



Distributions of fiber characteristics as a tool to evaluate mechanical pulps

Sofia Reyier Österling
Avdelning FSCN, Faculty of Science, Technology and Media
MITTUNIVERSITETET
2015

AKADEMISK AVHANDLING

För avläggande av teknologie doktorsexamen vid
fakulteten för Naturvetenskap, Teknik och Medier vid
Mittuniversitetet, Campus Sundsvall, som offentligen
kommer att försvaras i sal L111,
onsdagen den 25 februari 2015, kl 09.15.

Opponent är Prof. Robert Lanouette,
Université du Québec à Trois-Rivières, Canada.

Distributions of fiber characteristics as a tool to evaluate mechanical pulps

Sofia Reyier Österling

FSCN – Fibre Science and Communication Network, Faculty of Science,
Technology and Media, Mid Sweden University, SE-851 70 Sundsvall, Sweden

ISBN: 978-91-86694-66-1, ISSN: 1652-893X, Doctoral thesis nr: 211

Abstract

Mechanical pulps are used in paper products such as magazine or news grade printing papers or paperboard. Mechanical pulping gives a high yield; nearly everything in the tree except the bark is used in the paper. This means that mechanical pulping consumes much less wood than chemical pulping, especially to produce a unit area of printing surface. A drawback of mechanical pulp production is the high amounts of electrical energy needed to separate and refine the fibers to a given fiber quality. Mechanical pulps are often produced from slow-growing spruce trees of forests in the northern hemisphere resulting in long, slender fibers that are well suited for mechanical pulp products. These fibers have large varieties in geometry, mainly wall thickness and width, depending on seasonal variations and growth conditions. Earlywood fibers typically have thin walls and latewood fibers thick.

The background to this study was that a more detailed fiber characterization involving evaluations of distributions of fiber characteristics, may give improved possibilities to optimize the mechanical pulping process and thereby reduce the total electric energy needed to reach a given quality of the pulp and final product. This would result in improved competitiveness as well as less environmental impact.

This study evaluated the relation between fiber characteristics in three types of mechanical pulps made from Norway spruce (*Picea abies*), thermomechanical pulp (TMP), stone groundwood pulp (SGW) and chemithermomechanical pulp (CTMP). In addition, the influence of fibers from these pulp types on sheet characteristics, mainly tensile index, was studied. A comparatively rapid method was presented on how to evaluate the propensity of each fiber to form sheets of high tensile index, by the use of raw data from a commercially available fiber analyzer (FiberLab™).

The developed method gives novel opportunities of evaluating the effect on the

fibers of each stage in the mechanical pulping process and has a potential to be applied also on-line to steer the refining and pulping process by the characteristics of the final pulp and the quality of the final paper.

The long fiber fraction is important for the properties of the whole pulp. It was found that fiber wall thickness and external fibrillation were the fiber characteristics that contributed the most to tensile index of the long fiber fractions in five mechanical pulps (three TMPs, one SGW, one CTMP). The tensile index of handsheets of the long fiber fractions could be predicted by linear regressions using a combination of fiber wall thickness and degree of external fibrillation. The predicted tensile index was denoted *BIN*, short for Bonding ability INfluence. This resulted in the same linear correlation between *BIN* and tensile index for 52 samples of the five mechanical pulps studied, each fractionated into five streams (plus feed) in full size hydrocyclones. The Bauer McNett P16/R30 (passed 16 mesh wire, retained on a 30 mesh wire) and P30/R50 fractions of each stream were used for the evaluation. The fibers of the SGW had thicker walls and a higher degree of external fibrillation than the TMPs and CTMP, which resulted in a correlation between *BIN* and tensile index on a different level for the P30/R50 fraction of SGW than the other pulp samples. A *BIN* model based on averages weighted by each fiber's wall volume instead of arithmetic averages, took the fiber wall thickness of the SGW into account, and gave one uniform correlation between *BIN* and tensile index for all pulp samples (12 samples for constructing the model, 46 for validating it). If the *BIN* model is used for predicting averages of the tensile index of a sheet, a model based on wall volume weighted data is recommended. To be able to produce *BIN* distributions where the influence of the length or wall volume of each fiber is taken into account, the *BIN* model is currently based on arithmetic averages of fiber wall thickness and fibrillation.

Fiber width used as a single factor reduced the accuracy of the *BIN* model. Wall volume weighted averages of fiber width also resulted in a completely changed ranking of the five hydrocyclone streams compared to arithmetic, for two of the five pulps. This was not seen when fiber width was combined with fiber wall thickness into the factor "collapse resistance index". In order to avoid too high influence of fiber wall thickness and until the influence of fiber width on *BIN* and the measurement of fiber width is further evaluated, it is recommended to use length weighted or arithmetic distributions of *BIN* and other fiber characteristics.

A comparably fast method to evaluate the distribution of fiber wall thickness and degree of external fibrillation with high resolution showed that the fiber wall thickness of the latewood fibers was reduced by increasing the refining energy in a double disc refiner operated at four levels of specific energy input in a commercial TMP production line. This was expected but could not be seen by the use of average values, it was concluded that fiber characteristics in many cases should be evaluated as distributions and not only as averages.

BIN distributions of various types of mechanical pulps from Norway spruce showed

results that were expected based on knowledge of the particular pulps and processes. Measurements of mixtures of a news- and a SC (super calendered) grade TMP, showed a gradual increase in high-*BIN* fibers with higher amounts of SC grade TMP. The *BIN* distributions also revealed differences between the pulps that were not seen from average fiber values, for example that the shape of the *BIN* distributions was similar for two pulps that originated from conical disc refiners, a news grade TMP and the board grade CTMP, although the distributions were on different *BIN* levels. The SC grade TMP and the SC grade SGW had similar levels of tensile index, but the SGW contained some fibers of very low *BIN* values which may influence the characteristics of the final paper, for example strength, surface and structure. This shows that the *BIN* model has the potential of being applied on either the whole or parts of a papermaking process based on mechanical or chemimechanical pulping; the evaluation of distributions of fiber characteristics can contribute to increased knowledge about the process and opportunities to optimize it.

Keywords: Fiber, fibre, fiber characteristics, fiber dimension, fiber properties, mechanical pulp, FiberLab, raw data, distribution, fiber wall thickness, *BIN*, bonding ability influence, bonding indicator, bonding ability, fiber width, fibrillation, collapse resistance, laboratory sheet, fiber analyzer, optical analyzer, TMP, CTMP, SGW, sheet model, prediction, fiber characterization, hydrocyclone, fractionation, kernel density estimation, *KDE*, diffusion mixing, acoustic emission, F0.90, Norway spruce, *Picea abies*

SAMMANDRAG

Mekanisk pappersmassa används för att tillverka bland annat kataloger, dagstidningar och kartong. Mekanisk massa framställs med högt materialutbyte, och nästan allt i veden utom barken används till pappret. Det gör att den mekaniska massaprocessen är mer materialeffektiv än den kemiska, särskilt sett till mängd material som krävs för att tillverka en given tryckyta. En nackdel med den mekaniska massatillverknings-processen är den stora mängden elektrisk energi som krävs för att frilägga fibrerna från veden och bearbeta dem till en fördefinierad fiberkvalitet. Mekanisk massa tillverkas ofta av långsamväxande barrträd som växer på det norra halvklotet. Fibrer från dessa träd är långa och slanka och passar bra till produkter som tillverkas av mekanisk massa. Dessa fibrer har dock väldigt olika geometri, främst vägg tjocklek och vidd (diameter), på grund av årstidsvariationer och skillnader i växtbetingelser. Vårvedsfibrer har typiskt tunna fiberväggar, och sommarvedsfibrer tjocka.

Bakgrunden till den här studien var att en mer detaljerad karakterisering av fibrerna, bland annat fördelningen av fiberegenskaper, skulle kunna förbättra möjligheterna att optimera den mekaniska massaprocessen, och därmed minska den totala mängden elektrisk energi som krävs för att nå en viss kvalitet på massan och den färdiga produkten. Det skulle resultera i både ökad konkurrenskraft och minskad miljöpåverkan.

I den här studien utvärderades relationen mellan fiberegenskaper i tre typer av mekanisk massa gjord på norsk gran (*Picea abies*), termomekanisk massa (TMP), slipmassa (SGW) och kemitermomekanisk massa (CTMP). Även fibrernas påverkan på labark, främst dragindex, för de olika massatyperna undersöktes. Studien resulterade i en jämförelsevis snabb metod för att karakterisera varje fibers förmåga att bidra till ark med högt dragindex. Metoden baseras på användning och hantering av rådata från en kommersiellt tillgänglig fiberanalysator (FiberLab™) och möjliggör utvärdering av hur fibrerna påverkas i varje del av den mekaniska massa-processen. Metoden har också möjlighet att appliceras som ett online-verktyg för att styra raffinering- och massatillverkningsprocessen baserat på den slutliga massans egenskaper och den färdiga produktens kvalitet.

Långfiberfraktionen är viktig för den mekaniska massans kvalitet, och långfiberfraktioner från fem mekaniska massor från norsk gran (*Picea abies*) utvärderades: tre TMP, en SGW och en CTMP. Studien visade att fibervägg tjocklek och yttre fibrillering var de två fiberegenskaper som påverkade dragindex hos laborieark av långfiberfraktionen mest. Det var möjligt att prediktera dragindex för laborieark gjorda av långfiberfraktionen med linjär regression genom att kombinera fibervägg tjocklek och yttre fibrillering. Det predikterade värdet kallades *BIN*, en förkortning för "Bonding ability INfluence".

Predikteringen gav samma linjära korrelation mellan *BIN* och dragindex för 52 prover från de fem studerade mekaniska massorna, där varje massa hade fraktionerats till fem olika strömmar (plus injekt) i fullstora hydrocykloner. Bauer McNett fraktionerna P16/R30 (passerar en 16 mesh vira, retenderas på en 30 mesh vira) och P30/R50 användes till utvärderingen. Fibrerna från SGW hade tjockare väggar och högre uppmätt fibrilleringsgrad än de tre TMP och CTMP. Detta resulterade i att *BIN* och dragindex korrelerade på en annan nivå för P30/R50 fraktionen för SGW jämfört med alla de andra massafraktionerna. När *BIN* modellen baserades på medelvärden som var viktade med avseende på varje fibers väggvolym istället för på aritmetiska medelvärden, så reflekterades SGW-fibrernas tjockare väggar i medelvärdet och korrelationen var densamma mellan *BIN* och dragindex för samtliga massaprover (12 prover för att konstruera modellen och 46 för att validera den). Om *BIN* modellen används för att prediktera ett arks medelvärde av dragindex, så rekommenderas att basera modellen på väggvolymviktade data. För att göra viktade *BIN*-distributioner där inflytandet av varje fibers längd eller väggvolym tas i beaktande, så baseras *BIN*-modellen i nuläget på aritmetiska medelvärden av vägg tjocklek och fibrillering.

När fibervidd togs med som en enskild faktor, minskade *BIN*-modellens noggrannhet. Väggvolym-viktade medelvärden av fibervidd kastade dessutom om ordningen mellan de fem hydrocyklon-strömmarna till den motsatta ordningen jämfört med aritmetisk fibervidd, för två av de fem massorna. När fibervidd kombinerades med vägg tjocklek till faktorn "collapse resistance index" ändrades ingen rangordning mellan aritmetiska och väggvolym-viktade medelvärden. För att undvika alltför stark inverkan av fibervägg tjocklek i fördelningar, och tills inverkan av fibervidd på *BIN* och hur fibervidd mäts är fullständigt utrett, rekommenderas att använda längdviktade eller aritmetiska fördelningar av *BIN* och andra fiberegenskaper.

En relativt snabb metod att utvärdera fördelningarna av vägg tjocklek och fibrillering med hög upplösning visade att de tjockväggiga fibrernas vägg tjocklek minskade när raffineringsenergin ökades i en dubbeldisk-raffinör i en kommersiell produktionslinje för TMP, som styrdes till fyra nivåer av specifik energiförbrukning. Detta var förväntat men kunde inte visas genom utvärdering av enbart medelvärden, och en slutsats av studien var att fiberegenskaper i många fall bör utvärderas som fördelningar och inte bara medelvärden.

BIN-fördelningar av olika typer av mekaniska massor från norsk gran visade förväntade resultat baserat på kännedom om massornas egenskaper och de processer som använts för att tillverka massorna. Det bekräftades också av mätningar på blandningar av två TMP för tidnings- respektive SC (super calendered) kvalitet. I blandningarna ökade mängden fibrer med högt *BIN*-värde när andelen SC-massa ökade. *BIN*-fördelningarna belyste också skillnader mellan

massorna som inte kunde observeras med medelvärden, till exempel att de två massor som tillverkats i raffinörer med konisk disk (CD-raffinörer) hade liknande form på *BIN*-fördelningarna, men på olika *BIN*-nivåer. Två massor som båda användes till SC-papper, en TMP och en SGW, hade liknande nivåer i dragindex men *BIN*-distributioner visade att SGW-massan innehöll en andel fibrer med väldigt lågt *BIN*-värde, något som kan påverka slutprodukten, till exempel arkets styrka, yta och struktur. Det här visar att *BIN*-modellen har potential att appliceras på hela eller delar av en papperstillverkningsprocess baserad på en mekanisk och kemimekanisk massatillverkningsprocess, där utvärdering av fördelningar av fibregenskaper kan bidra till en ökad kunskap om processen och möjligheter att förbättra och optimera den.