

## Prosessisimulointi – virtuaalista paperinvalmistusta



**Dr. Jörg Reuter**

Paper Machines Graphic  
joerg.reuter@voith.com



**Dr. Florian Wegmann**

Paper Machines Graphic  
florian.wegmann@voith.com

**Paperinvalmistusprosessia koskeva syvempi tieto on tarpeen, kun paperikoneiden tehokkuuteen ja tuotteen laatuun kohdistetaan yhä kovempia odotuksia. Testaamisen vaatimukset lisääntyvät pyrittäessä tunnistamaan eri paperikonekomponenttien vaikutukset paperin laatuominaisuuksiin. Mutta, turhien virheiden eliminoimiseen tarvittavat testit kilpistyvät usein korkeisiin kustannuksiin. Sitä paitsi, jotkin konekomponentit eivät sovellu lainkaan mittalaitteiden asennuksiin.**

Tämän päivän tietotekniikasta löytyy pulmaan ratkaisu: prosessisimulointi. Tietokantamallinnus mahdollistaa laaja-alaisen tutkimustyön varsin edullisin kustannuksin. Yksittäisten, muutettavissa olevien parametrien vaikutuksia voidaan tutkia tai suunnittelu- ja koneasetuksia voidaan optimoida, jolloin samalla saadaan syvempää tietoa kulloinkin kyseessä olevista fyysisistä prosesseista. Itse asiassa simulointi antaa monesti yksityiskohtaisempaa tietoa kuin testimittaukset.

Voith Paper on perustanut erityisen yksikön luomaan paperinvalmistuksen prosesseihin sopivia kattavia simulointiohjelmiä. Tämä työ tuottaa muille toimijoille arvokasta tietoa näiden optimoidessa olemassa olevia prosesseja tai kehittäessä uusia. Myös teknisten ongelmien todentaminen ja niiden ratkaiseminen helpottuu. Yhä vähemmän aikaa kuluu sofistikoitujen simulointiohjelmien tekemiseen

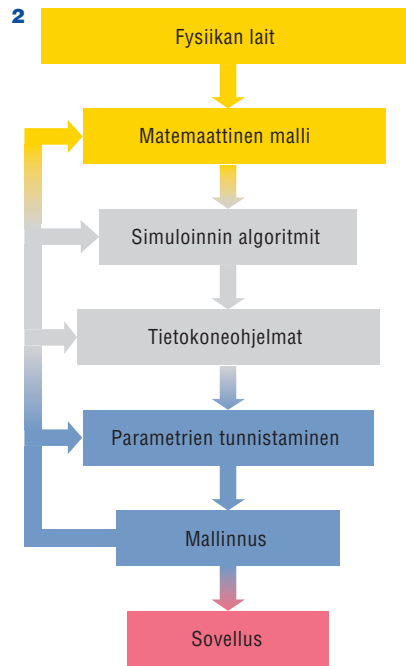
uuden tiedon karttuessa yksittäisiä prosessikokonaisuuksia kehitettäessä.

Käyttöhenkilöstö hyötyy välittömästi simulointitekniikasta (**kuva 1**): laadun optimointi varmentuu, kun konekonseptit voidaan räätälöidä kulloiseenkin yksilölliseen tarpeeseen. Lisäksi ajoissa toteutettu simulointi vähentää riskejä niin uusissa asennuksissa kuin modernisoinneissakin. Tunnistamalla etukäteen stabiilille prosessille ja tuotteen laadulle asetettujen koneasetusten vaikutukset käyttöönottoaikojä voidaan lyhentää huomattavasti.

Kuten **kuvassa 2** näkyy, simulointiprosessi noudattaa fysiikan lakeja. Paperinvalmistuksessa kyse on primääristi lämpödynamiikan lainalaisuuksista, nestevirtauksista rakenneainemekaniikasta. Matemaattinen simulointimalli syntyy yhdistämällä keskeisiä yhtälöitä. mutta vain harvoin löytyy puhdas analyttinen ratkaisu.

**Kuva 1:** Simulointitekniikasta asiakkaalle koituvat edut.





**Kuva 2:** Simulointiprosessi.

**Kuva 3:** Paperinvalmistusprosessiin liittyviä jatkokutkimuksen kohteita.

Useimmissa tapauksissa numeeriset metodit ovat tarpeen. Osana simulointialgoritmien muuntamista tietokoneohjelmiksi myös järjestelmän parametrit tulee tunnistaa, kuten laboratoriossa tehdyt mittasuureet. Ennen kuin ne voidaan ottaa käyttöön, simulointimallin antamia tuloksia on verrattava testituloksiin ja korjattava, jos tarpeellista. Toisin sanoen, simulointi korvaa vain osittain tutkimusta testipenkissä. Vain yhdistämällä näitä kahta toimintoa, tehokas T&K työväline on kehitettävissä.

Paperitekniikkaan tyypillisesti liittyen jokaiseen prosessivaiheeseen sisältyy suuri joukko toimenpiteitä (kuva 3). Perälaatikon osalta simulointi voi tuottaa tietoa laimennusveden aikaan saamasta massan sekoittumisen suhteista, suihkun geometriasta ja kuituorientaatiosta. Formeria koskeva märkäsimoointi osoittaa, miten kuidut ja täyteaineet käyttäytyvät tyhjöjärjestelmissä.

Erityisen mielenkiintoista on myös vedenpoistomekanismien simulointi puristimissa selvitettyä eri koneparametrien vaikutusta kuiva-ainepitoisuuteen. Tieto indikoi paperin pintaominaisuuksiin vaikuttavaa virtauksen jakautumaa rainan ja huovan välillä. Puristinosalle ominainen perusinformaatio, osittain myös haihtumiskyky, heijastuvat radan ajettavuuteen sekä rainan kutistumisominaisuuksiin. Päälylystyksessä havaitulla simulointitiedolla voidaan vaikuttaa virtausominais-

uuksiin, kun taas leikkuritekniikkaa koskeva simulointi auttaa optimoimaan rullan rakennetta ja rullanvaihtoprosessia.

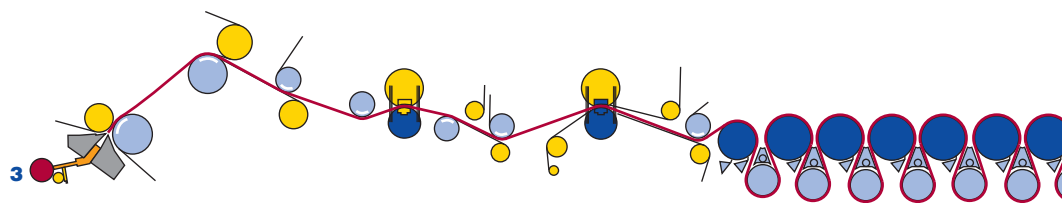
Yksittäisten prosessien yleisten piirteiden tunnistaminen on niin tärkeää, että erityinen koko paperinvalmistusprosessia kattava simulointiohjelmisto olisi tarpeellinen.

- **Materiaalimekaniikan lait** vaikuttavat lähes kaikkeen prosessisimulaatioon. Ne määrittävät elastisuutta, viskoosiutta tai plastista käyttäytymistä sekä myös massan ominaisuuksiin, kuten viskositeettiin ja suodattavuuteen.
- **Nestevirtausdynaamista** simulointia tarvitaan erityisesti silloin, kun liikutaan muodostusosalla, perälaatikkoa ja formeria koskevana, yhtä lailla myös puristin- tai eri päälylystystekniikoitakin simuloitaessa.

- **Nippitekniikkaa** koskevaa analyysiä tarvitaan useassa kohdassa paperikoneella, niin puristinosalla kuin kalanterillakin.
- Paperirainan ohella huovat ja viirat liikkuvat kovalla vauhdilla paperikoneella. **Ajettavuuden simulointi** on tämän vuoksi simulointitiimille keskeinen osaamisen alue.

Hyvin tyypillisenä simulointiprojektina me analysoimme ylä- ja alaviiran nopeuksia formerilla. Koska viirakierron veto vaihtelee laajasti, viiran kireys ja nopeus vaihtelee niin ikään. Ihannetilanteessa molempien viirojen tulisi kulkea samalla nopeudella, kun ne ovat toisiinsa kosketuksissa. Tämä estää rainan venymisrasitusta sekä estää samalla viiran kulumista reu-navyöhykkeillä.

Simulointimalli muuntaa imuomponenttien imuominaisuuksia kitkavoimiksi mittaamalla testipaikalla kitkakertoimia telojen ja viirojen välillä. **Kuva 4** osoittaa simuloituja suhteellisia viiranopeuksia mitattuna formerilla.



**Perälaatikko**  
Massajärjestelmät  
Suihkon geometria  
Kuidun orientoituminen

**Viiraosa**  
Viiran kulku  
Kuidut ja täyteainesyöttö

**Puristimet**  
Veden poisto

**Kuva 4:** Paperinvalmistusprosessiin liittyviä jatkotutkimuksen kohteita.

**Kuva 5:** Kenkätyyppisessä ykköspuristimessa tapahtuva vedenpoisto rainan paksuussuuntaan.

**Kuva 6:** Kuiva-ainepitoisuuden tiivistyminen ykköspuristimessa.

**Kuva 7:** Kuiva-ainepitoisuus kakkospuristimessa.

Toinen hyvä esimerkki on puristinosalla tapahtuvan vedenpoiston simulointi. Sellaiset materiaaliset seikat kuin reologia, samoin kuin paperin ja huovan suodattavuus, on tunnettava ja niitä voidaankin mitata laboratoriossa. Tiedonkäsittelyvaiheessa simulointiohjelma tuottaa ratkaisun, joka ottaa huomioon sekä Darcy'n lain, että mukautuu massan retentioon vesi- ja ilmvaiheissa.

**Kuva 5** osoittaa simulointituloksia tandemkenkäpuristimella. Kuva näyttää veden virtauksen jakauman z-suuntaisena, kun raina ohittaa ensimmäisen puristimen. Veden poisto rajoittuu aluksi paperirainan molemmille pinnoille, mutta ulottuu syvemmälle radan kulkiessa nipin läpi. Kuten poikkiradan ulkoisesta muodosta havaitaan, raina laajenee elastisesti jonkin verran puristimen jälkeen.

Suhteellista kuiva-ainepitoisuutta kuvataan **kuva 6**. Paperin pinnassa on saavutettu jo varsin korkea arvo kun raina ohittaa puristimen nipin, kun taas sisäosissa veden määrä on edelleen suhteellisen korkea.

Kuiva-ainepitoisuuden jakautuminen ensimmäisen puristimen ohittamisen jälkeen edustaa toiseen puristusvaiheeseen tulevaa lähtötilaa. Kuten **kuva 7** osoittaa, toisella puristimella kuiva-ainepitoisuuden lisääntyminen jatkuu rainassa. Ulkoeroksista ei enää erotu vettä, paitsi aivan nipin keskellä, koska vain tässä vyöhykkeessä puristus on suurempi, kuin ensimmäisessä puristimessa.

Molemmista esimerkeistä käy selkeästi ilmi, että simulointi tuottaa enemmän ymmärrystä, kuin mitä yksin mittaustelmien olisi voitu havaita. Heti, kun numeeriset tulokset on voitu varmentaa kokoneella ajettujen datatietojen suhteen, voidaan tietokoneajo-ohjelmilla tutkia kustannustehokkaasti laajojen parametri-vaariatioiden vaikutuksia.

Voith Paperin simulointiin erikoistunut asiantuntiryhmä tulee kehittämään laajan valikoiman moneen eri osaprosessiin sopivia mallinnuksia. Pitkällä aikajanelä yksittäiset sovellukset tullaan yhdistämään koko paperivalmistusprosessin kattavaksi työkaluksi.

