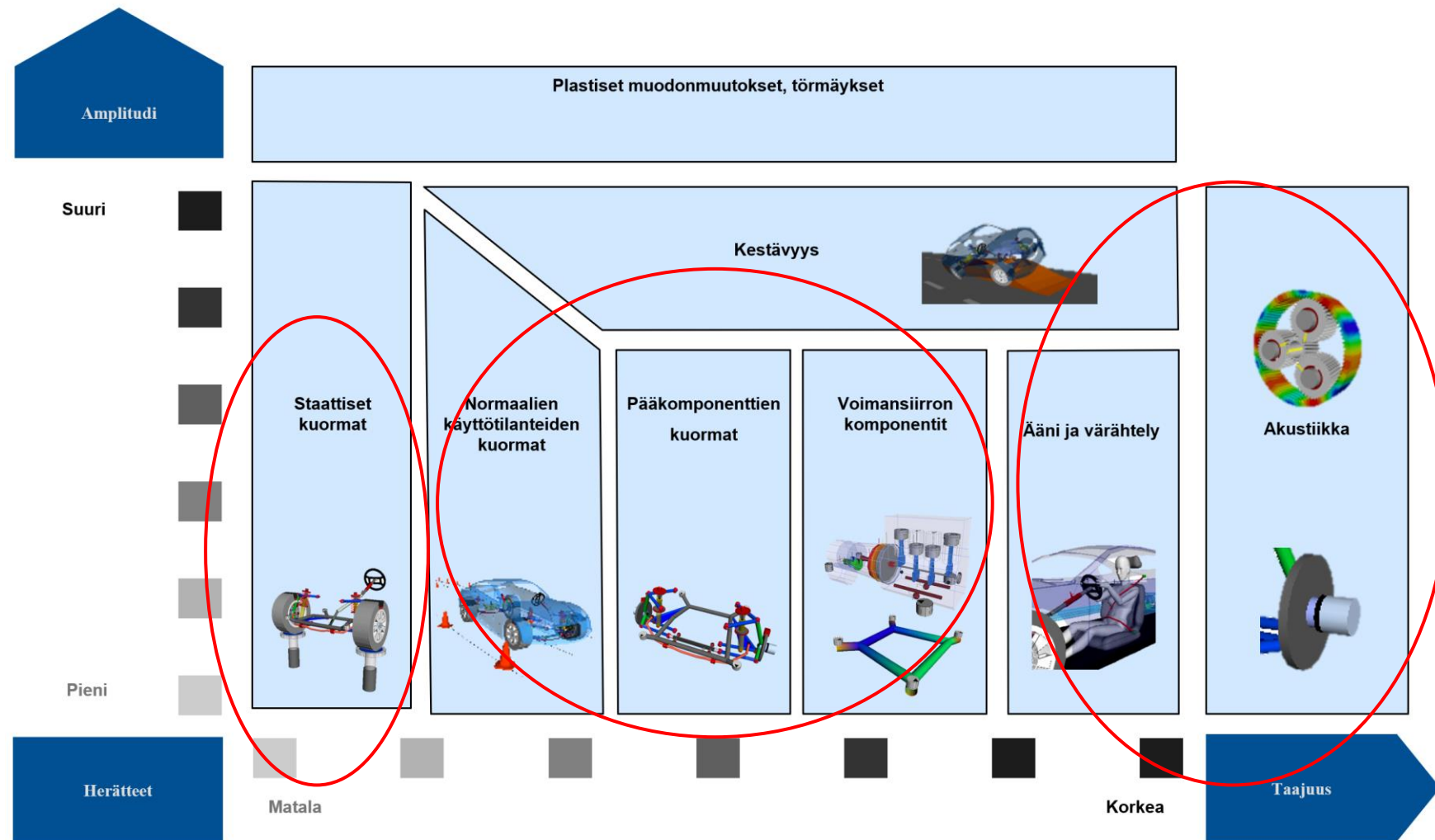
SIMULIA Simpackin Sovellusaloja

- Autoteollisuus
 - Simpack Automotive
- Voimansiirto
 - Simpack Drivetrain
 - Simpack Engine
- Melu ja värähtely
 - Simpack NVH (Noise, Vibration, Harshness)
- Tuulikuormat
 - Simpack Wind
- Biomekaniikka
 - Simpack Biomechanics



SIMULIA Simpack Sovelluskohteita

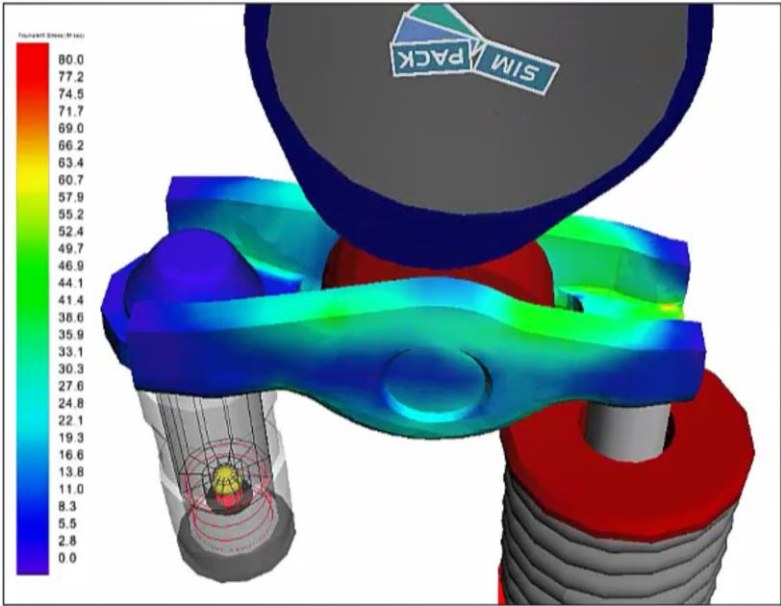
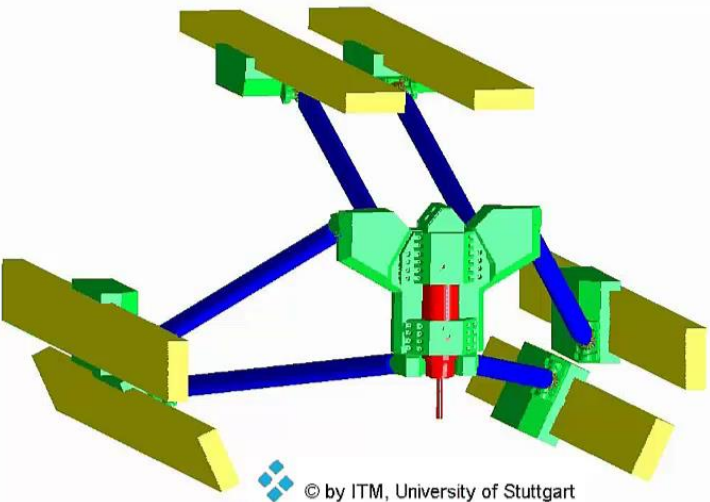
- Erilaiset simulointitarpeet eri kohteisiin:
 - Staattiset kuormitukset
 - Dynaamiset käyttötilanteet
 - Värähtelyanalyysi korkeilla taajuuksilla
- Voidaan kytkeä osaksi fyysistä mittalaitetta, ja saada simuloitua dataa reaaliajassa



Monikappalesimulointi vai FEA?

Rajataan mallinnustarkkuutta kiinnostaviin kohteisiin, jotta voidaan mallintaa koko järjestelmä, ei vain yksittäistä komponenttia

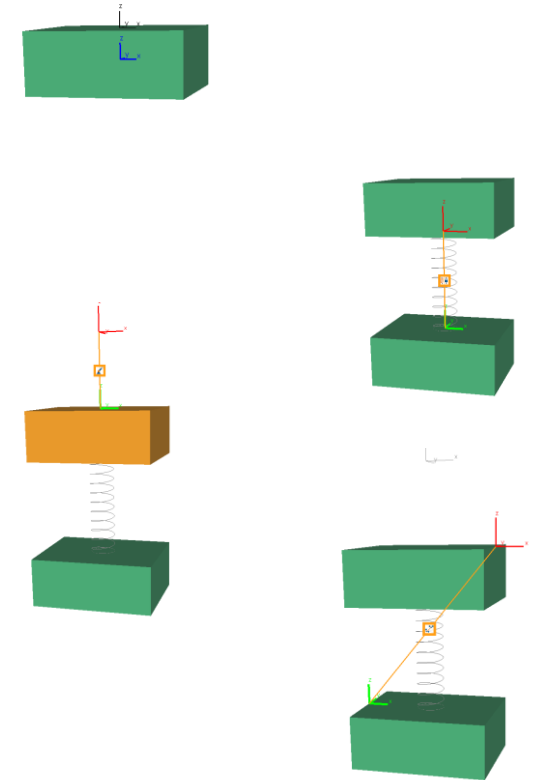
- Ilmiöiden kuvaaminen analyyttisillä kaavoilla tarkkojen kontaktimallien sijaan
- Joustavien kappaleiden raja-
us käyttöön sopivaksi
- Aikatasolaskennan mittakaava
- FEA: Sekunteja
- MBS: Minuutteja



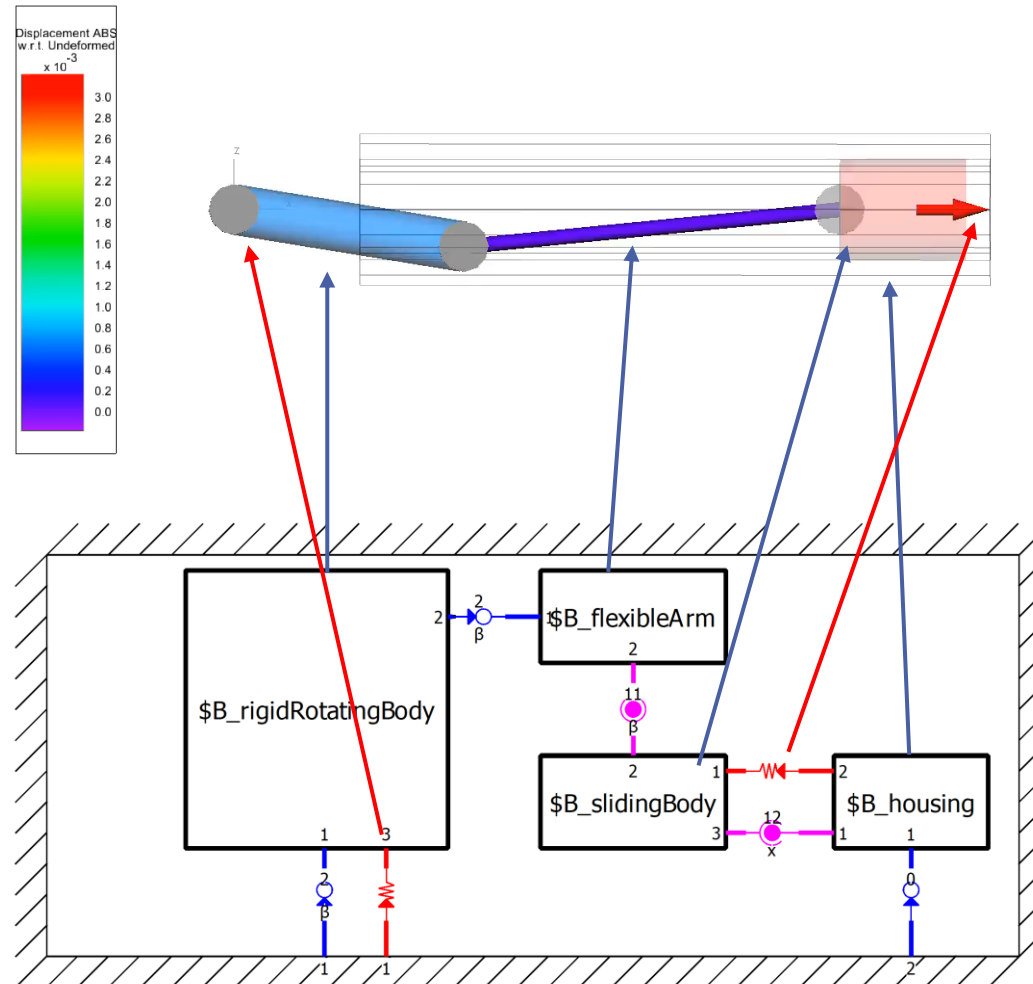
	Multibody Simulation	Finite Element Simulation
Modeling elements	Bodies, Joints, springs, dampers, ...	Material elements
Degrees of freedom (DOF)	$1 - n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^3 - n \cdot 10^7$
Typical calculation time	Seconds to hours	Hours to days
Hardware requirements	Notebook, multi-core workstation	Multi-core workstation, cluster
Static analyses	Possible, easy	Possible, main task
Dynamic analyses	Possible, main task	Possible, very slow
Complete system simulation	Possible, main task	Possible, very slow
Consideration of material flexibility	Possible, mainly linear behavior	Possible, main task, nonlinear
Typical results	Positions, velocities, accelerations, forces/torques	Stress, deformation

Mistä SIMPACK-mallit koostuvat

- Lyhyt kuvaus tärkeimmistä rakennuspalikoista:
 - **Bodyt** kuvaavat erillisiä komponentteja, jotka voivat liikkua niille annetuissa suunnissa.
 - Bodylle on määritelty vaikutuspisteitä eli markkereita, mihin kohtiin voidaan kiinnittää vaikuttavia voimia tai lukea tuloksia
 - **Force Elementit** kuvaavat fysikaalista ilmiötä, jotka vaikuttavat bodyjen liikkeeseen toisiinsa nähden, eli nimensä mukaisesti tuottavat voimia toistensa välille
 - **Connectionit** määrittelevät liikesuunnat, joissa body voi liikkua vapaasti
 - **Sensorit** keräävät tuloksia kahden valitun pisteen väliltä. Tätä tietoa voidaan tulostarkastelun lisäksi hyödyntää myös laskennan aikana
- Näitä osia käyttämällä kootaan halutunlainen kokonaisuus, mikä kuvaa simuloitavaa järjestelmää mahdollisimman tarkasti kiinnostavan ilmiön kannalta

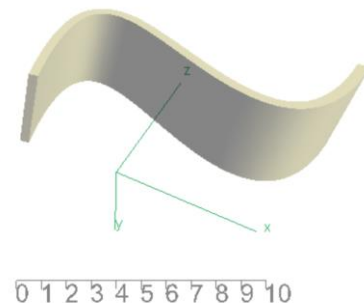
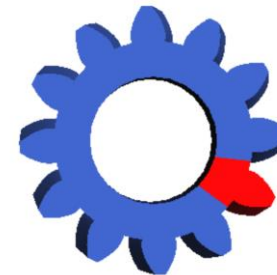
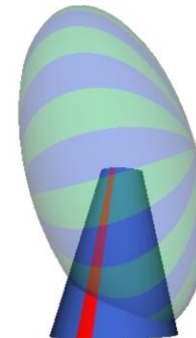
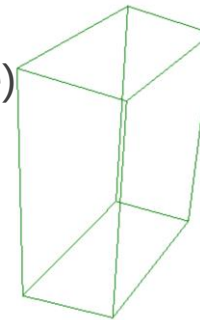


Mistä SIMPACK-mallit koostuvat



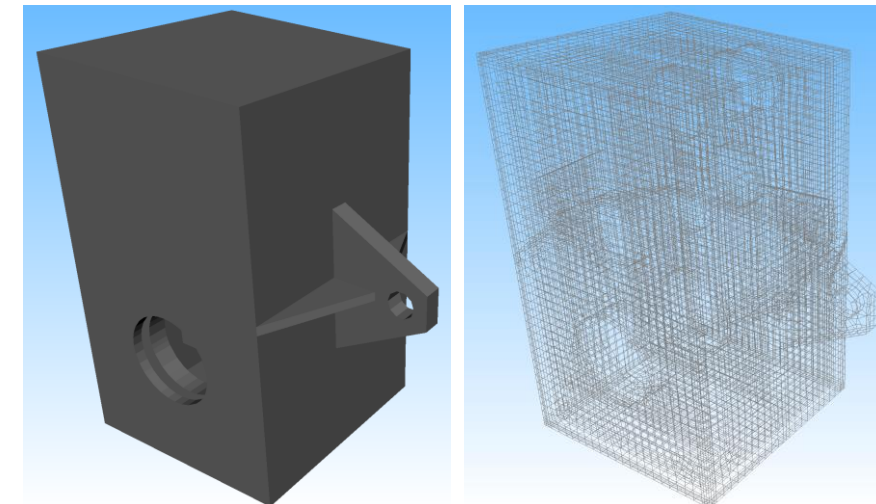
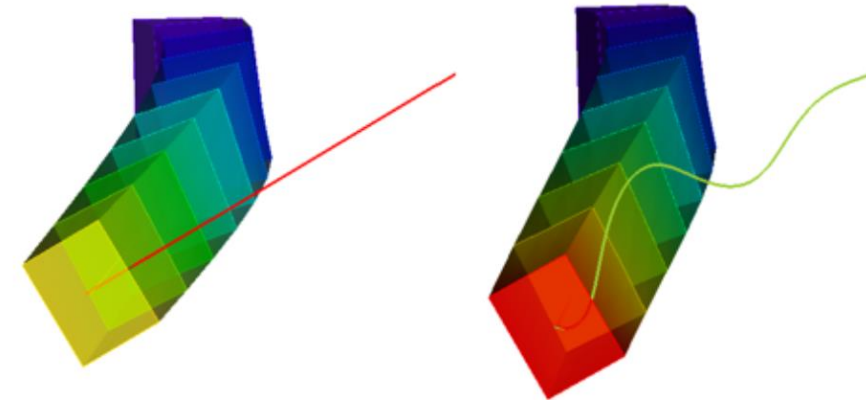
Bodyt ja primitivet

- **Body:** Jäykkä tai joustava kappale, jolle on määritelty seuraavia asioita
 - Geometria (yksi tai useampia primitiveja)
 - Pisteet mihin voimat tai nivelet vaikuttavat (Marker)
 - Massa ja hitaus (Automaattinen tai käyttäjän määrittelemä)
 - Joustavat osat voivat olla joko palkkielementtejä tai redusoituja FEM-malleja
 - Abaqus/Ansys/Nastran
- **Primitive:** Bodyn osa, joka määrittelee kappaleen geometriaa
 - Voi olla yksinkertainen geometriamuoto
 - CAD-malli
 - Voi perustua myös FEM-mallin verkkoon (joustava kappale)
- CAD – maailmassa vastine:
 - Body: Part, yksittäinen osa
 - Primitive: Osan geometrinen piirre



Joustavat kappaleet

- **SIMBEAM:** Palkkielementti
 - Määritetään solmupisteiden ja poikkileikkauksien avulla
 - Voidaan mallintaa lineaarisena tai epälineaarisenä
- **Flexible body:** FE-ohjelmistolla ratkaistu superelementtimalli
 - Tiivistetään malli siten, että ennalta määrättyjen pisteiden välistä käyttäytymistä pystytään mallintamaan realistisesti
 - Jäykkyys- ja massamatriisin avulla saadaan vastaava käytös liitäntäpisteiden välille, kuin mitä saataisiin jos käytettäisiin kokonaista elementtiverkkoa
 - Verkon tiivistäminen muutamaaan pisteeseen vähentää vapausasteiden määrää huomattavasti mikä mahdollistaa monikappalesimulointiin sopivan laskenta-ajan
 - Käyttäjä voi määritellä, mille taajuusalueelle asti tulokset ovat tarkkoja
 - Korkeampi taajuus -> pidempi laskenta-aika



Jouset ja vaimentimet

- Lineaariset ja epälineaariset jouset + vaimentimet
- Virtausvaimentimet, joissa öljynvirtaus huomioitu
- Virtual Suspension:
 - Voimaelementti/nivel, jolla voidaan mallintaa realistinen renkaan tuenta mallintamatta jokaista mekaanista yksityiskohtaa

Figure 1. Suspension kinematics and spring-damper elements.

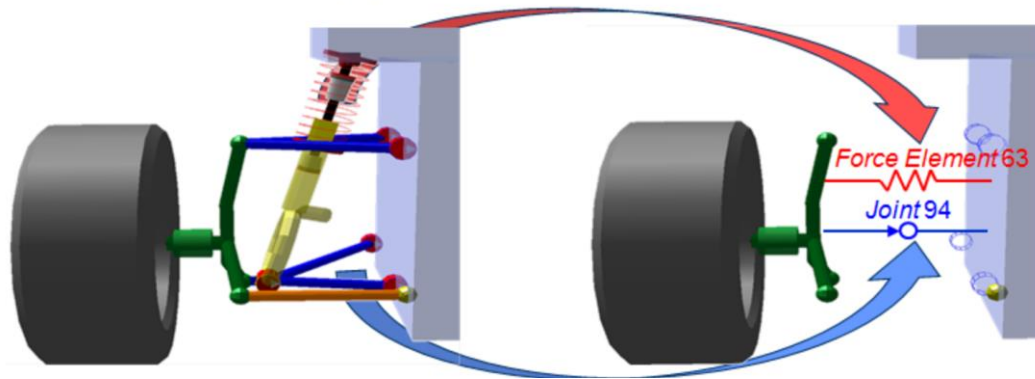


Figure 2. Component structure (without structural stiffness).

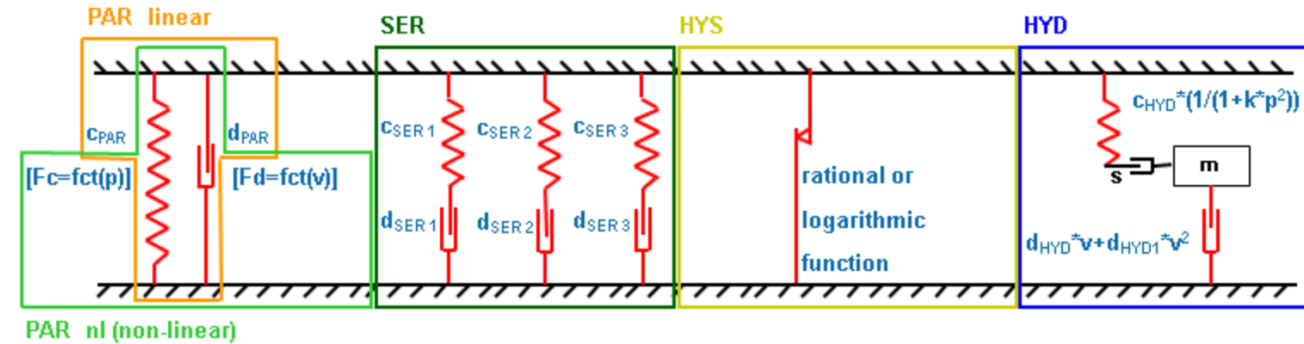
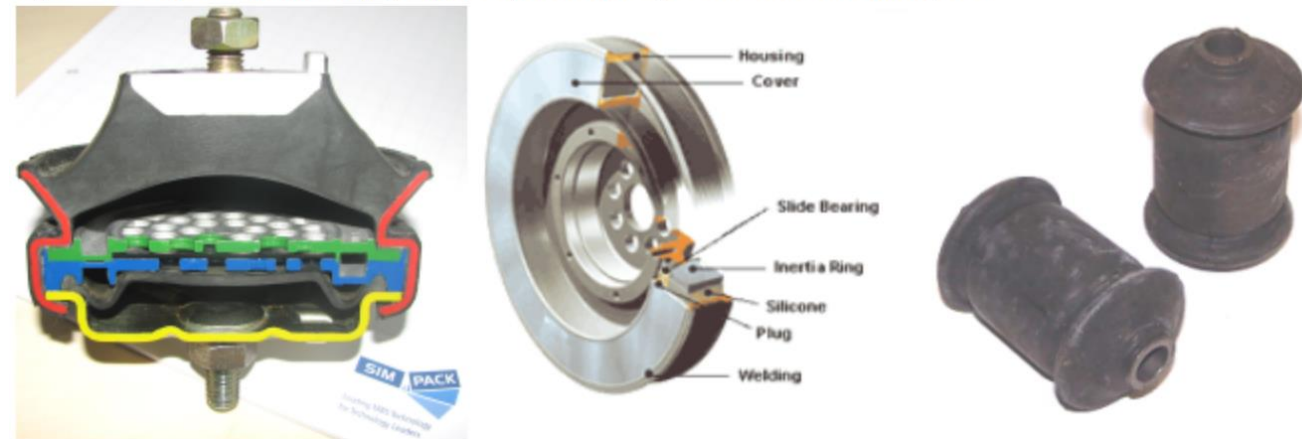
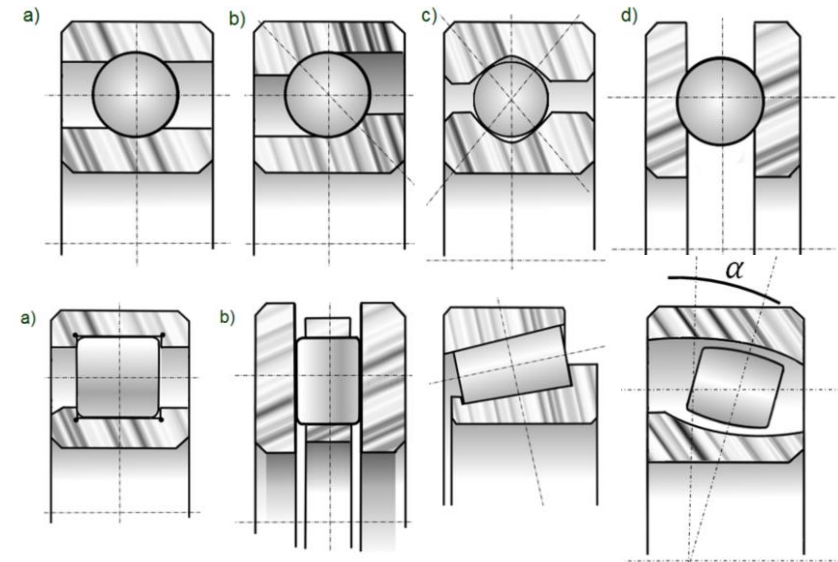
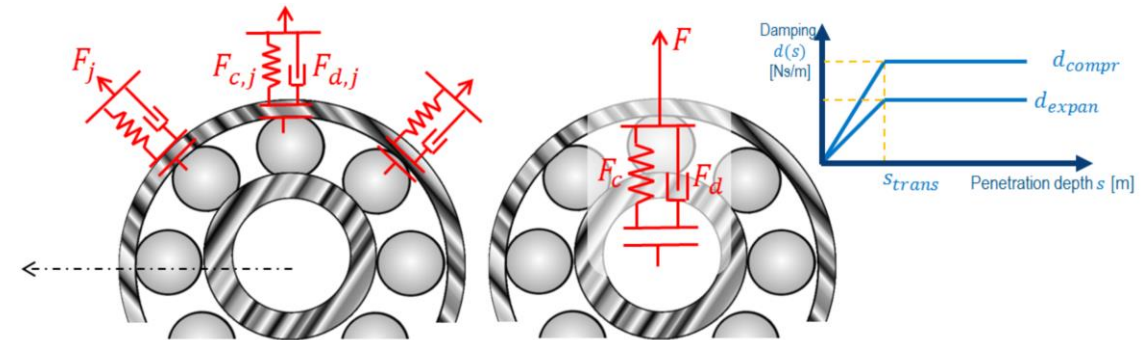


Figure 1. Suspension bushings, engine hydromounts, crankshaft viscoudampers.



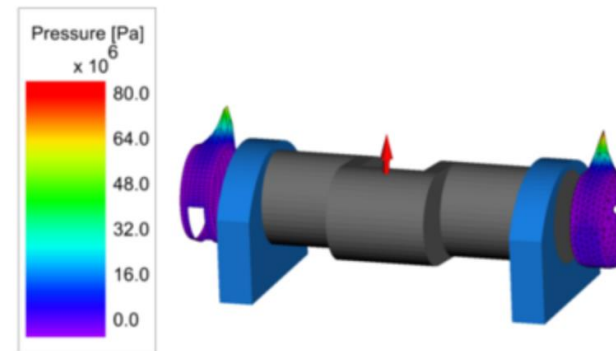
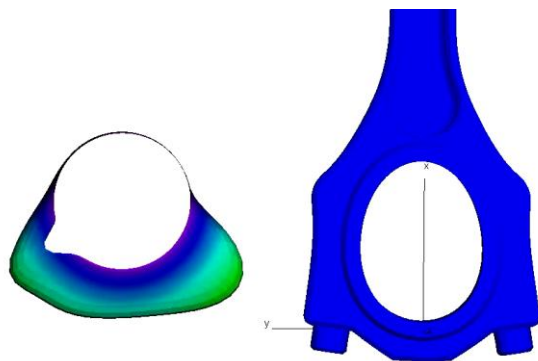
Vierintälaakerit

- Kuula- ja rullalaakerit:
 - Geometriatietoihin perustuen
 - Kuulalaakerit
 - Sylinterirullalaakerit
 - Kartiorullalaakerit
 - BearinX: Laakerivalmistajan antamiin jäykkyystiedostoihin perustuen
 - REXS – Reusable Engineering EXchange Standard
 - Voidaan siirtää dataa laskentaohjelmistojen välillä standardisoidussa muodossa, esim. KISSsoftista
- Yksinkertaistettu mallinnustapa:
 - Lineaarijousella mallinnettu jäykkyys radiaali- ja aksiaalisuunnassa
 - 6x6 jäykkyyismatriisi (laakerivalmistajien määrittelemä tietyllä kuormalla)

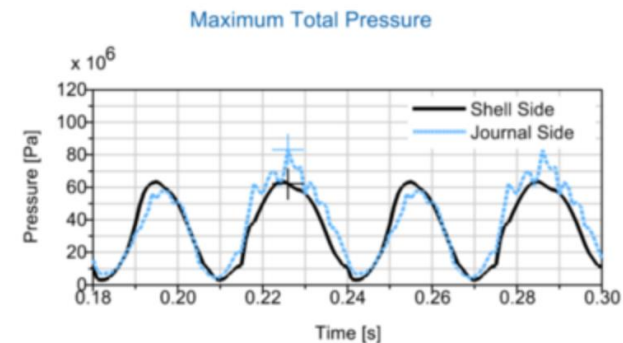
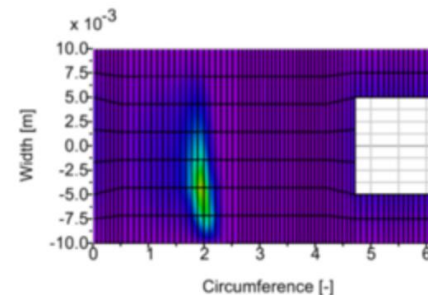


Liukulaakerit

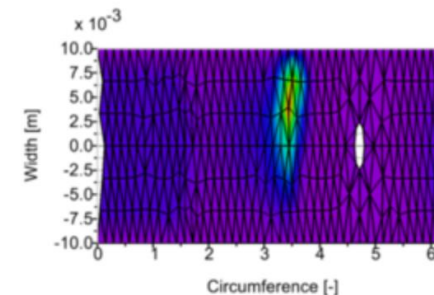
- Geometrietietoihin perustuen
 - Käyttäytyminen määräytyy ulkomitoista ja materiaaleista
 - Voidaan huomioida vastinpintojen epäjatkuvuuskohdat
- Voidaan käyttää myös joustavia vastinpintoja
- Voiteluaine voidaan huomioida
 - Öljykalvon jakautuminen



Total Pressure - Shell Side

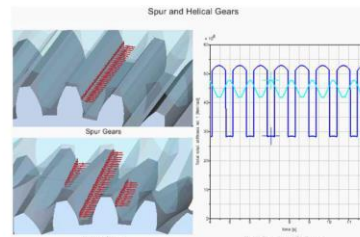
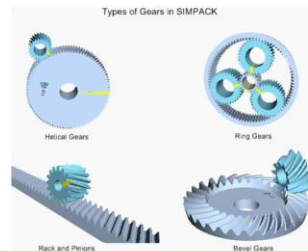
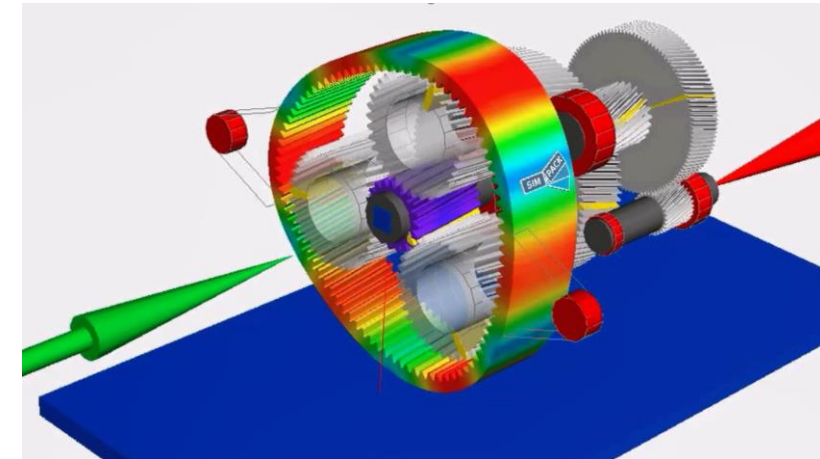


Total Pressure - Journal Side

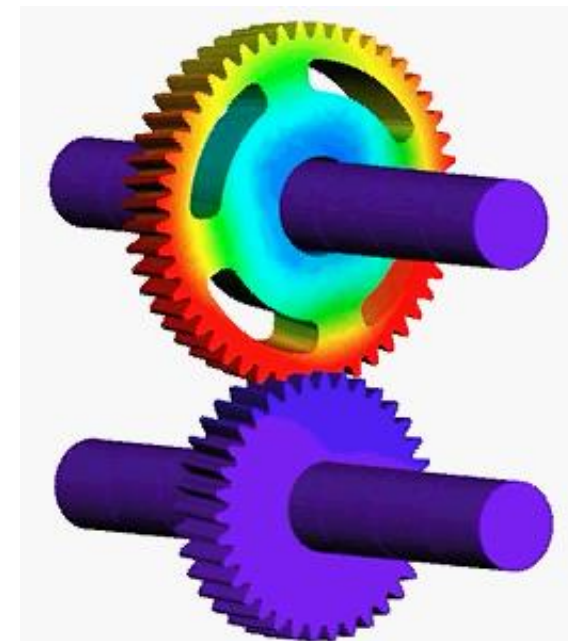
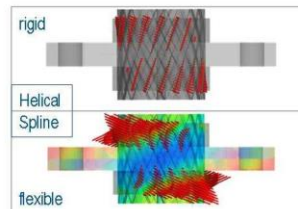
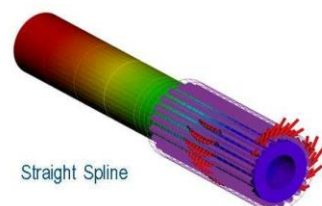
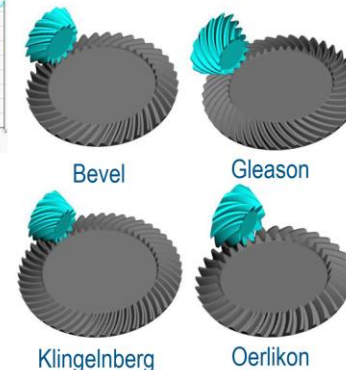


Hammaspyörät

- Mahdollista mallintaa erityyppisiä hammasvaihteita
 - Lieriöpyörät, planeettapyörät, lautaspöörät, matovaihteet
- Voidaan mallintaa joko jäykkinä tai joustavina kappaleina
 - Jäykissä kappaleissa joustot arvioidaan analyttisten kaavojen perusteella
 - Joustavissa malleissa voidaan huomioida hammaspyörän rungon jousto tai myös hampaan jousto
- Voidaan käyttää vain makrogeometriaa, tai huomioida myös tarkempi kontaktianalyysi mikrogeometrian kanssa

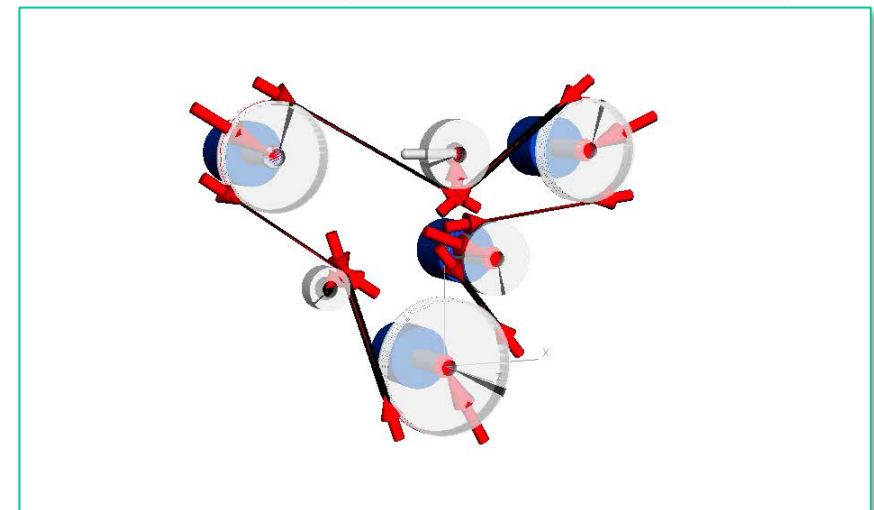


Bevel & Hypoid



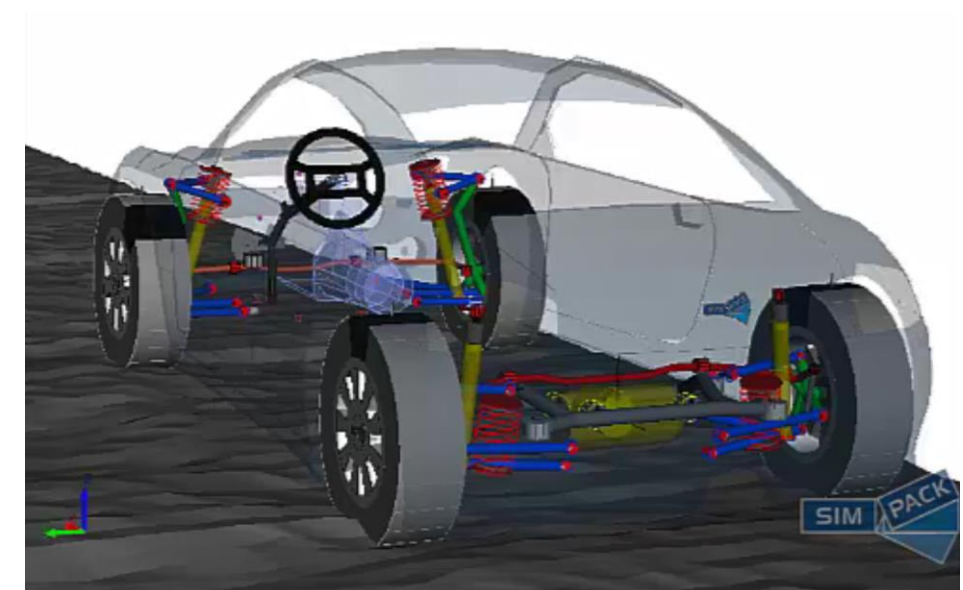
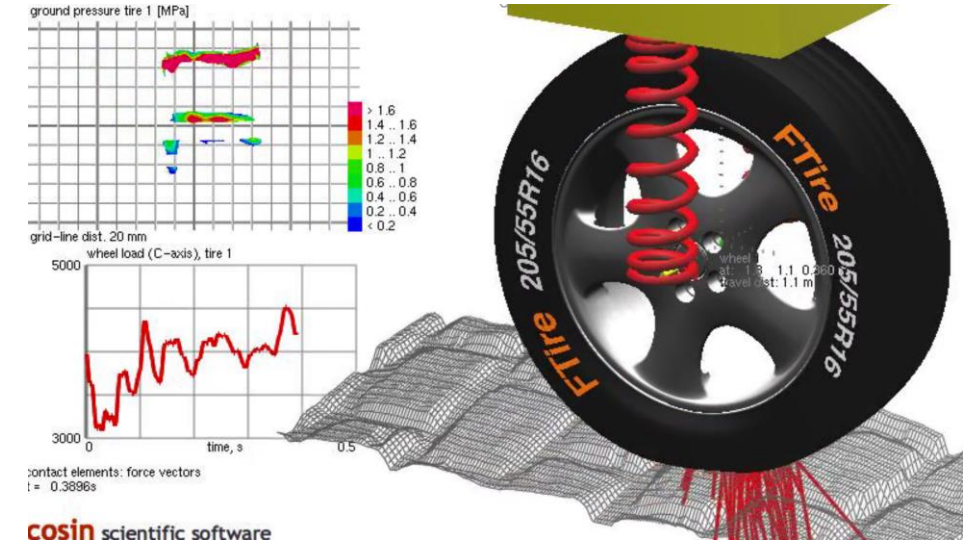
Muita voimansiirtomalleja

- Ketjuveto
 - Voidaan mallintaa ketjun dynamiikka siten, että jokainen yksittäinen ketjulenkki ja niiden väliset voimat on mallinnettu
- Hihnaveto
 - Voidaan määritellä hihnan ominaisuudet sekä hihnapyörien käyttäytyminen
- Hammaskytkin
 - Voidaan mallintaa joko tarkkoihin hammasgeometrioihin perustuen tai yksinkertaistettuna
- Vaihteiden synkronointi
 - Vaihtenvaihdon mallinnus
- Kitkalliset kytkimet
 - Perustuen geometriaan, ulkoisiin voimiin ja kitkamalliin



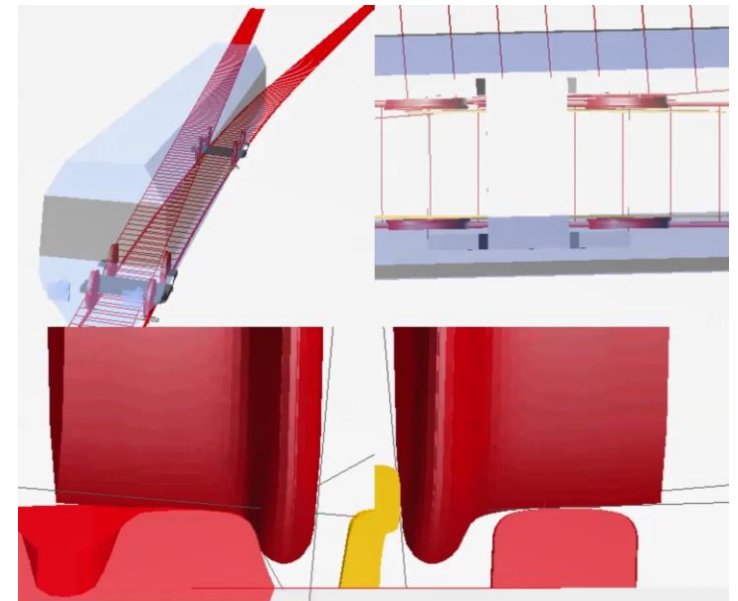
Renkaat ja tiemallinnus

- Useita eri tapoja mallintaa renkaiden käyttäytymistä
 - Ajoneuvon hallintaan ja yleiseen mallinnukseen riittää yleensä kevyemmät rengasmallit, mutta esimerkiksi rengasmelun analysointiin löytyy tarkkoja malleja mitkä toimivat erillisen laskentaohjelmiston kanssa
 - Simpackin sisäänrakennetut:
 - Pacejka, Standard Tyre Interface, HSRI, TMEasy
 - Tarvitsee lisäksi 3. osapuolen ohjelmiston:
 - FTire, CDTire, Delft-Tyre
- Erilaisia tiemalleja
 - Yksinkertaisiin geometrioihin perustuvat
 - RDF: Road Definition File – Tiemalli joka on verkotettu elemenettimenetelmällä
 - CRG: Curved Regular Grid: Yleisesti käytössä oleva tiepintojen mallinnusformaatti



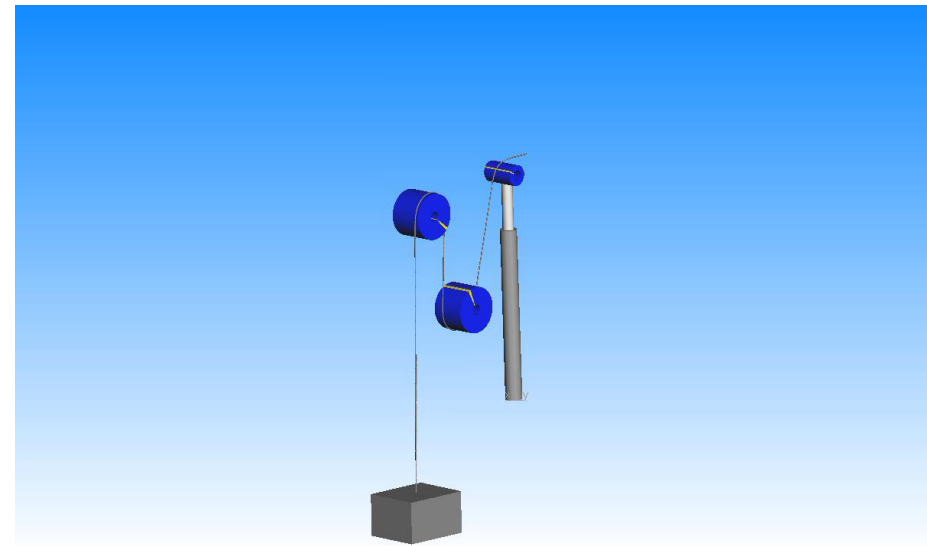
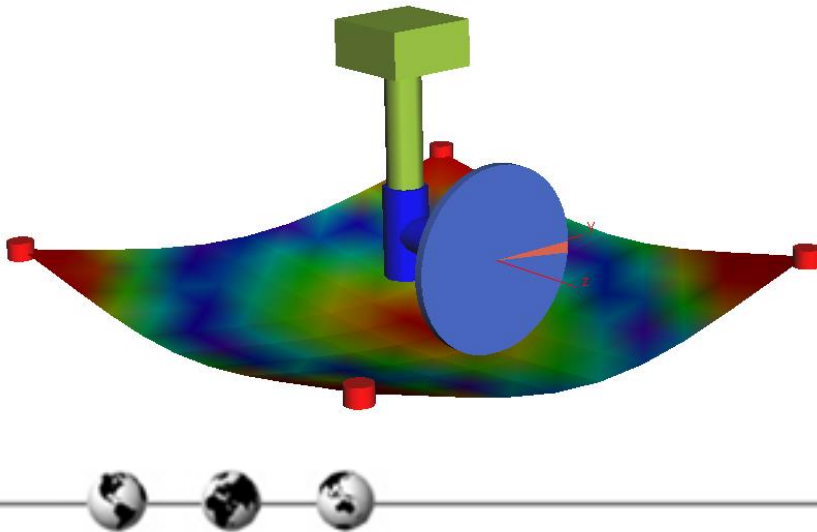
Vaunut ja raiteet

- Simpackilla 25v kokemus raideliikenteen simuloinnista
 - Paljon osaamista ja yksityiskohtaista tietoa saatavilla
 - Laajasti tunnettu ohjelmisto raideliikenteen parissa
- Paljon erilaisia raideliikenteen simulointiin tarkoitettuja voimaelementtejä
- Tarkka vaunupyörän ja raiteen välinen mallinnus
 - Voidaan myös huomioida pyörän ja raiteen joustot
 - Voidaan arvioida pyörien ja raiteiden kulumista todellisissa käyttöolosuhteissa



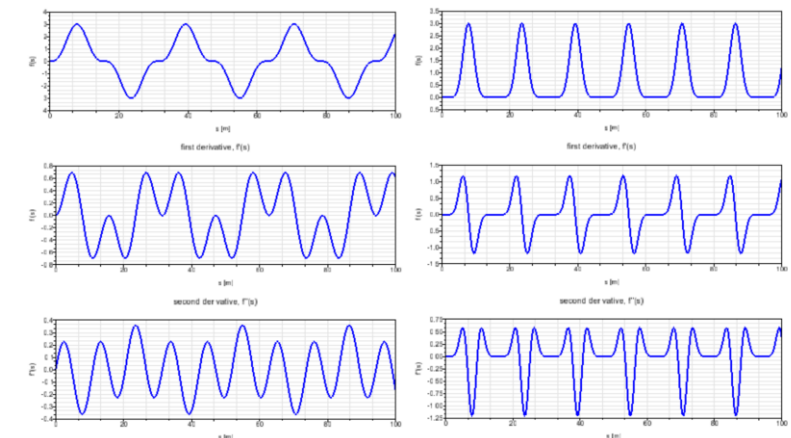
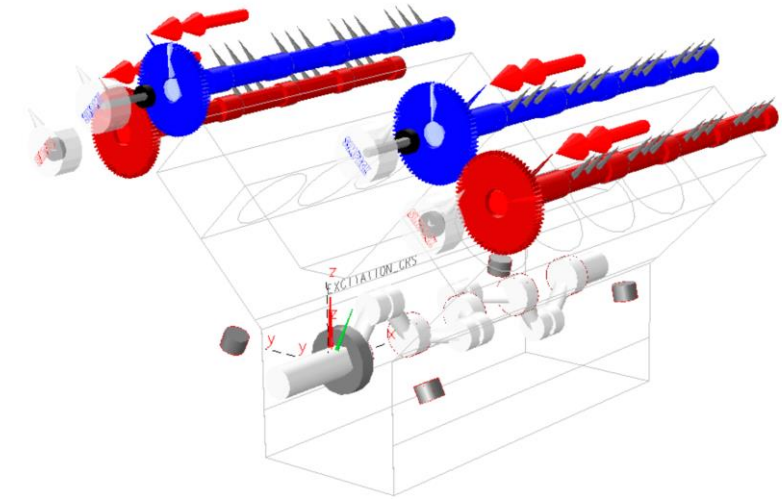
Kontaktit

- Voidaan määritellä useilla eri tavoilla:
 - Onko kappaleiden välillä osuma ottamatta kantaa reaktiovoimiin
 - Kontaktipisteisiin määritellyt liikkuvat marker-pisteet
 - Laskentakaavalla määritetty kontaktitapahtuma
 - Geometriatietoihin perustuen
 - Voidaan huomioida myös kappaleiden joustot



Herätteet

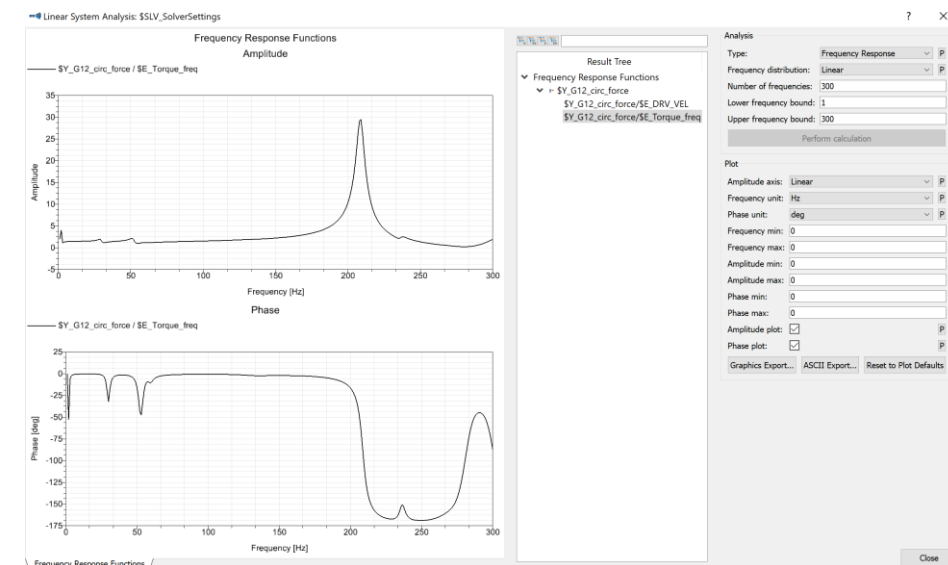
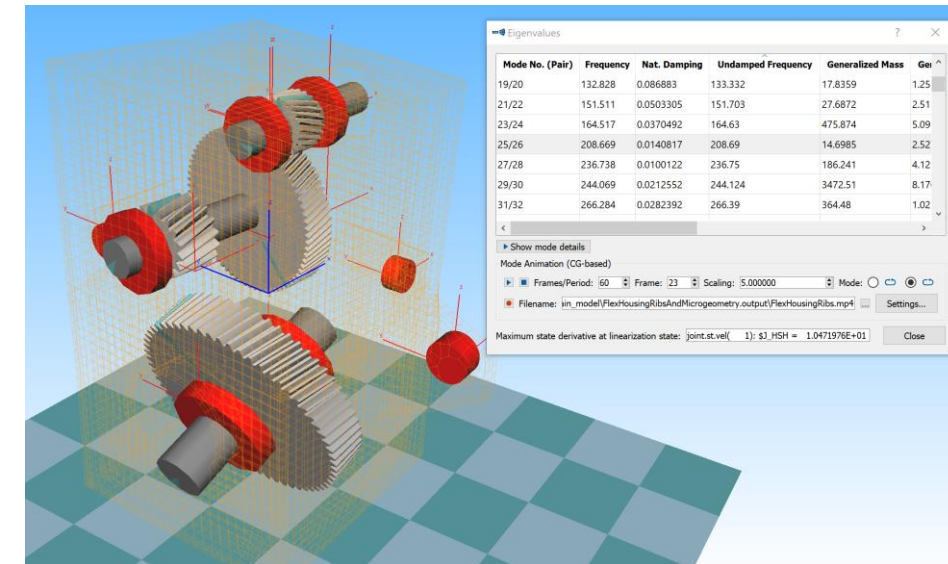
- Taajuustason herätteet
 - Taajuus-vastelaskennassa käytetyt yhteen tai useampaan pisteeseen vaikuttavat liike- tai voimaherätteet
- Aikataason herätteet
 - Toistuva laskennallinen heräte tai käyttäjän manuaalisesti määrittelemä
 - Voima, liike, tienpinnan muutos
- Herätedatan tuominen ulkoisesta tiedostosta
 - Kuormitushistoria, tai toisella ohjelmistolla käyttötilannetta vastaava heräte (esim. Simulink)



Simpackin ratkaisijat

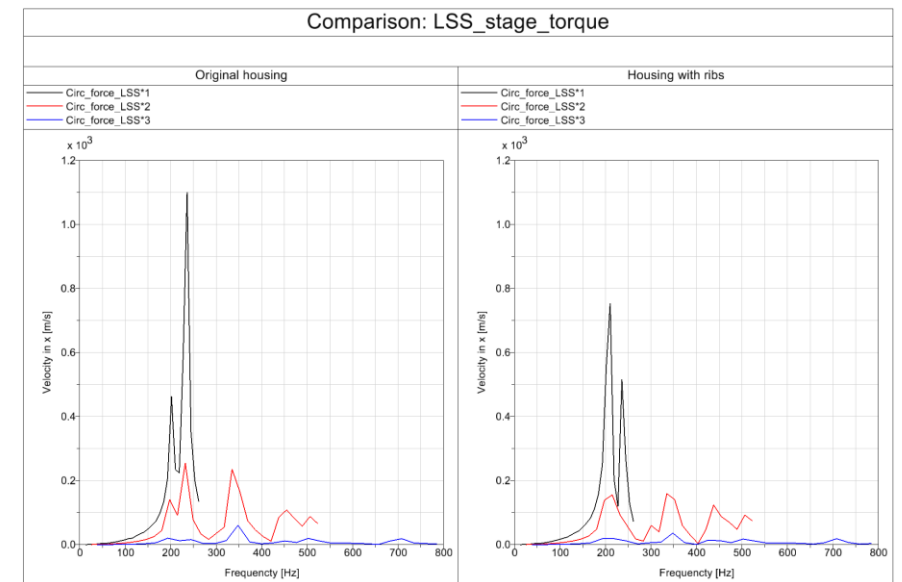
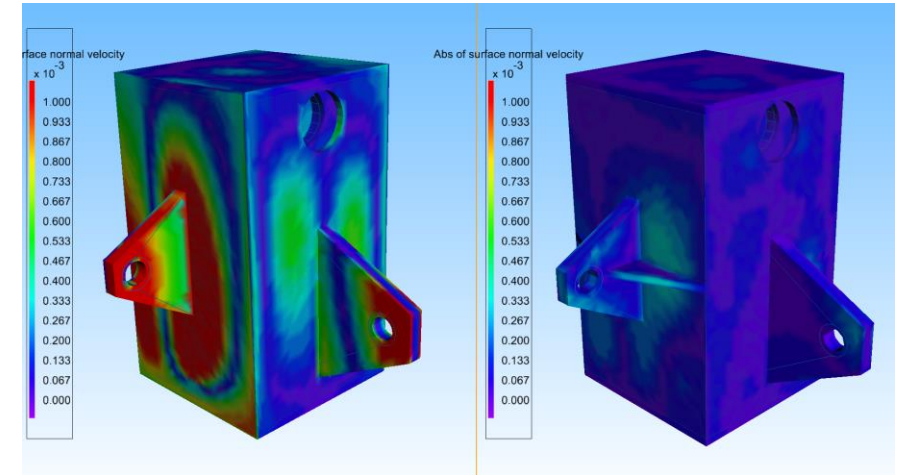
Solvers

- **Equilibrium** – tasapainotila
 - Haetaan mallille (kvasi)staattinen tasapainotila muuttamalla komponenttien tiloja siten, että tasapainoasema saavutetaan
 - **Preload** on vastaavanlainen, mutta siinä tasapainotila haetaan määrittelemällä jousille esikiristys siten, että liikettä jousipisteiden välillä ei tapahdu
- **Time integration** – aikatasolaskenta
 - Yleisin ratkaisija, jota käytetään aikatasolaskennassa. Voidaan käyttää suoraan mallia luodessa (online) tai koko mallin ratkaisemisessa
- **Eigenvalues** – ominaistajuudet
 - Ominaistaajuuksien laskenta
- **Linear System Analysis** – Mallin linearisointi
 - Taajuus-vaste-laskenta

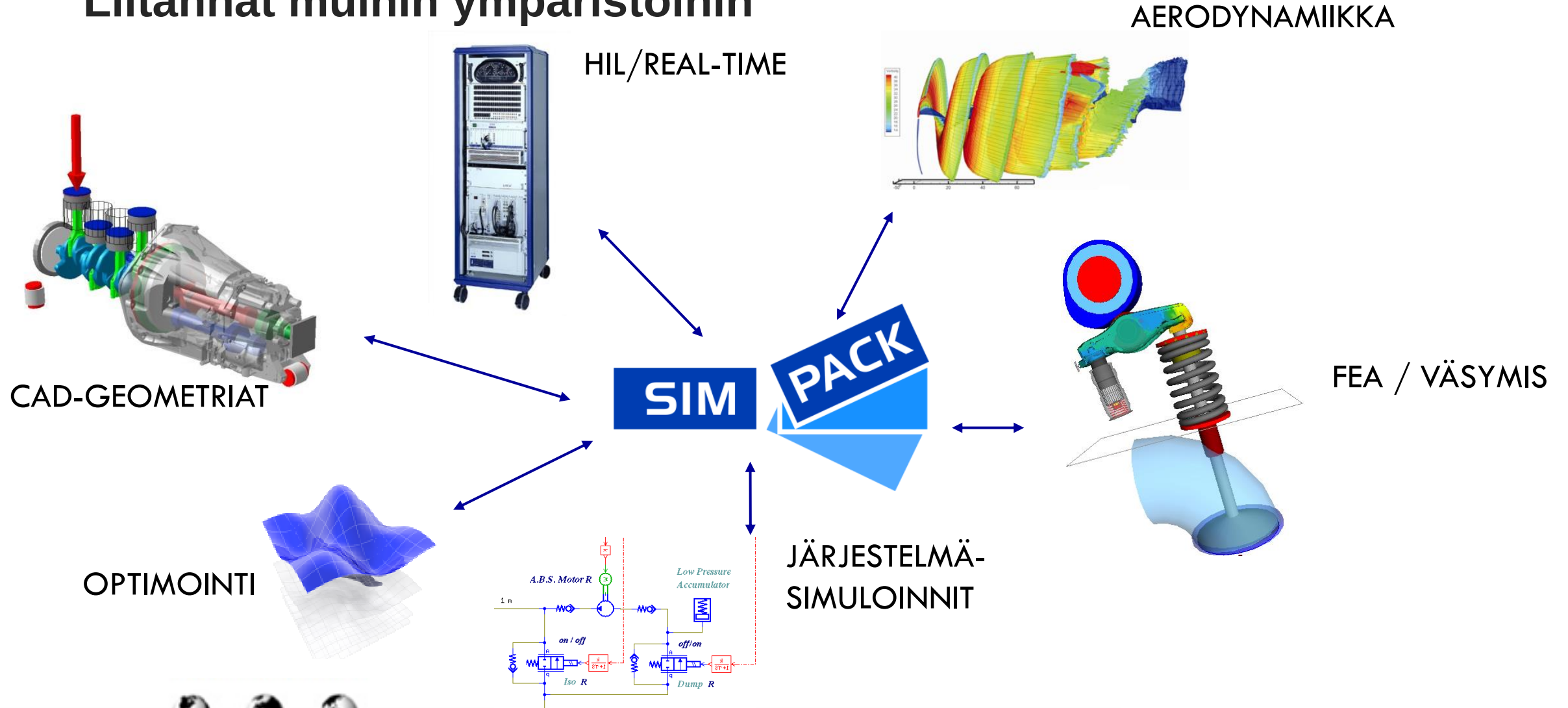


Tulostenkäsittely

- Animaatiot
 - Voidaan kuvata mallin liikkeitä siten kuin mallin rakennusvaiheessa, tai keskittyä haluttuihin osiin
 - Kameraa voidaan ohjata suhteessa tiettyyn osaan
 - Voidaan tallentaa myös videomuodossa
- Signaalinkäsittely
 - Hyvin paljon erilaisia matemaattisia operaatioita joilla muokata signaalia
 - Paljon eri sovelluskohteisiin räätälöityjä ominaisuuksia
- Automatisointi
 - Täysin vapaasti skriptattavissa jolloin esimerkiksi useita työvaiheita tarvittavat signaalinkäsittelyt voidaan automatisoida
 - Samaa tulosten esittelypohjaa voidaan käyttää eri tulostiedostoille
- Tallennus muihin formaatteihin
 - Useita eri tiedostomuotoja, jotka yhteensopivia yleisimpien ohjelmistojen kanssa
 - Mahdollista siirtää kuormitus/nopeustietoja esim. lujuuslaskentaan/väsymislaskentaan



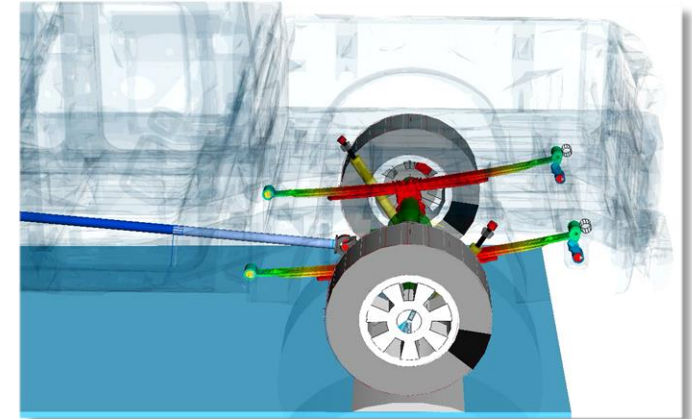
Liitännät muihin ympäristöihin



Liitännät muihin ohjelmistoihin ja ympäristöihin

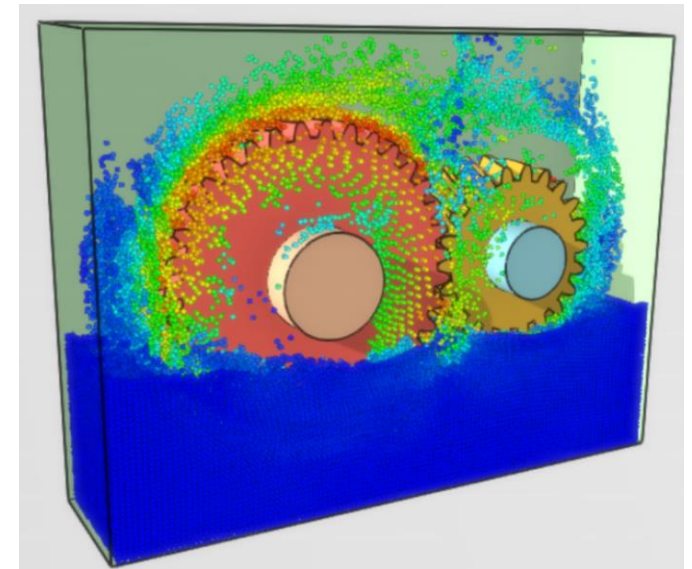
- **Abaqus**

- Co-simulation: Simpack-malli voidaan kytkeä Abaquksen ratkaisijaan mahdollistaen epälineaaristen osien tarkan laskennan osana monikappalesimulointimallia.
 - Esimerkki: Lehtijousituksen taipumat kuormitustilanteessa
- Mahdollista myös tuoda kuormadataa Simpackista
- Joustavien komponenttien luominen Simpackiin



- **XFlow**

- Simpack ratkaisee mekanismien liikkeit, joiden suhteen XFlow ratkaisee nesteiden virtauksen
 - Esimerkki: Voiteluaineen leviäminen roiskevoitelussa



Liitännät muihin ohjelmistoihin ja ympäristöihin

- **Simulink**

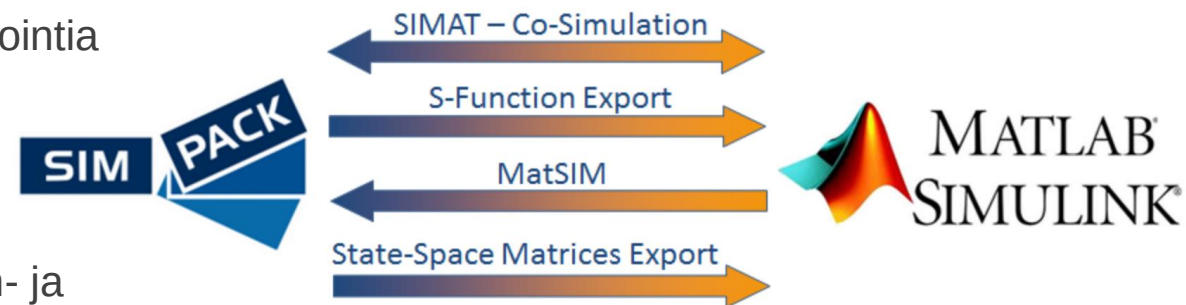
- Yhdistä Simpack-malli osaksi laajempaa järjestelmäsimulointia
- Mahdollista myös käyttää reaaliaikaiseen simulointiin

- **FMU/FMI: Functional Mock-up Unit/Interface**

- Luo Simpack-mallista suljettu järjestelmä halutuilla sisään- ja ulostulokanavissa, ja käytä mallia osana muuta simulointijärjestelmää
- Mahdollista myös tuoda Simpackiin vastaava suljettu malli
- Esimerkki: Realistisen simulointimallin jakaminen asiakkaan järjestelmään ilman yksityiskohtaisen tiedon jakamista

- **Realtime**

- Reaaliaikainen simulointi joko toisen ohjelmiston tai mekaanisen laitteiston kanssa
- Esimerkki: Ajoneuvosimulaattori, komponenttitesteri

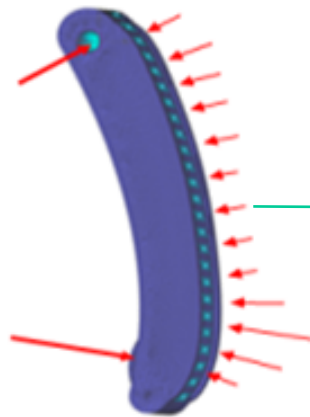


Esimerkki SIMULIA-tuoteportfolion käytöstä

- Määrittele dynaamiset kuormat **SIMULIA Simpack**issa
- Lisää kuormadata **SIMULIA Abaqus**-malliin
- Määrittele käytettävissä oleva tila ja optimointikriteerit
- Laske optimoitu muoto **SIMULIA Tosca**lla
- Varmista optimoidun komponentin toiminta **SIMULIA Simpack**issa



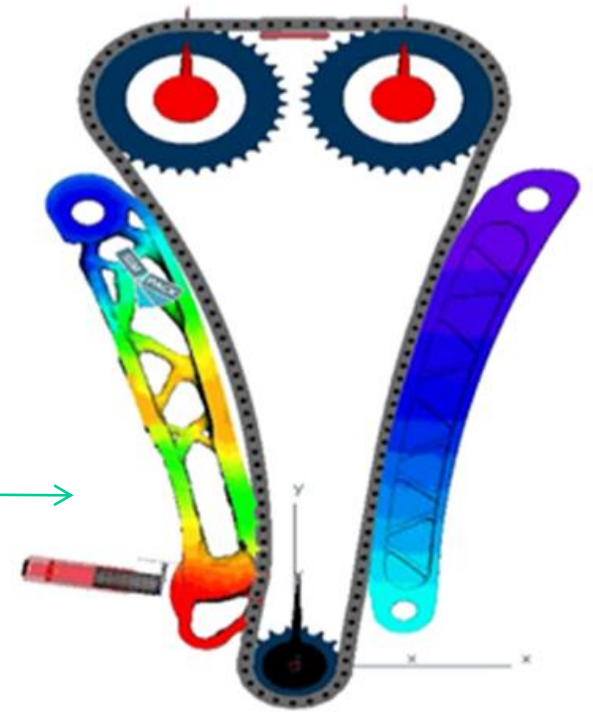
SIMULIA Simpack



SIMULIA Abaqus



SIMULIA Tosca



SIMULIA Simpack

