

**Olof Ferritsius**

**Doctoral Thesis in Chemical Engineering**

**Faculty of Science Technology and Media**

**FSCN research centre**

**Mid Sweden University**

## **Abstract**

For a more profound understanding of how a process works, it is essential to have a relevant description of the material being processed. With this description, it will be easier to evaluate and control processes to produce more uniform products with the right properties. The focus of this thesis is on how to describe mechanical pulps in ways that reflect its character.

Mechanical pulps are made from wood, a highly heterogeneous material consisting of different types of particles. Common practice within the pulping industry and academy is to describe mechanical pulps and its particles in terms of averages. The energy efficiency of the mechanical pulping process is usually calculated without taking into account the characteristics of the wood fed to the process. The main objective of the thesis is to explore ways to make more detailed descriptions of mechanical pulps. A second objective is to propose useful ways to visualise these descriptions.

The studies were carried out in full-scale mill operations for TMP of publication grades and CTMP for board grades with Norwegian spruce as raw material. The particles in the pulps were analysed in an optical particle analyser for several properties such as length, curl, wall thickness, diameter, and external fibrillation for 10,000 to 60,000 particles per sample to cover their wide property variation. The data was analysed by factor analysis, a method to reduce the multidimensional data space, and also compared with data simulations.

Several examples were identified where averages based on wide and skewed distributions may hide useful information and therefore result in misleading conclusions regarding the fibrous material and process performance. A method was developed to calculate the distribution of a common bonding factor, BIND (bonding indicator) for individual particles. This factor is calculated from external fibrillation, wall thickness and diameter measured in an optical particle analyser. Distributions of BIND is one way to characterize and visualise the heterogeneity of mechanical pulp. A characteristic BIND-distribution is set in

the primary refiner stage, depending on both wood and process conditions and remains mostly intact through the process.

It was demonstrated that both BIND-distributions and 4D maps of the measured property distributions could be used to assess the tails of the distributions (extreme values), energy efficiency, and fractionation efficiency in a new way. It was even possible to get a measure for energy efficiency for a primary stage refiner, since a method was developed where the wood raw material was evaluated in the same way as the pulp discharged from the refiner.

It was demonstrated that the average length-length-weighted fibre length, commonly referred to as the average weight-weighted fibre length, is a relevant way to express the amount of long fibres, i.e. "length factor". The commonly used average length-weighted fibre length may lead to erroneous conclusions. Through data simulations of curl and fibre length on particle level it was found that today's analysers may underestimate the true length of the particles, especially if they are prone to be curled. As a result, the ranking of pulps may be altered.

It was concluded that although there is an ISO standard, or long-time used property, it does not necessarily imply that it is a relevant method. Misleading conclusions may be drawn based on current methods; here, modifications of these methods are suggested.

The main contribution of this study is the finding that that a highly heterogeneous material such as mechanical pulps could be described in new ways through visualisation of data in 4D maps. These maps reveal casual connections and more pertinent questions may be raised in the communication along the chain product-pulp-wood.

Going beyond averages may reveal discrepancies in the process and material that were previously unknown, and lead to a more profound understanding. It seems that the mechanical pulping process can be even further simplified than previously expected. It has been concluded that to operate the process more efficiently, and for make products with just the right quality, the main focus should be on the raw material and the primary refiner stage from a heterogeneity point of view.

## Sammanfattning på svenska

För att få en fördjupad förståelse av hur en process fungerar är det väsentligt att ha en relevant beskrivning av materialet som processas. Det gör det enklare att utvärdera och styra processer för att tillverka produkter med jämn kvalitet med just de rätta egenskaperna. Fokuset i denna avhandling är hur mekaniska massor kan beskrivas för att reflektera deras karaktär.

Mekaniska massor är gjorda av ved som är ett mycket heterogent material som består av olika sorters partiklar. Inom massaindustrin och den akademiska världen beskrivs nästan uteslutande mekaniska massor och dess partiklar i form av medelvärden. Energieffektivitet hos processer för mekaniska massor beräknas vanligtvis utan att ta hänsyn till hur vedråvaran är beskaffad. Huvudmålet med denna avhandling var att undersöka sätt att ge en mer detaljerad beskrivning av mekaniska massor. Ett andra mål var att föreslå användbara sätt att visualisera beskrivningarna.

Undersökningarna genomfördes i fabrikskala för termomekanisk massa (TMP) för tryckpapper respektive kemitermomekanisk massa (CTMP) för kartong, alla med gran som råvara. Partiklarna som utgör massa analyserades in en optisk partikelanalysator som mätte egenskaper såsom längd, curl (krokighet), vägg tjocklek, diameter samt extern fibrillering. För att täcka den stora variationen i partiklarnas egenskaper mättes för varje prov 10 000 till 60 000 partiklar. Data analyserades med faktoranalys, en matematisk metod att kondensera datarymden. Dessutom modellerades samband mellan fiberegenskaper med datasimulering.

Åtskilliga exempel visades där medelvärden baserade på breda och skeva fördelningar kan dölja användbar information och därmed ge missvisande slutsatser vad avser såväl fibermaterialet som processen. En metod utvecklades för att beräkna distributionen av en så kallad gemensam bindningsfaktor, BIND (bonding indicator) på partikelnivå. Denna faktor är beräknad ifrån extern fibrillering, vägg tjocklek samt diameter mätta in en optisk partikelanalysator. Fördelningen av BIND är ett sätt att beskriva och visualisera heterogeniteten hos mekaniska massor. En karaktäristisk BIND-fördelning skapas i det först raffineringssteget, beroende på både veden och processbetingelserna, och bibehålls nästan intakt i de följande processtegen.

Det visades att både BIND-fördelningarna samt fyrdimensionella kartor baserat på rådata av partikelegenskaperna kunde användas för att beskriva "svansar" i distributionerna (extremvärden). Dessutom är det möjligt att på ett nytt sätt få mått på energieffektivitet samt fraktioneringseffektivitet. Till och med energieffektivitet hos ett primärraffineringssteg var möjligt att få ett mått på eftersom vedråvaran utvärderades på samma sätt som massan som kom ut från nämnda processteg.

Vidare visades det att längd-längd-viktat medelvärde av fiberlängd, även benämnt vikt-viktat medelvärde, är ett relevant mått för att uttrycka andelen långfiber i en massa. Det vanligtvis inom branschen använda längd-viktade medelvärdet av fiberlängd kan leda till felaktiga slutsatser. Genom datasimulering av curl och fiberlängd på partikelnivå framkom det att dagens fiberanalysatorer kan undervärdera den verkliga längden hos partiklar särskilt om de är curlade. Rangordningen av massor kan bli omkastad.

Trots att det finns ISO standarder eller under lång tid använda egenskaper innebär det inte att det är en relevant metod utan kan leda till att felaktiga slutsatser dras. Modifiering av existerande metoder samt nya metoder har föreslagits.

En viktig slutsats i denna avhandling är att ett mycket heterogent material, såsom mekaniska massor, är möjliga att beskriva genom visualisering av data i form av fyrdimensionella kartor. Dessa visar på orsakssamband samt underlättar kommunikationen i kedjan produkt-massa-ved. Mer relevanta frågor är därmed möjliga att ställa.

Genom att gå bortom medelvärden är det möjligt att upptäcka avvikelser i processen och materialet, icke kända tidigare, och ge en mer grundläggande förståelse. Det finns starka indikationer på att den mekaniska massaprocessen är möjlig att förenkla mer än tidigare antagits. Dessutom kan slutsatser dras hur processen kan köras effektivare och göra det möjligt att tillverka produkter med rätt kvalitet genom att fokusera på vedråvaran samt primärraffineringssteget, allt utifrån från ett heterogenitetsperspektiv.