

Appearance Grading of Sawn Timber

Anders Lycken

Luleå University of Technology
LTU Skellefteå
Division of Wood Science and Technology

2006:10 | ISSN: 1402-1544 | ISRN: LTU-DT -- 06 /10 -- SE



DOCTORAL THESIS

Appearance Grading of Sawn Timber

Anders Lycken

Division of Wood Science and Technology
LTU Skellefteå
Luleå University of Technology
Skeria 3, S-931 87 Skellefteå, Sweden
<http://www.ltu.se/ske>
2006

Abstract

Grading of sawn timber has by tradition been performed by manual ocular inspection of the wood surfaces. Even today, most wood produced is graded by manual inspection. Normally, a grader has approximately 2 seconds to decide the timber's quality, which means that the work situation is monotonous, bound to one place and very demanding, as the grading result has a crucial impact on the financial output.

Automation of the grading process has been greatly desired for a long time. Lately, commercial automatic grading equipment has become available. Many sawmills consider investing in systems for automatic appearance grading of sawn timber. The basis for decision before investment is in many cases insufficient due to lack of knowledge about what is really needed, what the existing manual graders actually do and what the automated systems are capable of. Comprehending all of this is of utmost importance as sawmills are facing greater and greater demands on productivity, working environment, precision of delivery, customer adaptability and their own profitability.

This thesis consists of four papers. Paper I, which is a Licentiate thesis, discusses a number of models of how to set up and describe grading rules. This gives a good foundation for a changeover to automatic grading systems. A tool for simulation of grading results has been developed, tested and demonstrated.

In Paper II the grading accuracy of manual graders is compared to the accuracy of an automatic grading system. The comparison shows that an automatic system in most cases can replace manual grading with higher productivity and higher value yield as results, but that the automatic systems make other mistakes than the manual graders.

Today's grading rules are very complex with a large number of influencing parameters. When a parameter in a table in an automatic grading system is changed, it is often difficult to foresee the consequences. In Paper III the grading rules are modelled with the help of multivariate statistics, which makes it possible to move a boundary between grades by just "twisting a knob". This point of action will be a very simple and powerful aid in industrial applications of automatic grading systems.

In the Nordic countries, all four sides of the timbers are inspected, according to the traditional grading rules, whereas in Central Europe only the two faces are inspected. In Paper IV it is shown that if a thorough grading is needed, all four sides have to be inspected in order to get a true grading result.

Keywords: appearance grading, automatic grading, manual grading, PLS, timber, sawn wood, sorting

Acknowledgement

The work for this thesis was supported financially by the SkeWood programme, the Swedish National Boards for Industrial and Technical Development (NUTEK), the Swedish Agency for Innovation Systems (Vinnova), the Kempe Foundations, the Swedish Council for Forestry and Agricultural Research (SJFR), the Swedish Forest Industries Federation (Skogsindustrierna) and The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning (Formas), for which I give my grateful thanks. I wish to thank my former and present employer, Trätek and SP Swedish National Testing and Research Institute, for generous support.

I gratefully acknowledge my supervisor, Professor Anders Grönlund, for his guidance and for fruitful discussions throughout the work. Johan Oja, PhD, has been a most important person, sharing ideas, statistical knowledge and critical thinking. I thank all my colleagues at SP Trätek and Luleå University of Technology, Skellefteå Campus, Department of Wood Technology, for their support and their valuable comments on the thesis. Brian Reedy is gratefully thanked for proofreading and correcting my English.

I also thank all the sawmill personnel and machine manufacturers who have been so helpful, collaborative and positive to the subject and experimental work to improve research in this area.

Apart from these, there have been many people involved who have been inspiring, enthusiastic and encouraging and without whom this work would not have been possible. All cannot be mentioned—none will be forgotten.

Bromma, March 2006

Anders Lycken

List of papers

- I. Lycken, A. 2000. Sortering och produktmix inom trävaruindustrin – Analys av sorteringssimuleringar. Trätek Rapport P0005008. (In Swedish with English summary)
- II. Lycken, A. 2006. Comparison between automatic and manual quality grading of sawn softwood. In press, Forest Products Journal.
- III. Lycken, A., Oja, J. 2006. A multivariate approach to automatic grading of *Pinus sylvestris* sawn timber. In press, Scandinavian Journal of Forest Research.
- IV. Lycken, A. 2006. Grading accuracy on sawn timber depending on number of graded sides. Submitted to Forest Products Journal.

Contents

1	Introduction	1
1.1	Background	1
1.2	Defects.....	3
1.3	Grading rules	4
1.4	Boundaries between grades.....	7
1.5	Quality/Grade/Value	9
1.6	Yield.....	9
1.7	Value chain in the sawmill	10
2	Objectives	11
3	Limitations	11
4	Paper I	12
4.1	Introduction	12
4.2	Objectives.....	12
4.3	Limitations	12
4.4	Materials and methods	12
4.5	Results and discussion.....	13
5	Paper II.....	19
5.1	Introduction	19
5.2	Objectives.....	20
5.3	Limitations	20
5.4	Materials and methods	20
5.5	Results and discussion.....	23
6	Paper III	26
6.1	Introduction	26
6.2	Objectives.....	27
6.3	Limitations	28
6.4	Materials and methods	28
6.5	Results and discussion.....	30
7	Paper IV	32
7.1	Introduction	32
7.2	Objective	32
7.3	Limitations	32

7.4	Materials and methods	33
7.5	Results and discussion.....	34
8	Discussion and conclusion.....	36
9	Future work	38
10	References	40

1 Introduction

1.1 Background

The sawmill industry in the Nordic countries has by necessity and tradition been labour intensive.

As the competition from alternative materials and alternative production regions grows, the need for automation is intensified.

Automation is performed

- to relieve operators from heavy and dangerous work
- to increase production speed
- to increase production flexibility
- to improve process control
- to improve product control

As most of the dangerous and heavy operations have been automated, the focus is now on productivity and control. In many sawmills the final grading station is a bottleneck and one of the least automated parts of the sawmill, and thus a hindrance to increased production.

Productivity in the sawmill industry is rapidly moving forward, resulting in fewer people employed and more sawn goods produced (Anon. 2005). Volume yield has decreased from almost 50% in 1984 to 47% in 2000 (Nylinder *et al.* 2001). One of the ongoing automation processes is the replacement of manual graders with automatic grading systems. This work has been going on, slowly, for a long time, but the systems have not been capable of doing the grading with the accuracy demanded in all production steps. Automatic systems for strength grading, or stress grading, have been in development since the 1950s and have been installed in production since the 1960s (Hoyle 1961; Senft *et al.* 1962; Hilbrand & Miller 1966a and 1966b; Tory 1978). Cutting optimizers have also been available to the manufacturing industry. Automatic green grading has been available to the Nordic sawmill industry since the mid 1980s. Functioning systems for appearance grading in the Nordic softwood industry's final grading have not been commercially available until recently.

Two of the forces driving the automation of grading are the customization of the products and the desire to make grading consistent over time (Hansen & Bush 1996; Weinfurter & Hansen 1999). The grades of the timber graded on Monday morning should be reliably consistent with the timber graded on Wednesday af-

ternoon or Friday evening. Manual grading is to some extent dependent on the mood of the grader and may therefore vary.

In Weinfurter and Hansen (1999) the “accuracy and consistency of grading” was ranked by wood buyers as the most important of 23 factors in a study of soft-wood lumber quality requirements. The study included 13 mills and 13 customers, with 62 employees interviewed. The mills considered grading accuracy and consistency to be the second most important factor. So it is obvious that grading is of utmost importance in the trade of sawn wood.

It is necessary for sawmill management to see the difference between customer orientation and customer accommodation. In striving to accommodate to its customers’ wishes there is a risk that the sawmill will adapt too much towards one customer and neglect the others. The risk consists of ignoring other potential customers as well as not being able to sell the complementary products produced (Grönlund 1992). A better way might be customer orientation, to orientate towards the customers’ needs without “selling one’s soul” to a single customer. One way to interpret “customer adaptability” is to have the customers adapt to the products that are produced, which is a business strategy in use by sawmills (Heickerö 1996).

The automation process increases the possibility to enrich material in each process step. The enrichment process begins in the forest with the bucking of the stem into sawlogs or pulpwood (Chiorescu 2003; Nordmark 2005). The sawlogs can have a certain quality affixed depending on diameter, length, knottiness, etc. (Grace 1994; Jäppinen 2000). In the log sorting station the logs are scanned by a 2D or 3D scanner, possibly also X-rayed (Grundberg 1999; Oja *et al.* 2001; Oja *et al.* 2003; Oja *et al.* 2004), and the enrichment is refined (Chiorescu & Grönlund 2003). This makes it at once paradoxically both easier and harder to manually grade the sawn timber. It is easier because the incoming material is pregraded, and the grader more or less only has to check if the timber is on grade or off grade. But the skilled manual grader has a subconscious knowledge of the normal yield, and tries to receive the usual distribution of timber in the respective grade. The manual graders perform a more “relative” grading in the sense that the boards are judged in comparison to other boards and not only according to the grading rules or instructions. This results in a distributed yield more or less similar to what is considered normal. The yield is thus not only dependent on the quality of incoming material, but also on the normality of the yield. It is common knowledge that prior beliefs and “group pressure” bias decisions (Billman *et al.* 1992; Yaniv 1997). This means that a batch of timber sawn from a batch of pregraded logs has a similar, but not equal, grade distribution to a batch sawn from ungraded logs. Of course there is a difference between the two batches, otherwise there would be no reason to separate logs with different grades. The

human grader has a memory and a sense of “normality” that supply the grader with irrelevant information and a feeling of how things usually tend to be. An automatic grading system has no such memory, and every piece of timber is unique and has no connection to previous or oncoming timber. In this way automatic grading is “absolute” in the sense that every timber is graded only on basis of its own qualities, and not those of its neighbours (Oja *et al.* 2006). Some automatic systems have the capability of distribution grading, which means that the system strives to produce a specified amount of pieces in some or all grades. To do that, it is necessary to know what was produced earlier and what to expect from the incoming material. This is not the same as to “force” a piece into a grade that is too high or to put a piece in a grade that is too low, just to reach the usual grade distribution.

Sawmills in search of new customers often have to deliver a test batch of sawn timber, graded according to the customer’s wishes. The cost of producing and delivering test batches can be very high, as the whole production and grading process is involved. A more cost-effective way to test new grading rules is to use simulation tools, in which it is possible to define both the actual rules and the prices for the different grades. A good simulation tool enables the sawmill to test many different combinations before a delivery is made. It is of great help if the tool supplies images of the sawn timber, to make it possible for the customer to look at the timber and see if its appearance and price are satisfactory. It is important that the timber used for simulation is representative of the timber produced; therefore, the sawmills want the optimization to originate from their own logs and sawn wood.

1.2 Defects

“Wood features” of many kinds, both natural and man made, are found in a piece of timber. A piece of timber comes from a tree, which for its existence and growth has to have branches. Therefore it is dubious to generally call knots defects. Knots are defects only when they are unwanted. Sometimes knots are wanted, e.g., to enhance the appearance of a wood surface (Broman 2000). The same applies to other features that are found in a piece of timber, even if they mostly are unwanted. Natural features can be either necessary for the tree to grow, like branches, annual rings or spiral grain (Sepulveda 2003; Säll 2002), or they can be a consequence of some damage to the living tree, like top rupture, scar or resin pockets (Temnerud 1997). Man-made defects mainly stem from bad processing, like drying checks, wane and bark. As a matter of convenience, both natural and man-made defects are treated similarly in the grading rules. A sawmill can limit the man-made defects by better process control and limit the consequences of the natural defects by better raw material procurement (Usenius 2002).

1.3 Grading rules

The grading rules used in the sawmill industry are often based on Nordic Timber grading rules (Anon. 1994), even if the grading in practice is very company specific. The scope of the rules is to make it possible to define and agree on what the sawmill can offer and what a buyer can expect to receive. The rules make it easier to prepare contracts that specify traded grade. However, business transactions are often made without a precise specification of the grade, in which case a complaint is unlikely to be given credence. For example, the graded products may be named according to one set of rules, e.g., the Green Book (Anon. 1980), while the grading is actually performed according to another set of rules, e.g., Nordic Timber.

Manual grading is by nature subjective. In the earlier grading rules (the Green Book stemming from the late 1800s), the principle was that the timber as a whole should be of a certain quality, and not that a single defect would downgrade the piece. “The grade is determined not only by the occurrence of defects, but also by the general appearance of the piece.” And further, “A piece having a minor such defect as would place it a lower grade may, nevertheless, remain in the higher grade if, in respect of other defects, it can be classed among the best pieces within that grade.” Following this principle, the seller can always defend the correctness of the grade taking the timber as a whole, and the buyer can state the contrary. To avoid these problems, an impregnable grading rule with strictly defined limits was needed.

Nowadays the rules are more “defect oriented” in the sense that all features have to be within the limits. That is the case especially when using automatic grading systems. It is possible, however, to define rules even in automatic systems where a few defects might be out of bounds. This is to some extent to compensate for the imperfection of the systems, but also to make the grading more human like. When using a human-like grading system, the single defect is of less importance than the general appearance.

Each way of defining a grade must have a reason to exist; otherwise the rule will not be followed. The reason can be

- appearance—the timber is to be used where it is visible and must look nice
- strength—the timber is to be used in supporting constructions
- reparability—the timber must not have larger defects than can be puttied over or bored and plugged.

The rules for grading have in most cases a functional background. If the timber is to be used in construction, strength is required, but appearance is of little or no significance. As panelling, the appearance of the timber is more important than

its strength. In Nordic Timber and in the Green Book, the grades are constructed in such a general way that timber for different uses can be found in more than one grade. Timber for construction is to be found in Nordic Timber grades A to C, as is timber for furniture (Table 1), even though the requirements are very different for the different uses. The actual requirements for construction and furniture are very different, but according to the example, the same grades can be used for these completely different objects. This shows the need for sawmill customers and wood users to compose rules adapted to their actual functional needs and not to rely on traditional, general grading systems. A tool for visualisation of grades and products is very helpful in use by seller and buyer when discussing grades and prices.

Table 1. Examples of various end-use areas for the different grades of sawn timber. In general, Grade A is the most expensive, and Grade D is the cheapest (Anon 1994).

End-use areas	A				B	C	D
	A1	A2	A3	A4			
Visible joinery							
Sawn timber for construction							
Formwork, subflooring							
Mouldings							
Interior cladding							
Linings, handrails							
Slating battens and strips							
Europallets							
Disposable pallets							
Packaging material							
Flooring boards							
Covered floorings							
T & G Schaal-boards							
Fencing							
Covered internal cladding							
Wind and snow fences							
Schaalboards							
Boatbuilding, decking							
Handicrafts							
Sauna material							
Knotty sawn timber							
Window and door frames							
Furniture and glulam panels							

When grading for appearance, some important factors are type of knots (sound or dead), distribution of knots (even or uneven), size of knots (large or small, even or uneven size distribution) and colouration of the timber. When grading for strength, the type of knots is unimportant—only their size, position and grouping are of importance. When the timber is to be used for manufacturing

windows or other joinery, the knots can be bored and plugged. The knot size determines which drill to use, and there is a limitation in drill sizes.

Most of the existing grading rules are hierarchical in the sense that a “higher” (more expensive) grade never allows larger defects than a “lower” grade. In a nonhierarchical, or matrix, system, an expensive grade might allow large sound knots, but no dead knots, whereas a less expensive grade allows dead knots but only smaller sound knots. This is partly because it is easier for a person to comprehend a hierarchical rule than a nonhierarchical one. With automatic grading systems, the need for easy-to-understand rules has diminished. An automatic system can also use statistical means to interpret and/or define the rules.

There are often unwanted differences between the letter of the rule, the interpretation at the time of writing, the interpretation at the time of grading at the sawmill and the interpretation at the time of using the timber. It is, of course, easier to have a written rule agreed upon after a discussion over the usage of the timber and the real needs of the customer, in order to place the right requirements on the timber—neither too high, which is more expensive than necessary, or too low, which is unfit for the purpose.

When composing a new grading rule, it is important to state whether all defects not mentioned are permitted or not. When combining grades into a set of rules, it is equally important to make sure that all timber belongs to a grade. This is usually accomplished by having a “waste grade”, called Waste, D VII or something similar.

1.4 Boundaries between grades

The reason for grading is to separate different products from each other depending on customers’ needs and willingness to pay. In order to separate different products, a set of rules is formulated for each grade. It is natural for a large number of unwanted features to be on or close to the boundary between grades. In the Nordic Timber rules there is a strict limit, and any feature larger than the limit downgrades the piece. In the Green Book a more liberal view was applied, and a single defect larger than the limit was accepted if the rest of the piece was good.

For the general wood user, grading with sharp boundaries is unnecessary. As seen in Table 1, the end-use purpose in most cases extends over more than one grade. That a piece of timber is useful in the application it is meant for is more important than the actual size of the defects. Even if a knot is too large according to a rule, the usefulness of the piece might be sufficient to the user. It could therefore be better to have functional rules with some flexibility than to have generic rules limited by strict boundaries. For a window manufacturer it is impor-

tant to get as many frame pieces as possible out of a piece of timber. As the timber is cut, a large knot might be cut away if the remaining wood is good and of appropriate length. A grading rule that just has a size limit on knots would have disqualified such a piece of timber even though it is usable in the manufacture of windows.

Human graders make errors, and so do automatic systems. Wood users are used to the errors made by manual graders, and these errors are often easy to understand and thus to forgive. The errors made by automatic grading systems are in many cases harder to understand, as they are so obviously wrong. A large defect that is not defined in the system passes unnoticed, whereas a manual grader has the skill and sense to recognize the defect as something unwanted that degrades the quality of the timber. In many cases, the demands made on an automatic system are much tougher than those made on a manual grader.

If a manual grader experiences trouble determining knot size, it is considered normal, as the knot can be up to 7 meters away and the difference between 55 mm, which is allowed, and 57 mm, which is not, is very hard to see. The demand made on an automatic system is that it has to be able to distinguish between sizes with a very small tolerance (Oral communication with users of automatic grading systems).

The larger the number of different grades that are in use at the same time, the larger also is of the potential for confusion and the risk for error. If there is only one grade, all timber goes into that one. As soon as there is more than one grade, a decision has to be made.

A conservative calculation of the number of boundaries for one dimension in Nordic Timber yields approximately 20 different defect types with boundaries against each other as well as between grades. There are four sides, all of which count. The number of grades is 4, which give 3 boundaries. All defect types are not represented in the same piece of timber, but there are some with a lot of defects that might not be large, but nonetheless close to grade boundaries.

So in all there might be $20 \cdot 4 \cdot 3 = 240$ boundaries to consider. This is a very hypothetical number, just to show that the complexity of boundary problems is a factor worthy of attention. In most cases there is only one defect that clearly defines the grade of the timber. The huge number of boundaries makes it extremely difficult for a human grader to comprehend all the data in a grading situation or to program an automatic system's tables. The tables are often numerous and interdependent, which makes the adjustment of grading rules very time consuming. An automatic system that is easier to understand and program, preferably requiring only a knob to be turned, is devoutly to be wished for.

1.5 Quality/Grade/Value

There is a significant difference between the two words “quality” and “grade”. In the word “quality” lies an aggregated meaning, including, among other things, price, delivery, expectations, etc. The word “grade” is less emotive and has also a natural connection to the result of a “grading”. Most people use the word “quality” in connection with sawn wood in the single sense of “grade”, but as long as no misinterpretation is made, there is seldom any problem. In this work the word “grade” is used predominantly.

The International Standardization Organization defines quality as “*The totality of features and characteristics of a product or service that bear on its ability to satisfy stated or implied needs*” (Anon. 1986). The word grade is defined as “*An indicator of category or rank related to features or characteristics that cover different sets of needs for products or services intended for the same functional use*” (Anon. 1986). A simpler definition of quality is “fitness for use” (Juran 1951).

There is also a distinction between grade and value. In most cases, a higher grade is more valuable to a customer and to the sawmill. The distinctions between the concepts of value and grade have been presented in Luppold and Bumgardner (2003). Value is an economic concept set by the market, whereas grade is based on physical features and on a defined protocol for classification.

1.6 Yield

A sawmill’s yield can be calculated in numerous ways. To start with, there are two main orientations, connected and similar to each other, but not identical. The yield can be based either on volume or on value. Volume is easier to calculate and compare in time and place. Value changes depending on the market situation and the customer’s ability to pay.

For the sawmill, the volume itself is irrelevant, as it is the value that counts on the bottom line. Steele *et al.* (1993) pointed out that there is a conflict between value and volume when sawing hardwood and that the gain was significant when value was maximized instead of volume. Therefore it is more important to maximize value than volume.

Yield can be calculated as outgoing value (volume) divided by incoming value (volume) or as actual value (volume) divided by the optimum value (volume). In the latter case, as the incoming material is already sawn, the only production step possible is to cut the timber in order to increase its value (grade) by removing unwanted features. The volume yield heavily influences the value yield, as

the sawmill gets paid for each board sold. Sometimes volume thinking goes too far, at the expense of value thinking. This can be very costly to the sawmill.

A simple way to compare sawmills is to compare produced volume and volume yield. Volume can be calculated in numerous ways, as can volume yield. If, for instance, no trimming is performed, the produced volume is large, and the volume yield is high. But if cuts are made to increase the grade and value, the volume is less, but the value may be higher. Output volume can be calculated based on nominal measure, but if boards with wane are counted as sharp edged, the volume is overestimated. The sawmill has to decide if volume or value is most important, as there is a difference, even if slight. As the prices for both logs and sawn products fluctuate, the optimization of value requires more active production planning than optimization of volume, which is one reason volume yield is more common for optimization and comparison.

1.7 Value chain in the sawmill

The forest-material value chain goes from the forest through the sawmill, through secondary processing to the end consumer (Chiorescu 2003). The purpose of the value chain in the sawmill is to exploit the intrinsic value of wood. There are properties in wood that are not fully exploited (Sandberg *et al.* 1997), which the sawmill has to activate. It is necessary to maintain or raise the value at all stages in order to make the sawmilling as profitable as it can be (Uusijärvi 2000). The actual wood value chain starts in the forest, but many sawmills regard the forest as a “black box” that delivers logs that the sawmill has to accept as they are, with little possibility to change the look of the delivery. In practice, for a sawmill the value chain starts at the log sorting station, where the logs are measured, graded and sorted according to dimensions and sometimes the presumed grade of the sawn timber. After the first saw, the cant can be inspected to set the next saws to give the best value yield, not merely the best volume yield. In the green sorting station the timber can be sorted according to grade and drying program. The timber with a high value can then be dried more carefully, minimizing the risk of cracks and other downgrading damage, while the low-value timber can be dried faster and more effectively for production. In the final grading station the timber is graded and sorted according to grade, dimension and length.

The use of automatic grading systems puts additional emphasis on economy, as the systems are tuned to make the most of the inherent value in the raw material. The reasons for investing in automatic grading systems vary between sawmills. Sawmill management may wish to reduce the number of employees, to make grading more uniform, to make it possible to use more grades or to enable the use of more complex grading rules and thus hopefully activate the value that is in the wood.

2 Objectives

The basis for this work is the need to improve automation in the sawmill industry in the field of grading sawn wood. If automatic grading is to be accepted in the industry, the accuracy of automatic grading must be at least as good as that of manual grading, while at the same time, speed of grading is increased. The automatic systems must be easier to handle and operate. The work is also meant to point out the advantages of using automatic grading systems as data collectors for statistical calculations of yield, defect distribution, etc.

The objectives are in brief:

- to find the structure in the different rules for appearance grading, their background and their role in production and trade (Paper I)
- to compare manual grading to automatic grading and quantify accuracy in terms of value yield and quality yield (Paper II)
- to investigate if it is possible to simplify the procedure of setting up rules for automatic grading (Paper III)
- to investigate if it is possible to do part of the grading of sawn wood at other places in the production flow, e.g., before secondary breakdown (Paper IV)
- to investigate if it is possible to simplify grading by inspecting fewer sides of the timber (Paper IV)
- to demonstrate simulation tools for analysis of grading rules and as a link to automatic grading systems (Papers I and IV).

3 Limitations

The studies are mainly based on simulations with a limited number of boards in a limited number of dimensions. The boards used for simulations are real boards with the actual defects thoroughly measured manually.

The tree species involved are Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*) graded according to the general grading rules used in the Nordic countries, which are basically four sided. Grading was done in the sawmill's green sorting or the final sorting station, where it is possible to make only two cuts to produce one piece of timber. It is not possible to make more than two cuts in order to produce more than one piece of timber from one board, as is done in the secondary processing.

4 Paper I

4.1 Introduction

Paper I describes different grading rules and how they are formulated. Different approaches to timber grading are described, and some new methods are formulated. A number of models for setting up and describing grading rules are defined and presented. Some of the grading systems and models are described thoroughly and exemplified. It is established that an advanced system is needed to develop and maintain grading rules in order to make them responsive to the fast changes that the wood market is exposed to. The problems sawmills face when questioned about a new product are formulated and broken down into a number of subproblems.

4.2 Objectives

The aim of Paper I is twofold: first, to describe how the sawmills' grading rules are formulated and how models for sorting can be described; second, to describe the benefits of having a database tool with information about the sawmill's production.

4.3 Limitations

The timber used in the study is limited to a small amount of one set of dimensions. The timber is cut to length and graded according to the sawmill's interpretation of the Green Book (Anon. 1980). No further cutting is possible to increase the value. Only the largest defects are noted as to size and type, but not position. The number of defects on the worst meter of the timber is noted, not the total number. Only grading rules with objectively measurable sizes are included; no subjectivity is possible in the rules.

The product mix optimization presented is mainly a test of general sawmill problems and some possible solutions. A total product mix optimization must start in the forest with felling and bucking.

4.4 Materials and methods

The material used in the study consists of 349 50 × 100 mm pine planks. The data were collected manually. Only the largest defects of each type on each side of the timber were measured. The others were only counted. The positions of the defects were not noted, so there is no possibility of cutting a piece to increase its grade and value. The timbers were cut to grade at the sawmill by a skilled grader. The timber was graded according to the Nordic Timber (Anon. 1994) grading rules and to the European grading rule prEN1611-1 (Anon. 1998). The grading was performed in an MS Access database.

4.5 Results and discussion

In order to get a structure of how the rules for grading sawn wood are connected to each other, a set of methods or models was formulated. The grading rules can be arranged into five different methods or models. Some of the models can or must be combined with other models, while others neither can nor must be combined. It is, however, very rare that a grading rule in practice can fit into a single model. The traditional grading rules, such as the Green Book and Nordic Timber, are negative hierarchical gradings with one-side limited intervals.

Model 1

- Negative grading (prescription)
- or
- Positive grading (prescription)

Separated from (separates *prescribed* and *described*)

- Negative grading (description)
- or
- Positive grading (description)

There is no value associated with the words “negative” and “positive”. Negative prescriptive grading is based on a prescription of what is *not* permitted in a grade. This is the normal way to define a grade. Positive grading prescribes what is needed in a grade. An example of positive grading is that a piece of timber has to have blue stain in it. This was very popular in furniture in the 1970’s. It can also be stated that the knots should mainly be in the interval 20 mm to 30 mm for aesthetic reasons.

A negative description describes what is *not* in a timber or in a batch. This is the usual way to describe a batch. A normal grading rule is a negative description of the batch, as the grading rule both prescribes and describes what is *not* permitted. Two batches graded according to the same negative rule can look completely different—a positive description is the only way to describe what is really in the batch.

Model 2

- Hierarchical (linear) model
- or
- Matrix model

A hierarchical grading model is built on the premise that a “higher” grade never permits more or larger defects than a “lower” grade. The permitted sizes decrease or remain the same going from a “lower” grade to a “higher” grade. The traditional grading rules, such as the Green Book, Nordic Timber or EN1611-1, are hierarchical, even if it is possible in Nordic Timber to compose one’s own grades outside the standardized system. In a matrix model, the permitted size of a defect in a particular grade might be larger, while another defect’s permitted size is smaller. There is no way other than by comparing prices to say that one grade is “better” than another. A “lower”, cheaper grade might be a better choice for some purposes.

One way to illustrate the limits in a grade and its relationship to other grades is to draw a diagram showing the limits. In a hierarchical set of rules, the lines never cross, whereas the lines might cross each other in a matrix grading (see Figure 1 and Figure 2). In Figure 1 the grades are called A, B and C, where A is the “best” and C is the “worst” grade. In Figure 2 the grades are called F, G and H, where H probably is considered the “worst”. Grades F and G are used for different purposes and one of them cannot generally be called better than the other.

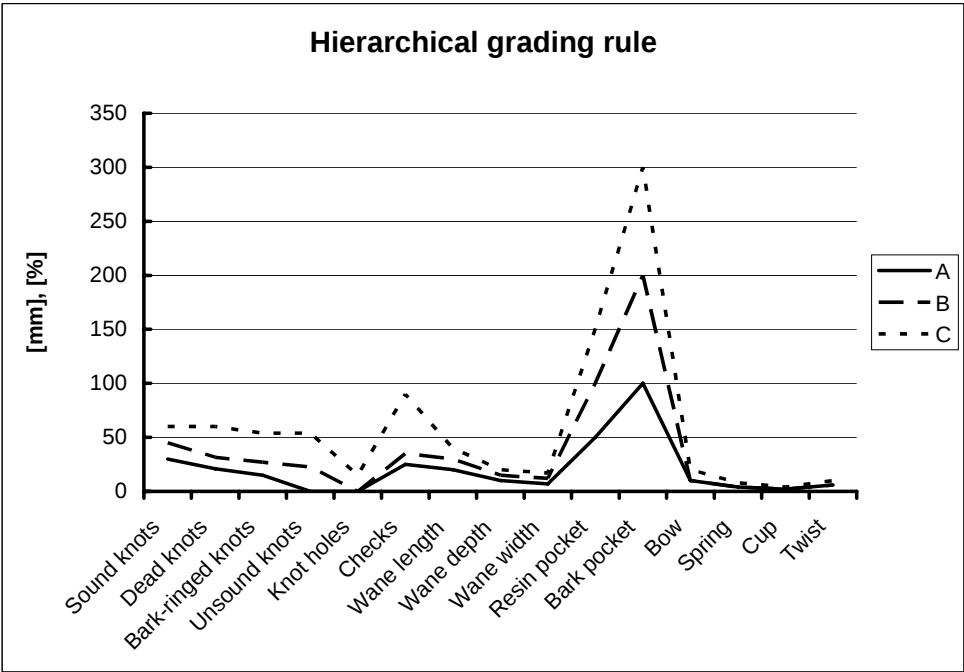


Figure 1. The vertical axis shows the maximum permitted size in mm or %. In a hierarchical grading rule, a “better” grade is stricter in all respects than a “lower” grade. The grades are called A, B and C, where A is the “best” and C is the “worst” grade. The lines never cross each other.

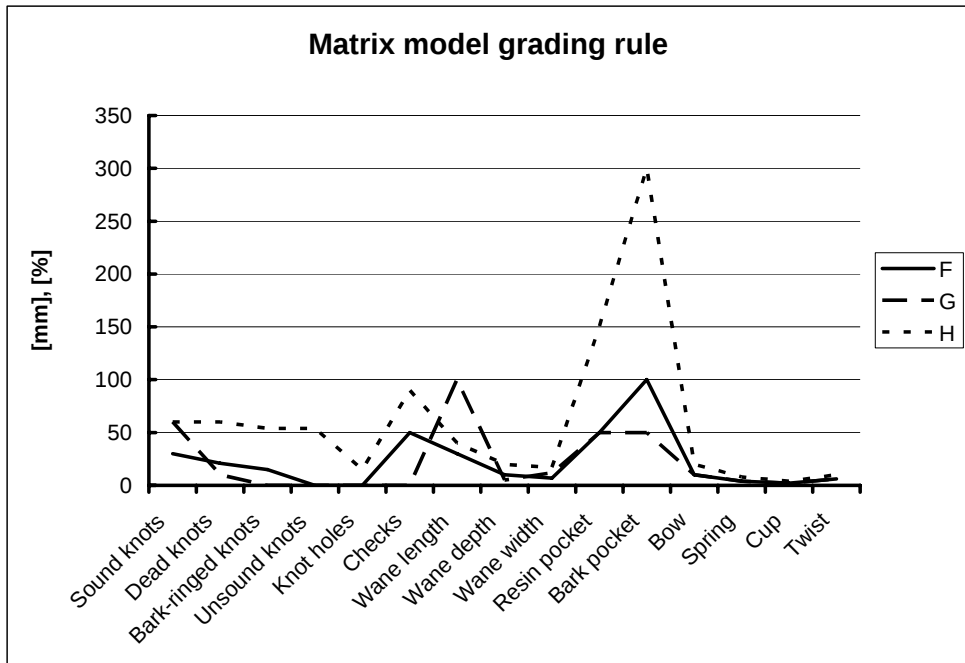


Figure 2. The vertical axis shows the maximum permitted size in mm or %. In a matrix-model grading rule, a "better" grade is stricter in some respects than a "lower" grade, while the "lower" grade might be stricter for other defects. The grades are called F, G and H, where H probably is considered the "worst". Grades F and G are used for different purposes, and one of them cannot generally be called better than the other. The lines might cross each other.

Model 3

- One-sided limited intervals
- or
- Two-sided limited intervals

A grading rule with one-sided limits has upper limits for the size of defects permitted. Two-sided limits can be useful for a furniture or floor manufactory, where an even distribution of knot sizes is necessary for an aesthetically pleasing appearance. One-sided grading is paired with negative grading, and two-sided grading goes together with positive grading.

Model 4

- Absolute limits
- or
- Conditioned limits

In an absolute grading rule, the limits are absolute and are not to be exceeded, even if there are no other defects in the timber. In a grading rule with conditioned limits, the limits are conditioned depending on other defects, where on the timber the defect is seen, etc. The old Green Book has conditioned limits, as the permitted defect sizes are larger if the timber has only few other defects.

Model 5

- Static rules
- or
- Dynamic rules

A static grading rule is stable over foreseeable time, whereas a dynamic rule changes depending on trade cycle, customer requirements, etc. In practice, no rules are completely static; there is always some adjustment to the market.

As described above, grading rules can be built up according to different models. However, regardless of which model is used, accuracy in measuring and classifying defects and the accuracy with which the rules are followed are of vital importance for the final grading results.

One problem that arises when grading timber is how to measure the defects. Knots, which are the most common defects on sawn timber, can be measured in numerous ways (see Figure 3). The most common way is to measure the knot in two perpendicular directions, add the lengths and divide the result by 2, but there are other ways to calculate the knot size.

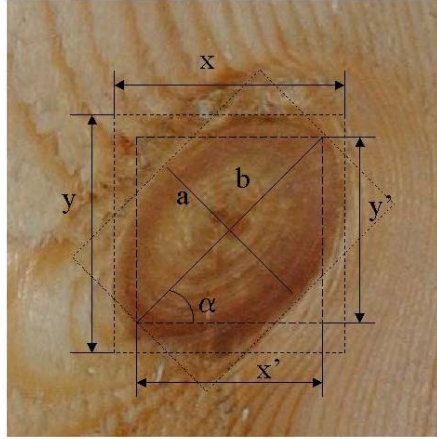


Figure 3. The picture shows different ways to measure a knot. The size can be stated as a “diameter” calculated from real area or from the measurements a and b , x and y or x' and y' .

The nominal size can originate from measured lengths in the general direction of the knot (a and b in Figure 3) or of the piece of timber (x and y in Figure 3). The size can also originate from the measured real area, which can be recalculated to a diameter. The difference in size depending on the measurement method used can be over 10%.

$$D = \frac{a + b}{2}$$

$$D = \frac{x + y}{2}$$

$$D = \frac{x' + y'}{2}$$

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

The necessity of a thorough knowledge of the rules and the importance of grading accuracy can be illustrated by the following rough examples.

Sawn wood dimensioned 50×100 mm has a price of 1,000 to 2,000 SEK/m³ depending on grade, corresponding to 5 to 10 SEK/m. A grader who always cuts 1 module (3 dm) too much costs 1.50 to 3 SEK/timber. Grading 20 pieces per minute for 6 hours makes for a cost of between 10,000 and 20,000 SEK/day. In all likelihood the grading is not that bad, but it is not unrealistic that 1 cm too

much is cut off. That means that statistically 3% of the timber passes a length limit and a further 29 cm has to be cut off. The cost for that is 300 to 600 SEK/day or 60,000 to 120,000 SEK/year.

If, on the other hand, the timber is graded one grade too low, it might cost 10 SEK/timber. That adds up to 72,000 SEK/day. A grader with that hit rate will not be long lived at a sawmill, but it is not unusual for up to 20% of timbers to be graded incorrectly. With 4–5 graders who create a modest 5% loss each day, the total loss for the sawmill in incorrectly graded timber can be approximately 15,000 to 20,000 SEK/day.

Incorrect grading strikes both ways, so a board valued too low often compensates for a board valued too high. In this way the loss or gain to the sawmill is not as high in actual practice as the examples would indicate.

It is therefore extremely important to evaluate the production, yield and grading results so that losses can be kept to a minimum.

The sawmill industry is often compared to other industries with diverging flow, such as slaughterhouses, dairies and the mining and petrochemical industries. Of these industries it is the slaughterhouses that are most similar to sawmills. Around 50% of a head of cattle and around 60% of a pig are sold as whole meat, i.e., fillets, chops or steak. The rest is sold as minced meat or raw material for cured meats. A sawmill's yield in solid wood is around 50%. The rest is chips, sawdust and shrinkage during drying. For sawmills, as well as for slaughterhouses, what is cut is cut and cannot be put together again. Therefore it is crucial to cut carefully and without excessive cuts with consideration for the value, function and appearance on the final products. It is also important not to produce excessive amounts of things that cannot be sold at a reasonable price. The problem is not in selling what is wanted, but what is not wanted. Many sawmills assert that they only produce to order, but as so many different and even unexpected products are produced, it is impossible to have a high yield and only produce to order. In some cases it is possible to "hide" the unwanted products in what is sold in normal production, but at other times it is necessary to expend a great amount of effort to find a customer.

The study shows that the features (defects) that cause most downgrading are knots. In the grading rules, both the size of the single largest knot and the knot area for knot groups are possible causes of downgrading. A test shows that there is only a negligible difference in grading results between using both knot size and knot area and using only knot size.

When using a grading rule like Nordic Timber, which is a four-sided grading rule, the most important side is the outer side. By grading on any one of the faces, inner or outer, a better result is reached than when grading only on the edges.

In order to balance the product mix, a simulation tool and a database with a representative selection of timber can be of help when discussing grading rules and prices with potential customers. As an example, in pricing a batch, a change in maximum knot size in grade A from 30 to 20 mm together with an increase in price for grade A from 2,500 to 2,800 SEK and for grade B from 2,000 to 2,100 SEK gives a 2% higher sales value for the batch. Both grade A and Grade B are “better” than before, which justifies a rise in price. The yield in grade A decreases, but that is compensated for by a higher price for the timber that meets the new, higher requirements.

If a company is to be successful at optimization, the entire staff has to be involved. Optimization of the sawmilling process involves a tremendous number of parameters, so the complexity is great, as is the risk of steering towards the wrong set point.

An automatic grading system is much more than just a grading system. It is also a system for the collection and refinement of information about the sawmill’s raw material and output. This information can be used to analyse and improve the sawmill’s grading rules as well as the production and sales strategies.

An improvement of the value yield is easy to accomplish with the help of the right tools. The information is produced at each machine, but is seldom collected, compiled, refined and used strategically. The possibilities are great, and they are not even hidden.

5 Paper II

5.1 Introduction

In connection to the introduction of systems for automatic grading and sorting in sawmills, it is becoming more and more interesting to know how well human graders can stand up to the competition from automatic systems. Functional systems for final grading in sawmills have not been commercially available until the last few years. Depending on wood species, types of defects, grading rules, user interface and other requirements, the time from installation to full production can take from a few days up to several months, as the problems of tuning the systems vary. The reasons for investing in automatic grading systems for final grading vary from sawmill to sawmill. The main reasons are the desire to

make grading more homogeneous and to create a more flexible way to set and maintain the many complicated grading rules. The grading rules are mostly based on Nordic Timber (Anon. 1994) or the older rules, called the Green Book (Anon. 1980), even though the sawmills have their own interpretation of the rules based on customer needs.

5.2 Objectives

The objective of the study was to examine a way to determine the accuracy and repeatability of automatic grading systems for final grading of dried timber in sawmills and to compare one of the existing systems with manual graders. By doing so it is possible to set the right requirements when planning for investment in grading systems, and it can also help to point out where system development needs an extra push. This paper does not cover the issue of investment costs, but it is intended to be a help in calculating the cost of grading differences between automatic and manual grading.

5.3 Limitations

As always, obtaining a representative testing batch is problematic. In this case, one centre-yield dimension and one side-board dimension were chosen from each produced species, spruce (*Picea abies*) and pine (*Pinus sylvestris* L.). A more thorough study would include more dimensions.

5.4 Materials and methods

A system for automatic grading was investigated and compared to a manual grader. The tests were performed at a Swedish sawmill during the spring of 2003. The system had transverse feed and was equipped with a turning device in order to scan all four sides of the board. In one scanning station one face and the two edges were scanned; in the other scanning station the other face was scanned. The system was installed as a final grading system in line with three manual graders as a complement. When the sawmill is confident in the function and all the different grading rules have been tested and tuned, the manual graders will be relieved. In other sawmills, automatic systems work as replacements for human graders right from the time of installation. No scientific test results have been published regarding the results in the latter case.

All material was taken from the running production. In the study, 100 boards of spruce (*Picea abies*) dimensioned 50 × 125 mm, 100 boards of spruce dimensioned 22 × 100 mm, 100 boards of pine (*Pinus sylvestris* L.) dimensioned 63 × 125 mm and 100 boards of pine dimensioned 25 × 125 mm were used. In addition to that, 20 boards of pine 25 × 175 mm were used for repetition tests. The lengths were between 3.0 m and 5.5 m.

The grading rules used in the test were rules for appearance grading similar to the Nordic Timber grading rules with some minor changes.

The grading test can be divided into four components:

1. Grading accuracy for manual grading at production speed.
2. Grading accuracy for the automatic grading system.
3. Repeatability for the manual graders at production speed.
4. Repeatability for the automatic grading system.

The grading rules were supposed to be the same for the automatic system and the manual grader, but the rules actually used by the manual grader are impossible to know, as the ones used in practice are always interpretations of the written rules. To get optimal grading, the boards were graded manually between run 1 and run 2 by the sawmill's head grader together with another grader, the system manufacturer and the test leader, four people in all. The decisions were taken unanimously.

The 20 boards of pine 25×175 mm used for repetition testing were run 3 times through the automated system and manual grading. No check was performed to see if the grading was correct.

To calculate the *repeatability* of the runs, the following formulas were used: The repeatability, R_v , for the value of the batch is calculated as

$$R_v = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m r_{vk} \quad (1)$$

where

k = number of the board

m = total number of boards

r_v = repeatability for individual board

$$r_v = 1-s/M \quad (2)$$

where

s = standard deviation for the value for each individual board

M = mean value for the value for each individual board

The repeatability, R_D , for length, quality and defect detection can be calculated as

$$R_D = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m R_{dl} \quad (3)$$

where

$$R_{dl} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{lkj} * 100\% \quad \text{where } \delta_{lkj} = \begin{cases} 1 & \text{if } d_{lk} = d_{lj} \text{ and } j \neq k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

where

R_{dl} = repeatability for individual board

δ = individual board

d = quality (length, defect, etc.)

j = run number

k = run number

l = board number

m = total number of boards

n = total number of runs

The correctness of the grading decision is not considered in the calculation of repeatability. One hundred percent repeatability can be achieved if all boards in a test are given the same grade, length and value, regardless of whether everything is totally wrong.

The value yield, Y_b , for each board is calculated as

$$Y_b = \frac{O - |V - O|}{O} \quad (5)$$

where

O = optimal value, based on all information

V = assumed value of the board (automatic or manual grading)

$|V - O|$ = the unsigned difference between the two values

Every board that is classified different from the optimal receives a value yield less than optimal, regardless of whether the assumed value is higher or lower than optimal. The value yield can thus never be more than 100%, and the direction of the error is insignificant.

The value yield for the batch, Y_B , is calculated as the average of the boards' yields,

$$Y_B = \frac{1}{m} \sum_{b=1}^m Y_b \quad (6)$$

where

Y_b = value yield for each board

b = board number

m = total number of boards

The quality yield for a batch is calculated as the amount of correctly graded boards divided by the total number of boards. A board is regarded as correct quality if it is of the same grade and is the same length as or shorter than the optimal length. If a higher quality board is placed in a lower grade, it is considered incorrectly graded, as is the reverse. In this study a board has to be strictly on grade to be approved.

$$Q = \frac{A}{m} \quad (7)$$

where

Q = Quality yield

A = number of approved boards

m = total number of boards

5.5 Results and discussion

As shown in Figure 4, the value yield for the automatic grading system in run 1 was between 91% and 98%, depending on species and dimension. For manual grading the value yield varied between 83% and 92%. In run 2 the value yield was between 87% and 92% for the automatic grading system and between 82% and 88% for the manual grader.

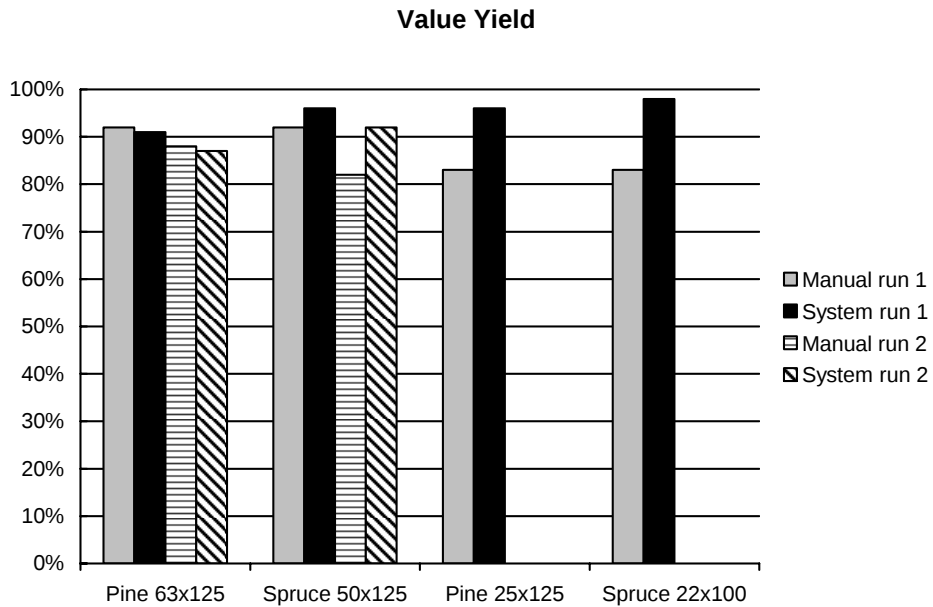


Figure 4. The value yield for manual grading and the automatic grading system

Figure 5 shows that the quality yield is much lower for the manual grader than for the automatic system except for pine 63 × 125 mm in run 2. The quality yield is also lower than the value yield. In run 1 the quality yield for the automatic grading system varied between 66% and 93%. For manual grading, the quality yield varied between 36% and 60%. In run 2 the variation was 52% to 54% for the automatic grading system and 31% to 61% for the manual grader.

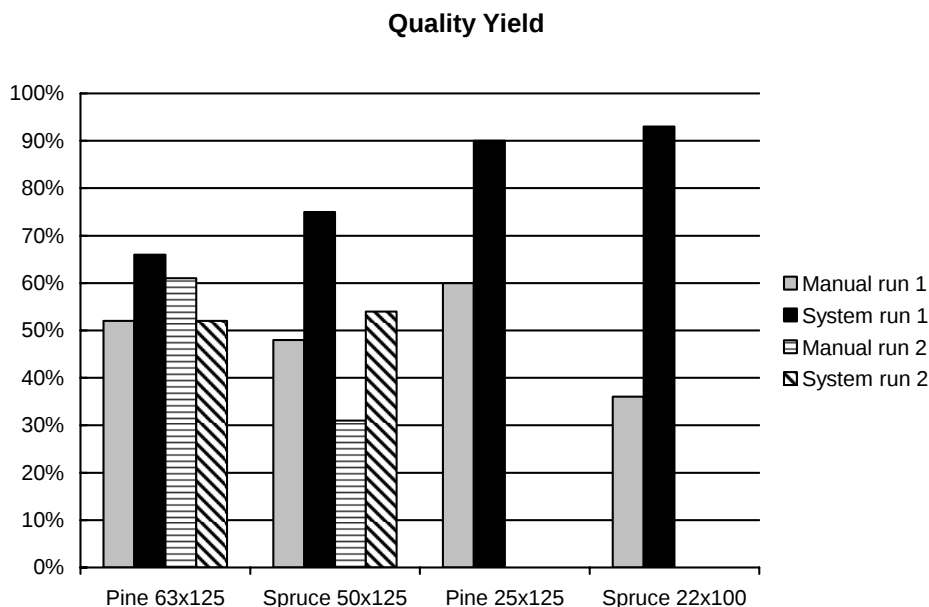


Figure 5. The quality yield for manual grading and the automatic grading system

The results from the repeatability test show that the value yield varied between 85% and 96% for the manual grader and between 85% and 94% for the automatic grading system. The automatic grading system had 80% of the 20 boards of pine 25×175 mm in the same quality in all three runs; 90% were in the same quality in 2 out of 3 runs. The manual grader had 90% of the boards in the same quality in all three runs; 100% were in the same quality in 2 out of 3 runs.

This study shows that it is in many cases possible to replace the manual grader with an automatic system. The output will probably not be the same, nor necessarily wrong.

During the test it was obvious that the choice of test material matters greatly. A “difficult” material with a lot of hard-to-define knots will probably give other results than an “easy” material.

When systems for grading are compared, it is important to choose the right grading rules and to be aware of what the system is supposed to manage. The test method must define whether all defects included in the rules are to be regarded, or if it should be limited to the defects the system is able to detect. If

defects that the system is unable to detect are visible on the board, the test method must define whether such defects are to be ignored or recognized.

The automatic system in this test did very well compared to the manual grader when compared in a production line with ordinary grading rules and normal material to grade. The manual grader is able to see and classify unusual “new” defects better than the automated system. The automatic system needs to have every defect type specified, whereas the human grader can make a decision based on common sense. If the timber contains many defects that are hard to define, automation can be a difficult task. If, on the other hand, the properties of the timber are well defined and the grading rules are defined, tested and approved, the automatic system can replace the often tiresome and monotonous work of manual grading with very good results.

It is easier to automatically grade spruce than pine. The study shows, however, that an adjustment of the defect detection algorithm can make the system almost 100% correct even for pine planks. What was not analysed in this study was what happens if timber with a different appearance is to be graded. The robustness of the system was never tested. More tests need to be done to verify accuracy and robustness over a longer time.

One of the main problems involved in grading tests is to establish the irrefutable grading truth. To accomplish that, great thoroughness is required.

6 Paper III

6.1 Introduction

Manual grading of sawn wood is monotonous and tiresome work (Ager *et al.* 1977). The difference between grades is sometimes very hard to see, even if the rules are written down in an organized manner (Grönlund 1995). The rules for automatic grading systems have to be very concise. Automated systems are unable to interpret the sometimes subtle and inconsistent information supplied by the sales department to be applied by the grader, be it a manual grader or an automatic grading system. The need for very concise rules and threshold levels makes both fine-tuning and changes a difficult process. Because of this there is a need for new methods that make it easier to fine-tune and continuously adjust the grading system in order to fulfil the ever-changing market demands.

Today’s automatic grading systems are able to grade timber in an almost infinite number of grades. When it comes to changing parameters in a grade, there are often many tables to go through and make changes in, so in practice, changes are seldom made.

The use of neural networks in timber grading has proven to be a much harder task than expected. There have been experiments with neural networks, fuzzy logic and self-organizing maps (SOM) to detect and classify defects as well as to grade the boards for appearance (Labeda 1997; Kauppinen 1999; Niskanen 2003; Kline *et al.* 2003). The experiments have not been particularly successful, which is reflected in the fact that these methods have not yet been introduced into commercial systems on a large scale, even though SOM has been implemented in a system for defect classification. One reason for the slow introduction of neural networks is the complicated system for changing and formulating new grading rules, in which the system has to be “shown” good examples of each new grade or defect type. In some cases the number of boards in the test set can be in the thousands (Lee *et al.* 2003; Klein *et al.* 2003). With PLS (Partial Least Squares) methods of grading, some of the problems associated with neural networks are diminished or removed. The PLS method gives a transparency not achievable with neural networks (Esbensen 2002, p 263). This transparency in turn engenders confidence in the system. In addition to the general holistic view, similar to a human grader’s view, that can be achieved with the PLS method, it is also possible to define fixed limits for specific features, for example maximum size of dry knots or maximum length of cracks.

With PLS methods the settings can easily be controlled and changed in order to influence the quality yield and the value yield. For a manual grader it is easy to change the grading rules a little, but rather often the grader falls back to the usual rules. Industrial experience shows that the manual grader is also very “distribution conscious”, which means that the grade distribution is very similar over time, regardless of the quality of the incoming material. An automatic system handles each board in itself with no regard for other boards’ grades.

The approach with multivariate PLS methods has been successfully used for log grading (Oja *et al.* 2004) in which logs were sorted into three classes based on interior and exterior data extracted from X-ray and 3D scanners. A number of commercial systems using the methods are in use at Swedish sawmills.

6.2 Objectives

The objective was to create an easier way to handle the often complicated and intricate situations that the operator of an automatic grading system is faced with each time a change to the grading rules is proposed. The way to handle the problem was to use a holistic view based on multivariate statistical methods.

6.3 Limitations

The limitations in the study are that the material is limited to a few boards in a few dimensions in only two species and that the grading is of a type mainly used in the Nordic countries, as it is four-sided grading based on Nordic Timber (Anon. 1994).

6.4 Materials and methods

The materials used were Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) boards, 71 boards dimensioned 50×150 mm and 83 boards dimensioned 50×200 mm. The boards were sawn from saw logs chosen randomly from the timber yard with a controlled, equal distribution of dimension class (top diameter 21 cm and 25 cm) and log type (butt, middle and top). Fifteen sawlogs of each combination (log type and diameter class) were selected, 90 logs in total. The logs were sawn with 2 centre pieces from each log. During handling, some logs and some boards were lost.

The sawmill's head grader graded the boards manually. The rules used were based on, but did not strictly follow, the Nordic Timber grading rules. A grade called Vm was introduced in addition to the common OS, V and VI, where OS is the "best" and VI is the "worst" grade. Vm is a type of V, with larger sound knots but fewer dead knots allowed than in ordinary V. The grader did not take defects such as blue stain, decay or cracks into consideration. Grading was done in a holistic manner, so a board with one or two large defects was not necessarily downgraded if the rest of the board was classed among the best pieces in that grade.

The boards were scanned, and all defects were classified, measured and checked manually. The defects' type, size and position are stored in a data file in text format, one file per board. The defects in the files have been organized in an aggregated way to simulate the manual view of grading when taking more than just the single defect's size and position into consideration. The aggregation is a way to create statistical features of a board's side instead of the plain measured values for each defect. The aggregated parameters are maximum size, mean area and the number of defects calculated for each defect type and board side. The ratio between the number of dead knots and the number of sound knots was also calculated. The total number of defects on each side, all types together, was likewise calculated. The position of the knots, lengthwise and across the board, was not considered in the model. In a real grading situation, knot position is important, as it is possible to cut away unwanted defects in order to increase the value of the board, but in this study this simplification was made, as it was in the manual grading. For each side of the board, a table similar to the one in Table 2

was created. Between 35 and 60 variables are included in the models, depending on board dimension and the search for model simplicity.

Table 2. The aggregated defect table used for model creation and grading. One table for each side, outer, inner and edges, was created

	Amount	Largest	Mean size
Super sound knot			
Sound knot			
Dead knot			
Bark-ringed knot			
Rotten knot			
Splay knot			
Spike knot			
Black knot			
Scar			
Total number of defects			
Ratio between dead and sound knots			

The statistical model for predicting the grade of the boards based on the aggregated variables was then calibrated using PLS regression (Geladi & Kowalski 1986) and the software SimcaP+ 10 (Anon. 2002).

One model was created for each dimension of boards and one for the two dimensions together, in all three models. The models were tested on both the original dimension and on the other dimension. For each model, both the coefficient of determination (R^2) and a Q^2 value based on cross-validation were calculated (Martens & Naes 1989). The variables included in the models were chosen by removing the variables with the least significant VIP values (Eriksson *et al.* 2001) in order to obtain a robust and stable model.

Using the PLS model to predict the grade of boards results in a probability value for each board and grade. A high probability value means that according to the PLS model the probability is high that the board fits that grade. A low probability value similarly indicates that the board does not belong to that grade. In the model it is possible to skew the distribution to a better fit by adding a term, an offset, to the predicted probability value in order to maximize the hit rate either for the whole batch or for a single grade. When changing the offsets for the grades, it is important to consider how many “false positives” and “false negatives” are acceptable. By using the offset it is possible to find all boards in a specific grade, with a risk of also getting some false positive boards that do not belong to that grade. It is also possible to find only boards belonging to a certain grade, with a risk of missing some boards of that grade. To achieve the best

model, the highest total hit rate, a calibration of the model in this study was made by adding a small value for some of the grades.

6.5 Results and discussion

When testing the model on the same dimension as the model was created with, the hit rate, defined as the number of correctly graded boards divided by the total number of boards, was 80% for the 50×200 mm boards and 85% for the 50×150 mm boards (see Table 3). The hit rate was 80% for the 50×200 mm boards and 81% for the 50×150 mm boards respectively in the overall model. In the overall model, the R^2 value is 0.41 and the Q^2 value is 0.31, which means that 41% of the variation can be explained by the model and that 31% can be predicted according to the cross-validation. Testing the model on “wrong” boards gave a hit rate of 70% for the 50×200 mm boards and 59% for the 50×50 mm boards.

Table 3. The hit rate for the different models and dimensions. The boards were graded in four grades.

Hit rate	Model based on “own” dimension	Model based on “wrong” dimension	Model based on both dimensions
50×150 mm	85%	59%	81%
50×200 mm	80%	70%	80%

This shows that a model created for more than one dimension can be good enough and that it can handle more dimensions, but that a model created for just one dimension may be unsuitable for other dimensions. In Figure 6 there is a clear separation between grade O/S (squares) and grade Vm (diamonds). There are mixed zones between grades O/S and V (circles) and between grades Vm and V. Grade VI (triangles) is spread all over, mainly because these boards have some single defects which are larger than allowed and which the model in this case didn’t take into consideration. Another reason is that the number of boards in grade VI was so small that it was not possible to get a good model for that grade.

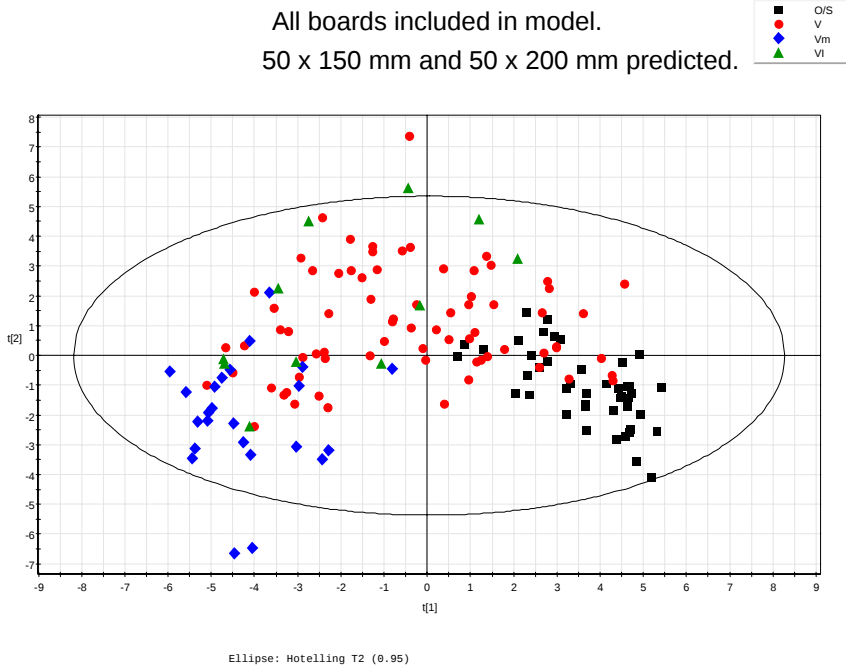


Figure 6. Score plot showing the different grades and their formation in the principal component model plan, first and second principal component. Grade O/S, squares. Grade V, circles. Grade Vm, diamonds. Grade VI, triangles.

The results of this study show that there is great potential in this grading method. It is possible to separate boards of different grades based on overall holistic defect parameters. The reason for using a system with a holistic view instead of conventional table-based grading is that it is easier to use and is similar to the manual method of grading, which is what most wood users want. The user interface can be very simple, which makes the changing of grading rules easier and more transparent than in other systems in use today. When rules are to be changed in other systems, there are often so many tables to go through that the operator is afraid to make changes, as the risk of making mistakes is huge.

To get a PLS model to work properly, it is necessary to “show” the system a number of representative boards with representative defects to calibrate the model from. A qualified guess would be that around 100 boards per grade are needed to build a good working model. The advantage over neural nets seems to be small, but there is a major gain in the robustness and transparency of the model.

In conclusion, this paper shows that a multivariate approach to grading sawn timber is a possible way to simplify the process of grading and to customize the grading rules for an automatic grading system.

7 Paper IV

7.1 Introduction

Final grading in Nordic sawmills is traditionally carried out by manual visual inspection of the sawn timber. To increase capacity, large sawmills have several (usually 2 to 4) graders, each of whom grades only a part (25%–50%) of the total flow of boards. Despite the short time used to judge a board and the increased number of graders, final grading of sawn wood is often a bottleneck in the saw-mill's production.

In order to eliminate this bottleneck, different strategies have been discussed in the Nordic industrial society, and to some extent adopted. The following strategies can be mentioned:

1. Grade as in central Europe, where only the faces are graded (Anon. 1990; Anon. 2000).
2. Install high-capacity automatic grading systems in the final grading station.
3. Do more of the final grading in the green sorting plant, automatically or manually.
4. Enrich some of the grades along the saw line.

For all these strategies, it is interesting to know what the grading result will be if the grading is based on 1, 2 or 3 sides compared to the situation today, in which the board's grade is set based on all four sides. This knowledge is also valuable for the design of flexible, feature-based breakdown processes, in which each process step is monitored and controlled by automatic inspection of the newly sawn surfaces, and the timber is directed to the right treatment, depending on the timber's features.

7.2 Objective

The objective of this study was to illuminate the question of how many sides of a board it is necessary to inspect in order to grade the board correctly. The study includes different sizes of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies*) timber.

7.3 Limitations

The results in this study are built upon the assumption that all defects and other features are apprehended correctly by the grader or the automatic grading system. That is not the case in practice. Some defects are misinterpreted, some are missed and some are fictitious. That means that grading results in practice are probably worse than this study shows.

7.4 Materials and methods

The material used was 243 pieces of timber of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and 467 pieces of timber of Norway spruce (*Picea abies*) taken from Swedish, Norwegian and Finnish sawmills.

The boards were digitized, and all the board features, such as knots, cracks and other defects, were manually classified and collected in data files. The information on each defect consisted of defect type and enough coordinates to define the defect's position, shape and size. The timber was not trimmed, so all features stemming from the log and the process were visible and influenced the grade of the board.

To simulate a grader or a grading system capable of seeing only some of the sides of the boards, the defects on the "unseen" sides were deleted in the defect files. In this way, systems capable of grading on either

- outer face and edges,
- inner face and edges,
- both faces,
- both edges or
- outer face

were simulated.

The boards' profile data, which include wane data, were not changed, so wane is always part of the grading in the simulations.

The boards created this way are never of a lower grade than the original, as the removed sides are considered clean, without defects.

The boards were graded in a grading instructor and simulator called SortSim. SortSim functions as a grading simulator to test and compare different rules and price lists. It is possible to create new customized grading rules to test how the yields, both value and number of boards in the different grades, are influenced by a change. Inputs to the program are defect files, grading rules and price lists. The defect files include profile data and defect data, one file per board. The profile data are used to calculate length, width, thickness and wane. The defect data provide information about the defects' type, size, side of the board and position. The rules in the program are "hard" rules in so far as the rules, once specified, are followed strictly.

The grading rules used in the study were the Nordic Timber rules (Anon. 1994), which were used without modification. Four grades were used, A, B, C and D, where A is the "best" and D is the "worst". Nordic Timber gives the maximum

permitted values of wood feature for each grade. According to Nordic Timber, the grade of a piece of wood is determined by the worst side of the outer face and the edges, while the inner face may be one grade lower.

After grading the boards that were graded on one, two or three sides, the grade, length and value were compared to the boards that were graded on all four sides. The number of correctly graded boards was calculated as accepted percentage.

The prices used in the test were based on prices collected from different saw-mills and compiled to an average. However, the absolute price is not important, as it is the relationships between the prices for different grades that are important.

When calculating the results from grading on fewer than four sides, one of three outcomes is possible.

1. The board is correctly graded equivalent to four-sided grading. The board is accepted.
2. The board is of a correct grade, but too long. It is possible for a customer to cut the board to the correct grade and length at a later stage in the process. The board is accepted.
3. The board is placed in a grade that is too high. It is not possible to cut the board to obtain the correct grade. The board is not accepted.

The first and the third outcomes are easy to understand. The second outcome is based on the assumption that a customer can cut incoming material, perhaps in a window or furniture factory, and that the customer is aware that it might be necessary to cut some boards in the batch to get the correct, usable grade.

7.5 Results and discussion

The results show that all deviations from four-sided grading lead to less accurate grading. The amount of timber that is graded incorrectly (the number of incorrectly graded timbers divided by the total number) is between close to 0% and approximately 70%, depending on species, graded sides and dimension, with the most correctly graded boards in the thinnest dimension of spruce, which is the only side-board dimension in the study. There are no strict correlations between grading result and species, thickness or width for the thicker timbers (the centre yield).

It is obvious that it is not enough to look only at the edges or only at the faces to get an accurate grade. The average of correctly graded timbers is between 75% and 80%, with a maximum of 91%, for face grading, and on average below 40% to 50% for edge grading, with a maximum of 59%. That is a contradiction to

what manual graders usually assert. The conventional wisdom is that the edges are the most important sides to inspect.

The three-sided grading of centre yield seems to be more sensitive to dimension in pine than in spruce. The yield differences are larger between the pine dimensions than between the similar spruce dimensions.

Some sawmills regard the use of a three-sided scanner as a possibility, mainly to grade thinner boards. The thinner the board, the more similar the two faces are, apart from wane. It is not possible, however, to get a good result when grading on only the faces or on only the edges. It is also necessary to turn the side boards in order to see the wane. Otherwise, the side boards with the wane turned down will be incorrectly graded.

A three-sided grading is required in order to eliminate the need for a turning device, which is expensive and often slows down the feed speed or causes logistic problems when grading in transverse feeding. A three-sided grading of boards, knowing that the outer face is inspected, is possible if the inspection is performed right after the edger, where the side boards are turned outside face up. Then it is also possible to grade according to remaining wane.

Even if it is almost impossible to achieve correct grading by looking at fewer than all four sides, it is possible to enrich the output by grading on only one or more sides and rejecting timbers that contain unwanted defects at an early stage in the process. One- or two-sided grading might be sufficient after the first saw or in the green sorting station as a means to enrich the grades.

If the edges on thicker timber yield enough information to grade a board correctly, it would be possible to scan the cant after the first saw and set the next saws to a dimension that optimizes the grade of the boards, as the faces of the cant become the edges on the timber. If the edges are of a low grade, the timbers as a whole will not be of a higher grade. It is thus possible to accomplish an enrichment of grades by inspecting the cant and setting dimensions according to the timber edges.

An important point is whether the grading rules mirror the actual needs. Does a customer really care if there is a large knot on the inner face if he is going to use the outer face as the visible surface? Are edge knots important other than in constructions where strength is needed? As the grading rules become more customized, it is possible that more thorough grading will be necessary, but the possibility is also that less rigid grading might be sufficient for some products and some customers.

In the Nordic Timber rules, up to 10% of a batch might be off grade. Discussions with sawmill personnel give the impression that a good grader is correct up to approximately 80% over time, and a normal grader around 60%–70%. Exactly what is meant by “correct” is hard to specify.

With a system that is 100% correct in defect detection, it would be possible to reach at least 70% correctness if only the faces or outer face and edges are inspected. Unfortunately, the automated systems are like humans; they make errors, but different errors from human operators. The errors the automated systems make are often harder for the end user to accept, as these errors are of a new kind and are sometimes totally incomprehensible. In the best of worlds there is a system that is 100% correct in defect detection and irrefutable in optimization. But today it is futile to hope for a faultless grading system.

8 Discussion and conclusion

It is obvious that automatic grading in the sawmill’s green sorting station and final grading station is gaining ground at the expense of manual grading. More and more systems are installed each year.

The intent of the grading rules is to make it possible for buyer and seller to establish unanimity as to what is sold and bought. It is shown in Paper I that the share of A grade can vary 15%–20%, depending on how the knots are measured. The limit for accepted size of sound knots for A grade in the dimensions 50×100 mm is 30 mm. With an uncertainty in measurement of ± 2 mm, which is not uncommon, 11% of the largest sound knots are found within that zone. There are also other defects, so not all of the 11% is critical. On the other hand, there are more grade boundaries than between A and B grade, so the boundary problem is a possible subject for discussion between seller and buyer of sawn wood. In order to avoid the multilateral relational dissonance that might arise if the discrepancy between the trade partners’ opinions on a batch of timber is too large, the grading rules and the way the wood features are measured have to be defined in an irrefutable manner. Much of the trading is done according to tradition and “the same procedure as every year”, so the grading rules and ways to measure defects are not a problem until a batch is out of bounds and arbitrators are called in to settle the dispute.

In Paper II a comparison between manual and automatic grading is performed. The same rules are used, as far as possible. It is in most cases not possible to have exactly the same rules, as the automatic system has other possibilities and other limitations than the human grader. It is shown that an automatic system can replace manual graders with the same, or better, value yield.

When using an automatic system, it is possible to have the exact customer function requirements programmed, if they are known. This makes it possible to use the green grading or the final grading station to produce components for the secondary processing industry. The secondary processing industry could benefit from knowing the exact amount of useable pieces in each pack without having to open the pack.

Paper III proposes a new approach to defining and refining the grading rules in practice. By using only few controls instead of multiple tables, it is possible to make smaller or larger adjustments to the rules. The rules are in that way more humanlike and holistic, which in many cases is what customers really want. There are wood users who have very specific rules that the holistic view is unable to comply with, but for the general bulk-producing sawmill, this new method seems to be a very attractive approach.

In Paper IV simulations of how many sides of a board are needed to get a sufficient grading are performed. It is shown that all sides contribute to the grading result. It is also shown that in some cases it is possible to scan the cants and set the secondary saws to an appropriate pattern according to the defects shown on the surface, which will be edges on the sawn timber. In that case, the final grade of the board is never better than the grade of the edges. This makes it possible to enrich grades, e.g., to divert timber with pitch pockets from being sawn into panels. Another application would be to direct the sawn and graded timber to the right kiln and thereby improve the drying process.

An automatic grading system can be used as so much more than just a replacement for a manual grader. As the system “knows” all defects that have passed through the system, it is possible to do a statistical evaluation based on defects, supplier of raw material, drying conditions, storage time and much more. All this can be set in relation to the actual value yield, volume yield, productivity, production speed or whatever needs improvement.

From this work it can be concluded that the speed and accuracy of automatic grading systems are sufficient for most of the tasks they are set to perform, in contrast to manual graders. Some functions are impossible for a human grader to effect, so an automatic system is necessary, while other functions are better performed by a human grader. In order to compare different systems, an objective evaluation system is needed. The evaluation system used in this work was developed in cooperation with manufacturers and users.

The rules for automatic grading can be simplified by using statistical measures, such as PLS methods, to get a holistic view similar to that of human graders.

It is possible to enrich grades even as cants, as the open face on the cant will later be edges on the sawn timber. It is not possible, however, with the traditional Nordic grading rules, to grade the timber by inspecting fewer sides than the rules prescribe without losing accuracy.

Simulation tools are used to demonstrate the benefits gained in setting up grading rules and in planning the product mix.

9 Future work

The future work ought to focus on advanced optimization of the whole forestry-wood value chain. There have been simulations of optimization presented in a number of publications (Usenius & Song 1996; Usenius 1999; Usenius 2002; Chiorescu 2003; Nordmark 2005). There have in recent years been technological realizations that make traceability and optimization possible (Uusijärvi 2000; Uusijärvi 2003). Parts of the chain have long since been optimized and validated. This has of necessity been a matter of suboptimizations, as the amount of work entailed in keeping the whole chain in detail in the optimization process has been insuperable. With new traceability concepts it will also be possible to calibrate each specific sensor and each process step according to output, and thereby optimize the value chain.

Going into the details regarding grading of sawn timber, one thing to focus on in the near future should be simplification of the user interface. Getting a working PLS model for appearance grading into production is a near-term goal. The criteria for using PLS methods for strength grading have to be investigated. This would make it possible to grade for both appearance and strength at the same time in the same apparatus and facilitate an advanced product mix optimization.

As the largest source of error when grading sawn wood is determining knot type, a sensibility check with the customers regarding how strictly the grading rules have to be followed should be performed. This will make it possible to accelerate the implementation of automatic grading systems by simplifying the grade definitions, which take a lot of work to set up. The demands put on the saw-mills' grading rules should mirror the actual requirements of the end customer, and these demands should be integrated throughout the chain, all the way from the forest to the customer.

A step in the optimization process is to enrich the grades along the way in order to minimize the overproduction of faulty products. By grading and sorting logs, cants, green boards and dry boards, the possibility of using the right wood for

the right products increases, and the risk of manufacturing products without buyers decreases.

The tools for optimization and simulation processes, which deserve a prominent place in a sawmill's toolbox, can contribute to an increase in the sawmill's production and revenue. To achieve that effect, the tools must be introduced on a larger scale and be validated against real production parameters, real logs and real timber.

The ultimate goal is that all products that are produced should fulfil customer requirements to 100%. However, a lot of R&D work will be needed before that goal is reached.

10 References

- Ager, B., Eklund, B., Gasslander, J.-E., and Söderman, E. 1977. *Ergonomi och produktionsteknik i sågverk*. [Ergonomics and production techniques in sawmills.] STFI-meddelande Serie A nr 393. Stockholm: STFI (in Swedish).
- Anon. 1980. *Guiding Principles for Grading of Swedish Sawn Timber (The Green Book)*. Stockholm: The Association of Swedish Sawmillmen.
- Anon. 1986. *ISO 8402-1986*. International Standardization Organization.
- Anon. 1990. *Tegernseer Gebräuche, 1985*. Stuttgart: DRW-Verlag (In German). ISBN 3871811203.
- Anon. 1994. *Nordic Timber, Grading rules for pine and spruce sawn timber (The Blue Book)*. Stockholm: The Association of Swedish Sawmillmen. ISBN 91-7322-227-5.
- Anon. 1998. *Final draft, prEN 1611-1, Sawn timber - Appearance grading of softwoods. Part 1: European spruces, firs, pines and Douglas firs*. CEN.
- Anon. 2000. *EN 1611-1, Sawn timber. Appearance grading of softwoods. Part 1: European spruces, firs, pines and Douglas firs*. CEN.
- Anon. 2002. *User Guide, SIMCA-P and SIMCA-P+ 10*. Umeå, Sweden: Umetrics AB.
- Anon. 2005. *Swedish Statistical Yearbook of Forestry 2005*. Rev. 8 March 2006. Jönköping, Sweden: National Board of Forestry.
<http://www.svo.se/minskog/templates/Page.asp?id=16778> (2006-03-24)
- Billman, D., Bornstein, B. H., and Richards, J. 1992. Effects of expectancy on assessing covariation in data: "Prior belief" versus "meaning." *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 53:74–88.
- Broman, N. O. 2000. *Means to Measure the Aesthetic Properties of Wood*. Doctoral Thesis 2000:26, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden. ISSN:1402-1544
- Chiorescu, S. and Grönlund, A. 2003. The visual grading system for Scots Pine logs in relation to the quality of sideboards produced. *Forest Products Journal* 53(1):53–60.
- Chiorescu, S. 2003. *The Forestry - Wood Chain, Simulation Technique - Measurement Accuracy - Traceability Concept*. Doctoral Thesis 2003:03. Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden.
- Esbensen, K. H. 2002. *Multivariate Data Analysis in Practice*. Oslo: Camo Process AS. ISBN 82-993330-3-2.

Geladi, P. and Kowalski, B. R. 1986. Partial least-squares regression: A tutorial. *Analytica Chimica Acta* 185:1–17.

Grace, L. A. 1994. *Design and evaluation of an optical scanner based log grading and sorting system for Scots Pine (Pinus sylvestris L.) sawlogs*. Dissertation. Uppsala, Sweden: The Swedish University of Agricultural Sciences. ISBN 91-576-4848-4.

Grundberg, S. 1999. *An X-Ray LogScanner - a tool for control of the sawmill process*. Doctoral Thesis 1999:37. Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden.

Grönlund, A. 1992. *Sågverksteknik [Sawmill Technology]* (in Swedish). Markaryd, Sweden: Sveriges Skogsindustriförbund. ISBN 91-7322-150-3

Grönlund, U. 1995. *Quality Improvements in Forest Products Industry – Classification of biological materials with inherent variations*. Doctoral Thesis 1995:172 D. Luleå University of Technology. Luleå, Sweden. ISSN 0348-8373.

Hansen, E. and Bush, R. 1996. Consumer perceptions of softwood lumber quality. *Forest Products Journal* 46(10):29–34.

Heickerö, R. 1996. *Det moderna sågverket, Strategier för utveckling av produktionssystem och arbetsorganisation i svensk sågverksindustri*. [The Modern Sawmill, Strategies for development of production system and work organization in Swedish sawmill industry]. (in Swedish with English summary). Doctoral Thesis. KTH-Royal Institute of Technology. TRITA-IMA 1996:8.

Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N. and Wold, S. 2001. *Multi- and Megavariate Data Analysis – Principles and Applications*. Umeå, Sweden: Umetrics Academy. ISBN 91-973730-1-X

Hilbrand, H. C. and Miller, D. G. 1966a. Machine Grading - Theory and Practice, Part 1. *Forest Products Journal* 16(11):28–40.

Hilbrand, H. C. and Miller, D.G. 1966b. Machine Grading - Theory and Practice, Part 2. *Forest Products Journal* 16(12):36–40.

Hoyle, R. J. 1961. A Nondestructive Test for Stiffness of Structural Lumber. *Forest Products Journal* 11(6):251–254.

Juran, J. M. 1951. *Quality Control Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Jäppinen, A. 2000. *Automatic Sorting of Sawlogs by Grade*. Doctoral Thesis. The Swedish University of Agricultural Sciences, SLU, Acta Universitatis agriculturae Sueciae, Silvestria 139. Uppsala, Sweden. ISBN 91-576-5873-0

Kauppinen, H. 1999. *Development of a color machine vision method for wood surface inspection*. Doctoral Thesis. University of Oulu, Faculty of Technology, Oulu, Finland. ISBN 951-42-5423-6

- Kline, D. E., Surak, C. and Araman, P. A. 2003. Automated hardwood lumber grading using a multiple sensor machine vision technology. *Computers and electronics in agriculture* 41:1–17.
- Labeda, A. 1997. *Industrial Application of Artificial Neural Network in Computer Lumber Grading*. AB Träteknik, Institutet för träteknisk forskning, Stockholm, Sweden. Rapport L 9703021.
- Lee, S.-M., Abbott, A. L., Araman, P. A. and Schmoldt, D. L. 2003. A System for Optimal Edging and Trimming of Rough Hardwood Lumber. *Proceedings. 5th International Conference on Image Processing and Scanning of Wood* pp 25–34. Bad Waltersdorf, Austria. March 23–26.
- Luppold, W. and Bumgardner, M. 2003. What is low-value and/or low-grade hardwood. *Forest Products Journal* 53(3):54–59.
- Martens, H. and Naes, T. 1989. *Multivariate calibration*. New York: John Wiley & Sons Ltd. ISBN 0-471-93047-4
- Navrén, M., Nylinder, M. and Gustavsson R. 2001. *Sågfakta 2000*. Uppsala: SLU, institutionen för skogens produkter och marknader (In Swedish). <http://www2.spm.slu.se/publikat/Sagf2k.pdf> (2006-03-24).
- Niskanen, M. 2003. *A visual training based approach to surface inspection*. Doctoral Thesis. University of Oulu, Faculty of Technology Oulu, Finland. Acta Universitatis Ouluensis C 186. ISBN 951-42-7067-3
- Nordmark, U. 2005. *Value Recovery and Production Control in the Forestry-Wood Chain using Simulation Technique*. Doctoral Thesis 2005:21. Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Oja J., Grundberg, S. and Grönlund, A. 2001. Predicting the Stiffness of Sawn Products by X-ray Scanning of Norway Spruce Saw Logs. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16(1):88–96.
- Oja, J., Wallbäcks, L., Grundberg, S., Hägerdal, E. and Grönlund, A. 2003. Automatic grading of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sawlogs using an industrial X-ray scanner. *Computers and electronics in agriculture* 41(1–3):63–75.
- Oja, J., Grundberg, S., Fredriksson, J. and Berg, P. 2004. Automatic grading of saw logs: A comparison between X-ray scanning, optical three-dimensional scanning and combinations of both methods. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(1):89–95.
- Oja, J., Grundberg, S., Berg, P. and Fjellström, P.-A. 2006. *Mätutrustning för bestämning av fibervinkel och kärnvedsinnehåll vid tvärtransport av träprodukter i råsorteringen*. SP Swedish National Testing and Research Institute. Skellefteå, Sweden. SP Rapport 2006:16. ISBN nr 91-85533-01-7. (In Swedish)

- Sandberg, D., Wålinder, M. and Wiklund, M. 1997. *The concept of Value Activation - A better utilization of wood*. TRITA-TRÄ R-97-27. KTH - Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden.
- Senft, J. F., Suddarth, S. K. and Angleton, H. D. 1962. A New Approach to Stress Grading of Lumber. *Forest Products Journal* 12(4):83–186.
- Sepúlveda, P. 2003. *Non-destructive Measurement of Spiral Grain with X-rays in Laboratory and in Industry*. Doctoral Thesis LTU 2003:14. Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Steele, P. H., Wagner, F. G., Kumar, L. and Araman, P. A. 1993. The value versus volume yield problem for live-sawn hardwood sawlogs. *Forest Products Journal* 43(9):35–40.
- Säll, H. 2002. *Spiral Grain in Norway Spruce*. Acta Wexionesia 22/2002. Växjö University. Växjö. Sweden. ISBN:91-7636-356-2
- Temnerud, E. 1997. *Formation and prediction of resin pockets in Picea abies (L.) Karst*. Doctoral Thesis. The Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. ISBN:91-567-5310-0
- Tory, J. R. 1978. Machine stress grading in the United Kingdom: Theory and practice. In: 4th non-destructive testing of wood symposium, August 1978. Vancouver, Washington.
- Usenius, A. and Song, T. 1996. Relating the product specification to the value yield in the wood conversion. In: Proc. of the second workshop IUFRO WP S5.01.04, Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software, pp 259–263. Nepveu, G. (ed.). 1996, Krueger National Park, South Africa.
- Usenius, A. 1999. Wood conversion chain optimization. In: Proc. of the third workshop IUFRO WP S5.01.04, Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software, pp 541–548. Nepveu, G. (ed.). 1999, La Londe-Les-Maures, France.
- Usenius, A. 2002. Experiences from industrial implementations of forest-wood chain models. In: Proc of the fourth workshop IUFRO WP S5.01.04, Connection between silviculture and wood quality through modelling approaches and simulation software, pp 600–610. Nepveu, G. (ed.). 2002, Harrison Hot Springs, British Columbia, Canada.
- Uusijärvi, R. 2000. *Automatic tracking of wood – connecting properties from tree to wood product*. Doctoral Thesis. KTH - Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. TRITA-TRÄ R-00-43. (In Swedish with English summary.)

Uusijärvi, R. 2003. *Linking raw material characteristics with Industrial Needs for Environmentally Sustainable and Efficient Transformation processes (LINESET)*, QLRT-1999-01467 Final Report. Stockholm: AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning, Rapport P 0309034.

Weinfurter, S. and Hansen, E. 1999. Softwood lumber quality requirements: Examining the supplier/buyer perception gap. *Wood and Fiber Science* 31(1):83–94.

Yaniv, I. 1997. Weighting and Trimming: Heuristics for Aggregating Judgments under Uncertainty. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 69(3):237–249.

Paper I



TRITA-TRÄ R-00-45
ISSN 1104-2117
ISRN KTH/TRÄ/R--00/45—SE

Trätek, Rapport P 0005008

Sortering och produktmix inom trävaruindustrin

- Analys av sorteringssimuleringar

Anders Lycken

Trätek

Stockholm
2000

Licentiatavhandling
KTH – Kungl Tekniska Högskolan
Inst. för Produktionssystem
avd. Träteknologi
100 44 Stockholm





TRITA-TRÄ R-00-45
ISSN 1104-2117
ISRN KTH/TRÄ/R--00/45—SE

Trätekt, Rapport P 0005008

Sortering och produktmix inom trävaruindustrin

- Analys av sorteringssimuleringar

Anders Lycken

Trätekt

Stockholm
2000

Licentiatavhandling
KTH – Kungl Tekniska Högskolan
Inst. för Produktionssystem
avd. Träteknologi
100 44 Stockholm



Abstract

The aim of this work is twofold: first to describe how the sawmills' grading rules are formulated and how models for sorting can be described; second to describe to what help a database tool with information about the sawmill's production can be.

The thesis gives examples on how a database tool can be used to electronically resort part of the production with new grading rules and new price lists.

Some of the problems that sawmills, but also other wood manufacturers, face when new market demands are stated are treated in the thesis. Models and techniques to decrease and solve some of the problems have been developed and are described.

The thesis is opened with a background description, in which it is established that already 30 years ago, it was discussed and planned for an introduction of automatic sorting and grading systems for sawn wood. Furthermore, a number of grading rules used in the Nordic countries are described.

A number of models to set up and describe grading rules have been developed and are presented. Some of the grading systems and models are described thoroughly and exemplified. It is established that an advanced system is needed to develop and maintain the grading rules to make them correspond to the fast changes that the wood market is exposed to.

The problems that the sawmill is put before, when questioned about a new product, is formulated and broken down into a number of subproblems. The limitations made in the thesis are formulated, described and commented.

The used databases' constructions are described, as is input material and data collection.

The databases have been used in a number of grading simulations, where the yield has been compared to used grading rule. Furthermore, the yield has been compared to graded face, to show which face of the wood piece that has the most influence on the result.

The possibilities and limitations of automatic grading systems have to a certain extent been examined by simulations in the database. The different wood features correlation to each other and their significance to the grading result is presented.

The result from the study shows that a well established database system, which contains information on the sawmill's raw material, grading rules and production can make it easier when promoting and selling traditional and new wood products. The limitations are not technological.

Keywords: automatic grading, grading, lumber, manual grading, optimisation, product mix, products, sawmill, sorting

Sammanfattning

Syftet med föreliggande arbete är tvåfaldigt: för det första att redogöra för hur sågverkens sorteringsregler är formulerade, hur modeller för sortering kan beskrivas; för det andra att beskriva vilken hjälp ett databasverktyg med uppgifter om sågverkets produktion kan vara.

I uppsatsen ges exempel på hur ett databasverktyg kan användas för att elektroniskt omsortera delar av produktionen med nya sorteringsregler och nya prislistor.

Vissa av de problem som sågverk, men även annan trävaruindustri, står inför då nya marknadskrav framförs på de produkter som efterfrågas behandlas i uppsatsen. Modeller och tekniker för att mildra och lösa några av problemen har tagits fram och presenteras.

Uppsatsen inleds med en bakgrundsbeskrivning, i vilken det konstateras att det redan för 30 år sedan diskuterades och planerades för introduktion av automatiska sorteringsystem för sortering av sågade trävaror. Vidare beskrivs ett antal sorteringsregler som är i bruk i Norden i dag.

Ett antal modeller för att upprätta och beskriva sorteringsregler har tagits fram och presenteras. Några av sorteringsystemen och -modellerna beskrivs ingående och exemplifieras. Det konstateras dessutom att det krävs ett avancerat system för att utveckla och upprätthålla sorteringsreglerna så att de motsvarar de snabba växlingar som trävarumarknaden utsätts för.

De problem, som sågverket står inför, då förfrågan om att sortera fram en ny produkt ställs, formuleras och bryts ned i ett antal delproblem. Begränsningarna som görs i denna uppsats, formuleras, beskrivs och kommenteras.

De i uppsatsen använda databasernas uppbyggnader beskrivs, liksom ingående material och insamlingen av data.

Databaserna har använts vid ett antal sorteringssimuleringar varvid utfallet har ställts mot använd sorteringsregel. Vidare har utfallet ställts mot avsynad sida för att visa vilken av virkesstyckets sidor som är avgörande för sorteringsresultatet. Möjligheterna och begränsningarna med automatisk visuell sortering har också till viss del utretts med hjälp av simuleringar i databasen. De olika särdragens korrelation till varandra och deras betydelse för sorteringsresultatet redovisas.

Resultatet från studien är att ett utbyggt databassystem, i vilket information om sågverkets råvara, sorteringsregler och produktion finns, kan underlätta vid marknadsföring och försäljning av traditionella och nya produkter. Dagens teknik sätter inte begränsningarna.

Förord

Detta arbete har till största delen finansierats av Skogs- och Jordbrukets Forskningsråd, SJFR, för vilket jag tackar allra varmast. Andra, indirekta, finansiärer har varit NUTEK och Träforsk, vilka har medverkat till att näraliggande projektområden har kunnat utvecklas och därigenom stimulera även detta arbete.

Arbetet initierades redan 1994, men har av olika skäl dragit ut på tiden. De teorier och idéer som då tycktes avlägsna har i olika hög grad redan implementerats hos några framsynta sågverksföretag.

Ett stort tack riktas till professor Martin Wiklund, KTH, Institutionen för Produktionssystem, avdelning Träteknologi, för handledning och kommentarer på uppsatsens utformning.

Tack riktas även till, i första hand, Sven Casselbrant, som kom med de ursprungliga planerna, men även till Rune Rydell och Barbro Svensson, alla på Träteknik, vilka samtliga ställt upp på diskussioner om arbetets uppläggning samt tolkningar och presentation av resultaten. Sven och Rune har avgått med pension under arbetets gång.

Tack även till de sågverk som bidragit med provmaterial och kunnande som varit till stor hjälp under arbetet.

Övriga att tacka är många, nämnas kan speciellt Åke Liljeblad och Richard Uusi-järvi, Träteknik, som jag haft många långa, animerade och givande samtal med. Till dessa personer kan läggas ett stort antal, som jag hoppas själva kan ta åt sig av min tacksamhet – ingen övrig nämnd och ingen glömd.

Stockholm
2006-03-27



Anders Lycken

Sen här med vilka stora bokstäver jag egenhändigt skriver till Eder
Paulus brev till Galaterna 6:11

*Fick jobb upp vid sågen
och staplade bräder
och bräder och bräder där
och bräder om igen*

*En del la jag så,
och andra la jag så,
en del la jag åt sidan,
en del la jag för sej.
En del hade håll,
dom lade jag för sej,
och andra var för korta,
dom lade jag för sej.
För Rodderallanda läns!
Hugg i och håll!*

*En del hade kantskav,
dom la jag på sitt håll,
en del hade böjt sej,
dom lade jag för sej.
En del var angripna
av blåhjon och nattsmyg,
dom la jag åt sidan i
en särskild hög för sej.*

*En del dom hade krympt,
dom lade jag för sej.
En del var prima virke,
dom lade jag för mej.*

Povel Ramel, ur Karl Nilsson.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	1
2	Hypotes.....	4
3	Problembeskrivning	5
4	Begränsningar/avgränsningar/förutsättningar för studien	7
5	Sorteringsregler – praktiska tillämpningar.....	9
5.1	Introduktion	9
5.2	Sortering av sågat virke av furu och gran, Gröna Boken	10
5.3	Nordiskt Trä.....	11
5.4	CEN-sorteringsregler, EN 1611-1	13
5.5	Ändamålsanpassad sortering av sågade och hyvlade trävaror. Eurograding 14	
5.6	Sågverksspecifika sorteringar.....	15
5.7	Nordiskt kvalitetsspråk för träbranschen - barrträ.....	16
6	Sorteringsregler – modeller.....	19
6.1	Sorteringsmodeller.....	20
6.2	Exempel på sorteringsmodell.....	28
6.3	Prisrelationer	30
7	Mätning av särdrags storlek	31
7.1	Kviststorlek	32
7.2	Beräkning av kviststorlek	35
7.3	Vankantmätning.....	37
8	Manuell sortering	38
8.1	Beskrivning av manuell sortering.....	38
8.2	Problem vid manuell sortering.....	40
9	Automatisk sortering.....	44
9.1	Beskrivning av ett system för visuell automatisk sortering.....	44
9.2	Automatsorteringssystem jämfört med manuell sortering.....	48
10	Produktmix	49
11	Databasernas information om material, sorteringsregler och -resultat	52
11.1	Struktur i databasen med manuellt inmätta virkesstycken samt sorteringsregler	52
11.2	Innehåll i den manuellt inmätta virkesdatabasen	53
12	Sortering i databasen	67
12.1	Beräkning av särdrags mått	67
12.2	Tidsåtgång vid sortering i databasen.....	68
13	Virkesfel och övriga sorteringsgrundande särdrag i databasen	69

14	Jämförelse mellan Nordiskt Trä och prEN 1611-1	79
15	Jämförelse mellan sortering av plankor med olika kvistregler	87
16	Jämförelse mellan sortsättande ytor	88
17	Korrelation mellan vissa sorteringsgrundande parametrar	90
18	Sortering anpassad till "ackumulerat antal"	97
19	Produktionsdatabas.....	100
20	Diskussion och slutsats	108
21	Framtida forskning	111
22	Litteraturreferenser	112
23	Annan litteratur att läsa i ämnet	116

1 Bakgrund

Först eftertanke, sedan hårt arbete

A A Milne, ur Nalle Puhs hörna.

Allt fler sågverk anammar en formaliserad och strukturerad produktspecifik¹, kundspecifik² eller företagsspecifik³ sortering⁴. Dessa sorteringar bygger i de flesta fall på den traditionella sorteringsregelbeskrivningen Gröna Boken (Anon, 1982) eller den nyare Nordiskt Trä (Anon, 1994) med vissa modifieringar av särdragens tillåtna storlekar eller antal. Sågverken gör detta för att profilera sig inför en alltmer ökande konkurrens på marknaden. Konkurrenten ökar både på grund av en ökande internationalisering, men även på grund av konkurrerande substitutmaterial såsom plast, aluminium och stål i fönster, övriga snickerier och byggelement. Genom att bli (positivt) unika, flexibla och kundnära kan sågverk få och behålla kunder till sina producerade varor. Ett sätt att bli unik är att kunna leverera sågade trävaror sorterade enligt mycket specifika och kundrelaterade regler.

För att bli unik, flexibel och snabbt kunna anpassa sin sortering till växlande marknadskrav anser dock en del sågverk att det effektivaste sättet är att inte ha några formaliserade nedskrivna regler. På det sättet blir beslutsvägarna korta och snabba mellan försäljare och sorterare, se vidare kapitel 5.6.

Exempel på svårigheter, trots skrivna regler, rörande sortering och kvalitetsbegrepp i relationen mellan leverantör och kund samt mellan olika sorterare inom samma processteg har presenterats tidigare i (Grönlund, 1995). I den kedja som presenteras, från skog till såg till dörrfabrik, ingick sortering av stockar, sortering av sågad vara på sågverket samt sortering av sågad vara på dörrfabriken. På varje processteg bedömdes stocken/plankan av två olika sorterare. Resultatet från bedömningarna visar att det är stora diskrepanser mellan sorterarna. För sågverks-sorteringen innebar dessa skillnader i tolkning av sorteringsregler och bedömning av plankorna att endast 62% av plankorna, totalt 2045 st, bedömdes lika av de två sorterarna.

¹ Produktspecifik sortering – Sorteringsregeln är anpassad till en speciell produkt, exempelvis fönsterkarm, möbel eller väggregel. Regeln kan även inkludera produktspecifika krav på fuktkvot och måttoleranser etc.

² Kundenspecifik sortering – Sorteringsregeln är anpassad för en speciell kund exempelvis Fönsterfabrik A, Möbeltillverkare B eller Husbyggare C. Kan även inkludera produktspecifika krav på fuktkvot och toleranser etc.

³ Företagsspecifik sortering – Sorteringsregeln är anpassad till det producerande företags struktur på bland annat råvara, produktionsapparat och kundorganisation.

⁴ Med sortering menas i denna skrift uppdelning av ett parti virkesstycken i sorter efter någon form av bedömning av virkesstyckets lämplighet enligt givna kriterier, regler. Även optimering (volym- eller värde-) ingår i detta fall i begreppet sortering.

Ett av sätten att uppnå kundanpassning med många specifika regler är att använda automatiska sorteringssystem, vilka, åtminstone i teorin, kan optimera⁵ fram den bästa mixen av produkter ur det ingående materialflödet (Åstrand, 1996). Om det skall fungera 100 % -igt krävs naturligtvis att systemen gör rätt. Det kan emellertid inget system förväntas göra, med de krav på hastighet och robusthet i optimering oberoende av ingående råvara och sorteringsregler. Trots de automatiska systemens brister kan mycket vinnas genom att använda dem på genomtänkta sätt (Lycken, Uusijärvi, Hagman, Åstrand, 1994), (Liljeblad, Lycken, Rosenkilde, Uusijärvi, 1998), (Liljeblad, Lycken, Uusijärvi, 1998), (Liljeblad, Lycken, Uusijärvi, 1999a) och (Liljeblad, Lycken, Uusijärvi, 1999b).

Kundanpassningen kan dock drivas för långt för att vara lönsam. I iveren att uppfylla de uppställda kundkraven finns risken att sågverket inte i tillräckligt hög grad beaktar att det ur stocken även faller andra kombinationer av sorter och dimensioner än de som efterfrågas till ett högt pris. Då uppstår problemet att sälja allt det som producerats istället för att bara producera det som sålts. Det kan därför vara bättre att *kundorientera* sin organisation, istället för att *kundanpassa* den.

Genom att sågverket, producenten, anpassar utbudet och leveranserna till sina kunder, konsumenterna, liksom köparna av sågverkets produkter anpassar sina krav till något som säljaren kan uppfylla, kan den bi- eller multilaterala relationella dissonansen, som uppstår vid missförstånd och missnöje, förhindras varvid affärskontakter kan inledas, fortgå och utvecklas.

De befintliga systemen av sorteringsregler tillåter i vissa fall att sågverket modifierar gränsvärdena, men huvudproblemet är att regelverken är hierarkiska, se kapitel 6.1. Detta hindrar, i alla fall tankemässigt, en utveckling av sågverkens sortering och utveckling av blandningen av olika produkter, produktmixen.

Den traditionella sorteringen såsom den formuleras i den så kallade Gröna Boken, Sortering av sågat virke av furu och gran (Anon, 1982), se kapitel 5.2, har använts av de nordiska sågverken i mer eller mindre företagsspecifik form sedan den utgavs i början av 1960-talet, och även dessförinnan (eftersom boken är en beskrivning av hur sorteringen gick till). Den är inte utformad eller ämnad att medge några *större* formaliserade friheter att välja specificerade krav på särdragens storlekar och antal inom det formulerade regelverket för sågverket eller dess kunder. Dock uppmuntras *smärre* anpassningar av reglernas uttolkning med hänsyn till verkets beskaffenhet. Man har vid sortering enligt Gröna Boken vissa möjligheter till subjektiva bedömningar, se kapitel 5.2.

⁵ Optimering är att bestämma största (eller minsta) värdet av en matematisk funktion under givna förutsättningar.

I slutet på 1960-talet utvecklades intresset för att sortera sågat virke automatiskt. Automatisk sortering ansågs önskvärd på grund av att hastigheten vid den manuella sorteringen var så högt uppdriven att det antogs svårt att höja den ytterligare. Hastigheten och övriga förhållanden vid sorteringen medförde att felfrekvensen vid sortering var att betrakta som stor. I en ansats för att förbereda branschen på nymodigheterna och för att formulera Gröna Bokens regler i matematiska termer, bland annat inför automatisering av sorteringen utgavs 1971 och 1973 (Thunell, 1971) och (Brundin, Thunell, 1973).

Den nyare samlingen sorteringsregler, Nordiskt Trä (Anon, 1994), se kapitel 5.3, ger stora valmöjligheter vid sortkomposition, i och med att man vid sortering enligt Nordiskt Trä kan kombinera kraven på tillåten storlek för olika särdrag från de olika sorterna till en så kallad sortmix. Det är en kombinationsmöjlighet som saknas i Gröna Boken.

En analys av skillnaderna mellan Gröna Boken och Nordiskt Trä redovisas i (Sipi, 1995). Där fastslås att Nordiskt Trä är tydligare i angivande av maximalt tillåtna storlekar och antal på särdragen än Gröna Boken är. Nordiskt Trä är dessutom strängare rörande gränserna för exempelvis vankant, sprickor och kådlåpor. Gällande kvistar är Nordiskt Trä i vissa dimensioner och sorter den strängare sorteringsregeln, medan Gröna Boken är strängare i andra dimensioner och sorter.

Den europeiska CEN-standarden för sortering av furu och gran, prEN 1611-1 (Anon, 1998), se kapitel 5.4, är i till stora delar lika Nordiskt Trä, vad gäller storlekar på tillåtna särdrag. Däremot ges inga kombinationsmöjligheter som motsvarar Nordiskt Träs sortmix.

Ett system för ändamålsanpassad sortering har utarbetats utgående från krav från byggare, snickerifabriker och emballagetillverkare. Systemet kallas Eurograding (Elowson, 1984) och (Elowson, Lundgren, 1980), se kapitel 5.5. Detta system används dock inte i praktiken. Grunden till detta tänkande står beskrivet i (Thunell, 1976) där skillnaden mellan producentens (sågverket) och konsumentens (virkesanvändarens) syn på sorteringen analyseras.

I (Thunell, 1971) tecknas en bild av problematiken som innefattas av den uppsjö av produkter som sågverken producerar. Där ges också en föraning av nödvändigheten av automatiserad sortering och beslutsstöd samt nödvändigheten av att sågverket själv känner till produktkraven hos den slutliga användaren av det sågade virket.

Med särdrag menas i denna uppsats virkesfel, övriga defekter eller andra virkesegenskaper som är av betydelse vid sortering av trävaror, enligt Nordiskt kvalitetsspråk för träbranschen – Barträ (Anon, 2000), se även kapitel 13.

Vad gäller samtliga regelsystem måste man skilja mellan regelns utformning, regelns uttolkning (olika av säljare och köpare) och regelns utfall i praktiken. Vid formaliserade, nedtecknade regelsystem är sannolikheten för överensstämmelse mellan de inblandade parternas syn på de sortsättande parametrarna större än då regelverket inte är formaliserat. Detta gäller i högre grad ju mer komplex regeln är, eftersom sortering enligt komplexa regler innebär att antalet gränsfall ökar. Med gränsfall menas virkesstycken som har särdrag eller särdragskombinationer vilka inte entydigt kan hänföras till en viss sort.

2 Hypotes

Som grund för föreliggande arbete har följande hypotes formulerats:

Med hjälp av ett verktyg i databasmiljö kan ett sågverk på ett effektivare⁶ sätt än med manuella metoder utreda huruvida en specifik sort är möjlig att sortera fram ur det normala råvaruflödet och härigenom förbättra möjligheten att öka den totala lönsamheten.

Med verktygets hjälp skall det vara möjligt att beskriva:

- hur ett framsorterat virkesparti ser ut
- vilket ekonomiskt utfall man kan förvänta sig vid en ändring i sorteringsreglerna
- vilka de nedklassande särdragen är.

För att få största möjliga nytta av verktyget krävs en daglig uppdatering av informationen, vilken endast är möjligt att ernå med hjälp av ett automatiskt system för

⁶ Med effektiv menas i detta fall att man med databasverktyget på samma gång enklare, snabbare och billigare skall kunna nå ett resultat som ger en större förtjänst än det manuella alternativet ger.

Effektivitet är ett mycket relativt begrepp. Huvudbetydelsen är, enligt (Bentham, 1781, 1996), att maximera "pleasure" och minimera "pain". Det finns alltså ingen orsak att vara ineffektiv ("lat"), eftersom man då ökar "pleasure", och alltså enligt definitionen trots allt är effektiv (Gustafsson, 1983).

informationsinhämtning. Ett automatiskt sorteringssystem, antingen för råsortering eller för torrsortering i justerverket, kan fylla behovet.

3 Problembeskrivning

Han kunde ju inte veta, att världen ter sig mycket enkel för kungar.

Antione de Saint-Exupéry, ur Lille prinsen.

Då sågverket får en förfrågan om att leverera en ny specifik sort krävs det antingen en mycket stor kunskap om den egna produktionen eller en provsortering för att sågverket skall veta om den nya sorten är möjlig och lönsam att producera samt till vilket pris. Vid en provsortering sorteras den önskade sorten fram, med de nya specificerade sorteringsreglerna, tillsammans med övriga sorter som erfarenhetsmässigt anses passa in i både sågverkets övriga sortiment och som tackning för ”det som blir över” då specialsorten sorteras fram. Detta provsorteringsförfarande är mycket kostsamt, både personal- och utrustningsmässigt, förutom att en provsortering som genomförs på en icke-representativ råvara förrycker hela resultatet. Av flera skäl är det därför eftersträvarsvårt att inte ändra sorteringsregler samt att inte ta nya, specifika, regler i bruk utan en ingående analys av konsekvenserna. Dessa skäl kan sammanfattas i nedanstående problemställningar:

- *kapacitetsproblemet* – det tar tid och produktionskapacitet att provsortera
- *råvaruproblemet* – en provsortering är mycket beroende på vilken råvara (timmer) som just då finns tillhands
- *passningsproblemet* – det kan vara besvärligt att passa in den nya sorten (produkten), eller sorteringen, i det ordinarie sortimentet bland övriga sorter och sorteringar
- *restproblemet, inkuransproblemet* – hur blir sågverket av med ”resten”, det som inte uttryckligen önskas
- *uppföljningsproblemet* – hur kan sågverket följa upp utfallet av vad en ny sort eller sortering egentligen tillför lönsamheten
- *vänsterprasselproblemet* – tillfälliga förbindelser är ofta dyra; sågverket måste satsa på hållbara långsiktiga handelspartner.

En produktmixoptimering i ”on-line-utförande” i sågverksindustrin blir med nödvändighet en suboptimering, såvida man inte känner till hela produktionen, liksom liggande och kommande order vid optimeringstillfället. En totaloptimering av sågverkets produktmix kräver således kännedom om bland annat tidigare producerade produkter, utseendet hos de redan bearbetade virkesstyckena, utseendet hos de efterkommande virkesstyckena, volymer och typ av inkommande råvara och önskad färdigvara, produktionskostnader, försäljningspriser, beläggning i maskiner, utrustning och personal osv.

Man kan principiellt bryta ner optimeringsproblemet till enkla matematiska samband som kan lösas med linjär optimering⁷ även kallad linjär programmering – LP-metoden. Vid en ”on-line”-tillämpning hamnar man dock raskt i ett dynamiskt skeende, som inte går att förutse med enkla medel. Dynamiken följer inte bara producerad volym, utan är i högsta grad råvaru-, order-, tids- och konjunkturberoende.

Problemet, vid en fullständig optimering, innefattar således att sortera virkesstycken med en stor mängd särdrag, var och en med sina specifika parametrar. Sorteringen skall ske utifrån *kundönskemål*, manifesterade i sorteringsregler, *producentönskemål*, exempelvis torkfyllnad⁸ och facktillgång⁹, *råvarutillgång* såsom timmerfångst etc. Vid den fullständiga optimeringen måste man även medräkna tidsfaktorn. Ett långt tidsperspektiv, både framåt och bakåt, kan medföra en exaktare optimering, till kostnaden av en mer komplex beräkning.

I ett försök att exemplifiera problematiken visas mångfalden i optimeringsbilden med hjälp av nedanstående parametrar, vad avser *kvist*, övriga särdrag onämnda.

För att kunna optimera sorteringsutfallet med avseende på kvistar gäller det alltså att känna till *råvarans* och *färdigvarans* verkliga och önskade:

- kvistbeskaffenhet/kvisttyp
 - vilka typer – frisk kvist, torr kvist, barkkvist och så vidare
 - kvistarnas fördelning i typer
- kvistform
 - rund, oval, hörn, horn, blad och så vidare
 - kvistarnas fördelning i olika former
- kviststorlekar
 - största storlek
 - minsta storlek
 - storleksfördelning
- avstånd mellan kvistvarv
 - största avstånd
 - minsta avstånd
 - avståndsfördelning
- kvistlägen
 - längsled
 - tvärsled

⁷ Med linjär optimering menas att både målfunktion och bivillkor är linjära .

⁸ Vid artificiell torkning av sågade trävaror är det väsentligt av ekonomiska och processtekniska skäl att fylla torkarna samt att fylla dem med produkter som skall torkas på likartat sätt.

⁹ De bedömda virkesstyckena sorteras i fack för att ”samla ihop” virkesstycken av samma dimension och / eller sort inför den fortsatta processen.

samt

- sorteringsregler applicerade på dessa parametrar.

Om en fullständig optimering skall göras tillkommer dessutom, för både råvara och färdigvara, till exempel:

- priser
- tillgång
- efterfrågan

och övriga kostnader, till exempel:

- produktionskostnader
- lagerkostnader
- inköpskostnader
- försäljningskostnader.

Alla dessa parametrar är i verkligheten dynamiska, med vilket menas att gränsvillkoren för dem kan ändras beroende på om något annat villkor i optimeringen förändras. Ett villkor som till exempel kan ändras är att en order blir uppfylld, och att inget mer skall sorteras fram av den sorten.

Optimeringen, för den givna databasen, kan ske genom att:

- kombinera givna regler och deras pris med den givna ”elektroniska plankhögen”
- ändra regelverken efter fiktiva kundönskningar.

Efter en sortering i databasen kan värdet av det framsorterade partiet presenteras. Partiet kan beskrivas som utfall i respektive sort samt som fördelning av särdragens typ och storlek. Dessutom kan statistik för det kvalitetssättande särdraget presenteras.

4 Begränsningar/avgränsningar/förutsättningar för studien

De enkla matematiska sambanden kan sammanställas till ett ekvationssystem med, i princip, ett oändligt antal ekvationer. Antalet sorteringsregler och kundönskemål är ju, liksom trävarornas utseendevariation, obegränsat. Även om man går så djupt ner som till cellnivå i trämaterialiet, finns det variationer med ännu mindre dimensioner (miceller, molekyler) som påverkar egenskaperna/kvaliteten. För att kunna använda den befintliga databasen för att nå fram till ett resultat är problemet i denna uppsats nedbrutet till att nyttja särdrags storlek och antal vid klassning av virkesstyckena.

Vid sorteringen tas alltså ingen hänsyn till särdragens läge i längs- eller tvärsled, vare sig i förhållande till varandra eller till deras läge på virkesstycket.

Produktmixproblemet kommer inte att lösas i denna uppsats. Här pekas på generella problem och några tänkbara lösningar på begränsade, specificerade problem i ett begränsat antal verklighetsnära scenarier.

För att långsiktigt och uthålligt kunna producera en optimal produktmix krävs tro-
ligen möjligheten att påverka apteringen i skogen, (Uusijärvi, Usenius, 1997),
något som inte behandlas i denna uppsats.

De begränsningar som uttalats i arbetet är:

- 1 Träteks befintliga databas, se kapitel 11 och (Casselbrant, Rydell, 1998), skall användas, vilket implicerar:
 - 1.1 Endast de största särdragen av varje typ på varje sida behandlas.
 - 1.2 Särdragens antal är, för vissa särdrag, räknade endast på den sämsta metern för varje enskilt särdrag, inget totalt antal anges för hela sidan eller virkesstycket.
 - 1.3 Särdragens position i längs- och tvärsled är inte behandlad.
 - 1.4 Virkesstyckena är förklassade och avkapade i båda ändar efter manuell bedömning enligt aktuellt sågverks tolkning av Gröna Boken.
- 2 Endast sorteringsregler med objektivet mätbara gränser för särdragens storlek och antal har angivits vid inmätningen och skall användas vid datasorteringen, det vill säga inga regler med kompensation för ett ”i övrigt vackert virkestycke” kommer att nyttjas.
- 3 Virkestycken kan inte kapas ytterligare.
- 4 Studien begränsas till en dimension, 50 x 100 mm i furu. Fler dimensioner finns i databasen, se Tabell 3 på sidan 54. Begränsningen görs av presentationsskäl.
- 5 Ett mindre antal (3-4) sorteringsregler används vid studien. Dessa är NT (Nordiskt Trä), EN 1611-1 samt varianter därav.
- 6 De sorteringsregler som används grundar sig på utseendesortering, alltså inte styrkesortering.

Kommentarer till begränsningarna:

- 1 Databasen som använts är en databas som fanns tillgänglig vid studiens början. Den är inte fullkomlig, vare sig till innehåll eller upplägg, men den tar med de särdrag som ingår i de flesta sorteringsregler och den är manuellt inmätt, vilket borgar för en högre säkerhet i bedömningen än en automatisk avläsning. (Kvalitet istället för kvantitet.)
- 2 Det är ytterst svårt, om än inte omöjligt, att automatiskt och datoriserat tolka en subjektivitet som uttrycks som ett ”i övrigt vackert virkestycke”.

- 3 Vid inmätningen angavs inte positionen för särdragen, varför det inte går att säga om virkesstycket går att kapa på ett bättre sätt för en annan sortering för att på så sätt kunna hänföra virkesstycket till en annan sort.
- 4 Denna studie begränsar sig till ett typfall, för att utifrån det dra slutsatser om övriga fall. Valet av aktuell dimension utgår från att den är vanlig, att den representeras av många bitar i databasen samt att den är tagen ur olika stocktyper.
- 5 Rent praktiskt är det svårt att samtidigt nyttja fler än 3-4 regelverk i sågverksmiljö, beroende på kapacitetsbrist i justerverket med avseende på fack, varför denna begränsning inte är orealistisk. 3-4 regelverk med 3-4 aktiva sorter i varje ger 9-16 olika sorter, vilket inte är omöjligt eller ens svårt att hantera i ett automatiskt sorteringssystem. Begränsningen sitter därför i sorteringsverkets fackantal, möjlighet att samla ihop virkesstycken av samma sort, dimension och eventuellt längd. Med aktiv sort menas en sort som har minst ett särdrag med uttalade begränsningar i storlek eller antal, det vill säga alla sorter utom vrak (urlägg).

En fördel med upplägget på databasen är att vissa av begränsningarna redan finns. Således underlättas det fortsatta arbetet genom att variationsmöjligheterna inte är obegränsade.

De i studien använda virkespriserna är inte de faktiska priserna som används av något av de i studien medverkande sågverken, utan är ansatta (våren 1997). Priserna är enligt tillfrågad marknadspersonal på sågverk inte orealistiska. Vid en optimering som denna är det emellertid inte prisnivån i sig som är intressant, utan prisrelationerna mellan sorterna.

5 Sorteringsregler – praktiska tillämpningar

Den som icke har råd att offra så mycket, han väljer ut ett stycke trä, som icke ruttnar; ...

Jesaja 40:20

5.1 Introduktion

Nedan presenteras ett antal av de viktigare sorteringsreglerna i Norden och Europa samt en begreppsapparat som kan användas när en sorteringsregel skall formuleras.

Den största delen av det sågade virket i Norden sorteras fortfarande enligt någon variant på den så kallade Gröna Boken, Sortering av sågat virke av furu och gran (Anon, 1982), se kapitel 5.2, och säljs med dess benämningar på sorterna o/s, V (kvinta), VI (utskott, sexta, sjätte sort), där o/s är ”bäst” och VI är ”sämst”. Sorten

o/s är en osorterad sammanslagning av sorterna I, II, III och IV så som de faller ut vid sågning. Proportionerna mellan sorterna I - IV inom o/s kan variera avsevärt mellan olika sågverk beroende på varifrån råvaran hämtas. Under senare år har detta regelsystem, Gröna Boken, reviderats och en ny bok, Nordiskt Trä (Anon, 1994) se kapitel 5.3, eller den så kallade Blå Boken, har sammanställts och givits ut. I den benämns sorterna A, B, C och D, där sort A är uppdelad i sorterna A1 - A4. Samtidigt genomförs en europeisk harmonisering av sorteringsreglerna (Anon, 1998) se kapitel 5.4, vilka utarbetas och ges ut av CEN, det europeiska standardiseringsorganet. Den regeln har namnet EN 1611-1. Det är ett förslag som helt nyligt har antagits (våren 2000). I EN-reglerna benämns sorterna 0, 1, 2, 3 och 4.

Det har genom åren även formaliserats sorteringsregler som bygger på någon form av bestämd slutanvändning. Exempel på det beskrivs i (Elowson, 1984) och (Elowson, Lundgren, 1980), se kapitel 5.5 nedan.

Nordiskt kvalitetsspråk för träbranschen (Anon, 2000), se kapitel 5.7, är en vältäckande begreppsapparat med definitioner som kan användas då sorteringsregler skall formuleras.

5.2 Sortering av sågat virke av furu och gran, Gröna Boken

Sortering av sågat virke av furu och gran, Gröna Boken (Anon, 1982) beskriver hur sorteringen gick till vid Gröna Bokens sammanställande. Den är helt enkelt en deskriptiv sammanfattning av gällande sorteringspraxis (Brundin, Thunell, 1973). Den första upplagan av Gröna Boken utkom 1960 med reviderade upplagor 1965 och 1976. Oförändrade upplagor utkom 1968 och 1982. 1987 utgavs ett kompletterande blad med kommentarer angående rekommenderade riktvärden beträffande formförändringar mm. Namnet Gröna Boken härstammar från färgen på bokens pärm.

Gröna Boken är uppdelad i Allmänna anvisningar, Virkesfel, Begreppsförklaringar och Kvalitetsbeskrivningar. Dessutom ges bildexempel på virkesdefekter samt på tillåten kvistförekomst på flatsidan.

Kvalitetsklasserna i Gröna Boken kallas, som påpekats, o/s, V (kvinta), VI (utskott, sexta, sjätte sort) där o/s är ”bäst” och VI är ”sämst”. O/s består av en osorterad blandning av klasserna I, II, III och IV där I är ”bäst” och IV är ”sämst”.

Sortering enligt Gröna Bokens regler bygger mycket på helhetsintryck. Virkesfel med mindre storlek än maximalt tillåten, kan därför medföra kompensation i form av ökat tillåtet antal, liksom att frånvaron av en feltyp kan kompenseras av ett ökat tillåtet antal eller ökad tillåten storlek av en annan feltyp. Detta gäller även om-

vänt: stora men i sig godkända virkesfel innebär att gränsvärdet för övriga tillåtna fel sänks. Exempelvis skall en plank med många och stora kvintafel sorteras som utskott, även om vart och ett av felen är tillåtna i kvinta. I Gröna Bokens allmänna anvisningar anges att *"Kvalitetsklassen bestämmes icke endast på grundval av förekommande fel utan även av virkesstyckets totalutseende"*.

Vidare stipuleras i de allmänna anvisningarna *"I sorteringsanvisningarna på skilda ställen angivna mått och antal rörande tillåtna fel av olika slag få icke användas schablonmässigt och sålunda icke anses som exakta tal"*. I Gröna Bokens kapitel Kvalitetsbeskrivningar sägs till exempel om rötkvist i kvalitet III och IV *"På hela längden av i övrigt vackert virkesstycke godkännes dock 1 st. kvist"*. Om kådlåpor i kvalitet IV säger regeln *"Få förekomma, dock icke långa eller genomgående eller i riklig mängd"*.

I Gröna Boken sorteras, som nämnts ovan, på *"virkesstyckets totalutseende, dock att i I till IV sort större hänsyn skall tagas till den bättre flatsidan samt att fel på kantsidorna äro i högre grad än fel på flatsidan utslagsgivande vid bestämmandet av kvalitetsklassen"*.

Mycket av bedömningarna i sorteringsögonblicket blir därför med nödvändighet, helt i enlighet med intentionerna vid sammanställningen av boken, subjektiva, vilket blir ett sätt för sågverken att profilera sig med egna företagsinterna tolkningar av regelverket, trots att man säger sig följa Gröna Boken.

Trots att Gröna Boken mer eller mindre påbjuder subjektivitet vid sorteringen, används den ofta som regelsystem vid reklamationer av virkesleveranser som inte anses hålla tillräcklig sorteringsnöjaktighet.

5.3 Nordiskt Trä

Nordiskt Trä (Anon, 1994) utkom 1994. Den är en revidering och uppdatering av Gröna Boken till dagens sorteringspraxis och är avsedd att ersätta Gröna Boken i Sverige och Finland samt Østlandets Skurlastmålings reglemang i Norge. Nordiskt Trä kallas stundom Blå Boken i analogi med Gröna Boken efter färgen på sin pärm.

I Nordiskt Trä försöker man övergå från att tala om *kvalitet* och *kvaliteter* till att istället tala om SORT och SORTER (versalt). Nordiskt Trä *"delar in det sågade virket i SORTER efter virkesegenskaperna. NORDISKT TRÄ anger de maximala värdetalen på virkesegenskaperna för respektive SORT."*, även om man nämner att *"NORDISKT TRÄ delar in det sågade virket i kvalitetsklasser beroende av virkesegenskaperna"*.

Nordiskt Trä är uppdelad i kapitlen Inledning, Kännetecknande för nordiska trävaror, Nordisk sorteringspraxis, Virkesbenämningar, Kvalitetsklasser och benämningar, Anvisningar och regler, Klassificeringstabeller, Virkesegenskaper: definitioner och mätmetoder, Historik samt Fotografiska exempel.

I Nordiskt Trä poängteras att reglerna formulerats med hänsyn till processautomation och databehandling vilka *”förutsätter exakt fastställda sorteringskriterier”*, och att *”Numeriska gränsvärden har angetts för de mättningsbara virkesegenskaperna”*. Genom dessa förutsättningar kan reglerna och gränsvärdena anses vara oomkullrunneliga.

I Nordiskt Trä används inte orden *virkesfel* eller *defekter*, utan *virkesegenskaper*, vilka dock i denna uppsats benämns *särdrag* i linje med Nordiskt Kvalitetsspråk för träbranschen, se kapitel 5.7.

Huvudsortimenten i Nordiskt Trä benämns SORT A, SORT B och SORT C, där A är ”bäst” och C är ”sämst”. SORT A kan delas upp i undergrupper, A1, A2, A3 och A4 där A1 är ”bäst” och A4 är ”sämst”. Detta är i analogi med Gröna Bokens regler o/s, V, VI med undergrupperna i bästa sort (o/s) I, II, III, IV. En restsort, som inte har specificerade kravvärden för särdragen, finns och kallas SORT D. De enda kraven som rör SORT D är att virkesstyckena skall hålla samman och att sågbladet skall ha berört vissa andelar av virkesstyckets sidor.

Sågverken ges frihet att sätta ihop en så kallad SORTMIX med egna SORT-benämningar, bestående av sortiment med virkesegenskaper avvikande från huvudsortimenten. Exempelvis kan regeln för torrkvist vara SORT A medan friskkvist-regeln motsvaras av SORT C och så vidare. Genom sortmixförfarandet kan Nordiskt Trä övergå från ett hierarkiskt system till ett matrissystem, se nedan, kapitel 6.1, modell 2.

I Nordiskt Trä är alla mått och antal angivna så att inga subjektiva bedömningar skall behöva göras. Inga subjektiviteter som *”virkesstyckets totalutseende”* eller *”i övrigt vackert virkesstycke”* används alltså. Alla mått och antal är angivna i absoluta tal.

Då virkesegenskapernas, särdragens, faktiska mått underskrider gränsvärdet, det vill säga då ett särdrags största inmätta storlek underskrider den maximalt tillåtna, träder en formulerad kompensationsregel för antal in. Kompensationsregeln kompenserar (tillåter ökning av) ett gränsvillkor – maximalt tillåtet antal – av ett visst särdrag på grund av att ett annat gränsvillkor – maximal storlek – inte är uppfyllt. Kompensationsregeln säger att totalsumman av särdragets inmätta mått måste hålla sig inom totalsumman av särdragets angivna mått (exempelvis maximalt tillåtet antal kvistar * maximalt tillåten storlek). Man tillåts alltså att räkna fram den

maximalt tillåtna arean och jämföra med den maximalt inmätta genom att multiplicera särdragets storlek med antalet. Formuleringen kan tyckas rörig, men betydelsen är att varken:

- den maximalt angivna storleken eller
- den maximalt angivna totalarean ($\text{maxstorlek} \cdot \text{maxantalet}$) får överskridas.

Virkesegenskapernas tillåtna storlekar anges i absoluta mått och antal (för till exempel kvistar och kådlåpor), i procentsats av virkesstyckets längd (för till exempel sprickor) i procentsats av virkesstyckets bredd (för till exempel toppbrott och skevhet), i procentsats av virkesstyckets tjocklek (för vankantdjup) eller i procentsats av virkesstyckets volym (för till exempel tjurved, blånad och röta). Vankant intar mättekniskt en särställning då dess maximalt tillåtna mått anges både som procentsats av virkeslängd, procentsats av virkestjocklek (kantsidan) och som absolutmått på flatsidan.

Vid SORT-bestämning fastställs SORT-tillhörighet på virkesstyckets ytsida och kantsidor. Märgsidan får vara en SORT lägre. Sorttillhörigheten bestäms av sämsta metern.

5.4 CEN-sorteringsregler, EN 1611-1

CEN-reglerna överensstämmer till stora delar med Nordiskt Träs regler. CEN-reglerna har helt nyligt (våren 2000) blivit fastställda som europeisk standard. Den version av standarden, som använts i detta arbete, är en preliminär version, prEN 1611-1 (Anon, 1998) och har benämningen Final Draft. Nedan används omväxlande CEN, EN 1611-1 och prEN 1611-1 för denna sorteringsregeluppsättning.

Enligt EN 1611-1 kan man sortera på två eller fyra sidor. Vid tvåsidig sortering är det flatsidorna som granskas med avseende på kvistar. Övriga särdrag skall betraktas och beaktas på samtliga fyra sidor. Vid sortering får en flatsida, antingen splint- eller märgsidan, vara av ett steg lägre sort än virkesstycket som helhet.

Särdragens tillåtna storlekar anges som kombination av absolutmått och procentsats av virkesstyckets bredd (till exempel flatsideskvistar, 10 mm + 10 % av bredden), som procentsats av virkesstyckets tjocklek (för till exempel kantsideskvistar, 20 % av tjockleken), som absolutmått (för till exempel vankantbredd), särdragets längd som procentsats av virkesstyckets bredd (för till exempel ändsprickor), särdragets längd som procentsats av virkesstyckets längd (för till exempel torkningssprickor), särdragets pilhöjd som procentsats av virkesstyckets bredd (för till exempel skevhet) eller som särdragets yta som procentsats av virkesstyckets yta (för till exempel tjurved och röta). De relativa måtten är i relation till virkesstyckets nominella mått.

Kvalitetsklasserna i EN 1611-1 benämns 0, 1, 2, 3 och 4, där 0 är ”bäst” och 4 är ”sämst”. I stort sett motsvarar 0 och 1 Nordiskt Träs SORT A, 2 motsvarar B, 3 motsvarar C och 4 motsvarar D, med undantaget att D inte har några uttalade begränsningar, vilket 4 har.

5.5 Ändamålsanpassad sortering av sågade och hyvlade trävaror. Euro-grading

Ett försök att ändra sågverkens och virkesköparnas syn på sortering och skapa ett system för ändamålssorterad virke som bättre motsvarade kraven från användarna ledde fram till Eurograding.

I (Elowson, 1984) beskrivs noggrant hur sorteringsregeln arbetats fram och vad som var orsaken till att arbetet kom till stånd.

Sammanfattningsvis har orsakerna angetts vara:

- konkurrenssituationen till andra material förändras
- sågverkens marknadsföring måste förändras
- byggandet blir alltmer industrialiserat
- snickeriindustrin genomgår en strukturförändring
- inköpsprocessen hos den vidareförädlade industrin förändras
- sågverksteknologin förändras
- förändringar i råvarutillgången
- kommunikationen mellan sågverk och förädlade led brister.

Utvecklingen av sorteringssystemet inleddes 1972 och fick arbetsnamnet TRÄ-KLAS.

Som titeln på kapitlet antyder syftar sorteringsreglerna till att skapa en lämpligare kvalitetsbeskrivning av virket. Man har därvid delat in sorteringsregeln i egenskapsgrupper. Vilka egenskaper som är viktiga beror på virkets ändamål (Elowson, 1984) och (Elowson, Lundgren, 1980). Grupperna är:

- biologiska egenskaper
- geometriska egenskaper samt
- mekaniska egenskaper.

Inom varje egenskapsgrupp sorteras virke i olika kvaliteter. Sortering inom gruppen sker endast utifrån den gruppens egenskaper. Virke kan sorteras för en, två eller alla tre egenskapsgrupperna.

Till de biologiska egenskaperna hör i denna regel exempelvis kvistar, sprickor, tjurved och dubbskador¹⁰. Till de geometriska egenskaperna hör exempelvis måttavvikelse, flatbøj och vankant. Till de mekaniska hör böj-, tryck- och draghållfasthet. De biologiska egenskaperna sorteras i fyra kvaliteter, 6, 5, 4 och 3, där 6 är ”bäst” och de övriga gradvis ”sämre”. De geometriska egenskaperna sorteras i tre kvaliteter, 6, 5 och 4, där 6 är ”bäst” och de övriga gradvis ”sämre”. De mekaniska egenskaperna sorteras i tre klasser, S6, S8, S10. Om en egenskap anges med 0 manas att virket inte sorterats med avseende på denna egenskap.

Sifferbeteckningarna har valts så att systemet skall kunna byggas ut både uppåt och nedåt.

Detta system används inte vid sågverkssortering, till största delen beroende på att sågverken inte har velat ställa om sin traditionella sortering så radikalt som krävs för att införa Eurograding.

En följd av tankarna kring Eurograding är det nya timmerklassificeringssystemet, som gradvis tagits i bruk i Sverige de senaste åren. Det utgår från tänkt användning av de framsågade produkterna och därtill hörande viktiga egenskaper, istället för som tidigare de rena egenskaperna i en hierarkisk modell.

5.6 Sågverksspecifika sorteringar

De sågverksspecifika sorteringarna bygger på egen tradition och begreppsvärld, vilken ofta är väl inarbetad internt inom verket och externt gentemot gamla kunder. Dessutom anses att flexibiliteten och kundanpassningen ökar genom att man inte hindras av nedskrivna regler. Problem kan lätt uppstå då personer och organisationer utanför den ”inre kretsen” skall ta sig in eller släppas in. Det sker exempelvis då nya kunder efterfrågar sågverkets produkter, då nya kunder söks av sågverket, då ny försäljnings- och sorteringspersonal introduceras eller då reglerna skall formaliseras enligt någon mall. Sågverksspecifik sortering håller dessutom konkurrenter utanför den aktuella, specifika marknaden.

Ett flertal sågverk i Sverige, även förhållandevis stora verk (50’-70’ m³/år producerad vara), arbetar utan eller endast med ytterst knapphändigt formaliserade, skriftliga sorteringsregler. På vissa av de verken råder förvirring om vilken regel som det egentligen skall sorteras efter. Andra sågverk utan skriftliga sorteringsregler har god ordning och alla inblandade, inkluderande försäljare, sorterare och övriga operatörer, vet vad som gäller.

¹⁰ Dubbskador orsakas av skördarens, barkmaskinens eller sönderdelningsmaskinens matarvalsar.

Ett (verkligt) exempel på en regel som ger tolkningssvårigheter är att virkesstyc-
ket skall vara ”övervägande friskkvistigt”. Är då en planka med 40 kvistar varav
21 friska accepterad, men inte en med 4 kvistar varav 2 friska? Ett annat exempel
från en annan regel är att det tillåts 4 friska kvistar på maximalt 60 mm *eller* 3
torra kvistar på 40 mm. Är det då tillåtet med 2 friska 60 mm och 2 torra 40 mm
samtidigt?

5.7 Nordiskt kvalitetsspråk för träbranschen - barrträ

Nordiskt kvalitetsspråk för träbranschen (Anon, 2000) är ingen sorteringsregel,
utan, som namnet anger, ett språk – det vill säga en begreppsapparat, inkluderande
definitioner – med vilkets hjälp man skall kunna formulera och uttrycka vilken
sort som helst. Trots att Nordiskt kvalitetsspråk inte är en sorteringsregel är det så
väsentlig för arbetet med sorteringsregler, att det förtjänar att nämnas i samma
sammanhang som reglerna.

Språket är framtaget i ett nordiskt samarbete mellan forskningsinstitut, högskolor
och industrier i Danmark, Finland, Norge och Sverige. Version 1 av språket före-
låg 1996 och reviderade upplagor i ”stencilform” har utkommit därefter. Helt ny-
ligt (maj 2000) har språket utgivits i tryckt form.

Språket är beskrivet i ett verk bestående av sju delar:

- Systematisk ordlista
- Alfabetisk ordlista
- Definitioner
- Mättningsregler
- Kravformuleringar (ej kravnivåer)
- Utskriftsblanketter
- Flerspråkig ordlista

Kvalitetsspråket är uppbyggt av tre delar som kan jämföras med ett vanligt språk:

- definitioner — vokabulär
- mätregler — grammatik
- kravformuleringar — syntax.

Definitioner, mätregler och krav bygger till största delen på redan existerande
regler och standarder med kompletteringar med mätmetoder som inte finns stan-
dardiserade men används i praktiken.

Som exempel på *definition* visas definitionen för *Oval kvist*

*Mer eller mindre rakt genomskuren kvist där förhållandet mellan största och
minsta tvärmått är större än 1,5 men högst 4.*

Mätreglerna, som benämns med versal bokstav, exemplifieras med dem för kvist:

- A: Medelvärde av minsta och största diameter, $d = (a+b)/2$ (i särdragets huvudriktningar)
- B: Medelvärde av bredd och längd, $d = (x+y)/2$ (i virkesstyckets huvudriktningar)
- C: En tredjedel av summan av kvistens största diameter (kvistlängd) och dess diameter på halva kvistlängden, $d = (a+b)/3$
- D: Summan av minsta och största diameter dividerad med 6, $d = (a+b)/6$
- E: Största diameter, $d = b$.
- F: Utbredning i styckets längdriktning, $d = y$.
- G: Storleken tvärs styckets längdriktning, $d = x$
- H: Kvistens area
- O: Mätes inte

Kraven slutligen, som benämns med en gemen bokstav, exemplifieras även de med dem som gäller för kvistar:

- a: Max storlek = 10 % av bredden + [] mm. Max antal på sämsta meter.
- b: Max storlek i % av tjocklek/bredd. Max antal på sämsta meter.
- c: Max storlek i mm, som inte beaktas.
- d: Max storlek i mm. Max antal på sämsta meter.
- e: Max storlek i % av tillåten frisk kvist. Max antal på sämsta meter.
- f: Max antal på sämsta meter.
- g: Max storlek i mm.
- h: Minsta och största storlek i mm.
- i: Max storlek i % av tillåten frisk kvist
- o: Tillåtet /Icke tillåtet Skall gälla.

Till kraven finns ett antal ytterligare alternativ.

För att visa kvalitetsspråkets mångfald presenteras indelningen i huvudgrupper och första nivån på undergrupper enligt nedan:

- 1 Allmän definition av virke
 - 1.1 Träslag
 - 1.2 Mått
 - 1.3 Fuktkvot
 - 1.4 Position
- 2 Kvist
 - 2.1 Kvistform
 - 2.2 Kvistbeskaffenhet
 - 2.3 Sprucken kvist
 - 2.4 Kvistens färg
 - 2.5 Kvistarnas inbördes gruppering
- 3 Övriga naturliga särdrag
 - 3.1 Barkdrag/lyra
 - 3.2 Kåda
 - 3.3 Reaktionsved
 - 3.4 Snedfibrighet
 - 3.5 Fiberstörningar

- 3.6 Märg
- 3.7 Kärna/splint
- 3.8 Ungdomsved
- 4 Biologiska angrepp och missfärgning
 - 4.1 Svamp- och bakterieangrepp
 - 4.2 Insektsskador
 - 4.3 Missfärgning
 - 4.4 Våtlagringsskada
- 5 Övriga materialparametrar
 - 5.1 Deformationer
 - 5.2 Fysikaliska egenskaper
 - 5.3 Årsring
 - 5.4 Kemisk behandling
- 6 Spricka
 - 6.1 Torkspricka
 - 6.2 Ändspricka
 - 6.3 Ringspricka
 - 6.4 Minisprickor
 - 6.5 Tvärspricka
 - 6.6 Fjäll- kap- och stormspricka
- 7 Produktionsrelaterade parametrar
 - 7.1 Vankant
 - 7.2 Hanteringsskada
 - 7.3 Ytkvalitet
- 8 Produktion
 - 8.1 Våtlagring
 - 8.2 Sågningsmönster
 - 8.3 Klyvvaror
- 9 Stock
 - 9.1 Bestånds- och avverkningsparametrar
 - 9.2 Avverkningstyp
 - 9.3 Yttre form
 - 9.4 Stocktyp

Upp till fyra undernivåer (5 siffror) finns.

Med språkets hjälp är tanken att man skall kunna formulera sina kvalitetskrav och sorteringsregler på ett entydigt och koncist sätt, eftersom både definitioner, mätregler och mätetal anges. Språket skall kunna användas av både producenter och köpare av trävaror.

6 Sorteringsregler – modeller

... då han förstår att förkasta vad ont är och utvälja vad gott är.
Jesaja 7:15

En *sorteringsregel* kan förstås både som specifikation av *en enstaka sort* och som specifikation av hur *flera sorter* samverkar i ett regelsystem. Det kan vara bättre att använda *sortspecifikation* i stället för sorteringsregel då endast en (1) sort menas.

Regeln kan härvid förstås som lagen och sorterna förstås som de resulterande benämningarna då regeln, lagen, tillämpas på ett parti virkestycken.

Ordet *sort* bör användas istället för ordet *kvalitet*, då *sort* är ett mindre värdeladdat ord än *kvalitet* och kvalitetsbegreppet dessutom med tiden kommit att innefatta så mycket mer (pris, leveranstid, förväntan osv) än bara virkestyckets utseende eller hållfasthet. Ordet *sort* har dessutom en naturlig koppling till resultatet från en *sortering*.

När man formulerar sina sorteringsregler kan man tala om en *sortkomposition* vilken beskriver sorteringsregeln för den enskilda sorten. När flera sorteringsregler sammanlänkas till ett regelsystem som passar mer eller mindre bra tillsammans kan man tala om en *sortkombination*.

När man komponerar och kombinerar sina sorter till regelverk är det väsentligt att det blir heltäckande, på så sätt att alla plankor uttryckligen får en sorttillhörighet. Detta brukar lösas praktiskt genom att ha en "restsort" som kallas till exempel vrak, urlägg, VII, "sjunde sort" eller D. I "resten" läggs allt som inte passar in i någon definierad sort.

Vid sortkomposition är det väsentligt att klargöra om de särdrag som inte uttryckligen nämns i sorteringsregeln är generellt tillåtna i obegränsad mängd eller generellt förbjudna. Man står således inför många val- och tolkningsmöjligheter när en sorteringsregel formuleras. Det är därför väsentligt att sortkompositören har tänkt igenom alla möjligheter till tolkning så att samtliga hål i regelmuren medvetande görs och de oönskade hålen kan täppas igen.

6.1 Sorteringsmodeller

Modellerna för sortering byggs upp utgående från önskemål angående virkesstyc-
kens önskade, tillåtna eller otillåtna särdrag; deras typ, storlek, antal och position.
Fem modeller för sortering har urskiljts i detta arbete och presenteras nedan:

Modell 1

- negativ eller
- positiv sortering
 - vilket skall skiljas från (skiljer mellan att *föreskriva* och *beskriva*)
 - negativ och
 - positiv beskrivning

Modell 2

- hierarkisk modell, linjärmodell eller
- matrismodell

Modell 3

- ensidigt begränsade intervall eller
- dubbelsidigt begränsade intervall

Modell 4

- absoluta mått eller
- villkorade mått

Modell 5

- statiska eller
- dynamiska regler.

Av de ovan nämnda modellerna kan och måste en del kombineras med andra mo-
deller medan ytterligare andra varken kan eller skall det. Det är dock ytterst säll-
synt att en praktisk sorteringsregel kan beskrivas med *en* renodlad modell.

De traditionella sorteringsreglerna, Nordiskt Trä och Gröna Boken, men även
EN1611-1, är till sin uppbyggnad heltäckande och hierarkiska negativa sorteringar
med enkelsidigt begränsade intervall.

Negativ eller Positiv sortering, Modell 1

Modellen *föreskriver* vad som skall/inte skall finnas i det resulterande urvalet av
virkesstycken.

- I en negativ sortering (utan värdering av ordet negativ) anges specifikt vad man
inte önskar, vad virkesstycket eller partiet inte får innehålla.

- I en positiv sortering (utan värdering av ordet positiv) anges specifikt vad man önskar, vad virkesstycket eller partiet skall innehålla.

Det traditionella sättet att formulera sorteringsregler kan benämnas *negativ sortering* (utan värdering av ordet negativ) i den meningen att man där anger specifikt vad man *inte* önskar. Sorteringsregeln anger en gräns för det tillåtna, vanligtvis en maximal storlek eller ett maximalt antal av ett visst särdrag. Vid den negativa sorteringen vet man bara att inget särdrag tillåts vara större än gränsvärdet.

I ett (korrekt) sorterat parti av en viss sort finns det inget sätt att ta reda på vilka särdrag som finns, hur små eller hur stora, hur få eller hur många särdragen är. Man vet bara att särdragens storlek och antal håller sig under gränsvärdet för tillåten storlek och tillåtet antal. Detta kan exemplifieras med en plankan som skall sorteras till en av sorterna A, B, C eller D där A är bäst. Plankan har en (1) stor torr kvist mitt på. Inga andra nedklassande särdrag finns. Kvisten är så stor att plankan hamnar i sort C. Det går inte att kapa bort kvisten för att höja sorttillhörigheten, eftersom de resterande bitarna då blir för korta för att det skall löna sig. Den plankan hamnar i samma sort som plankor med många C-kvistar, men även kvistfria plankor vilka kan innehålla röta, sprickor, vankant och så vidare. Dessa plankor har helt olika egenskaper och kan användas till, är lämpliga eller olämpliga till, helt olika ändamål men tillhör ändå samma sort.

Vid en negativ sortering är det alltså heller inte fel enligt regeln att lägga en plankan i en "sämre" sort än den som den rätteligen bör (kan) tillhöra. Det är således inte fel enligt regelboken (men oftast olönsamt) att sälja A-plankor som B-plankor. Däremot är det direkt regelfel att göra tvärs om.

I den *positiva sorteringen* (utan värdering av ordet positiv) å andra sidan anges vad som önskas. Exempelvis kan man ange att man vill ha en typ av kvistar med storlek inom ett visst intervall, exempelvis friska kvistar med storlek mellan 10 och 20 mm, av estetiska skäl. För producenten är det betydligt svårare att förutse utfallet av en dylik sortering. Den positiva sorteringen fungerar troligen endast på ett litet urval av produktionen med ett fåtal särdrag specificerade i positiva termer. Detta begränsade uttag av en särskild sort blir då inte nödvändigtvis svårare att uppfylla, samtidigt som ett begränsat uttag av en specialsart inte får några större (negativa, dåliga) inverknings på utfallet i den övriga produktionen.

Den positiva sorteringen skall inte förväxlas med den relativa eller villkorade sorteringen, se nedan under modell 4, i vilken man kan "hjälpa" biten till en högre kvalitet genom antingen relativa regler eller subjektiva bedömningar.

Negativ eller Positiv beskrivning

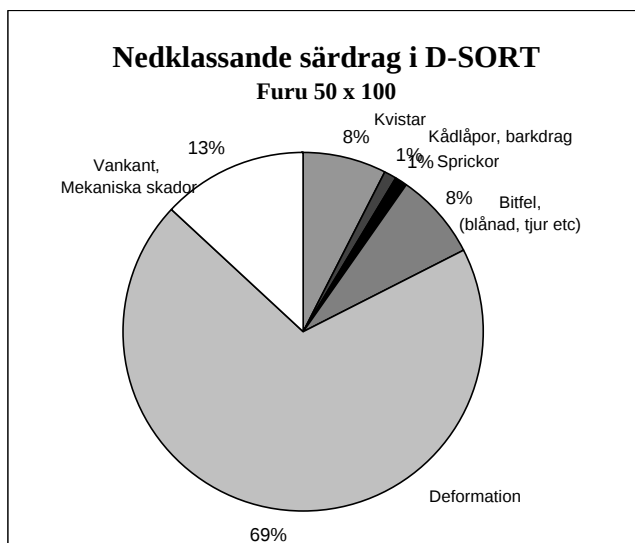
Den ovanstående sorteringsmodellen skall särskiljas från nedanstående *beskrivningar* av utfallet, som *resultat* av en sortering.

- I en negativ beskrivning av ett virkesstycke eller ett virkesparti anges specifikt vad, vilka särdrag, deras storlek och antal, virkesstycket eller partiet inte innehåller.
- I en positiv beskrivning anges specifikt vad, vilka särdrag, deras storlek och antal, virkesstycket eller partiet innehåller.

När virkesstyckena är sorterade, enligt vilken regel eller modell som helst, kan den enskilda biten eller partiet beskrivas negativt eller positivt (utan värdering). Vanligen används en negativ beskrivning, vilken då oftast är liktydig med sorteringsregeln, alltså en beskrivning av vad som *inte* ingår. Detta är inte alltid tillfyllest för köparen av partiet. Köparen vill stundom ha bättre kontroll på vad, vilka olika särdrag, deras storleksfördelning och antal, partiet innehåller och vad partiet kan användas till, utan att sortera det igen.

Med en positiv beskrivning av partiet och virkesstyckena i det menas en beskrivning av vilka särdrag som faktiskt förekommer, både till typ, storlek och antal. Dessutom kan en fördelningsfunktion användas för beskrivning av partiets innehåll av ett visst särdrag, se Figur 1.

”Resten”, det som inte passar in i en definierad sort utan klassificeras som Vrak eller hamnar i slaskfacket, kan, med en positiv kvalitetsbeskrivning, hitta köpare som kan acceptera vissa särdrag som förorsakar nedklassning vid vanlig handels-sortering, men som inte spelar någon roll för just den köparens användningsområden. Figur 1 beskriver ett parti D-plankor, där det tydligt visas att deformationer är den största nedklassningsorsaken. En kund som inte är så känslig för deformation kan därför med god behållning tillgodogöra sig partiet, samtidigt som sågverket hittar en köpare som är villig att betala, eventuellt mer än D-pris, då man kan visa att det för kunden är ”bättre” än ett ”normalt” D-parti.



Figur 1. I figuren visas nedklassningsorsakerna i ett parti D-SORT plankor, furu dimension 50x100 mm. Tydligt är att deformation är den särklassigt största orsaken till nedklassning, följt av vankant, kvistar och bitfel (blånad, tjurved etc).

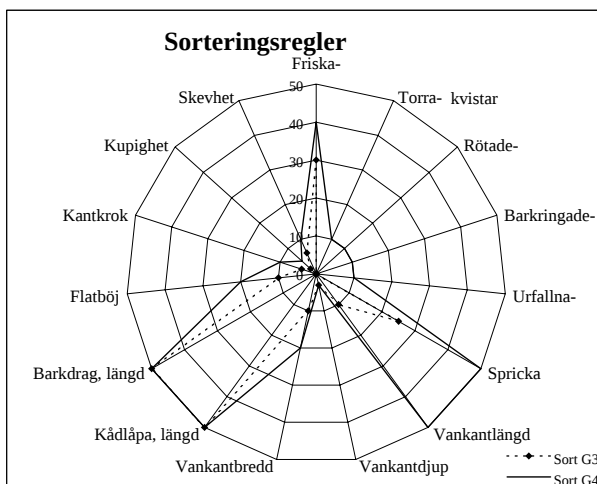
Hierarkisk modell eller Matrismodell för sortering, Modell 2

De vanligaste handelssorteringarna är uppbyggda som hierarkiska, linjära system, där "kvaliteten" på *alla* särdrag blir, om inte bättre, så i alla fall inte sämre, ju "bättre" sorterna blir. Det finns särdrag som kan ha samma maximalt tillåtna storlek och/eller antal i flera nedstigande sorter, men kraven för ett särdrag i en sort kan inte mildras om kraven skärps för ett annat särdrag.

Ett sätt att visa sorteringsreglerna och de inbördes förhållandena för särdragens gränsvärden, kan vara ett polärdiagram, se Figur 2 och Figur 4, eller i ett tvåaxligt koordinatsystem, se Figur 3 och Figur 5 samt Figur 46 och Figur 47. I diagrammen visas maximalt tillåten storlek för respektive särdrag.

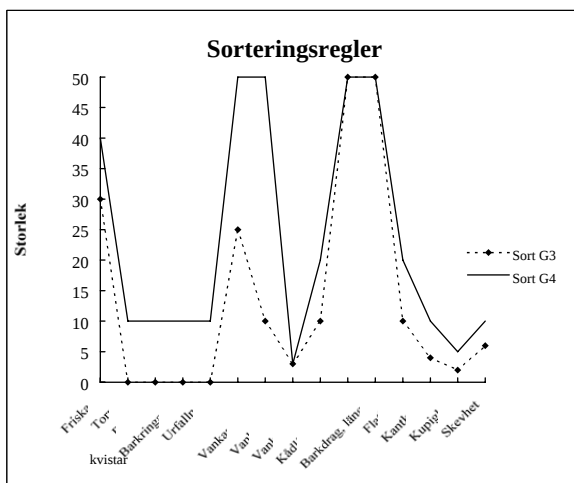
Alla dessa beskrivningssätt har sitt berättigande. De kan vara lämpliga vid olika tillfällen för att illustrera sorteringsreglernas uppbyggnad. Ett problem som uppstår vid grafiska presentationsmodeller är att visa "allt tillåtet"-värden.

Vid en hierarkisk, linjär modell är, som ovan nämnts, gränsvärdet för alla särdrag strängare ju bättre sorten är, se Figur 2 och Figur 3. I ett polärdiagram blir ytan innanför gränslinjerna mindre ju "bättre" sorten är. I hierarkiska system korsas inte gränsvärdeslinjerna i diagrammen.



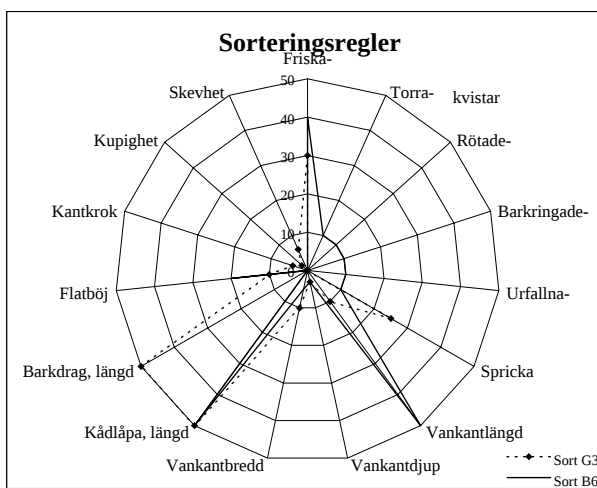
Figur 2. Diagrammet visar ett sätt att åskådliggöra sorteringsregler med polärdiagram. Angivet är den maximalt tillåtna storleken för respektive särdrag. Storleksskalan, avståndet från centrum, är ett mått som för kvistar kan vara %-andel av plankans bredd, för kådlåpor kan måttet vara i mm, för sprickor kan måttet vara relativt plankans längd och så vidare. I detta fall är sorteringsmodellen hierarkisk.

Samma sorteringsregler kan även visas i ett "normalt" tvåaxligt koordinatsystem.

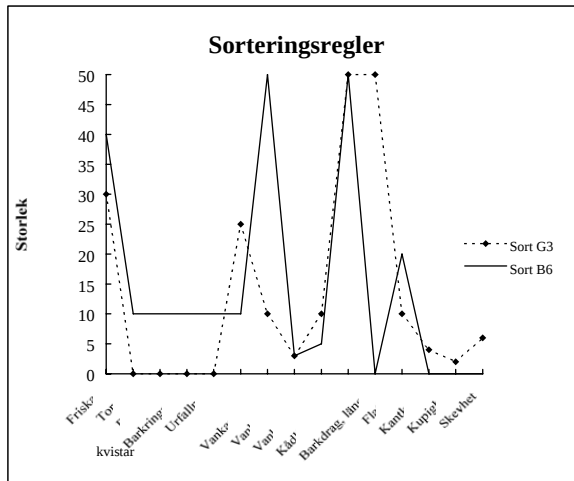


Figur 3. Diagrammet visar ett sätt att åskådliggöra sorteringsregler i ett tvåaxligt koordinatsystem. Angivet är den maximalt tillåtna storleken för respektive särdrag. Storleksskalan är ett mått som för kvistar kan vara %-andel av plankans bredd, för kådlåpor kan måttet vara i mm, för sprickor kan det vara relativt plankans längd och så vidare. Man ser att de två gränsvärdeslinjerna inte korsas.

Det utmärkande för en matrismodell är att den inte är hierarkisk. Vid en matrismodell för sortering kan reglerna för ett särdrag skärpas, trots att de mildras för andra särdrag vid övergång till en annan sort. Detta fenomen ses som att linjerna för gränsvärdena i diagrammet korsas, se Figur 4, Figur 5 och Figur 6. I en matris-sortering är ingen sort nödvändigtvis att betrakta som "bättre" eller "sämre" än en annan, vilket det är naturligt att göra i en hierarkisk modell.

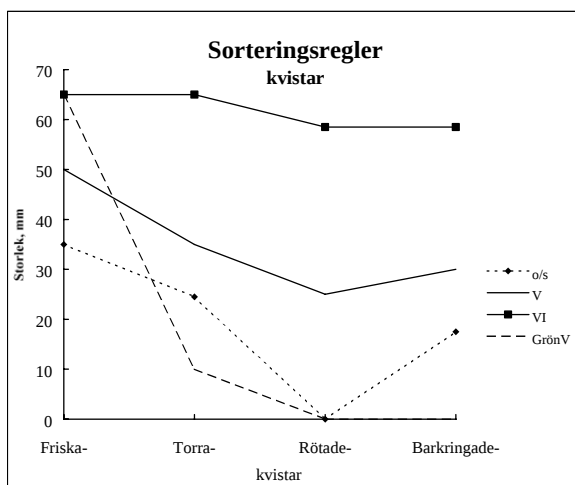


Figur 4. Ett sätt att åskådliggöra icke hierarkiska sorteringsregler med polär diagram. Angivet är den maximalt tillåtna storleken för respektive särdrag. Storleksskalan, avståndet från centrum, är ett mått som för kvistar kan vara %-andel av plankans bredd, för kådlåpor kan måttet vara i mm, för sprickor kan måttet vara relativt plankans längd och så vidare. Man ser att de två sorternas gränsvärdeslinjer korsas.



Figur 5. Ett sätt att åskådliggöra icke hierarkiska sorteringsregler med tvåaxligt koordinatsystem. Angivet är den maximalt tillåtna storleken för respektive särdrag. Storleksskalan, avståndet från centrum, är ett mått som för kvistar kan vara %-andel av plankans bredd, för kådlåpor kan måttet vara i mm, för sprickor kan det vara relativt plankans längd och så vidare. Man ser att de två sorternas gränsvärdeslinjer korsas.

En ”grönkvinta”-sortering, se Figur 6, är att betrakta som matrissortering, eftersom det där kan tillåtas friska kvistar av VI-storlek, medan torrkvistarnas gränstorlek är strängare än den normala för o/s. Grönkvinta sorteras på många sågverk fram samtidigt som o/s, V och VI. V anses emellertid i många fall så urvattnat att V-plankorna läggs till VI. Detta beror på att, även om alla de plankor som kan bedömas som V verkligen också är det, intrycket av V-partiet blir dåligt, beroende på att kunden förväntar sig ett ”normalt”, någorlunda kontinuerligt, utfall i partiets utseende, och inte att alla plankor med friska kvistar saknas. Det innebär samtidigt att VI-partiet blir ”bättre” än vanligt.



Figur 6. Tillåtna kviststorlekar vid grönkvinta-sortering. Storleken på friska kvistar i grönkvinta tillåts vara lika stora som i VI, medan gränsvärdet för övriga kvistars storlekar är lika med eller mindre än de för o/s.

Ensidigt begränsade intervall eller Dubbelsidigt begränsade intervall, Modell 3

I sorteringsregler med ensidigt begränsade intervall definieras sorten med ett övre gränsvärde för särdragets storlek och antal: exempelvis får kådlåpan vara maximalt 50 mm lång, friska kvistar får vara maximalt 50 mm stora och så vidare.

I sorteringsregler med dubbelsidigt begränsade intervall definieras sorten med både ett undre och ett övre gränsvärde: exempelvis skall friska kvistar vara mellan 30 och 50 mm stora.

Sorteringsregler med enkelsidiga intervall är vanligast. De dubbelsidigt begränsade intervallen används av estetiska skäl, då det önskas en jämnhet i kviststorlek, exempelvis vid möbeltillverkning.

Sortering med ensidiga intervall passar i en negativ sortering medan dubbelsidiga intervall passar i en positiv sortering, se ovan, modell 1.

Absoluta mått eller Villkorade mått, Modell 4

Modellen med absoluta mått har inget att göra med virkestyckets mått, inte heller i de fall då gränsvärdet sätts i relation till virkesdimensionen. De gränsvärden som sätts upp i regelmodeller med absoluta mått får inte överskridas, oavsett hur fint virkestycket är för övrigt.

Med villkorade mått menas i denna uppsats inte mått relativt virkesstyckets dimensioner, utan att gränsvärdet för särdragens mått sätts relativt, villkorat av, övriga särdrags mått och position samt i förhållande till särdragets position på ytan eller i virket. En kvist nära virkesstyckets mittlinje kan exempelvis tillåtas vara större än en nära kanten, om inga andra kvistar ligger i närheten. Det blir betydligt mer komplicerade regler att specificera, men i många situationer kan virkesstycken räddas till en högre sort, utan att tappa funktionalitet, genom en större flexibilitet i gränssättandet. En regel med villkorade mått öppnar vägen till subjektivitet och godtycke, vilket måste överenskommas i kontrakt mellan säljare och köpare av trävaror.

Gröna Boken bygger i stor utsträckning på villkorade mått, se kapitel 5.2.

Statiska eller dynamiska sorteringsregler, Modell 5

Statiska sorteringsregler är, som namnet antyder, statiska. Det vill säga, de ändrar sig inte under överskådlig tid. ”Man skall veta vad man får.” De behåller sin benämningar och begränsningar – kravvärden. I praktiken är inga regler helt statiska, eftersom exempelvis konjunkturen och råvaran förändras och därmed påverkas åtminstone regelns uttolkning.

Dynamiska sorteringsregler karaktäriseras av att kravvärdena kan ändras på ett taktiskt och strategiskt genomtänkt sätt för att bättre anpassa sig till producent- och konsumentkrav.

6.2 Exempel på sorteringsmodell

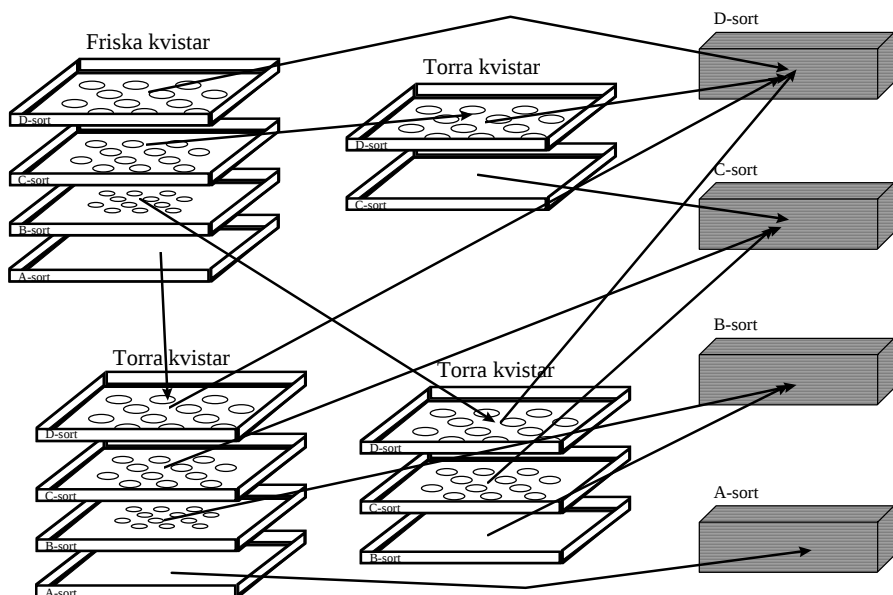
De traditionella reglerna för handelssortering Gröna Boken, Nordiskt Trä och EN1611-1 fungerar till sin grundprincip som ett såll, där maskstorleken minskar för varje lager. Det som sållas är särdragen. Varje särdrag sållas för sig till storlek och antal. Varje särdrag i underliggande nivå i sållet blir bättre (mindre, klarar högre krav) än i överliggande, att jämföra med sållning av sand, flis eller potatis. Gröna Boken intar en särställning eftersom man där, med viss subjektivitet, kan modifiera, öka eller minska, maskstorleken efter hur de övriga särdragen uppträder på virkesstycket.

Sållmodellen exemplifieras nedan med sortering enligt Nordiskt Trä med sorterna A, B, C och restsorten D, se Figur 7. Sorteringen sker i exemplet endast på särdragen *friska kvistar* och *torra kvistar*. I en verklig sorteringsituation utökar man sållantalet med erforderligt antal såll enligt antalet sorterade särdrag i sorteringsregeln. Det spelar ingen roll för slutresultatet i vilken ordning de olika särdragen sållas. Däremot kan ”sållordningsföljden” vid manuell sortering ha betydelse för tidsåtgången och effektiviteten. I exemplet nedan tas ingen hänsyn till eventuella möjligheter att kapa bort oönskade särdrag.

I sållmodellen kan man tänka sig att man bildligt lägger sin plankhög i sållet för friska kvistar och skakar om, se Figur 7. Det första särdraget vi sållar på i exemplet är alltså friska kvistar. En eller annan planka fastnar redan i översta sållet, SORT D. Någon, minst en (1), av de friska kvistarna är alltså för stor för att klara maskstorleken och falla ner till SORT C. Hur de övriga friska kvistarna eller andra särdragen på denna planka ser ut vet vi ingenting om detta skede och behöver heller inte veta det. Andra plankor trillar ner och fastnar i C eller B, medan några klarar sig hela vägen ner till A. Alla friska kvistarna, om det finns några, på de plankor som fallit ner till A-nivån, är alltså så små att de uppfyller kraven för SORT A.

Vid nästa sållning sållar man på kraven för torra kvistar. Då räcker det att sålla till och med den sort som uppfylldes i föregående särdrags såll. De plankor som fastnade i översta sållet, D, vid första sållningen behöver man inte titta på igen. De kan ju ändå inte bli bättre, utan de läggs direkt i D-högen. De plankor som fastnade i lager C på friska kvistar tas ut och sållas i torrkvistsållets skikt för C och D, för att utröna om de håller C-sort även på torra kvistar eller om de fastnar i D-sållet. De plankor som fastnade i friskkvistlager B sållas genom torrkvistsåll D och C för att se om de klarar sig till B även på torrkvist. De plankor som var av A-sort på friska kvistar sållas genom alla såll även på torra kvistar.

På liknande sätt fortsätter sållningen för alla särdrag. En planka som fått en sorttillhörighet på grund av något särdrag kan aldrig bli bättre även om de övriga särdragen skulle tillåta plankan i en högre sorttillhörighet. Det enda man kan vara säker på i en sållsortering är att inget särdrag är större än maskstorleken i något av särdragens såll. Man känner inte till något om vare sig vilket särdrag som orsakade sorttillhörigheten, storleksfördelningen av särdrag eller vilka övriga särdrag som finns på virkesstycket.



Figur 7. Schematisk bild av sållmodellen för sortering av friska och torra kvistar.

Vid "sållsortering" kan man även sortera särdragen i dubbelsidiga intervall med ett min- och ett maxvärde på särdragets storlek. Sållmodellen fungerar även vid icke-hierarkiska sorteringar.

6.3 Prisrelationer

För att korrekt kunna styra ett virkesstycke till en viss sort och/eller viss längd genom bortkapning av oönskade särdrag eller avkap till önskad längd, måste prisrelationerna mellan de olika alternativen vara kända. Prisrelationerna kan vara statiska eller dynamiska. Statiska prisrelationer är desamma under överskådlig tid. Dynamiska prisrelationer kan variera bland annat beroende på tillgång på råvara, produktionskapacitet, beräknad efterfrågan och uppfyllnadsgraden av lagda order. I de flesta verkliga fall är prisrelationerna mer eller mindre dynamiska, i det att priserna ändras med konjunkturen.

Vid en sorteringssituation är det *prisrelationen* mellan sorterna som är intressanta, inte de *absoluta* försäljningspriserna. Det gör att man inte behöver formulera om tumreglerna för kapning till högre sort då prisernas absolutnivå ändras, utan bara då prisrelationerna mellan sorterna ändras.

7 Mätning av särdrags storlek

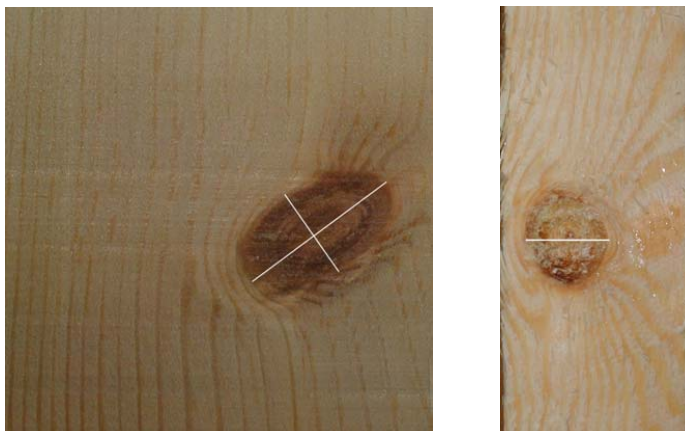
Såväl hur mätningen av ett särdrags storlek skall gå till som hur man anger dess mått beror på varför måttet är intressant; om det är av estetiska skäl kan det vara särdragets synliga area som är väsentligt, om det oönskade skall kapas bort kan det vara särdragets mått i virkets längsriktning och om virkesstycket skall klyvas¹¹ eller spräckas¹² kan särdragets breddmått vara viktigt. I Nordiskt kvalitetsspråk för träbranschen - Barrträ anges sju olika sätt att mäta, beräkna och ange kvistars storlek. Till dessa sju kommer 15 alternativa kravformuleringar av storlek och antal, inkluderande kombinationer av storleks- och antalsberäkning. Dock tillkommer den verkliga kvistarean som ett ytterligare mått, vilken inte finns medräknad bland de sju (eller 15). För kådved, reaktionsved (tjurved), fiberstörningar, röta och blånad anges åtta olika sätt att mäta och ange storleken, inkluderande både yt- och volymmätning. Dessa exempel visar att det är väsentligt att ange även hur särdraget skall mätas, inte bara ett mätetal som anger hur stort särdrag som maximalt kan tillåtas.

Till de ovanstående sätten att mäta särdragens mått (eller snarare de oönskade partierna av virkesstycket) kommer principen att mäta ”icke-särdragens” mått det vill säga de opåverkade delarna av virket. Det är ju många gånger det som egentligen efterfrågas: Hur stor del av virkesstycket kan jag använda vid tillverkning av komponenter och ämnen till möbler eller snickerier? Detta resonemang kan exemplifieras med att man istället för tillåten vankantlängd i procent av virkesstyckets längd anger minsta nödvändiga skarpkantade längd i mm, se kapitel 7.3.

Inom samma regelsystem kan olika principer gälla för hur särdragen skall mätas. I Nordiskt Trä mätes flatsideskvistar i kvistens huvudriktningar medan kantsideskvistar mätes endast i virkesstyckets tjockleksriktning.

¹¹ Klyvning: när utgångsmaterialet delas i längsled medelst ett eller flera snitt parallella med flatsidan.

¹² Spräckning: när utgångsmaterialet delats i längsled medelst ett eller flera snitt parallella med kantsidan.



Figur 8. Kvistmätning på flatsida och kantsida enligt Nordiskt Trä.

Nedan ges beskrivningar och exempel på hur särdrag kan mätas in och dess storlek kan beräknas. Exempelen ges i form av kviststorlek och vankant, men kan naturligtvis användas på andra särdrag också.

De exempel som visas ovan och nedan klargör behovet av en automatisk avsyning och sortering, om man vill ha möjligheten att snabbt och flexibelt kunna växla mellan olika mätsätt, krav och prisrelationer.

7.1 Kviststorlek

Vid bestämning av en kvists storlek måste man ta hänsyn till både mätförfarandet och framräkningen av det sökta mätetalet. Mätetalet anges ofta som en ”diameter”, vilken skall ställas i relation till ett i sorteringsregeln uppställt gränsvärde.

Mätning av kvistarnas storlek syftar till att ge en uppfattning av kviststorleken av, i huvudsak, estetiska eller hållfasthetsmässiga skäl.

Mätning av kviststorlek

Mätning av kviststorleken på virkesstyckets yta kan ske på tre principiellt olika sätt, se Figur 12:

1. mätning i kvistens huvudaxlar, a och/eller b (kvistens stor- och lillaxel)
2. mätning i virkesstyckets huvudaxlar, x och/eller y (kvistens utsträckning i virkesstyckets tvärs- eller längsriktning)
3. mätning av kvistarea.

Dessutom finns det ett antal olika mätsätt med verklig eller simulerad genomlysning av virkesstycket, vilket inte behandlas här.

Av de ytmätande principerna används den förstnämnda, mätning i kvistens huvudaxlar, i de flesta handelssorteringar såsom Gröna Boken, Nordiskt Trä och EN 1611-1. Vid pluggning/proppning av kvistar är detta mätsätt också att föredra, då man använder måttet för kvistens storaxel vid val av borr och plugg. Detta mätsätt, i kvistens huvudaxlar, är också det enklaste sättet att mäta manuellt, eftersom man där har gränsen tydligast markerad. Vid angivandet av storleken, diametern, skall eventuellt mätetalet(-n) beräknas. Olika modeller för det presenteras nedan.

Som varianter kan nämnas

mätning av storaxel samt

- mätning av lillaxel eller
- mätning på särdragets mitt vinkelrät storaxeln

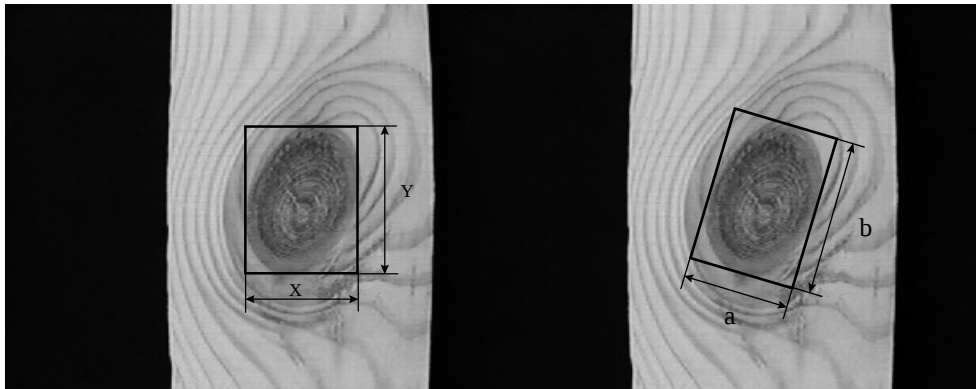
vilket inte behöver sammanfalla med lillaxeln, om kvisten är ägg- eller päronformad, se Figur 9.

Med storaxel menas den längsta rätta linjen som kan skrivas in i särdragets utbredningsyta. Med lillaxel menas den längsta sträckan som kan skrivas in i särdragets utbredningsyta vinkelrät storaxeln.



Figur 9. Mätning av kviststorlek i kvistens huvudriktningar. Storaxeln, lillaxeln samt en axel mitt på storaxeln är markerade. Den framräknade kviststorleken varierar i detta fall ca 10%, beroende på mätsätt.

Mätsätt nummer 2 enligt ovan, att mäta kvistens storlek, mätning i virkesstyckets huvudaxlar, se Figur 10, kan vara lämpligt vid till exempel sortering och klassificering inför komponentkapning, då endast måttet i virkesstyckets längsled används, eftersom man där önskar kapa bort defekter, och endast kan lägga kapsnittet tvärs virkesstycket. Vid klyvning eller spräckning av virkesstyckena kan det också vara lämpligt att ange kviststorleken i virkesstyckets huvudaxlar, eftersom man då är intresserad av måtten tvärs virket, för att se om det passar in i klyvningsmönstret.

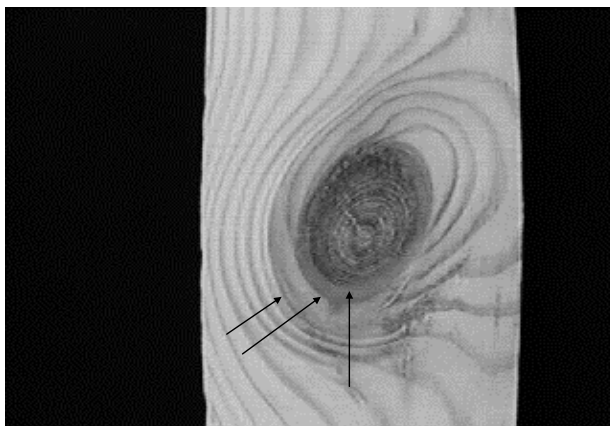


Figur 10. Mätning av kviststorlek i virkesstyckets huvudriktningar, x och y , samt i kvistens huvudriktningar, a och b .

Mätning av verklig kvistarea kan i praktiken inte ske manuellt, eftersom människan är begränsad i sin perceptions- och analysförmåga.

Vid automatisk inmätning av kviststorlek skrivs ofta kvistarna in i en rektangel med sidorna parallella med virkesstycket. Den automatiska mätningen görs till exempel av automatiska sorteringssystem. Man kan därvid göra ramen så stor att hela kvisten ryms, se Figur 10 och Figur 12, x och y . Ett alternativ är att göra ramen utgående från den största diagonalen. Ramen ges då av x' och y' , se Figur 12.

För att ytterligare komplicera mätförfarandet tillkommer problemet med att ange var kvisten börjar, se Figur 11. I de flesta sammanhang är det inga svårigheter, men i andra fall kan det vara stora meningsskiljaktigheter mellan olika sorterare samt mellan köpare och säljare. Komplikationerna ökas än mer då fiberstörning runt kvisten kan vara föremål för olika uppfattning om bedömning.



Figur 11. Olika bedömningar av var kvisten börjar.

7.2 Beräkning av kviststorlek

Vid beräkning av kviststorlek används dels de mätetal som uppmäts enligt kapitel 7.1 och dels den formel som skall omvandla de uppmätta värdena till det tal som efterfrågas i sorteringsreglerna. Formeln för kvistberäkning skall ges i sorteringsregeln. Vanligast är att storleken definieras som

$$D = \frac{a+b}{2} \text{ där } D \text{ är storleken, } a \text{ och } b \text{ är storaxeln respektive lillaxeln.}$$

Denna formel används vanligen vid runda och ovala kvistar på flatsidan. Vid andra kvistformer än rund/oval ändrar man enligt Gröna Boken och Nordiskt Trä nämnaren från 2 till 3 (hornkvist) eller till 6 (bladkvist). Vid horn- och bladkvist använder man sig av storaxeln och en axel mitt på storaxeln. Nämnarens 2:a, 3:a eller 6:a är ett försök att anpassa kvistens sorteringsgrundande mätetal till den påverkan på hållfastheten som kvisten har samt till det estetiska i kvistutseendet.

Om man använder sig av det tredje alternativet, mätning av verklig kvistarea, vid kvistmätningen, men sorteringsregeln anger en diameter, kan kvisten räknas om till en rund kvist med diametern

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}.$$

Vilket av dessa beräkningssätt som används vid bedömning av generell kviststorlek, det vill säga då inget specifikt användningsområde för plankan finns angivet, är av underordnad betydelse. Det väsentliga är att relationerna mellan kvistarnas verkliga storlek och tillåten storlek kan bedömas samt att sågverk, virkesköpare och träanvändare är överens om hur kvisten mäts och storleken beräknas.

Med en ovalt, ”orunt”, formad kvist, enligt Figur 12, kan skillnaden mellan sätten att beräkna ”diametern” D bli drygt 10%, vilket visar att det är nödvändigt att definiera vad som menas med en ”kvistdiameter” och hur den skall beräknas. Areaangivelsen kan variera upp till 25% beroende på mät- och beräkningssätt.

Kviststorleken anges som något av de beräknade måtten för diameter

$$D = 2\sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$D = \frac{a+b}{2}$$

$$D = \frac{x+y}{2}$$

$$D = \frac{x'+y'}{2}$$

eller som en area

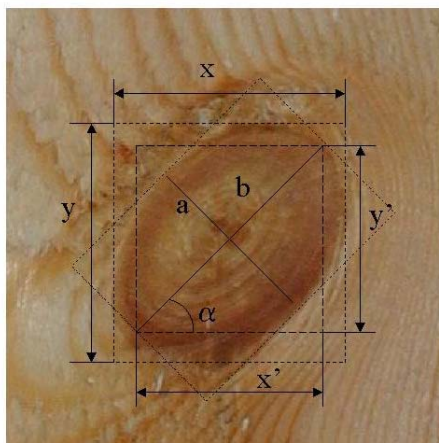
$$A = \text{verklig area}$$

eller beräknad area

$$A = xy$$

$$A = x'y'$$

$$A = ab.$$



Figur 12. Figuren visar olika sätt att mäta och beräkna storleken på en kvist. Kvisten syns som den skuggade ytan. Kviststorleken kan anges som en ”diameter” – D framräknad ur verklig area – A eller ur måtten a och b , x och y eller x' och y' .

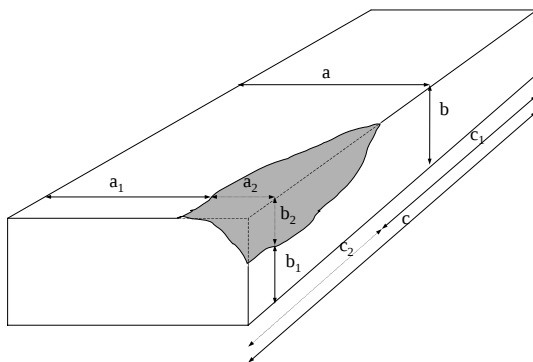
7.3 Vankantmätning

Förutom kvistar är vankanter ett av de intressantare särdragen på sågade trävaror, såtillvida att mätmetoderna och bedömningsgrunderna kan variera stort mellan olika sorteringsregler och sorterare.

Vankanter är, enligt Nordiskt kvalitetsspråk, ”stockens ursprungliga mantelyta” och mäts, enligt Nordiskt Trä, Nordiskt kvalitetsspråk och EN 1611-1, genom att ange ”den del av virkesstyckets yta som inte berörts av sågbladet”. Ett sätt som är enklare att mäta, och som dessutom i flera fall ger det måttvärde som söks, är att ange den del som berörts av sågbladet. I praktiken mäts vankanten ofta genom att mäta på den sågade ytan och subtrahera det från nominellt eller verkligt mått. I Figur 13 visas ett virkesstycke med vankant samt de olika måtten som kan vara aktuella vid mätning och beräkning av vankantens storlek. Det traditionella sättet att mäta vankanters storlek är måtten som motsvaras av a_2 , b_2 och c_2 . Det sättet används i Gröna Boken, Nordiskt Trä och EN 1611-1.

Ett enklare sätt att mäta motsvaras i figuren av a_1 , b_1 och c_1 . I europastandarden EN 1310 (Anon, 1997) beskrivs ett flertal sätt att mäta vankant, varav det ovan nämnda, a_1 , b_1 och c_1 , är ett.

Måttet, oavsett hur det mäts, kan sedan anges som absolut mått eller som andel av virkessidans bredd eller längd.



Figur 13. Vankant i änden på ett virkesstycke.

8 Manuell sortering

Nu skall du få höra min hemlighet. Den är mycket enkel: det är bara med hjärtat som man kan se ordentligt. Det viktigaste är osynligt för ögonen.

Antoine de Saint-Exupéry, ur Lille prinsen.

8.1 Beskrivning av manuell sortering

Manuell virkessortering tillgår vanligen på så sätt, att virkesstyckena passerar förbi en station för rotkap, se Figur 14, och ett antal sorterarplatser, se Figur 16. Alternativt saknas särskild rotkap. Då skall sorteraren vid sorterarplatsen avgöra sorttillhörighet samt eventuella avkap i både topp- och rotänden av virkesstycket.



Figur 14. Rotkap. Rotkaparen har hjälp av lasermarkeringar i toppänden (hitåt) för att se var modulgränsen ligger, vilket underlättar kapbeslutet.

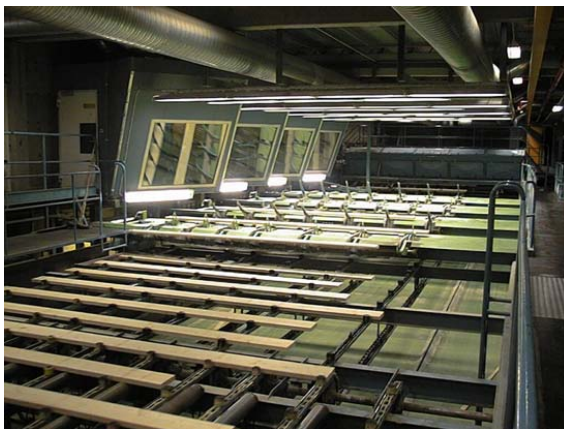
Vid rotkapen, då den finns, se Figur 14, skall operatören kapa bort oönskade särdrag som sitter i rotänden av virkesstycket. Bitarna passerar med ett flöde av 50 - 60 bitar/minut. Kapbeslutet skall inte grunda sig bara på hur rotänden ser ut, utan på hela virkesstyckets blivande sorttillhörighet, som alltså fastställs av sorteraren i nästa station, sorterarplatsen. Det är onödigt att kapa bort oönskade särdrag i roten om virkesstycket ändå inte sort- och värdemässigt kan "lyftas" genom kapning i toppen. Samtidigt kan ett uteblivet eller för kort rotkap medföra att virkesstycket inte kan nå potentiellt värde. Rotkaparen måste kunna se alla sidor på virkesstycket, så biten måste vändas, antingen manuellt eller automatiskt. Rotkaparen skall sedan, för att kapa biten, fatta tag i virkesstycket och dra ut så lång bit som skall

kapas, se Figur 15. Efter operatören sitter en kapsåg som utför själva kapet. På många sågverk är ”draglängden” begränsad av utrymmesskäl.



Figur 15. Operatören drar ut virkesstyckena till rätt kapställe.

Vid sorterarplatsen, se Figur 16 och Figur 17, skall sorteraren fatta ett välgrundat och optimalt beslut om virkesstyckets värdemässigt mest lönsamma sort samt om och hur det skall kapas i toppänden, ibland även i rotänden, för att uppnå den önsade sorten. Flödet framför sorterarplatsen är 25 - 30 bitar/minut.



Figur 16. Justerverk med fyra sorterarplatser som syns bakom glasfönstren.

Sortertillhörighet och kapbeslut meddelas systemet via knappspak och/eller minispak, se Figur 17. Förutom avkap för "kvalitetshöjning" görs avkap till modul-längd. Modullängden är i de flesta fall 3 dm, i vissa fall 1 dm. Ibland tillämpas fri-kapning, så att inget modulavkap utförs. Även för toppkapet finns det i många fall begränsningar i kaplängd vilket gör att vissa önskade kap inte går att utföra. Kap-stället utmärks på virkesstycket med hjälp av laserlinjer, så att sorteraren lättare kan avgöra var ett önskat kap hamnar.



Figur 17. Sorterarplats.

För att få alla sorterare att likriktas mot de sågverksspecifika sorteringsreglerna och för att de inte skall tröttna av en arbetsuppgift och tappa koncentrationsförmågan, tillämpas ofta rotationssystem, vilket innebär att alla sorterare skall fungera både som rotkapare och som sorterare. För att underlätta vid utvärdering av sorteringsresultat märks virkesstyckena på många sågverk med en kod för att identifiera operatören samt bedömd sort.

8.2 Problem vid manuell sortering

Den manuella sorteringen har många problem, vilket både sågverken och tillverkare av automatiska sorteringssystem försöker komma till rätta med. Några av problemen beskrivs och diskuteras nedan.

Många operatörer

Som alltid när det är människor inblandade är det svårt att få en gemensam syn på både detaljer och på saker i stort. Det innebär att det är en variation både mellan operatörerna och mellan samma operatörs bedömningar vid olika tidpunkter på dagen och i veckan se (Grönlund, 1995). Det är också svårt för en operatör att vara uthålligt skärpt under långa arbetspass.

Hastighet

En sorterare har ca 2 - 3 sekunder på sig att fatta beslut om korrekt kapställe och sorttillhörighet. En undersökning (Hallonborg, 1976) och praktisk erfarenhet visar att 20 - 30 bitar/minut kan vara en lämplig hastighet, eftersom operatören då fattar ett mer eller mindre intuitivt beslut. Med mer tid till förfogande blir resultatet generellt sämre, eftersom operatören då hinner tänka för mycket på varje enskilt särdrag på virkesstycket. Med kortare tid blir det för stressigt så att felbesluten tar överhanden. Hur den korta tiden som operatören har till förfogande kan delas upp för beskådande av de olika sidorna på virkesstycket, varierar för olika fabrikat på justerverksutrustningar. Önskemål från operatörerna är att transportörerna skall vara otaktade, så att gränsfallsbitar skall kunna ta längre tid, medan självklara bitar kan släppas iväg snabbare. Vändningsanordningen är härvidlag också av största betydelse. En vändare som inte tillåter betraktande av kantsidan (det finns sådana) är förödande för sorteringsresultatet, eftersom kantsidan många gånger är sortsättande.

Virkesstycket passerar förbi sorteraren med en hastighet som kan delas upp i två delar:

- transportörens hastighet, som anges i m/s samt
- virkesflödet, som anges i bitar/s.

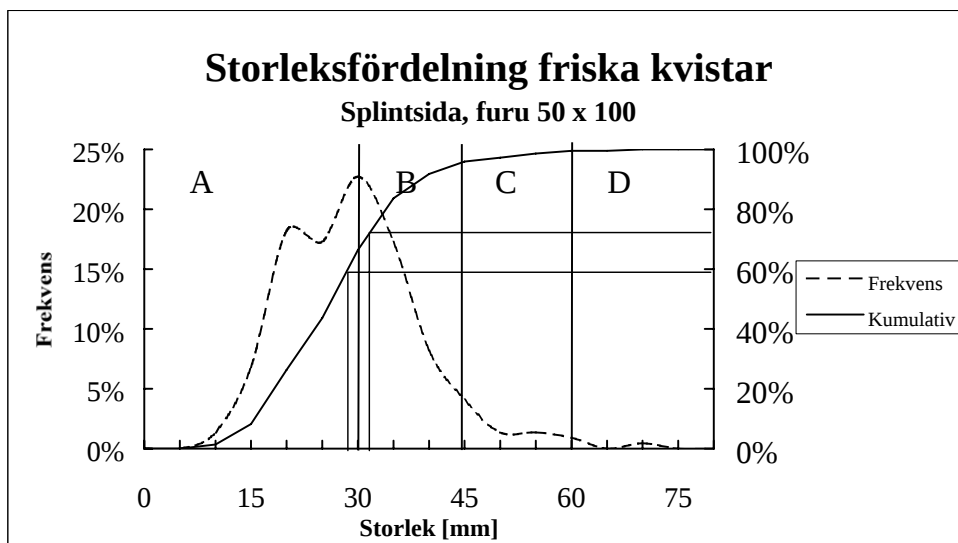
Dessa båda hastigheter bör, för högsta effektivitet och noggrannhet, kunna modifieras med hänsyn till varandra och till den kompromiss som passar den enskilda sorteraren. Ofta är det inte tekniskt möjligt att justera båda oberoende av varandra.

Antal sorter

Sorteringsresultatet påverkas av antal sorter som partiet skall delas upp i. Om virket bara skall sorteras i en (1) sort, som dessutom tillåter alla typer av särdrag i vilka storlekar och mängder som helst, blir det 100% rätt om allt läggs i den högen (och varför skulle man inte göra det?). Om det finns två eller fler sorter med gränsvärdet (-ena) för särdragets (-ens) tillåtna storlek vald på så sätt att populationen fördelas någorlunda jämnt kring gränsvärdet (-ena), måste ett aktivt beslut fattas för att virkesstycket skall bedömas korrekt. Ett gränsvärde som inget virkesstycke i populationen når upp till (exempelvis kviststorlekar på 500 mm) har ingen betydelse för sorteringen, annat än att det finns risk för feltryckning. Således, ju

fler sorter att välja mellan, desto svårare blir det att göra rätt, eftersom antalet gränser och därmed antalet gränsfall ökar.

I Figur 18 visas en storleksfördelning av den största friska kvisten på splintsidan på plankorna i den i detta arbete använda databasen (databasen och ingående material beskrivs i kapitel 11). I figuren är inlagt gränserna för tillåten kviststorlek i Nordiskt Trä-sorterna A, B, C och D. Mellan sort A och B är gränsen 30 mm, mellan sort B och C 45 mm samt mellan C och D 60 mm. I figuren ses att det största antalet gränsfallsbitar finns mellan sort A och B. Derivatet på den kumulativa kurvan är störst i den gränsen. Med en gränsszon på ± 2 mm, beroende på osäkerhet vid måttbedömningen, ses att ca 11% av det totala antalet kvistar hamnar i zonen. Andelen A-kvistar är ca 65%. Man kan alltså räkna med att andelen A-sort kan variera med upp till 15 - 20% beroende på hur gränsbitarna hanteras. Med fler sorter blir gränserna fler, vilket innebär att även gränsfallen ökar.



Figur 18. Kvistandel samt kumulativ andel kvistar av olika storlek. Den största friska kvisten på splintsidan är inmätt. De horisontella linjerna är gränserna mellan Nordiskt Trä-sorterna A och B, 30 mm, mellan B och C, 45 mm, samt mellan C och D, 60 mm.

Något som komplicerar tillvaron för sorteringspersonalen är dels antalet sorter som samtidigt är i bruk och dels det totala antalet sorter i omlopp. Ett stort antal sorter i omlopp bidrar till risken att blanda samman gränserna i de olika sorterna i de olika sorteringsystemen. Med sorter i bruk menas de sorter som det i ett givet ögonblick är tillåtet att sortera fram. Med sorter i omlopp menas de sorter som sågverket har formulerat och som sorteraren skall hålla i minnet för att kunna ta fram, då den aktuella sorten skall sorteras fram. Ett vanligt antal sorter samtidigt är fyra, exempelvis o/s, V, VI och VII. Till dessa sorter kommer vrak, där det som

är för dåligt för VII hamnar. Vissa verk sorterar så många som sju sorter samtidigt. Inga studier om sorteringsresultatet och skärpan inom och mellan sorterna beroende på antal sorter har redovisats i litteraturen.

Särdragsbestämning, typ och storlek

Vilket särdrag som finns på ett virkesstycke kan många gånger vara en högst subjektiv bedömning. Att *något* finns, som avviker från frisk ved, kan (oftast) alla inblandade vara överens om, men vad det är, och hur det skall bedömas kan diskuteras.

Att bedöma storleken på ett särdrag kan i många fall vara ytterst svårt och subjektivt, se Figur 11. I mätreglerna står definierat hur måtten skall tas, beräknas och presenteras, se till exempel Nordiskt Trä. Var ett visst särdrag skall anses börja och sluta anges dock inte i någon av de beskrivna mätreglerna. Antingen förutsätts bedömaren vara tillräckligt träkunnig eller så är det alltför komplicerat att beskriva.

Avstånd till virkesstycket

Manuell sortering sker på upp till 7-8 m håll. På det avståndet skall sorteraren upptäcka och bedöma storleken på särdragen med mm-noggrannhet. Sprickors djup skall enligt Gröna Boken mätas med en måttsticka med tjockleken 0,3 mm, vilket kan tolkas som att sprickor med 0,3 mm bredd skall upptäckas av sorteraren.

Sorteringsreglernas tydlighet samt prisrelationer mellan sorterna

Sågverkens skrivna sorteringsregler vid manuell sortering är ofta av tradition och praktisk funktionalitet diffusa. Genom att de är traditionella har sågverket inte behövt specificera sorteringsreglerna så noggrant – det har fungerat ändå. Genom att hålla reglerna, medvetet eller omedvetet, diffusa kan man enklare på ett praktiskt och funktionellt sätt ”trimma” sorteringen muntligt, utan att ändra det faktiska regelverket. Exempelvis kan sorteringsinstruktionen för en dag vara ”lite mindre kvistar än igår, men tillåt lite längre van”. Naturligtvis är en sån instruktion svår att formalisera och implementera med nödvändig stringens så att alla sorterare håller samma gränser.

Räkneexempel på sorteringsnoggrannhetens betydelse

För att exemplifiera vikten av att ha en god sortering, tydlighet i reglerna och i prissättningen kan följande grova beräkning vara nyttig. I dimension 50 x 100 mm kan priset, beroende på sort, vara 1 000 – 2 000 kr/m³, vilket motsvarar 5 - 10 kr/m. En sorterare som ständigt kapar bort 1 modul (3 dm) för mycket kostar alltså mellan 1,50 och 3 kr/planka. Med 20 plankor i minuten under 6 timmar kostar den sorteraren mellan 10 000 och 20 000 kr/dag i minskad intäkt. Troligen kapas inte en modul för mycket bort på alla plankor, men det är inte otänkbart att en (1) cm

kapas för mycket i rotkapen. Det innebär statistiskt att ca 3 % av plankorna passerar en modulgräns varvid 3 dm kapas bort i onödan.

Om plankorna istället ständigt bedöms som en sort lägre än avsett kan det kosta ca 10 kr/planka. Med en pessimistisk syn på sorterarens noggrannhet kostar den sorteraren $10 * 20 * 60 * 6 = 72\,000$ kr/dag. Nu får man väl hoppas och anta att det inte är så illa. Praktiska studier och diskussion med sorteringsutbildare och sågverkspersonal visar att det inte är unikt med varken 5, 10 eller 20% fel. Vad ”fel” egentligen innebär i detta sammanhang är oklart. Klart är dock att felsortering slår åt båda hållen, så en planka som hamnat i en för låg sort ofta motsvaras av en annan planka som hamnat i en för hög, och den direkta förlusten för sågverket blir inte så stor. Om vi för enkelhets skull antar att alla fel kostar, oavsett åt vilket håll felen pekar, ser man att en sorterare mycket enkelt kan sortera fel för 1 000-tals kronor varje dag. 5% fel motsvarar med dessa antaganden drygt 4 000 kr/dag. Totalt, med 4 – 5 sorterare igång samtidigt, kan felkostnaden alltså uppskattas till 15 000 – 20 000 kr/dag.

9 Automatisk sortering

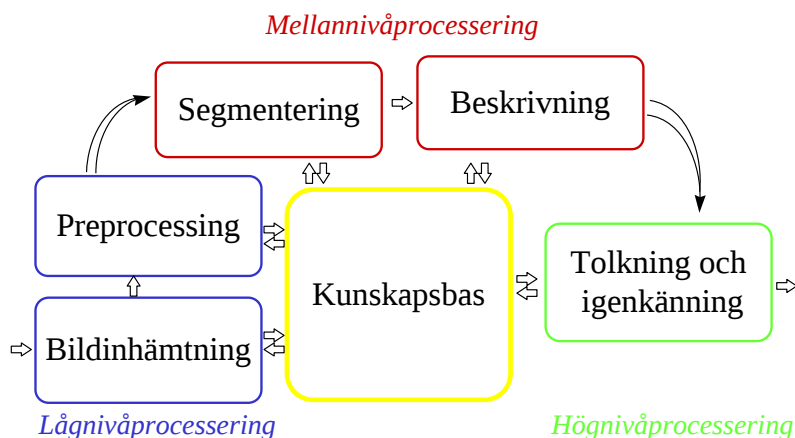
Då automatiska system för sortering av sågat virke kan användas som datageneratorer till produktmixoptimering och processtyrning, är det väsentligt att känna till systemens förmåga och begränsningar samt deras fördelar och nackdelar.

9.1 Beskrivning av ett system för visuell automatisk sortering

Ett generellt system för automatisk avsyning består av följande fysiska delar:

- belysning
- sensorsystem
- bildbehandlingsdator
- optimeringsdator
- matningsutrustning.

De fysiska delarna kan delas upp i aktiviteter. Till aktiviteterna tillkommer en kunskapsbas med vilken man kan omvandla data till information för att man skall veta vad som avsynats. Uppbyggnaden kan schematiskt beskrivas enligt Figur 19.



Figur 19. Schematisk beskrivning av systemuppbyggnaden hos ett automatiskt avsyningssystem. Efter (Gonzalez, Woods, 1992)

Belysning

Belysningen är en mycket viktig del av ett automatsorteringssystem. Utan ett gott belysningsarrangemang är det svårt att få en bra bild för senare bearbetning. Vid snabb bildinmatning, vilket krävs vid höga matningshastigheter och hög upplösning, är det dessutom nödvändigt att ha ett starkt ljus för att kunna ha en kort exponeringstid, vilket krävs för att undvika rörelseoskärpa. Man kan härvid skilja på blinkande och fast ljus, direkt och diffust ljus samt ljus med olika färgtemperatur. Som blinkande ljus används oftast lysrör med hög blinkfrekvens, vilken är synkroniserad med bildinmatningen. Det är då väsentligt att de inte har någon efterbelysning, utan att de släcks snabbt. Fast ljus åstadkoms med likströmslampor, exempelvis halogenlampor. På senaste tiden har en ny sorts belysning börjat användas, plasmalampor. Det diffusa ljuset önskas för att inte få slagskuggor och åstadkoms med en matterad glasskiva framför ljuskällan.

Speciell belysning är i vissa fall en förutsättning för att avsyningen skall fungera. Man kan med blinkande ljus från olika håll upptäcka de skuggor som bildas av vankanter eller sprickor. Om man har fast belysning kan skuggfenomen åstadkommas genom att anpassa kamerauppställningen.

Sensorsystem

De sensorer, kameror, som används vid industriella automatiska sorteringssystem för trävaror är nästan undantagslöst monokromatiska, det vill säga den inhämtade informationen representeras av en ljusintensitetsskala i endast en färgnyans. Dock pågår utveckling inom området, och flera tillverkare kan leverera "färgseende" system. Vilken färg som skall få högst känslighet vid avsyningen med "svart/vita" system kan väljas med hjälp av filter på antingen sensorerna eller ljuskällan.

Antalet sensorer är beroende dels på matningssätt, se nedan, dels antalet avsynade sidor på virkesstycket.

Sensorerna är oftast linjekameror, det vill säga de registrerar endast en linje i taget och inte den tvådimensionella bild som eftersträvas. Tvådimensionaliteten nås genom att låta virket och sensorn röra sig relativt varandra. Oftast rör sig virket, men system där även sensorn rör sig har provats. Linjen i linjekameran består av ett antal ljuskänsliga bildpunkter, pixels.

Förutom linjesensorer finns även matriskameror. För mer information om olika system och sensorer, se (Hagman, 1996) och (Åstrand, 1996).

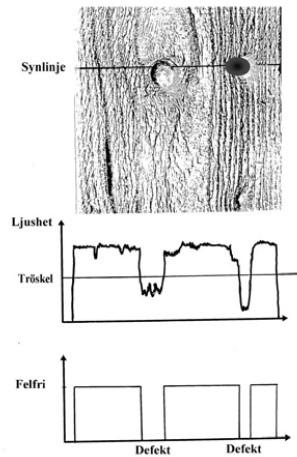
Bildbehandlingsdator

De bilder som fås från kamerorna måste tas om hand för att sortera och tolka data samt reducera datamängden till en bråkdel av den ursprungliga. De mängder data som det rör sig om kan översiktligt beräknas utifrån givna data:

Upplösning tvärs virket 1 mm, upplösning längs virket 2 mm, virkesbredd 200 mm, virkeslängd 5 m, matningshastighet 2 bitar/sekund. Detta medför att pixelantalet att mottaga är

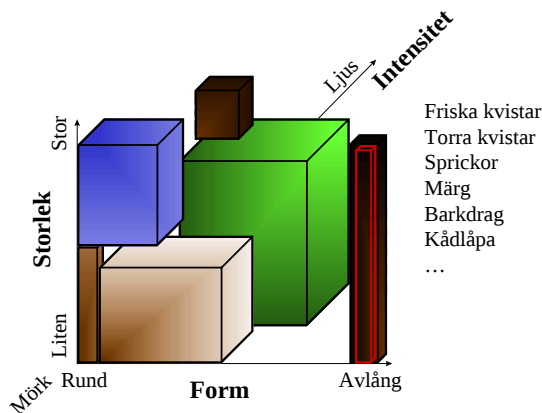
$$\frac{200[mm] \times 5000[mm]}{1[mm] \times 2[mm]} \times 2[\text{virkesbitar/s}] = 1000000[\text{pixel/s}].$$

Det första som måste göras är att besluta om vilka områden som är intressanta, det vill säga innehåller särdrag av intresse. Detta kallas för segmentering. Den enklaste metoden utgår från att de intressanta områdena är mörkare än den friska veden. Man ansätter ett tröskelvärde och antar att allt ljusare än tröskeln är friskt och allt mörkare kan vara intressant, se Figur 20. Trösklingar utförs i praktiken på fler nivåer än den enda som visas i exemplet.



Figur 20. Exempel på en trösklingsoperation. De felfria delarna av den avsynade linjen segmenteras fram genom en ljusnivåtröskling.

När trösklingen är utförd och pixlarna hopslagna till objekt, vidtar klassificeringen, tolkningen, av bilden. Ett antal grundläggande parametrar hos varje potentiellt intressant särdrag analyseras och passas in i ett förutbestämt mönster, en objektrymd. Ett exempel på objektrymd visas i Figur 21. Parametrarna är i detta fall Storlek, Form och Ljusintensitet. Naturligtvis kan parametrarna göras många fler, till exempel position i virkestycket, ljusintensitetsgradient, förhållande mellan antalet mörka och ljusa pixel osv.



Figur 21. Objekt-/särdragsrymd. Objekt som hamnar inom en definierad "rymd" klassificeras som motsvarande särdrag. Objekt utanför en definierad "rymd" förkastas.

Objekt som hamnar inom en definierad "rymd" klassificeras som motsvarande särdrag. Objekt utanför en definierad "rymd" förkastas. Det innebär att stor noggrannhet måste iakttas vid definiering av särdragsrymder.

Optimeringsdator

I optimeringsdatorn skall listan med inmätta särdrag, deras typ, storlek och läge, ställas mot en tabell med tillåten mängd särdrag och någon form av prislista som bygger på till exempel förhållande mellan kvalitet och längd.

Matningsutrustning

Matningsutrustningen skall verkställa att virket matas framför sensorn, eller tvärsom. Eftersom man oftast använder linjekameror, krävs det en relativrörelse mellan kameran och objektet för att bilden skall framställas. Man kan jämföra med att resa med tåg och kika ut genom en springa mellan gardinerna. När tåget rör sig får man ändå en god uppfattning om landskapet utanför, men vid stillastående ser man endast en liten rand utan sammanhang med omgivningen.

Vid längsmatning av virket kan man av praktiska skäl hålla kamerorna närmare virket, vilket (oftast) medger en högre upplösning och bättre noggrannhet i bildinmatningen.

9.2 Automatsorteringssystem jämfört med manuell sortering

De största fördelarna med en fungerande automatisk avsyning och sortering jämfört med traditionell manuell sortering är möjligheten att:

- erhålla högre kapacitet
- erhålla jämnare sortering
- tillämpa fler regler i omlopp
- tillämpa fler regler samtidigt
- tillämpa mer komplicerade regler
- erhålla bättre optimeringsgrad.

De största begränsningarna och problemen med dagens automatiska sortering av sågade trävaror är:

- svårigheter för systemet att bestämma särdragstyp
- svårigheter för användaren att göra mindre, tillfälliga, ändringar i sorteringsreglerna
- att automaten kräver strikta och väldefinierade regler
- att regeldefinitionerna inte överensstämmer med det "vanliga" sättet att definiera sorteringsreglerna
- att människan är mer "intuitiv" vid diffusa instruktioner.

10 Produktmix

En produktmix kan ses som florán av de produkter som ett företag producerar under ett visst tidsintervall. Intervallet kan vara kort (sekunder, minuter), långt (timmar, skift, sågpass) eller mycket långt (månader, år, "tradition").

För att en produkt skall nå framgång krävs, enligt (Möller, 1983), en ingående kännedom om kundernas:

- behov och behovssystem
- sätt att värdera alternativa produkter och attribut (perceptions- och preferenssystem)
- skillnader i värderingssystem för olika kategorier beslutsdeltagare, olika typer av företag, produkter etc samt
- interaktion mellan olika deltagare i inköpsprocessen.

Dessa faktorerers samverkan gör att ett produktmixproblem vanligen är ytterst komplext. Av de ovan uppräknade faktorerna ägnas denna uppsats främst åt en variant av den första punkten, kundernas behov och behovssystem. Dessa uttrycks vanligen genom sorteringsreglerna.

Sågverksindustrin jämförs ofta med andra industrier med divergerande flöde, såsom slakteri-, gruv-, mejeri- och petroleumindustrierna. Av dessa branscher är det slakterierna som liknar sågverken mest. Man kan därvid jämföra djuret med stammen, grovstyckningen med aptering av stammen till stockar och finstyckningen med sönderdelningen i sågverket, alternativt grovstyckning med sågning och finstyckning med komponentframställning. Ungefär 50% av nötkroppen och 60% av griskroppen styckas till exempelvis bog, bringa, entrecote, filé, fransyska, högre, innanlår, rostbiff och ytterlår. Resten av kroppen säljs som färs eller råvara till charkuterier (Anon 1, 1996). För sågverken är utbytet ca 45 - 50% (Warensjö, Jäppinen, 1997). Resten av stocken, som inte blir bräder och plank, blir spån, flis och krympning vid torkning.

För slakteriet, liksom för sågverket, gäller att det som är styckat (sågat) inte går att sätta ihop. Det innebär att sönderdelningen måste ske omsorgsfullt och utan onödiga snitt med hänsyn till funktion och utseende hos de producerade varorna. Slakteriindustrin, liksom sågverksindustrin, ser en konkurrens från substitutmaterial.

Några problem vid sågverkens val av produktmix

Ett sågverk som producerar sågad vara i olika nominella dimensioner (tjocklek och bredd), längder och sorter av olika träslag har en rikt varierad blandning av

produkter. Till standarddimensionerna och -sorterna kommer i många fall specialdimensioner och -sorter vilka är avsedda för vissa kunder eller marknader. För enkelhets skull tas endast de nominella med i nedanstående räkneexempel. De nominella standardbredderna kan vara 11 st (75, 100, 115, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275 och 300 mm), tjocklekarna 11 st (16, 19, 22, 25, 32, 38, 44, 47, 50, 63 och 75 mm) och längderna 15 st (från 1,8 till 6,0 m i 3 dm intervall, alternativt i 1 dm intervall, vilket medför 43 olika längder) enligt Nordiskt Trä, (Anon 1, 1991) och (Anon 2, 1996). Till detta används två träslag (furu och gran) och resultatet sorteras i 4 sorter (special, A, B och C) vilka har torkats till någon av 4 olika fuktkvotklasser (8, 12, 18 och S) (Anon 2, 1991). Alla kombinationer av ovan nämnda parametrar produceras naturligtvis inte av ett och samma sågverk, då det skulle innebära 166 496 olika produkter ($11 * 11 * 43 * 2 * 4 * 4$). Ett rimligare antagande är att ett sågverk har 15 dimensionsklasser (bredd x tjocklek) i vardera 8 längder, 2 träslag och 4 sorter. Detta ger ändå 960 olika produkter, om torkklasserna samt specialdimensioner och -sorter förblir oräknade. Här ser man en av orsakerna till att alltför många sågverk övergår till att bli träslagsrena, då det medför en halvering av produktsortimentet.

Vid val av produktmix gäller det att optimera mot ett bestämt mål. Vanligen skall det målet vara lönsamhet, vilket i sin enklaste form kan uttryckas som

$$Vinst = Intäkt - Kostnad.$$

Om vinsten har varit "tillräcklig" har sågverken av tradition varit nöjda. Längre har vägen för att nå målet i sågverksnäringen ansetts vara högsta möjliga volymutbyte, mycket beroende på att det är lätt att räkna ut utbytet som kvoten mellan utgående och ingående volym,

$$U = \frac{V_{ut}}{V_{in}} \quad \text{där } U \text{ är utbytet, } V_{ut} \text{ är utgående volym och } V_{in} \text{ är ingående volym.}$$

Volymutbytet används, förutom för att det är enkelt att räkna ut, även för att det finns en stark, men inte alltid nödvändig, koppling mellan volym- och värdeutbyte.

Volymutbytet beror i första hand på hur stocken sönderdelas till bräder och plank, det vill säga vilket postningsmönster och vilka sönderdelningsmaskiner som används.

En bättre parameter att optimera mot – som dock är betydligt svårare att administrera, följa upp och utvärdera – är det ekonomiska utbytet. För att göra det krävs en ingående analys av kostnader och intäkter i alla delar av produktionen, inkluderande alla företagets delar, såsom inköp, lager, logistik, produktion, försäljning osv.

Produktmixproblemet blir därför en funktion över tiden av värdena och fördelningsfunktionerna på bland annat:

- råvaran (timret)
 - utseende
 - volym
 - tillgång
 - efterfrågan
 - pris
 - längd
 - diameter
 - postningsval
- färdigvaran (den sågade varan)
 - utseende
 - volym
 - tillgång
 - efterfrågan
 - pris
 - längd
 - dimensioner
- processparametrar
- produktionsapparat
- produktionskostnader
- lagerkostnader
- lageromsättning.

Ett steg på väg för att kunna optimera delar av systemet är att optimera produktmixen utgående från några kända parametrar. Det innebär att det inte blir frågan om en totaloptimering, men det är ett sätt att börja och att få en bild av vad ett urval av parametrarna har för betydelse. Naturligtvis strävar man efter att optimera efter samtliga påverkande parametrar. Man måste därvid vara medveten om att systemet har brister, då det inte är en totaloptimering. Istället för optimering är det kanske riktigare att tala om ett bästa val mellan olika scenarier, vilket förhoppningsvis leder fram till en förbättring.

Vid uttag av speciella dimensioner eller sorter uppkommer problemet med ”resten”. Det är ju inget problem att sälja det speciellt önskade, det är ju redan gjort. Problemet är att hitta kunder till det som inte ”ser ut som det brukar”. I vissa fall kan det ”gömmas” genom att spädas ut i den vanliga produktionen, men i andra fall måste stora insatser göras för att hitta köpare. Det är därför av yttersta vikt att diskutera med kunden till det specialsorderade om det speciella verkligen är så nödvändigt som köparen gör gällande samt att om det är det, i god tid kunna anpassa sin övriga försäljning till ”resten” om inte specialkunden kan ta även det. Det är också viktigt att kunna använda en positiv kvalitetsbeskrivning, se kapitel 6.1, för att påvisa ”restens” fördelar.

Vid analys av resultatet är det nödvändigt att känna till de konkurrerande sorterna, det vill säga vilka sortkombinationer som användes i det aktuella sorteringsfallet.

11 Databasernas information om material, sorteringsregler och -resultat

Databaserna som använts i denna studie bygger dels på data från virkesstycken som inmätts noggrant manuellt, och dels på data från virkesstycken som scannats automatiskt under produktionsmässiga förhållanden. Huvudarbetet är utfört med den förra mängden (den noggrant inmätta), medan vissa kompletterande undersökningar och prov utförts på den senare.

Den förra, kallad Träteks databas, beskrivs i kapitel 11.1 till och med 18, där även resultaten som erhållits efter sortering i databasen redovisas.

Den senare, kallad produktionsdatabasen, beskrivs i kapitel 19, där även resultaten som erhållits efter sortering i databasen redovisas.

11.1 Struktur i databasen med manuellt inmätta virkesstycken samt sorteringsregler

Data om de manuellt inmätta virkesstyckena och data om sorteringsreglerna är i sig fördelade på två olika databaser: en virkesdatabas och en regeldatabas. Varje databas innehåller endast information om virkesstyckena respektive endast om sorteringsreglerna samt frågorna som använder reglerna. Genom att dela upp informationen på virkesdata (bitdata, särdragsdata) och sorteringsregler är det enkelt att komplettera med nya data i de befintliga tabellerna samt att hålla ordning och skydda tabellerna mot oavsiktliga ändringar. Virkesdata och gränsvärden i sorteringsreglerna är organiserade i tabellform. Hur gränsvärdena skall appliceras på virkesdata anges med frågor. De resulterande tabellerna läggs i samma databas som regler och frågor.

Insamlingsförfarande

Databasen är ursprungligen framtagen med hjälp av och lagrad i databasprogrammet Superbase 2 för Windows. Arbetet utfördes i första hand för att vara ett hjälpmedel vid formuleringen av sorteringsregler i CEN:s regi (Casselbrant, Rydell, 1998). Insamlingen av data skedde under åren 1992 och 1993. Insamlingen har skett manuellt med hjälp av mallar, skjutmått och måttband och utförts av utbildad sorterare. Data har matats in manuellt direkt i Superbase.

Konvertering från Superbase till Access

I Superbase har arbete utförts för att utreda och utvärdera CEN-reglerna i förhållande till Nordiskt Trä. I Superbase-databasen var alla data organiserade i en (1) tabell och sorteringsreglerna, inkluderande gränser skrevs direkt i frågeform.

Superbase, med sina begränsningar, ansågs i föreliggande arbete vara alltför oflexibelt, svåröverskådligt och svårarbetat för en generell tillämpning, varför en konvertering bedömdes vara nödvändig. Den kompletta Superbase-databasen, med samtlig information om virkesstyckena, har konverterats till en Access-databas, då Access bedömdes vara en effektivare utvecklingsmiljö. Denna konvertering har utförts i föreliggande arbete. Med konverteringen följde en uppdelning av virkesinformationen i lämpliga grupperingar, se Figur 22. Dessa grupperingar beskrivs nedan.

I konverteringen ingick alla data som samlats in från mätningen på plankorna och bräderna. Däremot ingick inte sorteringsreglerna i konverteringen, utan dessa har, inom detta arbete, gjorts om från grunden genom en översättning och tolkning av bland annat Nordiskt Trä och CEN-reglerna. Sorteringsreglerna har formulerats direkt i Accessmiljön.

11.2 Innehåll i den manuellt inmätta virkesdatabasen

Antal ingående virkesstycken

I databasen ligger information om 2535 virkesstycken fördelade på dimension och träslag enligt nedanstående tabeller.

Tabell 1. Tabell visande antal virkesstycken ingående i Träteks databas i respektive dimension för furu

Träslag		Furu		
Antal bitar	Tjocklek [mm]			
Bredd [mm]	25	50	63	Totalt
100	279	349	0	628
125	70	0	140	210
150	0	70	140	210
200	0	350	0	350
Totalt	349	769	280	1398

Tabell 2. Tabell visande antal virkesstycken ingående i Träteks databas i respektive dimension för gran

Träslag	Gran				
Antal bitar	Tjocklek[mm]				
Bredd [mm]	22	25	47	50	Totalt
100	0	70	70	300	440
125	96	44	0	0	140
150	70	0	138	140	348
200	0	0	70	70	140
225	0	0	0	69	69
Totalt	166	114	278	579	1137

Tabell 3. Tabell visande antal virkesstycken ingående i Träteks databas i respektive dimension sammanlagt för furu och gran

Träslag		Furu och gran				
Antal bitar	Tjocklek[mm]					
Bredd [mm]	22	25	47	50	63	Totalt
100	0	349	70	649	0	1068
125	96	114	0	0	140	350
150	70	0	138	210	140	558
200	0	0	70	420	0	490
225	0	0	0	69	0	69
Totalt	166	463	278	1348	280	2535

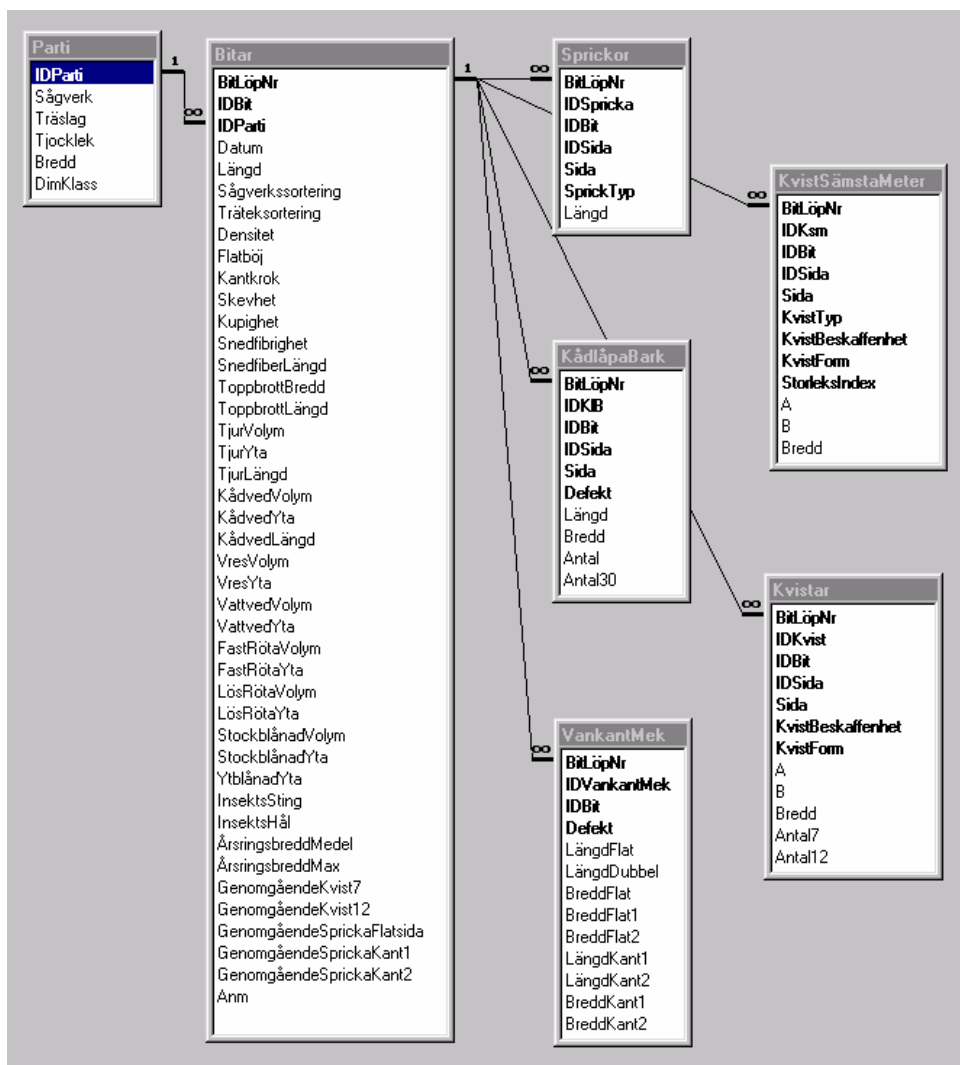
Den delmängd av databasen som använts vid denna studie består av 349 plankor i dimension 50 x 100 mm, som hämtats från ett antal sågverk i olika delar av Sverige.

Beskrivning av ingående parametrar

Den information som finns i databasen är uppdelad i olika tabeller i vilka information om parti, information om enskilda virkesstycken och information om enskilda särdrag anges, se Figur 22.

Tabellerna är så konstruerade till innehåll och organisation att information i så liten grad som möjligt är dubblerad samt så att det skall gå lätt att hitta önskad information. Tabellernas innehåll och deras inbördes relationer syns i Figur 22. Tabellerna är strukturerade efter parti-, bit- och siddata samt efter särdragstyp, vilket även återspeglas i tabellerna innehållande sorteringsregler, se Figur 23.

Databasen innehåller dels de särdrag som förekommer på, mäts eller anges för hela biten, dels de särdrag som förekommer på, mäts eller anges för varje sida. De särdrag som mätts och lagrats i databasen är de största av varje typ. Om inga särdrag av aktuell typ fanns på virkesstycket är värdet 0 angivet. Endast de enskilda största särdragen av varje typ har registrerats, utom då ett yt- eller volymförhållande anges. I de fallen har den för virkesstycket sammanlagda ytan eller volymen medtagits. Exempel på särdrag som anges i yt- och volymstal är tjurved och röta. Läget i virkesstyckets längs- eller tvärsriktning för särdraget har inte registrerats i något fall.



Figur 22. Databas över plank och bräder. Datainhåll och relationer.

Information om parti

De parametrar som finns angivna för varje parti är:

- IDParti; ett namn som bildats av träslag, sågverksnamn och dimension, IDParti kan således se ut som FuruSågverkA50x100
- Sågverksnamn
- Träslag
- Nominell tjocklek
- Nominell bredd.

Information om enskilt virkesstycke

Som information om enskilt virkesstycke, bitinformation, behandlas dels information som rör hela biten och dels information som vid inmätningen inte separerades för respektive sida, trots att sorteringsreglerna mycket väl kan vara olika för olika sidor. Till de sistnämnda hör till exempel information om ytliga biologiska skador såsom ytblånad och tjurvedens yta. Volymmättet har inte mätts, utan en uppskattad volym har angivits.

För varje bit är angivet:

- Löpnummer för biten
- IDBit; bitens identitet bestående av träslag, sågverksnamn och serienummer
- IDParti; bestående av träslag, sågverksnamn och dimension
- Datum för sågverkssortering
- Längd i färdigtrimmat skick
- Sågverkssortering; bitens sorttillhörighet vid sortering utförd av sågverkets sorteringspersonal
- Densitet
- Flatböjens pilhöjd i mm mätt på 2 m längd
- Kantkrokens pilhöjd i mm mätt på 2 m längd
- Skevhetens pilhöjd i mm mätt på 2 m längd
- Kupighetens pilhöjd i mm tvärs virkesstycket
- Snedfibrighet; fiberriktningens avvikelse i förhållande till avvikelsens längd
- Snedfibrighetens längd
- Toppbrottsbredd
- Toppbrottslängd
- Tjurvedens volym
- Tjurvedens yta
- Tjurvedens längd
- Kådvedens volym
- Kådvedens yta
- Kådvedslängd
- Vresvedens volym
- Vresvedens yta
- Vattvedens volym
- Vattvedens yta
- Fast rötas volym
- Fast rötas yta
- Lös rötas volym
- Lös rötas yta
- Stockblånadens volym
- Stockblånadens yta
- Ytblånadens yta, antal
- Insektssting; antal insektsskador <2 mm

- Insektshål; antal insektsskador >2 mm
- Årsringsbreddens medelvärde
- Årsringsbreddens maxvärde, antal
- Genomgående kvist större än 7 mm
- Antal Genomgående kvist större än 12 mm
- Längd på Genomgående spricka på flatsida
- Längd på Genomgående spricka som mynnar på kant 1
- Längd på Genomgående spricka som mynnar på kant 2.

Sidspecifika särdrag: kvistar, kådlåpor, barkdrag, sprickor, vankanter och mekaniska skador

Av de övriga särdragen (defekterna), förutom de ovan beskrivna, intar kvistarna en särställning. Dels för att de är den främsta orsaken till nedklassning av virke, men även för att "kvistfamiljen" kan delas upp i ett stort antal beskafterheter, typer, (exempelvis frisk, torr, rötad) och former, (rund/oval, hörn-, horn-, blad-) vilka alla kan ha sin egen regel med egna krav på maximalt mått och antal. Denna särställning gör att kvistinformationen är betydligt mer omfattande än övriga särdrags informationsmängd.

För varje *sida* på virkestycket finns den största kvisten av varje beskafterhet och form inmätt. Observera att det inte är alla kvistar utan *endast den största kvisten av varje beskafterhet och form* på respektive sida som mätts in.

För de inmätta kvistarna har angetts:

- Sida som kvisten är belägen på
- Beskafterhet; frisk, delvis fastvuxen, torr, barkringad, rötad eller urfallen
- Form; oval, horn eller blad
- A-mått; måttet i kvistens "lillaxel"
- B-mått; måttet i kvistens "storaxel"
- Breddmått; kvistens mått tvärs virkestyckets längdriktning
- Antal kvistar av respektive beskafterhet större än 7 mm på sidan samt
- Antal kvistar av respektive beskafterhet större än 12 mm.

På den sämsta metern på varje *sida* har data om de tre största kvistarna angivits med avseende på:

- Sida som kvistarna är belägna på
- Kvistens beskafterhet
- Kvistens form
- Kvistens storleksindex; 1, 2 eller 3, där 1 motsvarar den största kvisten, 2 den näst största och 3 den 3:e största kvisten på sämsta metern
- A-mått; måttet i kvistens "lillaxel"
- B-mått; måttet i kvistens "storaxel"
- Breddmått; kvistens mått tvärs virkestyckets längdriktning.

Förutom kvistar finns det ett antal särdrag som mätts in med angivande av på vilken sida av virkesstycket de uppträder.

För kådlåpor, lyror och barkdrag finns det största särdraget på varje sida inmätt av respektive typ. Det finns angivet:

- Sida som särdraget är beläget på
- Typ; kådlåpa, lyra eller barkdrag
- Särdragets längd
- Bredd
- Antal längre än 10 mm samt
- Antal längre än 30 mm.

För sprickor finns angivet:

- Sida som sprickan är belägen på samt
- Sprickans typ; margspricka, ändspricka, ringspricka eller torkningsspricka
- Sprickans längd.

För vankanter finns följande parametrar inmätta:

- Vankantens totala längd på flatsidan
- Vankantens dubbelsidiga längd
- Vankantens sammanlagda bredd på flatsidan
- Vankantens största bredd på flatsidans ena kant
- Vankantens största bredd på flatsidans andra kant
- Vankantens längd längs ena kantsidan
- Vankantens längd längs andra kantsidan
- Vankantens största bredd på ena kantsidan samt
- Vankantens största bredd på andra kantsidan.

För mekaniska skador finns följande parametrar inmätta:

- Skadans totala längd på flatsidan
- Skadans sammanlagda bredd på flatsidan
- Skadans största bredd på ena kantsidan samt
- Skadans största bredd på andra kantsidan.

Mekaniska skador betraktas i sorteringsreglerna som vankant. Om man vill hålla isär de två varianterna, vilket inte är gjort här, kan de mekaniska skadorna kallas för mekanisk vankant, till skillnad från de "naturliga" som benämns biologisk vankant. Hållfasthetsmässigt skiljer de sig åt, så till vida att den biologiska inte nedsätter hållfastheten på virkesstycket så mycket som den mekaniska gör, eftersom fibrerna där har skadats.

Samtliga skador har mätts in med utgångspunkt från sortering enligt Nordiskt Trä och prEN 1611-1.

Databas med information om sorteringsreglerna samt frågor

Informationen om sorteringsreglerna ligger, liksom informationen om särdragen, i ett flertal olika tabeller. Organisationen är vald så att både regeltabeller och frågor motsvarar bitdatatabellerna. Det gör det enkelt att strukturera både regler och frågor till databasen, se Figur 23 och Figur 24.



Figur 23. Databasens struktur över sorteringsreglerna. Exemplet gäller Nordiskt Trä.

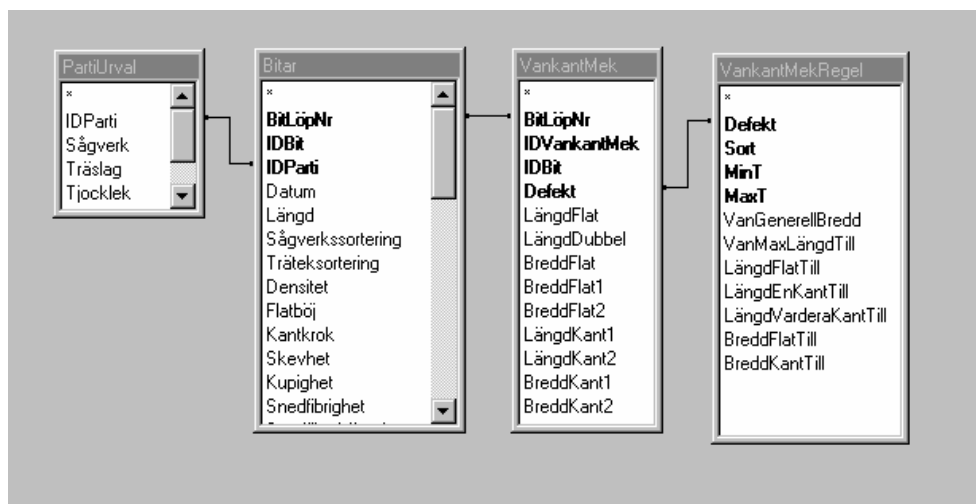
Med uppdelningen i olika tabeller för de olika särdragen och för deras olika sorteringsregler är det enklare att dels ändra i reglerna och dels välja att sortera efter ett specifikt särdrag. Sorteringen behöver alltså inte utföras på alla särdrag som finns angivna i regeln, utan endast på dem som användaren anger vid varje frågeställning. Med det angreppssättet kan man analysera vad ett visst särdrag gör för sorteringsutfallet.

Vid sortering i databasen kombineras ett visst särdrag med motsvarande sorteringsregel. För att göra det krävs en fråga i vilken de använda tabellerna samt villkoren för kombinationen anges, se exempel i Figur 26. Denna fråga använder tabell(-er) med sorteringsregler och tabell(-er) med information om virkesstyckena. Som svar på frågan erhålls en ny tabell se Figur 27.

NTBitFelRegelFråga	NTDeformationRegelFråga	NTVankantMekRegelFråga	NTKvistSämstaMeterRegelFråga	NTKvistRegelFråga
BitLöpNr	BitLöpNr	BitLöpNr	BitLöpNr	BitLöpNr
IDBit	IDBit	IDBit	IDParti	IDKvist
Sort	Sort	Längd	IDBit	IDParti
Snedfibrighet	Längd	Tjocklek	IDSida	SortKvistar
ToppbrottBredd	Tjocklek	Sort	Sida	IDBit
TjurVolym	Bredd	IDVankantMek	SortKvistSämstaMeter	Sida
Kådväd/volym	Flatbøj	Defekt	KvistBeskaffenhet	IDSida
VresVolym	Kantkrok	LängdFlat	KvistArea	KvistBeskaffenhet
Vättved/volym	Skevhet	LängdDubbel	StorleksIndex	KvistForm
FastRöta/volym	SkevhetProcent	BreddFlat	KvistAreaTill	A
LösRöta/volym	Kupighet	BreddFlat1	StorlekTill	B
Stockblånad/volym	KupighetProcent	BreddFlat2	AntalTill	Bredd
InsektsSting	FlatbøjTill	LängdKant1		Antal7
InsektsHål	KantkrokTill	LängdKant2	NTKådlåpeBarkRegelFråga	Antal12
GenomgåendeSprickaFlatsida	KupighetTill	BreddKant1	BitLöpNr	TillStorFlat
GenomgåendeSprickaKant1	SkevhetTill	BreddKant2	IDBit	FlatStorlek
GenomgåendeSprickaKant2		LängdFlatTill	IDParti	TillStorKant
SnedfibrighetTill	NTSprickRegelFråga	LängdEnKantTill	IDKIB	KantStorlek
ToppbrottBreddTill	BitLöpNr	LängdVarderaKantTill	SortKådlåpeBark	
TjurVolymTill	IDBit	BreddFlatTill	IDSida	
Kådväd/volymTill	IDParti	BreddKantTill	Sida	
VresVolymTill	IDSida	VanGenerellBredd	Defekt	
Vättved/volymTill	Sida		Längd	
FastRöta/volymTill	Sort		Antal	
LösRöta/volymTill	Tjocklek		TillLängd	
Stockblånad/volymTill	BitLängd		TillAntal	
InsektsStingTill	SprickLängd			
InsektsHålTill	IDSpricka			
GenomgåendeSprickaFlatsidaTill	SprickTyp			
GenomgåendeSprickaKantTill	SprickAndel			
	AndelAvLängdTill			

Figur 24. Databasens struktur över frågor. Exemplet gäller Nordiskt Trä.

Vid sorteringen bedöms och klassas varje enskilt särdrag för sig och åsätts en sort. Denna sort är den "bästa" möjliga med avseende på särdragets storlek och gällande sorteringsregel. Exempel på relationerna i en fråga ses i Figur 25 där vankanter och mekaniska skador behandlas.



Figur 25. Exempel på relationerna i en sorteringsfråga på Vankanter och Mekaniska skador.

I Figur 26 visas ett exempel på en fråga formulerad i Access SQL-miljö. Frågan i detta fall behandlar Vankant och Mekaniska skador. Frågan är mer omfattande än nödvändigt, beroende på önskemål att kunna spåra informationen både framåt och bakåt vid utvärderingar av sorteringsreglerna

```

SELECT DISTINCTROW
VankantMek.BitLöpNr,
VankantMek.IDBit,
Min(Bitar.Längd) AS Längd,
Min(PartiUrval.Tjocklek) AS Tjocklek,
Min(VankantMekRegel.Sort) AS Sort,
VankantMek.IDVankantMek,
Min(VankantMek.Defekt) AS Defekt,
Min(VankantMek.LängdFlat) AS LängdFlat,
Min(VankantMek.LängdDubbel) AS LängdDubbel,
Min(VankantMek.BreddFlat) AS BreddFlat,
Min(VankantMek.BreddFlat1) AS BreddFlat1,
Min(VankantMek.BreddFlat2) AS BreddFlat2,
Min(VankantMek.LängdKant1) AS LängdKant1,
Min(VankantMek.LängdKant2) AS LängdKant2,
Min(VankantMek.BreddKant1) AS BreddKant1,
Min(VankantMek.BreddKant2) AS BreddKant2,
Min(VankantMekRegel.LängdFlatTill) AS LängdFlatTill,
Min(VankantMekRegel.LängdEnKantTill) AS LängdEnKantTill,
Min(VankantMekRegel.LängdVarderaKantTill) AS LängdVarderaKantTill,
Min(VankantMekRegel.BreddFlatTill) AS BreddFlatTill,
Min(VankantMekRegel.BreddKantTill) AS BreddKantTill,
Min(VankantMekRegel.VanGenerellBredd) AS VanGenerellBredd

FROM (PartiUrval
INNER JOIN Bitar
ON PartiUrval.IDParti = Bitar.IDParti)
INNER JOIN (VankantMek
INNER JOIN NTRegelVankantMek AS VankantMekRegel
ON VankantMek.Defekt = VankantMekRegel.Defekt)
ON (PartiUrval.Tjocklek <= VankantMekRegel.MaxT)
AND (PartiUrval.Tjocklek >= VankantMekRegel.MinT)
AND (Bitar.BitLöpNr = VankantMek.BitLöpNr)

WHERE (((VankantMek.Defekt)="Vankant") AND
((VankantMek.BreddFlat)<=([BreddFlatTill]+[VanGenerellBredd])*2) AND
((VankantMek.BreddFlat1)<=[BreddFlatTill]+[VanGenerellBredd]) AND
((VankantMek.BreddFlat2)<=[BreddFlatTill]+[VanGenerellBredd]) AND
((NZ([BreddKant1],0))<=Tjocklek*[BreddKantTill]/100+[VanGenerellBredd]) AND
((NZ([BreddKant2],0))<=Tjocklek*[BreddKantTill]/100+[VanGenerellBredd]) AND
((NZ([LängdDubbel],0))<=[LängdVarderaKantTill]*[Bitar].[Längd]/100) AND
((NZ([LängdKant1],0))<=[LängdEnKantTill]*[Bitar].[Längd]/100) AND
((NZ([LängdKant2],0))<=[LängdEnKantTill]*[Bitar].[Längd]/100))

OR
(((VankantMek.Defekt)="MekSkada") AND
((VankantMek.BreddFlat)<=([BreddFlatTill]+[VanGenerellBredd])*2) AND
((VankantMek.BreddFlat1)<=[BreddFlatTill]+[VanGenerellBredd]) AND
((VankantMek.BreddFlat2)<=[BreddFlatTill]+[VanGenerellBredd]))
GROUP BY VankantMek.BitLöpNr, VankantMek.IDBit, VankantMek.IDVankantMek;

```

Figur 26. I figuren visas ett exempel på en fråga, i detta fall rörande Vankant och mekaniska skador. Frågan är mer omfattande än nödvändigt, beroende på önskemål att kunna spåra informationen både framåt och bakåt vid utvärderingar av sorteringsreglerna.

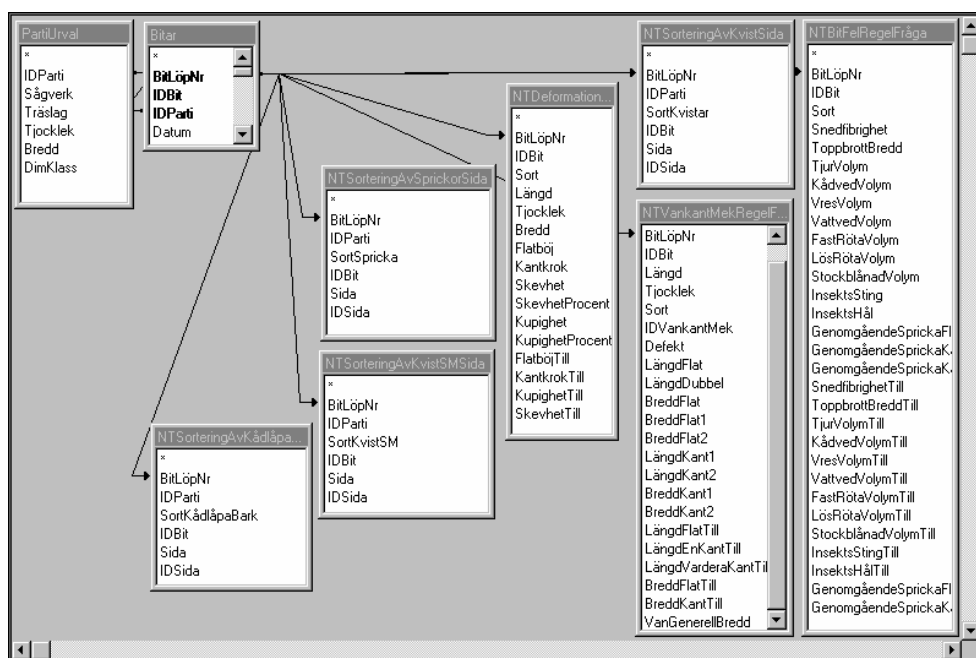
För att sortera i databasen kombineras ett visst särdrag med motsvarande sorteringsregel i en fråga i vilken de använda tabellerna samt villkoren för kombinationen anges. Frågan är skriven i Access SQL.

På liknande sätt är alla frågor uppbyggda och svaren ges i tabellform, se exempel i Figur 27. I tabellen anges exempelvis virkesstyckets ID, längd, dimension, sort beroende på aktuellt särdrag, storleken på särdraget uttryckt i alla inmätta parametrar.

BilLapp	IDBk	Längd	Topk	Sort	IDVanka	Defekt	LängdF	LängdDa	BreddF	BreddDa	LängdKa	LängdKa	BreddKa	BreddKa	Läng	Läng	LängdVard	BreddF	BreddKa	VanC
1	FuruBergs	4300	30	B	1	Vantant	100	0	12	0	12	0	100	0	6	30	20	12	15	
4	FuruBergs	4300	30	A	2	MetStak	300		15	0	5							7	10	
20	FuruBergs	4300	30	B	3	MetStak	210		10	0	12							12	15	
23	FuruBergs	4300	30	D	4	Vantant	280	0	15	15	0	280	0	16	0	100	100	250	200	
32	FuruBergs	4300	30	B	5	Vantant	130	0	5	0	5	0	130	0	10	30	20	12	15	
35	FuruBergs	4300	30	D	6	Vantant	1250	300	100	23	77	750	500	30	10	100	100	250	200	
41	FuruBergs	4300	30	D	7	Vantant	200	80	40	20	20	120	80	9	15	100	100	250	200	
43	FuruBergs	4300	30	D	8	Vantant	300	0	19	19	0	300	0	16	0	100	100	250	200	
63	FuruBergs	4400	30	D	9	Vantant	200	0	24	0	24	0	200	0	14	100	100	250	200	
69	FuruBergs	4000	30	A	10	MetStak	190		7	0	7							7	10	
293	FuruGrani	3000	30	B	101	MetStak	300		20	15	0							12	15	
293	FuruGrani	3000	30	D	102	Vantant	1720	0	10	10	0	1720	0	12	0	100	100	250	200	
296	FuruGrani	4000	30	C	103	Vantant	520	0	9	0	9	0	520	0	11	40	30	17	20	
299	FuruGrani	3600	30	A	104	Vantant	190	0	6	0	6	0	190	0	7	20	10	7	10	
304	FuruGrani	4300	30	C	105	Vantant	270	0	13	0	13	0	270	0	13	40	30	17	20	
308	FuruGrani	4000	30	A	106	Vantant	180	0	6	6	0	180	0	5	0	20	10	7	10	
325	FuruGrani	4900	30	A	107	Vantant	310	0	10	10	0	310	0	5	0	20	10	7	10	
326	FuruGrani	4000	30	B	108	Vantant	170	0	7	0	7	0	170	0	10	30	20	12	15	
327	FuruGrani	4000	30	A	109	Vantant	420	0	10	0	10	0	420	0	7	20	10	7	10	
328	FuruGrani	3900	30	B	110	Vantant	200	0	12	0	12	0	200	0	10	30	20	12	15	
330	FuruGrani	4300	30	C	111	MetStak	300		15	0	20							17	20	
330	FuruGrani	4300	30	C	112	Vantant	1320	0	12	0	12	0	1320	0	12	40	30	17	20	
337	FuruGrani	4000	30	A	113	MetStak	400		12	10	0							7	10	
346	FuruGrani	4400	30	A	114	MetStak	130		6	9	0							7	10	
381	FuruGrani	3900	30	B	169	MetStak	440		14	11	0							12	15	
375	FuruGrani	2000	30	A	170	Vantant	400	0	8	8	0	400	0	8	0	20	10	7	10	
377	FuruGrani	2400	30	A	171	Vantant	410	0	10	0	10	0	410	0	8	20	10	7	10	
392	FuruGrani	4200	30	A	172	MetStak	200		8	0	7							7	10	
603	FuruGrani	3300	30	A	173	Vantant	230	0	6	6	0	230	0	8	0	20	10	7	10	
606	FuruGrani	3900	30	A	174	MetStak	280		10	0	10							7	10	
611	FuruGrani	4200	30	A	175	MetStak	230		10	6	0							7	10	
618	FuruGrani	4200	30	A	176	Vantant	300	0	8	0	8	0	500	0	7	20	10	7	10	
620	FuruGrani	3900	30	B	177	MetStak	300		10	0	12							12	15	

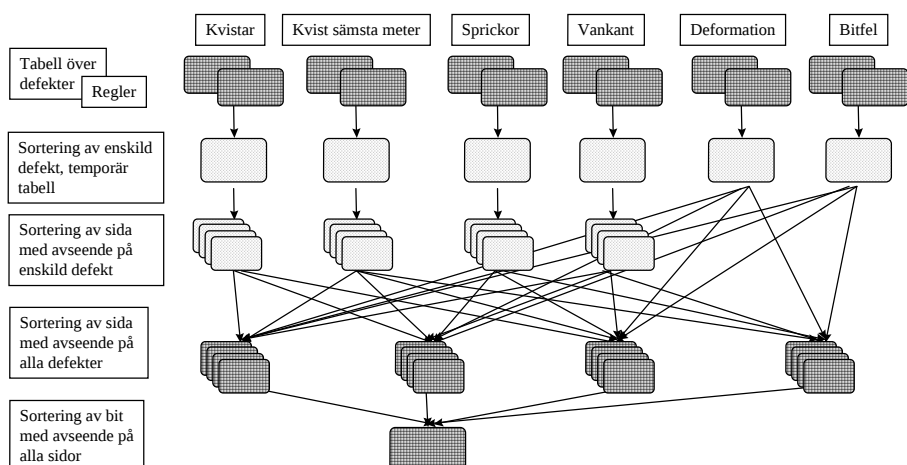
Figur 27. Exempel på hur resultatet av en fråga kan visas. Av utrymmesskal syns endast en del av tabellen i figuren.

Vid sortering i databasen bedöms först varje enskilt särdrag för sig. Särdragets parametrar jämförs med de parametrar som angetts i sorteringsregeln. Exempel på sorteringsparametrar är storlek och antal. När alla särdrag sorterats, var och en för sig, enligt sin regeluppsättning, se Figur 28, bestäms virkesstyckets sort för respektive sida; splint-, märke- och kantsidor, vilket innebär att man kan hålla isär sorttillhörighet för respektive sida på ett virkesstycke tills man vill veta hela virkesstyckets sort. Därefter sammanställs sidornas sortangivelser till en sortangivelse för hela biten, se Figur 29. Man kan därvid ange att en av sidorna får vara av en sort sämre än övriga sidor. I Nordiskt Trä är exempelvis märke- och kantsidorna tillåten att vara en sort sämre än de övriga.



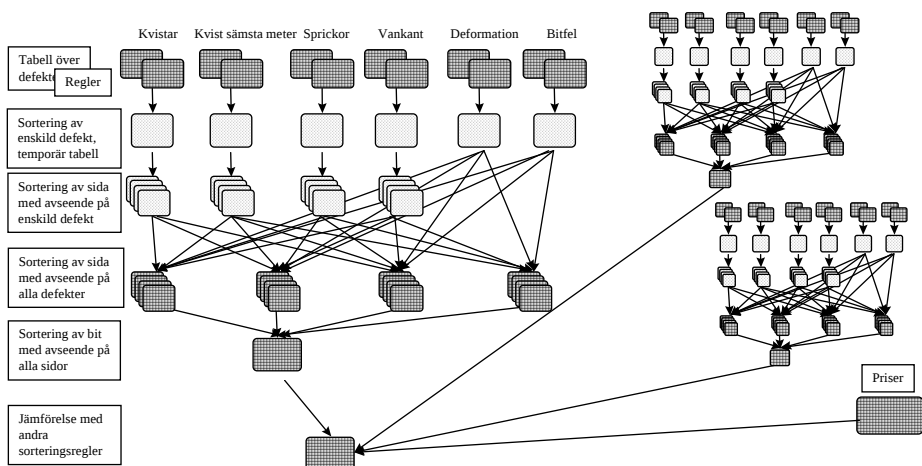
Figur 28. Struktur på sorteringsfråga med sortering på alla särdrag. Exemplet gäller Nordiskt Trä.

I denna databas, den manuellt inmätta, har inte priset någon betydelse för sorteringsbeslutet i första skedet, eftersom virkesstyckenas defekter inte är positionsbestämda och det därför inte går att kapa bort oönskade särdrag i databasen för att höja värdet på virkesstycket. I ett verkligt sorteringsfall kan man "höja" kvaliteten genom att kapa bort oönskade defekter.



Figur 29. Figuren visar den logiska uppbyggnaden av sorteringsfunktionen i databasen. Varje enskilt särdrag/defekt sorteras för sig varefter enskild sida sorteras först med avseende på enskild särdragstyp och sedan med avseende på samtliga särdrag. Observera skillnaden mellan sidberoende och sidoberoende särdrag. Därefter sorteras hela virkesstycket med avseende på alla sidor.

På så sätt kan man sortera enligt valfritt regelverk. Därefter kan utfallet från dessa sorteringar jämföras. Med angivande av prisrelationer kan man för varje virkesstycke avgöra i vilken sort i de använda sorteringsreglerna som det har högst värde, se Figur 30.



Figur 30. Figuren visar schematiskt jämförelsefunktionen i databasen. Flera sorteringsregelsystem sammanställs, tillsammans med en pristabell, som i det verkliga fallet kan vara dynamisk, för att avgöra vilket system eller regel som den enskilda virkesbiten bör sorteras efter för att uppnå högsta värde.

12 Sortering i databasen

12.1 Beräkning av särdrags mått

De flesta särdrags mått är vid inmätningen angivna på samma sätt som mätregeln enligt Nordiskt Trä och CEN anger. För några särdrag har vid inmätningen storleken angivits på fler än ett sätt. Till exempel anges både yta och volym för vissa särdrag. Vid sorteringen har det mått som regeln anger använts.

För kvistarna är storleken inte inmätt och angiven i de mått som regeln anger som gränser. Sorteringsregeln anger *ett* största tillåtet mått. Kvistarna är inmätta med *tre* mått; A- och B-mått, det vill säga kvistens "lill-" och "stor-"axel samt kvistens största mått i virkesstyckets tvärsriktning. De olika beräkningarna som gäller för olika kvistformer utförs därefter på kvistarna. För Nordiskt Trä gäller att ovala kvistars storlek på flatsidan beräknas som

$$\frac{(A + B)}{2}$$

hornkvistar beräknas som

$$\frac{(A + B)}{3}$$

och bladkvistar beräknas som

$$\frac{(A + B)}{6} .$$

Nämnares olika värde beroende på kvistform grundar sig på bland annat hållfasthetsskäl. En oval kvist är (oftast) genomgående och påverkar hållfastheten mycket. En hornkvist går inte igenom plankan och en bladkvist är ofta mycket ytlig. För kantsideskvistar används i Nordiskt Trä kvistens breddmått. Vid CEN-sortering beräknas kantsideskvistars storlek på samma sätt som flatsideskvistar,

$$\frac{(A + B)}{2} .$$

För flatsideskvistar vid Nordiskt Trä-sortering samt för alla kvistar vid CEN-sortering måste alltså den sorteringsgrundande kviststorleken framräknas innan sortering kan ske.

De flesta särdragen är, som nämnts ovan, inmätta på ett sätt som lätt kan överföras till regeln, ibland efter enkla beräkningar. Dock finns det undantag, framför allt i fråga om kvistarea på sämsta metern, den så kallade kompensationsregeln för kvistantal. Även kådlåpor, barkdrag och lyror omfattas av motsvarande kompensationsregel i Nordiskt Trä. Kompensationsregeln kompenserar för begräns-

ningen i maximalt tillåtet antal genom att tillåta ett större antal med mindre storlek. I Nordiskt Trä sägs ”Om kviststorleken är mindre än vad tabellvärdet visar för resp. SORT är det tillåtet att öka antalet kvistar. Man måste alltid hålla sig inom tabellvärdet för kviststorlekens totalsumma i mm (=antal kvistar x storlek) för resp. kvisttyp.”. I en sorteringssituation, där det finns möjlighet att mäta in och summera alla kvistars storlek, är det tämligen enkelt att räkna ut eller uppskatta kviststorlekens totalsumma. I detta fall, där endast de tre största kvistarna på sämsta metern finns inmätta samt det totala antalet kvistar av varje typ större än 7 mm och större än 12 mm på sämsta metern finns angivna, måste en överslagsberäkning utföras. En kompromiss har därför utvecklats. Genom att beräkna medelstorleken av de, av de största kvistarna av samma beskaffenhet, som är angivna för sämsta metern kan en uppskattning av medelkviststorleken erhållas. Medelstorleken multipliceras därefter med 70% (0,7), eftersom det var de största kvistarna som mättes in och alla kvistar inte är lika stora som den största. Faktorn 0,7 har valts som kompromiss. Känsligheten för faktorns storlek har inte analyserats.

Den därvid beräknade storleken multipliceras med det angivna antalet, vilket beräknas som

$$\text{Heltalsdelen av } \frac{(\text{Antal} > 7 + \text{Antal} > 12)}{2} + 0,5$$

till en total storlek. Detta mått jämförs med regelns totalmått, vilken fås genom att multiplicera regelns maximala storlek och största antal. Samma beräkningssätt har använts vid sortering enligt CEN-regler.

12.2 Tidsåtgång vid sortering i databasen

För att göra en fullständig Nordiskt Trä-sortering med alla särdrag i Access-databasen på ca 100 virkesstycken åtgår ca 2 minuter, vid sortering av ca 350 virkesstycken åtgår 3 minuter och 30 sekunder, vid sortering av ca 1800 virkesstycken åtgår ca 9 minuter. Sorteringarna är utförda på en P75 dator med 40Mb RAM.

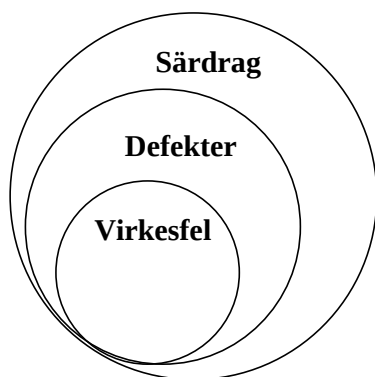
13 Virkesfel och övriga sorteringsgrundande särdrag i databasen

Det som är krokigt kan icke bliva rakt, och det som ej finnes kan ej komma med i någon räkning.

Predikaren 1:15.

Att skilja mellan defekt, virkesfel och särdrag kan tyckas onödigt, men för systematikens skull finns det beskrivet, se Figur 31.

Defekter är särdrag som är oönskade i en viss sorteringsregel. Virkesfel är oönskade särdrag som inte påförts virket utan finns mer eller mindre naturligt i virket. Naturligtvis kan man diskutera om virkesfel alltid är att betrakta som defekter, men med ordet fel som bestämning kan man lätt inse att virkesfel alltid är att hänföra till defekter. Övriga särdrag innefattar allt övrigt, såväl produktionsskador som dimension på virkesstycket.



Figur 31. Figuren beskriver schematisk förhållandet mellan virkesfel, defekter och särdrag. Virkesfelen är en delmängd av defekterna som i sin tur är en delmängd av särdragen.

De särdrag som syns mest, som finns på så gott som alla virkesstycken och som orsakar flest nedklassningar, är kvistar. Dessutom finns det så många olika typer av kvistar, vilka var och en kan betraktas som en enskild särdragstyp. Det är skälet att särdragsredovisningen koncentreras på kvistar.

Kvistar

Kvist är en naturlig del i trä och en nödvändighet för trädets tillväxt och överlevnad. Därför kan man inte generellt benämna kvistar i ett framsågat virkesstycke

som virkesfel eller defekt, utan snarare som ett mer eller mindre önskat särdrag. I vissa fall är kvistar önskade av estetiska skäl, i andra sammanhang är kvistar oönskade av antingen estetiska eller hållfasthetsskäl, och där är förstås *defekt* ett passande ord.

Kvisttyper

De kvisttyper som ingår i denna studie är *friska* kvistar, *torra* kvistar, *delvis fastsittande* kvistar, *barkringade* kvistar, *rötade* kvistar och *urfallna* kvistar (kvisthål). En kvist betraktas enligt Nordiskt Trä som *frisk* då mer än 75% av kvistens omkrets är fastvuxen med omgivande virke. Vid inmätningen har kvist fastvuxen mellan 75% och 50% benämnts *delvis fastvuxen*. Kvist med fastvuxenhet mindre än 50% benämns *torr*. Nordiskt Trä särskiljer inte de två senare kvisttyperna. I sorteringarna i databasen används Nordiskt Träs benämningar och gräns för torr kvist (75 %). *Barkringad* är kvisten då den innehåller bark, *rötad* om den innehåller röta och *urfallen* om den har fallit ur, kvisthål.

Storlekar

Virkesstyckena som ingår i denna studie är 349 furuplankor i dimension 50 x 100 mm, 2 ex-log. Storleken på kvistarna, som har mätts in och storleksberäknats enligt Nordiskt Trä, ligger i intervallet $0 \leq d \leq 198$ mm. Kvistarna med storlek angiven till 0 mm har bara angetts att de finns, inte deras verkliga storlek. Antalet 0-kvistar är 4. I samtliga fall är det mustaschkvistar som angetts. Storleken har angetts endast i de fall någon av mustaschhalvorna varit den största horn- eller bladkvisten. Den har i så fall mätts in och angetts som just horn- eller bladkvist. Antalet kvistar med en storlek över 100 mm är 2: 148 och 198 mm. Båda dessa är barkringade, ovala kvistar.

Kviststorlekarnas och -antalens fördelningar kan ses sammanfattat i nedanstående tabell och diagram, i vilka visas antalet kvistar fördelat på storleksklasser. De kvistar som ingår i studien är de största kvistarna av varje kvisttyp på varje sida på virkesstycket. I tabell och diagram nedan ingår således samtliga (största) kvistar på plankornas alla sidor, se Tabell 4 och Figur 32.

Tabell 4. Tabell över antal kvistar samt kumulativa procenttal för samtliga kvisttypers största kvist på de olika sidorna på virkesstyckena. Antalet virkesstycken är 349, dimensionen är 50 x 100 mm, träslaget är furu. Inom parentes anges det summerade kvistan-talet på virkesstyckenas respektive sida.

Kvist- storlek, d [mm]	Alla sidor		Märgsidan		Splintsidan		Kantsidorna	
	Antal (2962)	Kumulativ a procenttal	Antal (949)	Kumulativ a procenttal	Antal (786)	Kumulativ a procenttal	Antal (1227)	Kumulativ a procenttal
0 < d ≤ 5	17	1%	17	2%	0	0%	0	0%
5 < d ≤ 10	434	15%	138	16%	90	11%	206	17%
10 < d ≤ 15	753	41%	199	37%	199	37%	355	46%
15 < d ≤ 20	681	64%	229	61%	186	60%	266	67%
20 < d ≤ 25	472	80%	165	79%	120	76%	187	83%
25 < d ≤ 30	302	90%	115	91%	80	86%	107	91%
30 < d ≤ 35	164	95%	48	96%	57	93%	59	96%
35 < d ≤ 40	62	97%	18	98%	21	96%	23	98%
40 < d ≤ 45	28	98%	3	98%	11	97%	14	99%
45 < d ≤ 50	22	99%	6	99%	7	98%	9	100%
50 < d ≤ 55	10	99%	4	99%	5	99%	1	100%
55 < d ≤ 60	6	100%	3	100%	3	99%	0	100%
60 < d ≤ 65	1	100%	0	100%	1	99%	0	100%
65 < d ≤ 70	3	100%	2	100%	1	99%	0	100%
70 < d ≤ 75	1	100%	1	100%	0	99%	0	100%
75 < d	6	100%	1	100%	5	100%	0	100%

I diagrammen som följer, Figur 32 till och med Figur 35, visas denna tabells information uppdelat på flera diagram. I diagrammen visas dels antalet kvistar i olika storleksintervall och dels den kumulativa fördelningen av kvistar i intervallen. Storleksintervallen är 5 mm. I de första diagrammen visas en sammanfattning av alla kvisttyper på en sidtyp av partiets plankor. Man kan i diagrammen se dels hur många kvistar som finns i ett visst intervall, men även hur stor andel kvistar som befinner sig över eller under en viss storlek. I diagrammen är intervalllets maxvärde angivet. Detta kan vara till stor hjälp då en ny sorteringsregel skall komponeras. Med en blick i diagrammet ser man hur stor andel av partiet som förväntas klara en viss sortgräns med avseende på det specifika särdraget samt hur känslig särdragsregeln är för ändringar. En regel är känsligare att ändra där den kumulativa kurvans derivata är stor. Se vidare i kapitel 18.

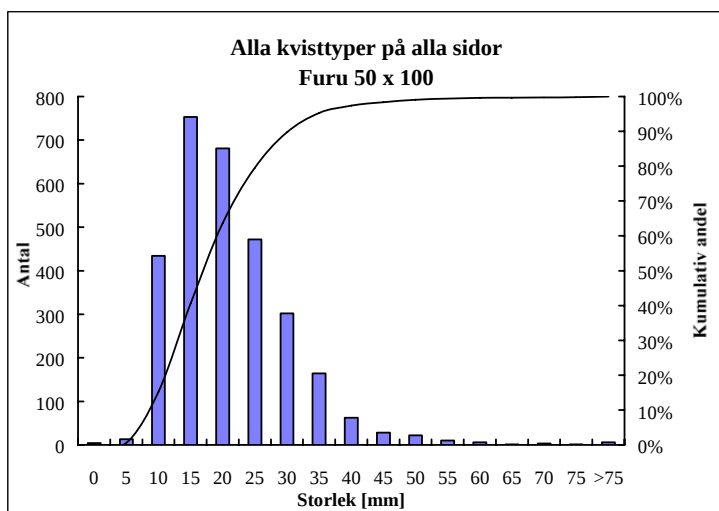
I diagrammen ser man att märgsidan tycks ha fler kvistar än splintsidan, vilket beror på att fler kvisttyper finns representerade på märgsidan. Man kan dock inte med säkerhet säga att de största kvistarna på någon sida nödvändigtvis är större än på någon annan sida.

Vid tolkning av diagrammen, *observera följande*:

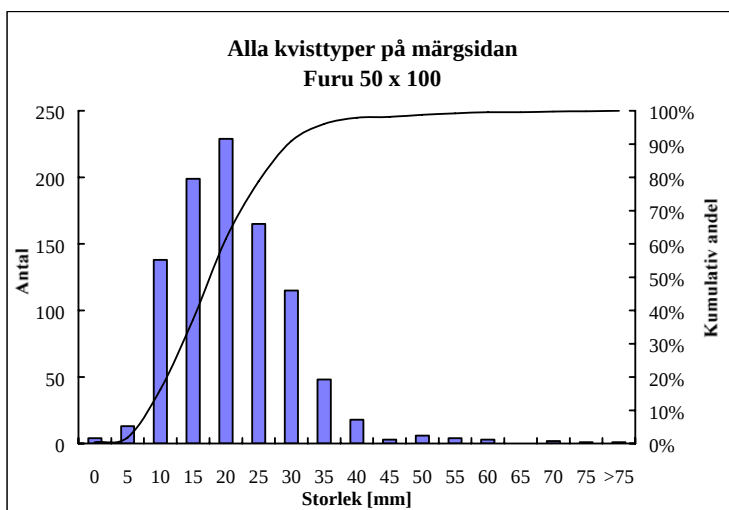
- skalan varierar mellan de olika diagrammen,
- endast den största kvisten av varje beskaffenhet på varje sida är medräknad och
- plankor vilka inte har kvisttypen i fråga är inte medräknade i vissa diagram.

Det angivna kvistantalet är alltså det totala antalet största kvistar av varje beskaffenhet på respektive sida i partiet. Diagrammen kan användas för att se kviststorleken och -beskaffenhetens variation mellan sidorna på virkesstycken i partiet.

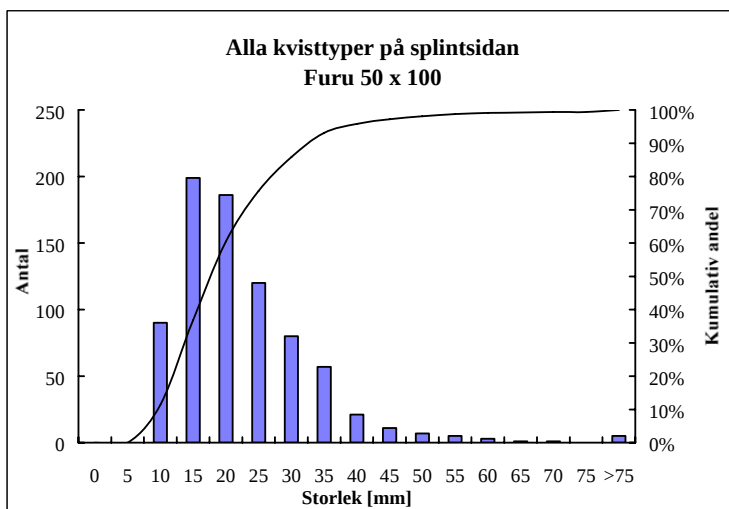
Diagrammen beskriver kvistarnas fördelning på storlekar och beskaffenheter på ett representativt urval furuplankor med dimensionen 50 x 100 mm från hela Sverige.



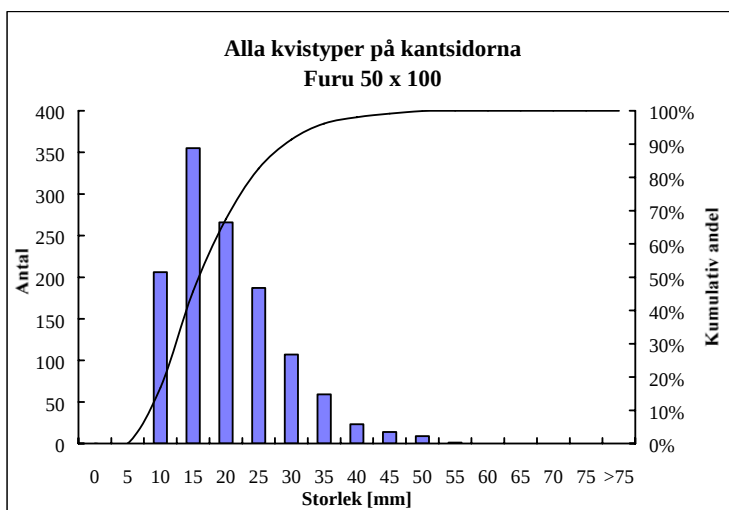
Figur 32. Diagram över antal kvistar samt kumulativa procenttal för samtliga kvisttyper största kvist på samtliga sidor på virkesstyckena. Antalet virkesstycken är 349, dimensionen är 50 x 100 mm, träslag furu. Antal kvistar är 2962, medelstorleken är 19,2 mm, medianstorleken är 17 mm och standardavvikelsen är 10,0 mm.



Figur 33. Diagram över antal kvistar samt kumulativa procenttal för samtliga kvisttyper största kvist på märgsidan på virkesstyckena. Antalet virkesstycken är 349, dimensionen är 50 x 100 mm, träslag furu. Antal kvistar är 949, medelstorleken är 19,3 mm, medianstorleken är 18 mm och standardavvikelsen är 9,9 mm.



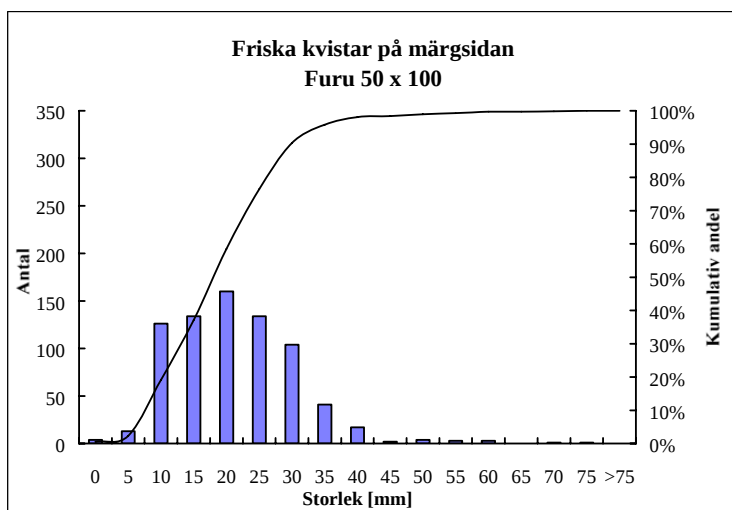
Figur 34. Diagram över antal kvistar samt kumulativa procenttal för samtliga kvisttyper största kvist på splintsidan på virkesstyckena. Antalet virkesstycken är 349, dimensionen är 50 x 100 mm, träslag furu. Antal kvistar är 786, medelstorleken är 20,7 mm, medianstorleken är 18 mm och standardavvikelsen är 12,3 mm.



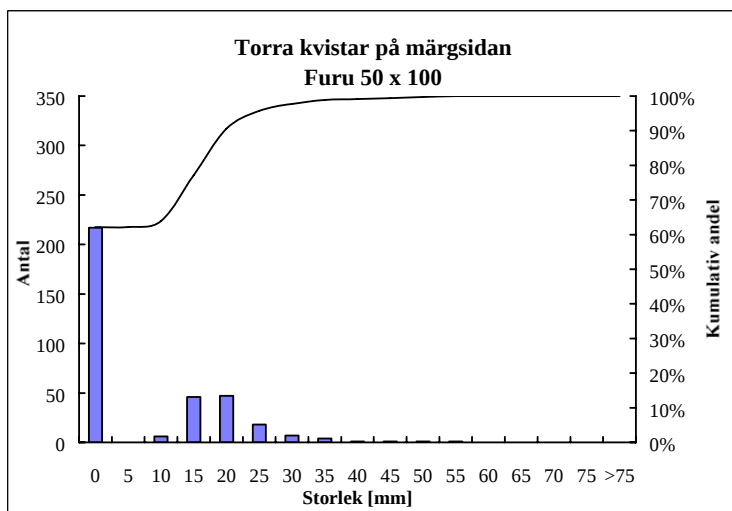
Figur 35. Diagram över antal kvistar samt kumulativa procenttal för samtliga kvisttypers största kvist på virkestyckenas båda kantsidor sammanlagt. Antalet virkestycken är 349, dimensionen är 50 x 100 mm, träslag furu. Antal kvistar är 1227, medelstorleken är 18,1 mm, medianstorleken är 16 mm och standardavvikelsen är 8,2 mm

Fördelning av kvistarnas storlekar och antal uppdelat på olika kvisttyper

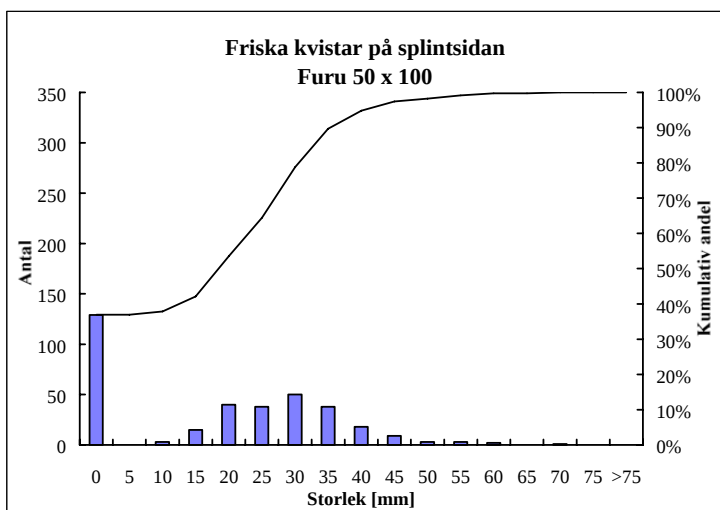
Exempel på storleks- och antalsfördelning för de olika kvisttyperna kan ses i nedanstående diagram, som visar fördelningen av friska och torra kvistar på mörghsidan och på splintsidan.



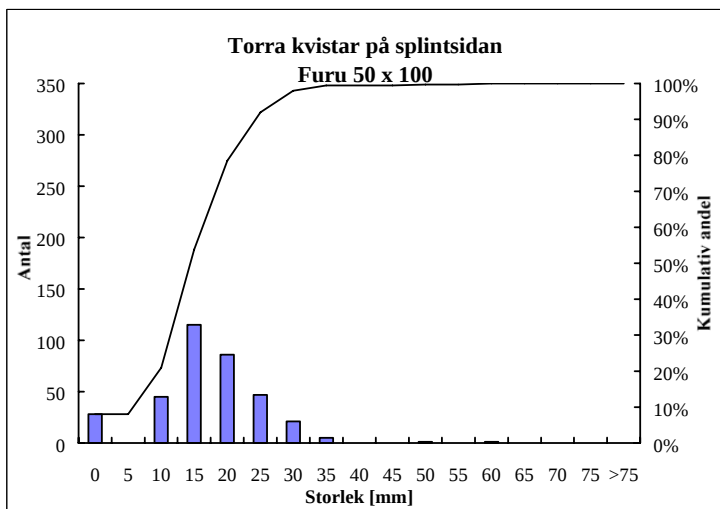
Figur 36. Diagram över storleken på den största friska (ovala, horn eller blad-) kvisten på märgsidan på 349 furuplankor sorterade i storleksintervall, antalet kvistar inom storleksintervallet samt den kumulativa fördelningen av kvistarna. Dimension 50 x 100 mm. Antal kvistar är 747.



Figur 37. Diagram över storleken på den största torra kvisten på märgsidan på 349 furuplankor sorterade i storleksintervall, antalet kvistar inom storleksintervallet samt den kumulativa fördelningen av kvistarna. Dimension 50 x 100 mm. Antal kvistar är 132.



Figur 38. Diagram över storleken på den största friska kvisten på splintsidan på 349 furuplankor sorterade i storleksintervall, antalet kvistar inom storleksintervallet samt den kumulativa fördelningen av kvistarna. Dimension 50 x 100 mm. Antal kvistar är 220.



Figur 39. Diagram över storleken på den största torra kvisten på splintsidan på 349 furuplankor sorterade i storleksintervall, antalet kvistar inom storleksintervallet samt den kumulativa fördelningen av kvistarna. Dimension 50 x 100 mm. Antal kvistar är 321.

Notera i Figur 38 att ca 40 % av plankorna inte har någon frisk kvist på splintsidan och i Figur 39 att ca 7 % inte har någon torr kvist på splintsidan. Det är dock inte alls säkert att det är samma plankor som anges i de båda fallen. Notera även att

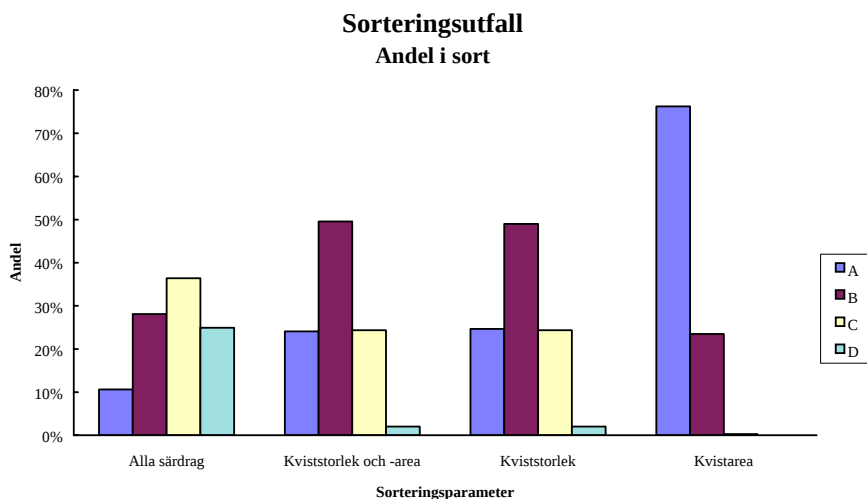
medelstorleken på de friska kvistarna är ca 28 mm, och på de torra ca 17 mm, det vill säga medelstorleken på de torra kvistarna är ca 60 % av medelstorleken på de friska.

Nedklassning på grund av kvistar

Diagrammet i Figur 44 på sidan 80 visar klart att kvistar är det mest nedklassande särdraget. Därför redovisas nedan ett antal jämförelser i sorteringsutfall beroende på hur kvistarna beaktas i sorteringen.

För att utreda vilken verkan det har att endast sortera på kviststorlek och -area, och inga andra särdrag, gjordes en sortering enligt Figur 40. I Figur 40 visas utfallet vid sortering på alla särdrag, endast kviststorlek och -area, endast kviststorlek samt endast -area. Man kan tydligt se att sortering endast på kviststorlek och sammanlagd kvistarea inte är tillfyllest för att placera plankorna i rätt klass.

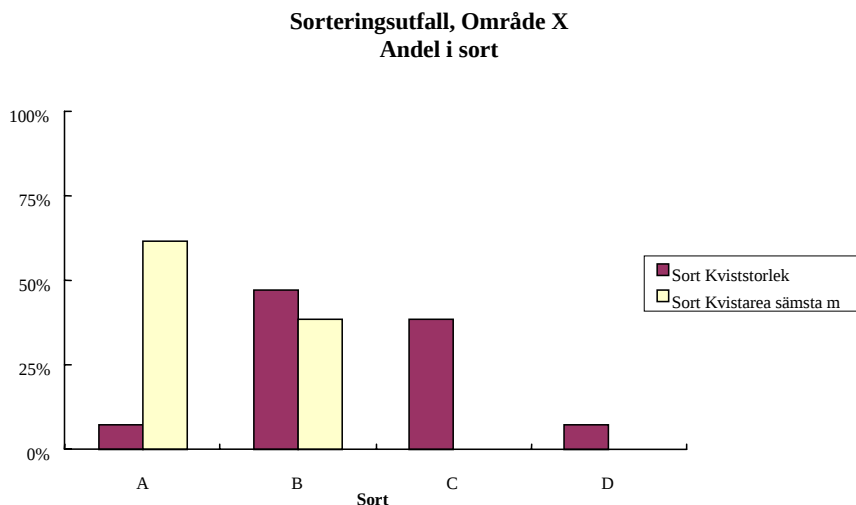
Figur 40 visar att det i detta material inte går att sortera endast på kvistarea och få ett utfall som tillnärmelsevis liknar sortering på alla särdrag. Däremot kan man mycket väl låta bli att ta med kvistareaberäkningen vid sorteringen och ändå få ett ”korrekt” resultat.



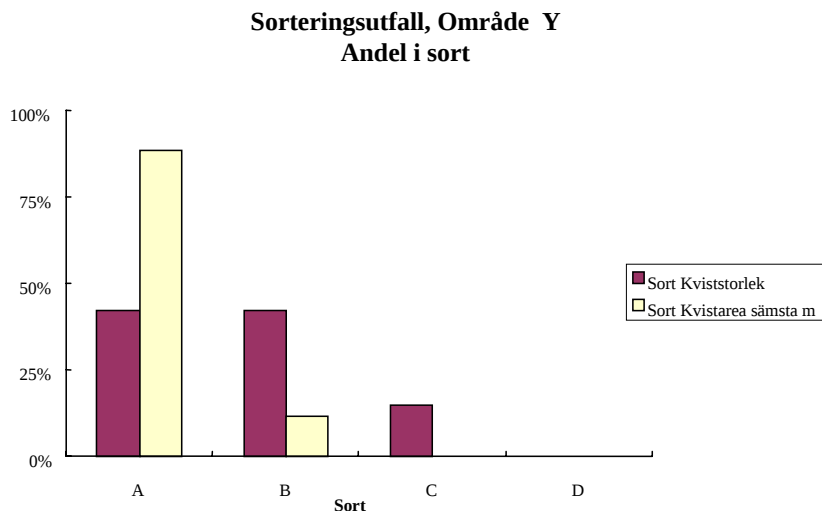
Figur 40. Diagrammet visar en jämförelse mellan sortering då hänsyn tas till alla särdrag, största kviststorlek och -area, enbart största kviststorlek respektive kvistarea. Antalet virkesstycken är 349, dimensionen är 50 x 100 mm, träslag furu. Antal kvistar är 2962.

Materialet kan delas upp i delpartier, exempelvis beroende på ursprung. En teori är att ett parti från ett visst fångstområde, X, generellt har större kvistar än ett parti från ett annat, Y. Det skulle kunna innebära att virkesstycken från område X oftare slås ut på grund av kviststorlek och -area än ett parti från område Y. I detta parti är 70 plankor tagna från område X, 139 från område Y och 140 från område Z.

Figur 41 och Figur 42 visar sorttillhörigheten enligt Nordiskt Trä på virkesstyckena utgående endast från kviststorlek och -area på sämsta metern. Man kan se att andelen virkesstycken som nedklassas på grund av kvistarea, ljus stapel i B-sort, är större för partiet från område X jämfört med partiet från område Y. Ingen nedklassning skedde till C eller D på grund av kvistarea. Man kan även se att kviststorleken spelar stor roll för utfallet vid sortering enligt Nordiskt Trä, i område X klarar knappt 10% A-sort medan i partiet från område Y klarar drygt 40% A-sort med avseende på kviststorlek.



Figur 41 Figuren visar sorttillhörighet enligt Nordiskt Trä beroende på kviststorlek respektive kvistarea på sämsta metern. 70 virkesstycken från område X. 50 x 100 mm furu.



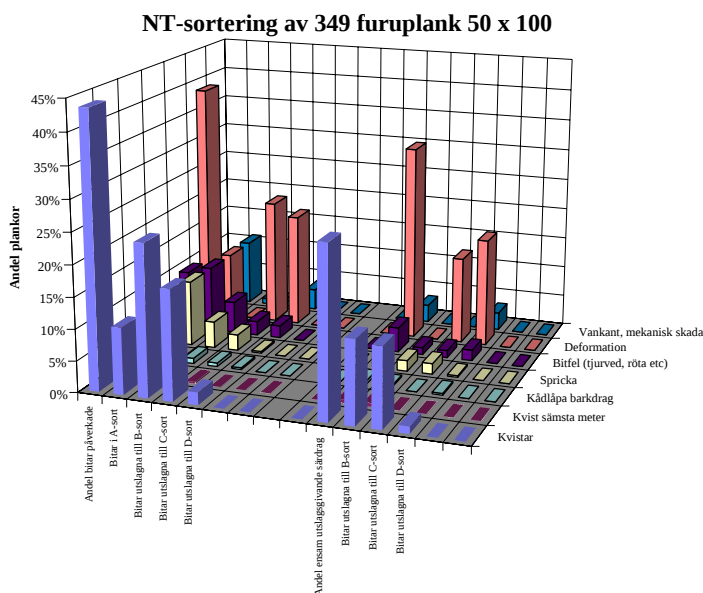
Figur 42 Figuren visar sorttillhörighet enligt Nordiskt Trä beroende på kviststorlek respektive kvistarea på sämsta metern. 139 virkesstycken från område Y. 50 x 100 mm furu.

På samma sätt som kvistarnas storlek och förekomst redovisats ovan kan övriga särdrag analyseras.

14 Jämförelse mellan Nordiskt Trä och prEN 1611-1

För att åskådliggöra sorterings- och analysverktyget visas jämförelsen mellan sortering med regler enligt Nordiskt Trä och enligt CEN-regeln prEN 1611-1. Sorteringarna har utförts på de tidigare beskrivna 349 furuplankorna med dimensionen 50 x 100 mm.

I de följande två diagrammen, Figur 43 och Figur 44, redovisas andelen plankor som påverkats, nedklassats, av något särdrag. De första staplarna i diagrammen, den vänstra gruppen, visar andelen plankor i varje sort samt vilka särdrag som gjort att den hamnat där. De andra staplarna, den högra gruppen, visar hur stor andel av plankorna som hamnat i respektive sort beroende på endast ett (1) särdrag samt vilket särdrag det är som gjort att plankorna hamnade i just den sorten. Med hjälp av denna diagramtyp kan man se vilket (vilka) särdrag som är mest utslagsgivande. Man kan se om det (de) är ensamt utslagsgivande eller om fler särdragstyper samverkar samt till vilken sort särdraget förpassar virkesstycket.



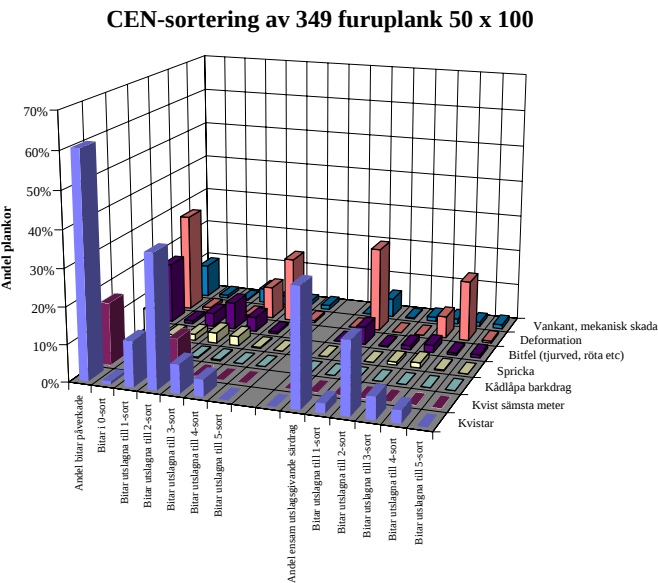
Figur 43. Diagram över nedklassande särdrag och sorteringsutfall för NT-sortering av 349 furuplankor, 50 x 100 mm.

Diagrammet ovan, Figur 43, bygger på tabellen nedan, Tabell 5. I diagrammet ser man att i detta parti Nordiskt Trä-sorterat virke är kvistar, tillsammans med deformationer, det övervägande vanligaste utslagsgivande särdraget. Tabell 5 visar att 44% av plankorna klassades ner på grund av kviststorleken och 39% på grund av deformation. Deformationen ensam klassades ner nästan 1/3 av partiet till C eller D-sort.

Tabell 5. Tabellen visar de utslagsgivande särdragen i NT-sortering av 349 furuplankor, 50 x 100 mm.

	Kvistar	Kvist sämsta meter	Kådlåpa barkdrag	Spricka	Bitfel (tjurved, röta etc)	Defor- mation	Vankant, mekanisk skada
Andel bitar påverkade	44%	7%	2%	7%	9%	39%	5%
Bitar i A-sort	11%	11%	11%	11%	11%	11%	11%
Bitar utslagna till B-sort	24%	7%	1%	4%	5%	0%	1%
Bitar utslagna till C-sort	17%	0%	1%	3%	2%	20%	1%
Bitar utslagna till D-sort	2%	0%	0%	0%	2%	18%	3%
Andel ensamt utslagsgivande särdrag	27%	1%	1%	4%	4%	32%	3%
Bitar utslagna till B-sort	13%	1%	0%	2%	1%	0%	0%
Bitar utslagna till C-sort	13%	0%	0%	2%	1%	14%	0%
Bitar utslagna till D-sort	1%	0%	0%	0%	2%	17%	3%

Motsvarande figur och tabell för sortering enligt prEN 1611-1 visas nedan.



Figur 44. Diagram över nedklassande särdrag och sorteringsutfall för CEN-sortering av furuplankor, 50 x 100 mm

I ovanstående diagram, Figur 44, och nedanstående tabell, Tabell 6, ses att kvistar är det mest dominerande, utslagsgivande, särdraget även i CEN-sortering av detta parti. Ca 60% av samtliga plankor har nedklassats på grund av kviststorleken. Av dessa 60% är ca 12% av 1-sort, 36% i 2-sort och så vidare. Man kan även här en-

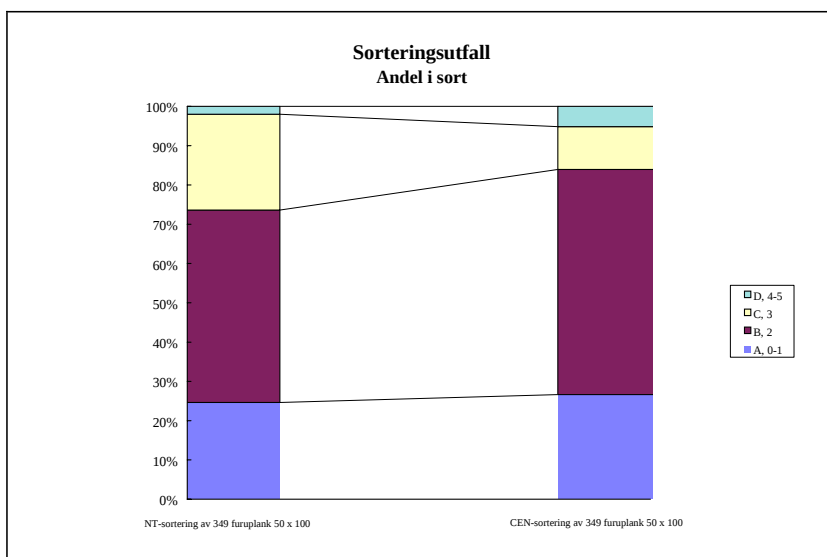
kelt se att det i detta parti var kviststorlek och deformationer som var de övervägande nedklassande särdragen.

Tabell 6. Tabellen visar de utslagsgivande särdragen i CEN-sortering av 349 furuplankor, 50 x 100 mm.

	Kvistar	Kvist sämsta meter	Kådlåpa barkdrag	Spricka	Bitfel (tjurved, röta etc)	Deforma- tion	Vankant, mekanisk skada
Andel bitar påverkade	60%	17%	1%	7%	17%	27%	9%
Bitar i 0-sort	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Bitar utslagna till 1-sort	12%	7%	1%	2%	4%	0%	0%
Bitar utslagna till 2-sort	36%	9%	0%	3%	7%	0%	4%
Bitar utslagna till 3-sort	8%	0%	0%	3%	4%	9%	3%
Bitar utslagna till 4-sort	5%	0%	0%	0%	1%	18%	1%
Bitar utslagna till 5-sort	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%
Andel ensamt utslagsgivande särdrag	32%	0%	0%	3%	5%	23%	5%
Bitar utslagna till 1-sort	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bitar utslagna till 2-sort	19%	0%	0%	1%	1%	0%	1%
Bitar utslagna till 3-sort	6%	0%	0%	1%	2%	6%	1%
Bitar utslagna till 4-sort	3%	0%	0%	0%	1%	17%	1%
Bitar utslagna till 5-sort	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%

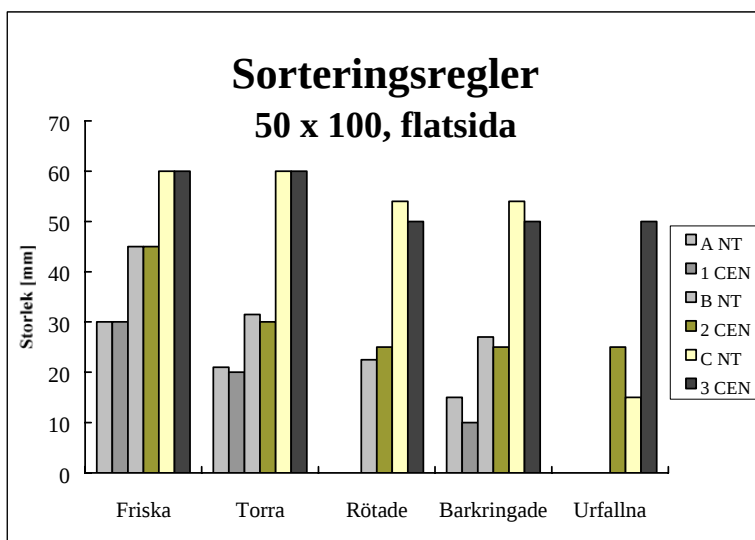
Det är fler virkesstycken påverkade enligt CEN-sorteringen än det är i Nordiskt Trä, beroende på att A-sort i Nordiskt Trä motsvaras av sort 0 och 1 sammanslaget i CEN. Virkesstycken i CEN-sort 1 alltså betraktas som nedklassade, vilket inte virkesstycken i Nordiskt Trä-sort A gör.

Nedklassningen på grund av kviststorlek visas i nedanstående diagram, Figur 45. I diagrammet jämförs sorteringsutfallet mellan Nordiskt Trä och CEN. Skillnaden i utfall kan förklaras med att CEN-regeln är generösare på storleken på kantsideskvistar än Nordiskt Trä, det vill säga CEN tillåter större kantsideskvistar än Nordiskt Trä, medan de maximalt tillåtna flatsideskvistarnas storlek överensstämmer mycket bra, utom i fallet med de urfallna kvistarna och till viss del de barkringade, vilket kan ses i diagrammen över sorteringsregler, Figur 46 och Figur 47.

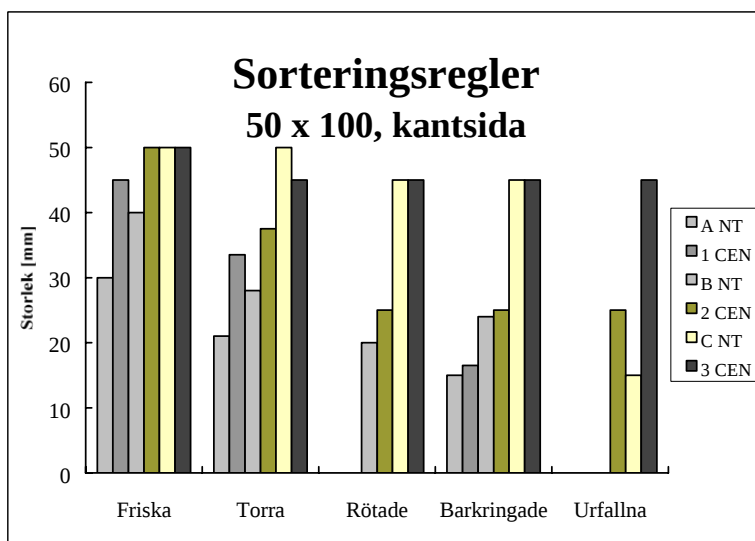


Figur 45. Diagrammet visar sorteringsutfallet i Nordiskt Trä respektive CEN då endast kvistarnas typ och storlek legat till grund för sorteringen. I beräkningen jämförs utfallet i Nordiskt Träs sort A med utfallet i CEN-sorteringens sort 0 – 1. Utfallet i Nordiskt Träs sort B jämförs med CEN-sort 2, utfallet i Nordiskt Träs sort C jämförs med CEN-sort 3 samt utfallet i Nordiskt Träs sort D jämförs med CEN-sort 4 – 5

Ett smidigt sätt att jämföra olika sorteringsregler, förutom de som vistas i Figur 2 till och med Figur 6, visas i Figur 46 och Figur 47 där gränsvärdena för kviststorlekar på flatsida respektive kantsida för Nordiskt Trä och CEN visas.



Figur 46. Diagrammet visar den maximalt tillåtna storleken på flatsideskvistar av olika typ vid sortering enligt Nordiskt Trä och enligt CEN-reglerna. I de fall då staplar saknas är den tillåtna storleken 0, det vill säga särdraget är icke tillåtet i sorten.



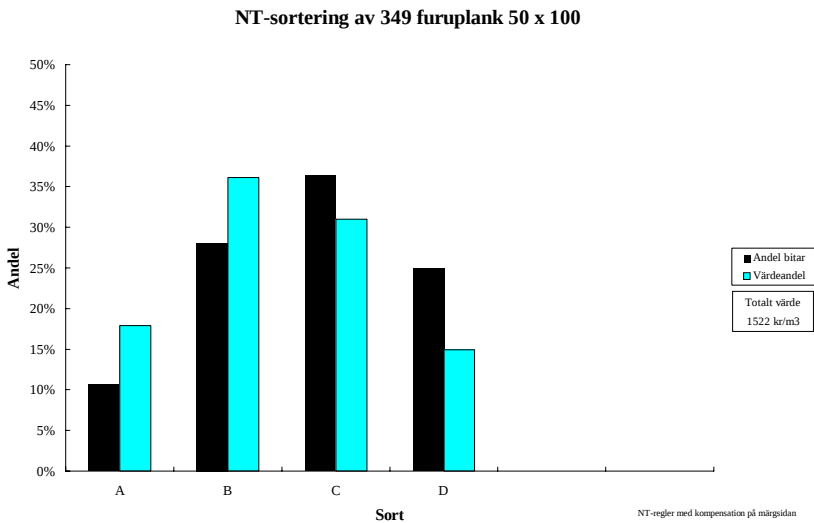
Figur 47. Diagrammet visar den maximalt tillåtna storleken på kantsideskvistar av olika typ vid sortering enligt Nordiskt Trä och enligt CEN-reglerna. I de fall då staplar saknas är den tillåtna storleken 0, det vill säga särdraget är icke tillåtet i sorten.

Tabell 7 och Tabell 8 samt Figur 48 och Figur 49 visar utbytet, både volyms- och värde-, för sortering enligt Nordiskt Trä och prEN 1611-1. I tabellerna är även det ansatta priset i kr/m³ för respektive sort angivet. Det väsentliga i denna jämförelse är inte prisnivån utan prisrelationerna mellan sorterna.

Tabell 7, Tabell över sortutfallet och värdeutbytet vid sortering enligt Nordiskt Trä samt värdeandelen för varje sort.

Nordiskt Trä-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm. NT-regler med kompensation på märgsidan.							
		Antal bitar	Andel bitar	Längd [m]	Pris [SEK/m ³]	Värde [SEK]	Värde- andel
Antal bitar av sort	A	37	11%	162	2500	2028	18%
Antal bitar av sort	B	98	28%	409	2000	4085	36%
Antal bitar av sort	C	127	36%	539	1300	3505	31%
Antal bitar av sort	D	87	25%	376	900	1690	15%
Summa		349		1486		11308	

Motsvarande värden kan också visas i diagramform.

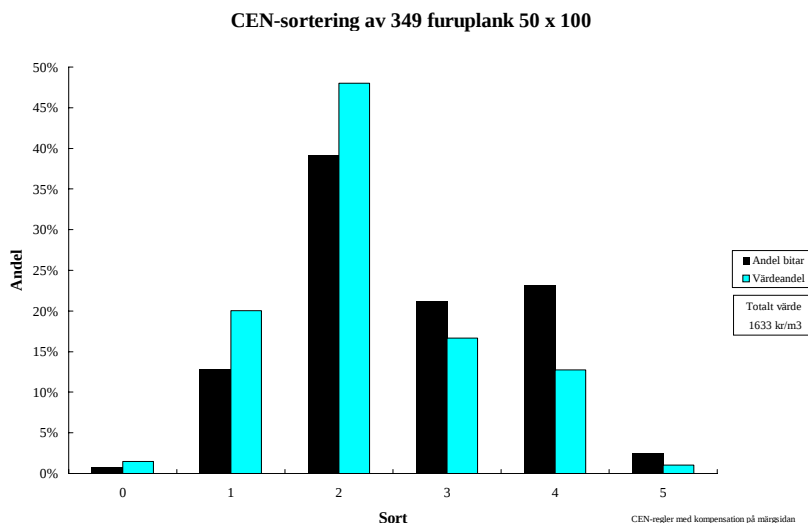


Figur 48. Diagram över sortutfallet och värdeutbytet vid sortering enligt Nordiskt Trä. 349 furuplankor, dimension 50 x 100 mm. Medelvärde för partiet är 1522 kr/m³.

För CEN-sortering gäller nedanstående tabell och diagram.

Tabell 8. Tabell över sortutfallet och värdeutbytet vid sortering enligt CEN samt värdeandelen för varje sort.

CEN-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.							
CEN-regler med kompensation på märgsidan.							
		Antal bitar	Andel bitar	Längd [m]	Pris [SEK/m ³]	Värde [SEK]	Värde- andel
Antal bitar av sort	0	3	1%	12	3000	180	1%
Antal bitar av sort	1	45	13%	195	2500	2431	20%
Antal bitar av sort	2	137	39%	582	2000	5823	48%
Antal bitar av sort	3	74	21%	311	1300	2023	17%
Antal bitar av sort	4	81	23%	343	900	1545	13%
Antal bitar av sort	5	9	3%	42	600	126	1%
Summa		349		1486		12129	



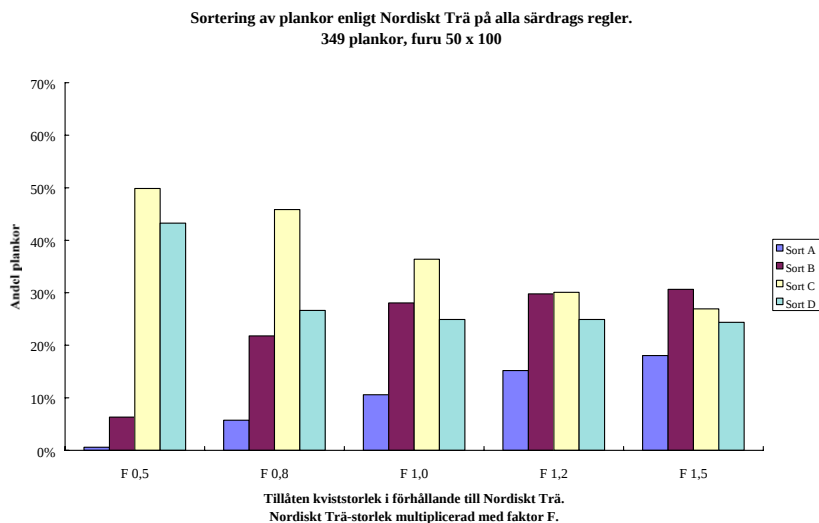
Figur 49. Diagram över sortutfallet och värdeutbytet vid sortering enligt CEN. 349 furuplankor, dimension 50 x 100 mm. Medelvärde för partiet är 1633 kr/m³.

På ovanstående sätt är det alltså lätt att jämföra värde- och volymutfall mellan olika sorteringsregler eller dimensioner. I exemplet, med de angivna förutsättningarna, ses att det är mer lönsamt att sortera enligt CEN-regler, med ett medelpris för partiet på 1633 kr/m³ jämfört med 1522 kr/m³ för sortering enligt Nordiskt Trä.

Motsvarande sorteringsanalys kan naturligtvis göras på vilket material som helst, med vilka regler och priser som helst. Man kan lätt se vilken sort som är lönsam, vilket pris som kan (bör) justeras för att få kalkylen att gå ihop. I detta exempel är priserna satta med antagande att allt går att sälja till det ansatta priset.

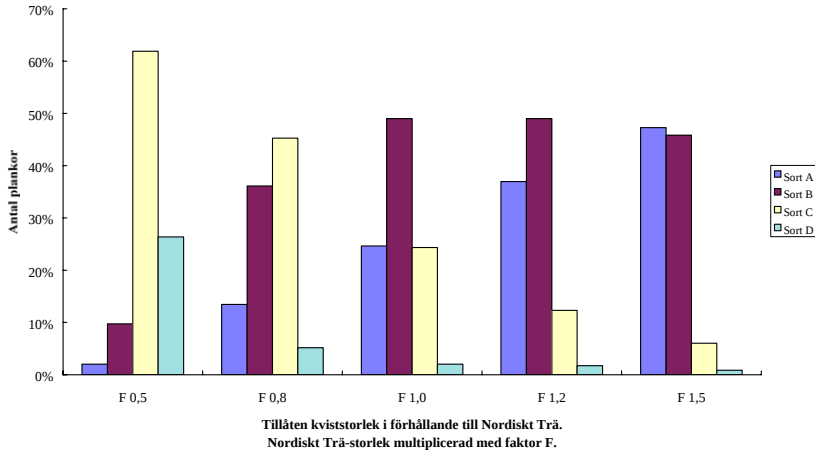
15 Jämförelse mellan sortering av plankor med olika kvistregler

För att utreda verkningarna av en skärpning eller mildring av tillåten kviststorlek kan nedanstående diagram ritas, Figur 50 och Figur 51. Diagrammen visar utfallet vid sortering med tillåten kviststorlek som i respektive sort ändrats i ett antal steg från hälften av normal Nordiskt Trä-storlek till 1,5 * denna. I Figur 50 är partiet sorterat med hänsyn till alla särdrag och i Figur 51 är det sorterat endast med hänsyn till kviststorlek. Man ser att dramatiken i utfallet vid en regeländring blir mindre om fler särdrag ingår vid sorteringen. Övriga, icke ändrade, regler har, vilket kan förväntas, en dämpande effekt på förändringen i sorteringsutfallet.



Figur 50. Sortering av 349 virkesstycken av furu, 50 x 100 mm, med hänsyn tagen till alla särdrag. Tillåten kviststorlek varierar från 0,5 till 1,5 * Nordiskt Träs mått.

Sortering av plankor enligt Nordiskt Trä på endast kvistregler.
349 plankor, furu 50 x 100



Figur 51. Sortering av 349 virkesstycken av furu, 50 x 100 mm, med hänsyn tagen endast till kviststorleken. Tillåten kviststorlek varierar från 0,5 till 1,5 * Nordiskt Träs mått.

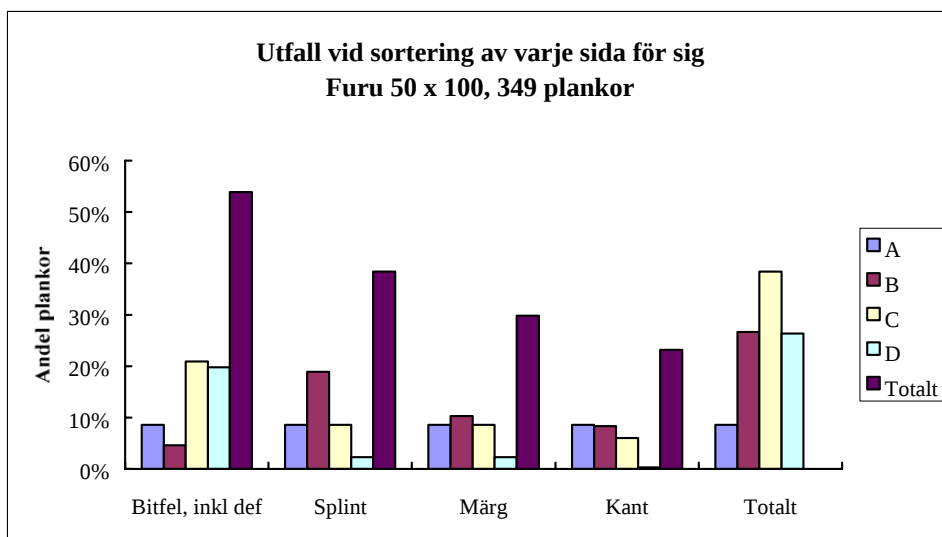
16 Jämförelse mellan sortsättande ytor

Vid sortering och då regeln skall komponeras är det väsentligt att, i statistiska termer, känna till vilken sorttillhörighet de enskilda sidorna har samt vilken betydelse enskilda sidor har för sorteringsutfallet. I Figur 52 och Figur 53 redovisas en grov bild av vilka sidor som är sortsättande. En noggrannare utredning kan ge svar på frågan vilket särdrag som är det vanligaste nedklassade för respektive sida.

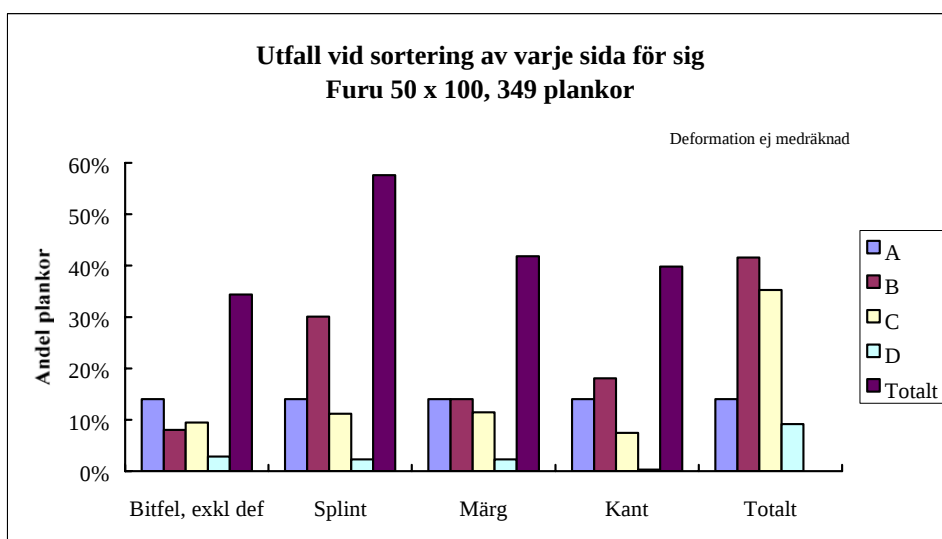
Utfall vid sortering på endast en sida

Vid sortering på endast en sida är det i detta material splintsidan som är mest kritisk, förutom särdrag som drabbar hela biten. Eftersom deformationen är en kraftig orsak till nedklassning i detta material, är sorteringen uppdelad på nedklassande sida redovisad både med, Figur 52, och utan deformation, se Figur 53.

Utifrån dessa figurer, Figur 52 och Figur 53, kan man dra slutsatsen att det går att sortera 55 – 60% av plankorna korrekt, även om endast splintsidan är synlig. Genom att sortera på någon av flatsidorna, det vill säga splint- eller margsidan, nås ett bättre resultat än om sorteringen sker på kantsidorna. Det bästa, mest korrekta, sorteringsresultatet nås naturligtvis om samtliga sidor beaktas och bedöms.



Figur 52. Diagrammet visar vilken sida på virkesstycket som orsakar nedklassning. Man kan se att splintsidan är mest kritisk, förutom särdrag som drabbar hela biten.



Figur 53. Diagrammet visar vilken sida på virkesstycket som orsakar nedklassning. Deformation som nedklassande orsak är inte medräknad. Man kan se att splintsidan är mest kritisk.

17 Korrelation mellan vissa sorteringsgrundande parametrar

Antag att alla sorteringsgrundande särdragstypers uppträdande på virkesstycket uppträder oberoende av andra särdragstyper. Då skulle det vara möjligt att sortera ett virkesparti på alla särdrag, ändra reglerna för ett av särdragen, sortera om enbart på det särdraget samt därefter beräkna utfallet för hela partiet.

Antag vidare att det i majoriteten av alla sorteringar endast är ett fåtal särdragstyper som har betydelse för sorteringsutfallet. Ett automatiskt sorteringssystem som klarade av att detektera de signifikanta särdragen med god säkerhet skulle då kunna prestera ett gott resultat trots att systemet är ”halvblint”.

Korrelationen mellan de sorteringsgrundande särdragen har undersökts genom att ställa de olika särdragens sorttillhörighet mot varandra. Observera att det är sorttillhörighet och inte absoluta mått som har undersökts. Resultatet kan ses i tabeller nedan. För jämförelsens skull är både sortering enligt Nordiskt Trä och sortering enligt CEN-regler redovisade. Huvuddelen ägnas åt Nordiskt Trä, men principerna är relevanta även för andra regelsystem.

Korrelationskoefficienten, $\rho_{x,y}$, beskrivs med nedanstående formel

$$\rho_{x,y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)(y_j - \mu_y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad \text{där} \quad \begin{array}{l} -1 \leq \rho_{x,y} \leq 1 \\ x = \text{ena parameterns värde} \\ y = \text{andra parameterns värde} \\ \mu = \text{medelvärde} \\ \sigma = \text{standardavvikelsen} \end{array}$$

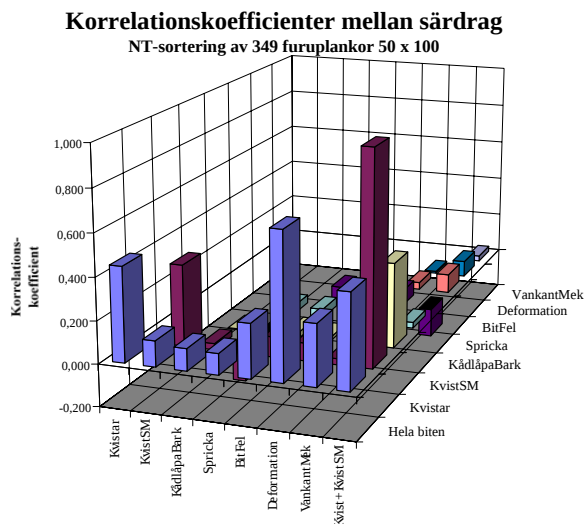
Beräkningen av korrelationskoefficienterna mellan särdrags påverkan är naturligtvis beroende på vilka regler som används. Antag att man har en ytterlighetsregel som i en sort i stort sett inte tillåter något och en annan sort tillåter allt. Korrelationen kan då inte beräknas.

Tabell 9, Figur 54 och Tabell 13 nedan visar korrelationskoefficienten, sambandet, mellan virkesstyckets och de olika särdragens sorttillhörighet samt mellan två särdrags sorttillhörighet i Nordiskt Trä och CEN. Om korrelationskoefficienten är stor och positiv, nära 1, är det stort samband mellan särdragen, det vill säga särdragen ger biten samma sorttillhörighet. Om korrelationskoefficienten är stor och negativ, nära -1, är det ett stort negativt samband mellan särdragen, det vill säga de olika särdragen ger biten olika sorttillhörighet. Tabell 11 och Figur 55 visar jämförelsen i utfall mellan sorteringssimulering med alla särdrag beaktade, simulering med utvalda särdrag beaktade och beräkning utgående från korrelationsko-

efficienterna med utvalda särdrag beaktade. Ett särdrag som inte medräknats alls i detta fall är deformation, eftersom det var så dominerande i detta parti. Tabell 12 och Figur 56 visar utfallsjämförelsen då endast kvistar och form, såsom deformation och vankant, medräknats

Tabell 9. Korrelationskoefficienter mellan hela bitens sorttillhörighet och olika särdrags sorttillhörighet samt mellan sorttillhörighet för olika särdrag i NT-sortering av 349 furuplankor i dimensionen 50 x 100 mm.

Korrelationskoefficient	Hela biten	Kvistar storlek	Kvist sämsta meter, area	Kådlåpa Barkdrag	Spricka	BitFel (tjurved, röta etc)	Deformation	Vankant, Mekaniska skador
Hela biten	1	0,446	0,122	0,104	0,100	0,253	0,683	0,287
Kvistar, storlek		1	0,384	0,030	-0,130	0,095	0,083	0,029
Kvist sämsta meter, area			1	0,004	-0,088	0,028	0,017	-0,007
Kådlåpa, Barkdrag				1	0,039	0,043	0,084	-0,056
Spricka					1	0,065	-0,028	0,073
BitFel (tjurved, röta etc)						1	-0,026	0,036
Deformation							1	0,010
Vankant, Mekaniska skador								1



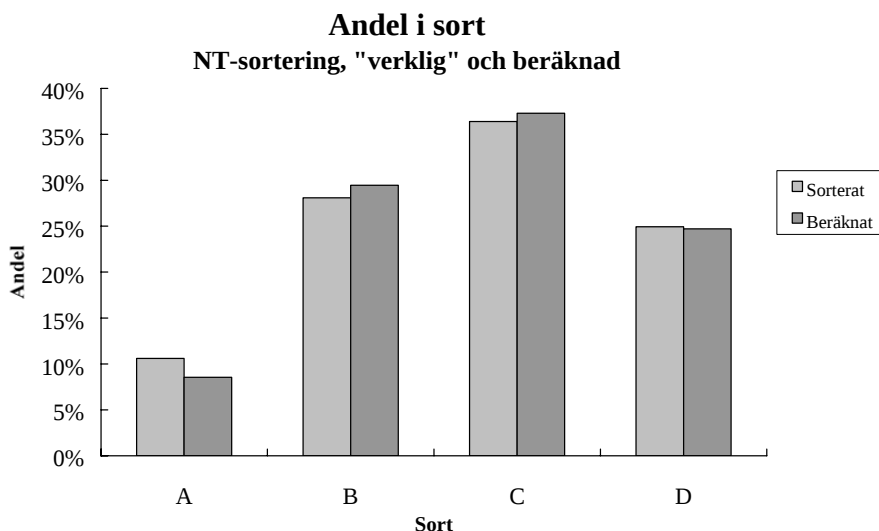
Figur 54. Korrelationskoefficienter mellan hela bitens sorttillhörighet och olika särdrags sorttillhörighet samt mellan sorttillhörighet för olika särdrag i NT-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

Med dessa låga korrelationskoefficienter bör det alltså gå att med tämligen god sannolikhet förutsäga vad en förändring i regeln för ett enskilt särdrag gör för hela utfallet. Tabell 10 visar utfallet vid "verklig" sortering jämfört med en beräknad sortering utgående från utfallen vid sortering av enskilda särdrag.

Med "verklig" sortering menas en sorteringssimulering i databasen med samtliga angivna särdrags regler applicerade på plankpartiet. Med beräknad sortering menas en sorteringssimulering utgående från de sorteringsutfall som framkom vid sortering med enskilda särdrags regler applicerad på plankpartiet, varvid de enskilda särdragens utfall multiplicerats med varandra.

Tabell 10. Tabellen visar utfallet vid "verklig" sortering med alla särdrag samt sortering med enskilda särdrags regler för sig och därefter beräknat utbyte. Beräkningen utförd med varje särdrag helt okorrelerad med andra. NT-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

Andel i sort			
Sort	Sorterat, Alla särdrag	Beräknat	Skillnad i utfall
A	11%	9%	2,1%
B	28%	29%	-1,4%
C	36%	37%	-0,9%
D	25%	25%	0,2%



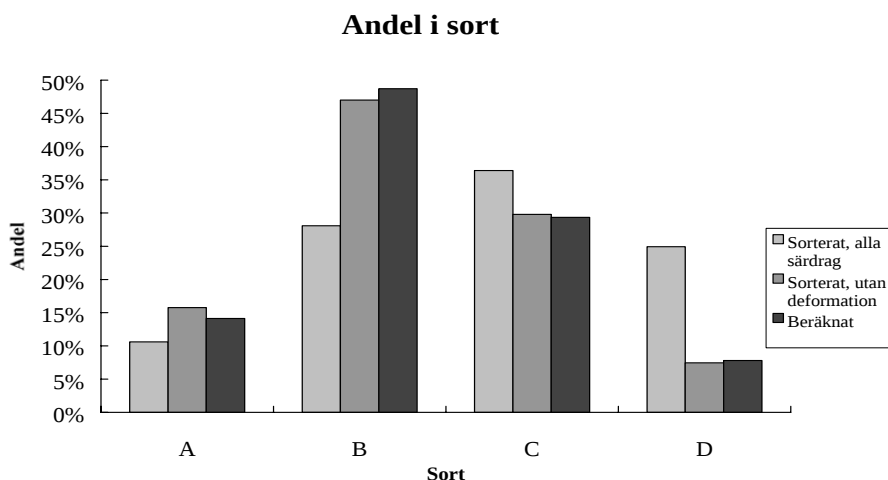
Figur 55. Diagrammet visar utfallet vid "verklig" sortering med alla särdrag samt sortering med enskilda särdrags regler för sig och därefter beräknat utbyte. Beräkningen utförd med varje särdrags uppträdande betraktat som okorrelerat med andra. NT-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

För att bättre åskådliggöra och prova hypotesen visas nedanstående tabell, Tabell 11, och diagram, Figur 56, där deformationsregeln ignorerats vid beräkningen, till skillnad från ovanstående Tabell 10 och Figur 58 där deformationen är med. Deformationsregeln valdes bort då deformationer, enligt Figur 43, är en stor orsak till nedklassning samt, enligt Tabell 9, har hög korrelation med hela virkestyckets sorttillhörighet. Som jämförelse visas även utfallet då alla särdrag ingår i sorteringen.

Observera att bitarna är justerade enligt Nordiskt Trä före inmätningen, vilket kan snedvrida resultatets generalitet, men inte så mycket att resultatet är ointressant.

Tabell 11. Tabellen visar utfallet vid "verklig" sortering med alla särdrag, "verklig" sortering med alla särdrag utom deformation medtagna samt beräknad sortering med enskilda särdrags regler, utom deformation, för sig och därefter beräknat utbyte. Beräkningen utförd med varje särdrag betraktat som okorrelerat med andra. Nordiskt Trä-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

Andel i sort				
Sort	Sorterat, alla särdrag	Sorterat, utan deformation	Beräknat	Skillnad i utbyte, sorterat - beräknat
A	11%	16%	14%	1,6%
B	28%	47%	49%	-1,7%
C	36%	30%	29%	0,4%
D	25%	7%	8%	-0,4%



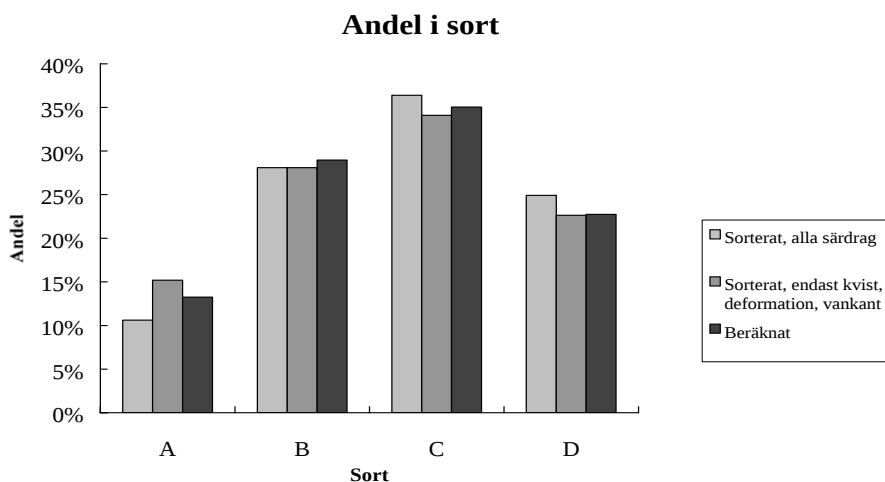
Figur 56. Diagrammet visar utfallet vid "verklig" sortering med alla särdrag, vänstra staplarna, "verklig" sortering med alla särdrag utom deformation medtagna, mittstaplarna, samt beräknad sortering med enskilda särdrags regler, utom deformation, för sig och därefter beräknat utbyte, högra staplarna. Beräkningen utförd med varje särdrag betraktad som okorrelerat med andra. Nordiskt Trä-sortering av 349 furuplankor 50 x 100 mm.

För att ytterligare utröna vilka särdrag som är nödvändiga att detektera och mäta för en god sortering, jämförs nedan "verklig" sortering med alla särdrag, "verklig" sortering med endast kvist, deformation och vankant samt beräknad sortering med endast kvist, deformation och vankant. Kådlåpor, sprickor och biologiska fel,

såsom tjurved och röta, är alltså inte med. Detta kan tas som ett exempel på vad som kan vara möjligt att uppnå med ett automatiskt sorteringsystem som endast ”ser” kvistar och form.

Tabell 12. Tabellen visar utfallet vid ”verklig” sortering med alla särdrag, ”verklig” sortering med endast särdragen kvistar, deformation och vankant medtagna samt beräknad sortering med de enskilda särdragen kvistar, deformation och vankant sorterade för sig och därefter beräknat utbyte. Beräkningen utförd med varje särdrag betraktad som okorrelerat med andra. Nordiskt Trä-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

Andel i sort				
Sort	Sorterat, alla särdrag	Sorterat, endast kvist, deformation, vankant	Okorrelerat beräknat	Skillnad i utbyte, sorterat – beräknat
A	11%	15%	13%	1,9%
B	28%	28%	29%	-0,9%
C	36%	34%	35%	-1,0%
D	25%	23%	23%	-0,1%



Figur 57. Diagrammet visar utfallet vid ”verklig” sortering med alla särdrag, vänstra staplarna, ”verklig” sortering med endast särdragen kvistar, deformation och vankant medtagna, mittstaplarna, samt beräknad sortering med de enskilda särdragen kvistar, deformation och vankant sorterade för sig och därefter beräknat utbyte, högra staplarna. Beräkningen utförd med varje särdrag betraktad som okorrelerat med andra. Nordiskt Trä-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

Tabell 13. Korrelationer mellan hela bitens sorttillhörighet och olika särdrags sorttillhörighet samt korrelationer mellan sorttillhörighet för olika särdrag i CEN-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

Korrelationskoefficient	Hela biten	Kvistar, storlek	Kvist sämsta meter, area	Kådlåpa Barkdrag	Spricka	BitFel (tjurved, röta etc)	Deformation	Vankant, Mekaniska skador
Hela biten	1	0,461	0,270	0,038	0,103	0,320	0,663	0,332
Kvistar, storlek		1	0,543	0,043	-0,086	0,180	0,075	0,138
Kvist sämsta meter, area			1	-0,005	-0,114	0,094	0,083	0,028
Kådlåpa, Barkdrag				1	0,021	0,102	0,062	0,008
Spricka					1	0,022	-0,011	0,063
BitFel (tjurved, röta etc)						1	0,042	0,042
Deformation							1	0,044
Vankant, Mekaniska skador								1

Tabell 14. Tabellen visar utfallet vid "verklig" sortering med alla särdrag samt sortering med enskilda särdrags regler för sig och därefter beräknat utbyte. Beräkningen utförd med varje särdrag helt okorrelerad med andra. CEN-sortering av 349 furuplank.

Andel i sort			
Sort	Sorterat, alla särdrag	Okorrelerat beräknat	Skillnad i utfall
0	1%	1%	0,1%
1	13%	10%	2,8%
2	39%	38%	0,8%
3	21%	25%	-3,6%
4	23%	23%	-0,1%
5	3%	2%	0,6%

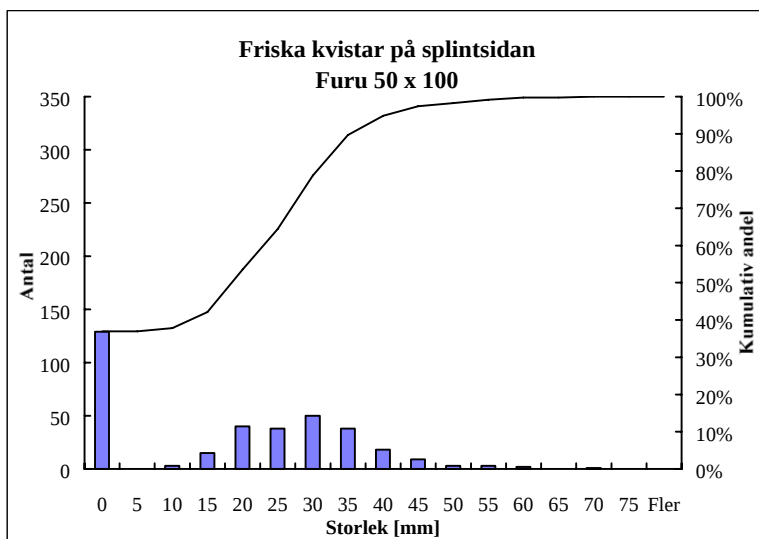
Tabell 15. Korrelationer mellan särdragens samt hela virkesstyckets sorttillhörighet i NT-sortering och CEN-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm.

Korrelationskoefficient	Kvistar, storlek	Kvist sämsta meter, area	Kådlåpa Barkdrag	Spricka	BitFel (tjurved, röta etc)	Deformation	Vankant, Mekaniska skador	Hela biten
Kvistar, storlek	0,739							
Kvist sämsta meter, area		0,466						
Kådlåpa, Barkdrag			0,760					
Spricka				0,849				
BitFel (tjurved, röta etc)					0,840			
Deformation						0,863		
Vankant, Mekaniska skador							0,827	
Hela biten								0,826

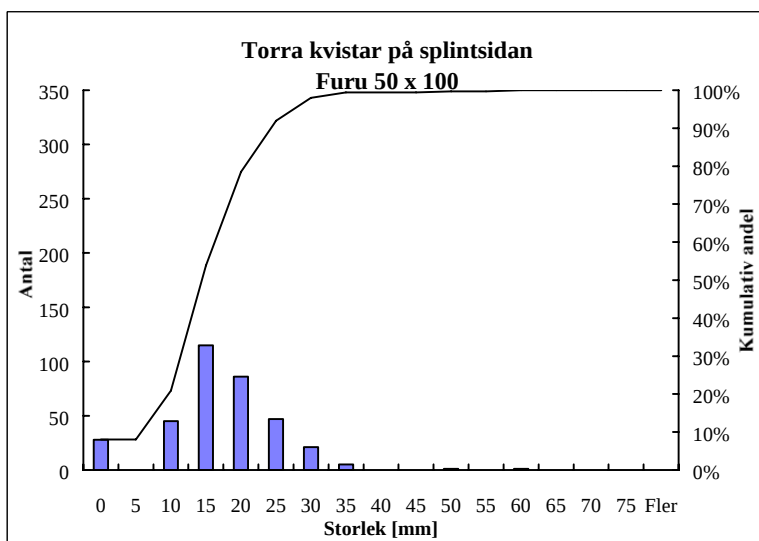
.

18 Sortering anpassad till ”ackumulerat antal”

Antag att man som producent av sågade trävaror har en kund med krav på största friska kvist på flatsidan på 20 mm. Med diagram liknande Figur 58 och Figur 59 kan man få en uppskattning av det förväntade utfallet. I Figur 58, som gäller friska kvistar på splintsidan, är den kumulativa andelen kvistar med storlek mindre än 30 mm (gräns för A i NT) 79%, och andelen med storlek mindre än 20 mm 54%, en minskning av antalet med ca 1/3. I Figur 59, gällande för torra kvistar på splintsidan, är den kumulativa andelen 80% för kvistar mindre än 21 mm och 52% kvistar mindre än 14 mm (70% av friskkviststorleken), även här en minskning av antalet med 1/3. Man kan alltså anta att andelen A-sort skall minska med ca 1/3 vid minskning av tillåten friskkviststorlek från 30 till 20 mm.

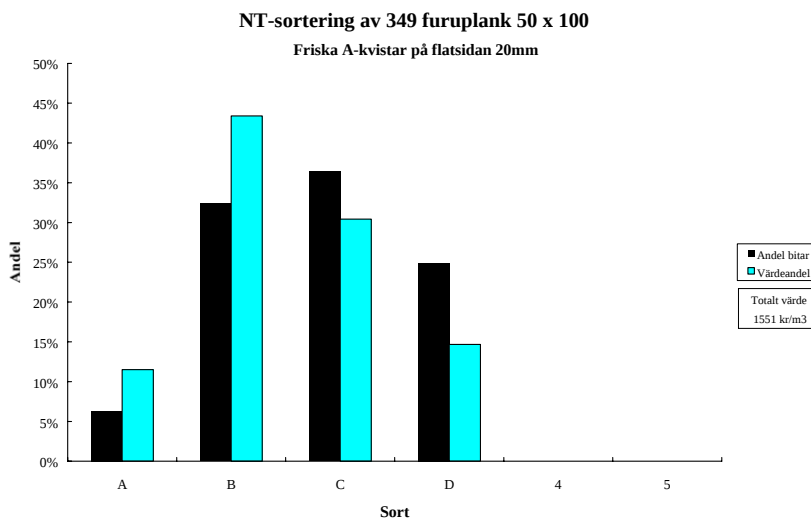


Figur 58. Diagram över storleken på den största friska kvisten på splintsidan på 349 furuplankor sorterade i storleksintervall, antalet kvistar inom storleksintervallet samt den kumulativa fördelningen av kvistarna. Dimension 50 x 100 mm. Antal kvistar är 220 (egentligen plankor med kvist). Samtliga plankor är medräknade i den kumulativa fördelningen.



Figur 59. Diagram över storleken på den största torra kvisten på splintsidan på 349 furuplankor sorterade i storleksintervall, antalet kvistar inom storleksintervallet samt den kumulativa fördelningen av kvistarna. Dimension 50 x 100 mm. Antal kvistar är 321 (egentligen plankor med kvist). Samtliga plankor är medräknade i den kumulativa fördelningen.

I Figur 60 kan man se utfallet då den tillåtna storleken på friska flatsideskvistar satts till 20 mm. Övriga kvisttyper i A-sort har ändrats motsvarande i sorteringsregeln. Reglerna för övriga särdrag är oförändrade. Vid jämförelse med Figur 48 på sidan 85 kan man se att en liten prisändring för sort A och sort B mycket väl kan motivera en ändring i sorteringsreglerna, trots att utfallet i A-sort blir mindre, både i volym och värde. Men eftersom värdet för B-sorten i detta fall ökar mer, är ändringen befogad. I detta fall har tillåten storlek för frisk flatsideskvist minskat från 30 till 20 mm. Övriga kvisttypers tillåtna storlekar har minskat i motsvarande grad (70% eller 50% av friskkviststorleken).



Figur 60. Diagrammet visar utfallet då tillåten storlek på friska flatsideskvistar i A-sort är 20 mm. Medelvärde på partiet är 1551 kr/m³.

Tabell 16 kan jämföras med Tabell 7 på sidan 85 och Figur 60 kan jämföras med Figur 48. Partiets medelvärde har ökat till 1551 kr/m³ jämfört med 1522 kr/m³ för den ordinarie sorteringen.

Tabell 16. Tabell över sortutfallet och värdeutbytet vid sortering enligt Nordiskt Trä med ändrade kviststorlekar för A-sort samt värdeandelen för varje sort.

Nordiskt Trä-sortering av 349 furuplank 50 x 100 mm. NT-regler med kompensation på märgsidan. Tillåten storlek på A-sortens friska flatsideskvistar är 20 mm.							
Antal bitar	Sort	Antal bitar	Andel bitar	Längd [m]	Pris [SEK/m ³]	Värde [SEK]	Värdeandel
Antal bitar av sort	A	22	6%	94,7	2800	1326	12%
Antal bitar av sort	B	113	32%	476,0	2100	4998	43%
Antal bitar av sort	C	127	36%	539,2	1300	3505	30%
Antal bitar av sort	D	87	25%	375,6	900	1690	15%
Summa		349		1485,5		11519	

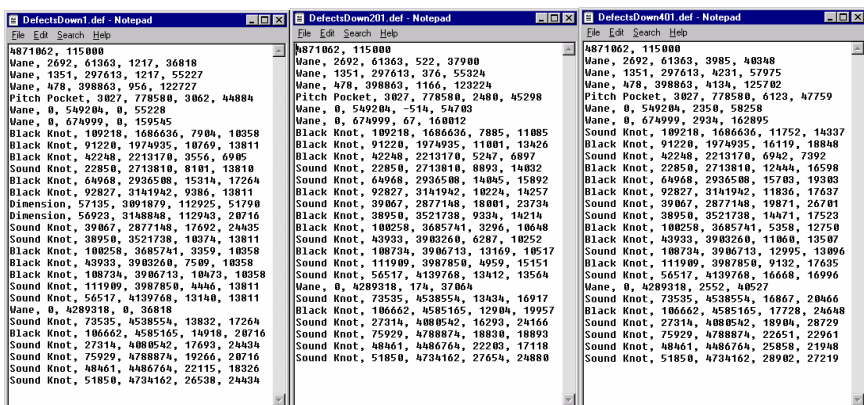
Utfallet i A-sort minskade med drygt 1/3, vilket tyder på att det går att göra en grov uppskattning av sorteringsutfallet med hjälp av kurvan ”ackumulerat antal” i diagrammen för särdragens storlek.

19 Produktionsdatabas

Databasen med produktionsdata är insamlad på ett automatiskt kapoptimeringssystem tillverkat av Innovativ Vision AB. Systemet är en WoodEye2000 som är installerad på en svensk trämanufakturindustri.

Material

Materialet består ursprungligen av 200 plankor i dimensionen 50 x 115 mm, inhandlat som sågfallande från ett antal sågverk. För att utöka virkesmängden för denna simulering har ursprungsmaterialet ”klonats med mutationer”, se Figur 61. Det har gjorts genom att låta defektilerna (en fil per sida, fyra filer per plankor) behandlas i ett av Trätekt utvecklat program, *Defekteditor*. I Defekteditorn kan en valbar andel defekter i varje defektfil byta typ, raderas, minskas eller ökas i storlek med valbar förskjutning och spridning. Alla förändringar bygger på slumpmässighet, vilket innebär att man inte kan välja vilka specifika defekter som skall ändras, utan endast att en viss andel av defekterna skall ändras. Vad gäller storleksändringen sker den på de valda defekterna med vald förskjutning samt en spridning som normalfördelas runt det valda spridningsmåttet. Slumpmässigheten medför att två körningar på samma datafiler inte producerar utdatafiler med samma utseende som resultat. Programmet har även använts för att utreda sårbarheten och robustheten i automatiska sorteringssystem. Exempel på programmets utseende visas i Figur 62, Figur 63 och Figur 64.



Figur 61. Exempel på en defektfil som "klonats och muterats". Ursprungsfilen längst till vänster. I filen anges alla detekterade särdrag på en sida med typ och storlek. Storleken på särdragen anges som de diagonala koordinaterna i en ram.

Defekttyp	Andel
Sound Knot	10
Black Knot	5
Hole	0
Wane	5
Pitch Pocket	10
Crack	0
Large Crack	0
Blue Stain	0
Pith	0

Figur 62. Figuren visar en valmöjlighet i Defekteditorn. I programmet kan man ange hur stor andel av särdragen av vald typ som skall raderas.

Vilka särdrag (exempelvis vilka 3 kvistar av plankans 12) som skall ändras väljs slumpmässigt under körning. På samma sätt beräknas vilka särdrag som skall byta typnamn och storlek.

Defektyp:	Andel:	Till defektyp:
Sound Knot	0	Sound Knot
Black Knot	5	Black Knot
Hole	10	Pith
Wane	0	
Pitch Pocket	0	
Crack	0	
Large Crack	10	
Blue Stain	0	
Pith	0	

Figur 63. Figuren visar en valmöjlighet i Defekteditorn. I programmet kan man ange hur stor andel av särdragen av vald typ som skall ändras samt till vilken annan typ.

Defektyp:	Spidning:	Offset:	Längs	Tvärs
Sound Knot	2	2	☒	☒
Black Knot	5	-3	☒	☒
Hole	5	0	☐	☒
Wane	0	10	☒	☐
Pitch Pocket	0	0	☐	☐
Crack	0	0	☐	☐
Large Crack	0	0	☐	☐
Blue Stain	0	0	☐	☐
Pith	0	0	☐	☐

Figur 64. Figuren visar en valmöjlighet i Defekteditorn. I programmet kan man, i mm, ange hur storleken på de olika särdragen skall förändras. Förändringen kan ske i både längs- och tvärsled.

Sorteringsregler och resultat från sorteringarna

De plankor som finns lagrade i produktionsdatabasen har sorterats enligt nedanstående regler, se Figur 65, vilka överensstämmer i stort med Nordiskt Trä. Plankorna har även sorterats med en grönkvintasort inlagd. I grönkvinta (GV) är tillåten friskkviststorlek på flatsidan satt till 60 mm och på kantsidan 50 mm, medan den tillåtna torrkviststorlek är satt till 10 mm på både flat- och kantsidan. Det motsvarar C-storlek på friskkvist och bättre än A-sort på torrkvist. Man kan alltså anta att plankorna i grönkvinta tas både från A-, B- och C-sort. Resultaten från sorteringarna syns i Figur 66 och Figur 67.

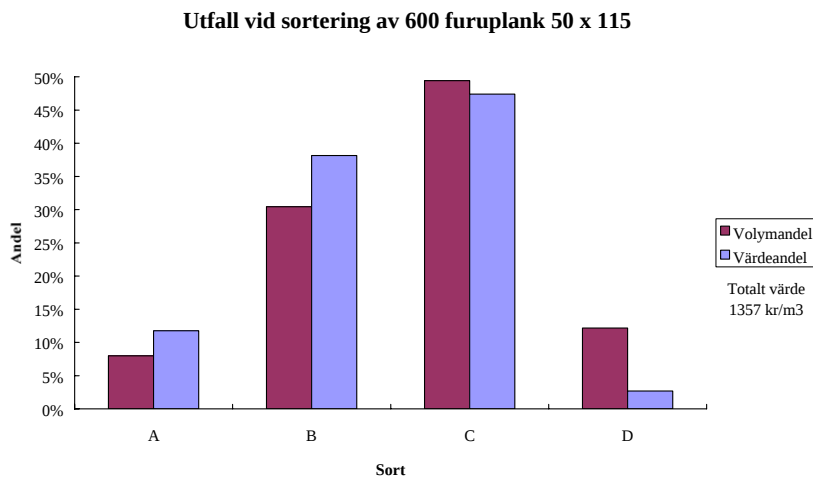
Defect Tests	A Flat 50x115	A Kant 50x115	B Flat 50x115	B Kant 50x115	C Flat 50x115	C Kant 50x115
Sound Knot	30	30	45	40	60	60
Black Knot	20	20	35	30	60	60
Crack	2 x 1000	2 x 1000	2 x 1500	2 x 1500	3 x 3000	3 x 3000
Pitch Pocket	50 x 50	50 x 50	100 x 100	100 x 100	150 x 150	150 x 150
Pith	3 x 150	3 x 150	3 x 150	3 x 150	4 x 300	4 x 300
Wane	10 x 500	10 % x 500	15 x 800	15 % x 800	20 x 2000	20 % x 2000
Hole	0 x 0	0 x 0	0 x 0	0 x 0	15 x 15	15 x 15
Dimension	all	all	all	all	all	all
Blue Stain	0,0 x 0,0	0,0 x 0,0	0,0 x 0,0	0,0 x 0,0	0,0 x 0,0	0,0 x 0,0
Collect	2	2	2	2	2	2

Figur 65. Sorteringsregler vid körning i WE2000. Måtten angivna i mm.

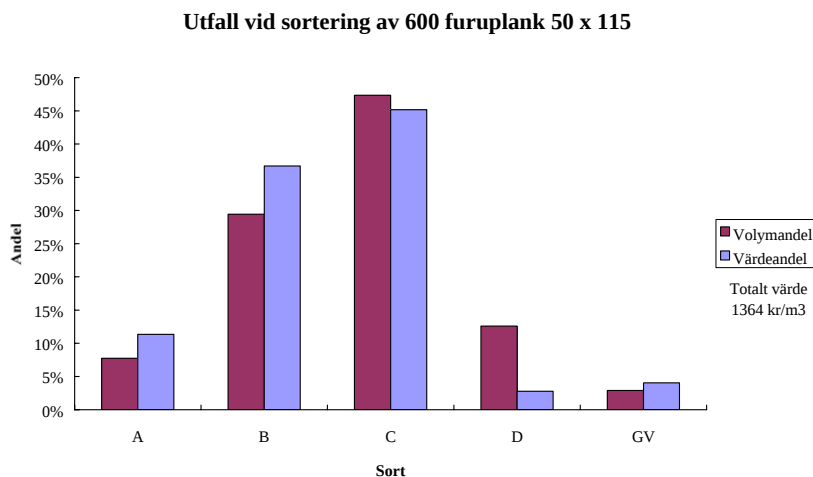
Priserna som ansatts vid sorteringen visas i Tabell 17. Då det i detta fall antogs att ”urplockandet” av grönkvinta ur de övriga sorterna inte skulle störa kundrelationerna, har prisnivåerna för de övriga sorterna inte justerats.

Tabell 17. Priserna som använts vid sortering i produktionsdatabasen.

[SEK]	A	B	C	D	GrönV
Vanlig sortering	2000	1700	1300	300	
Grönkvinta	2000	1700	1300	300	1900



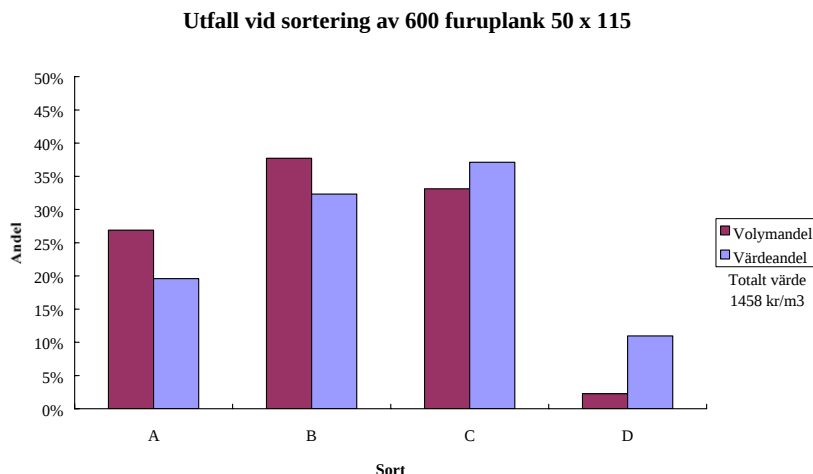
Figur 66. Figuren visar utfallet vid "vanlig" sortering enligt Nordiskt trä. 600 automatiskt sorterade furuplankor i dimension 50 x 115 mm. Medelvärde för partiet är 1357 kr/m³.



Figur 67. Figuren visar utfallet vid grönkvinta-sortering enligt Nordiskt trä. 600 automatiskt sorterade furuplankor i dimension 50 x 115 mm. Medelvärde för partiet är 1364 kr/m³.

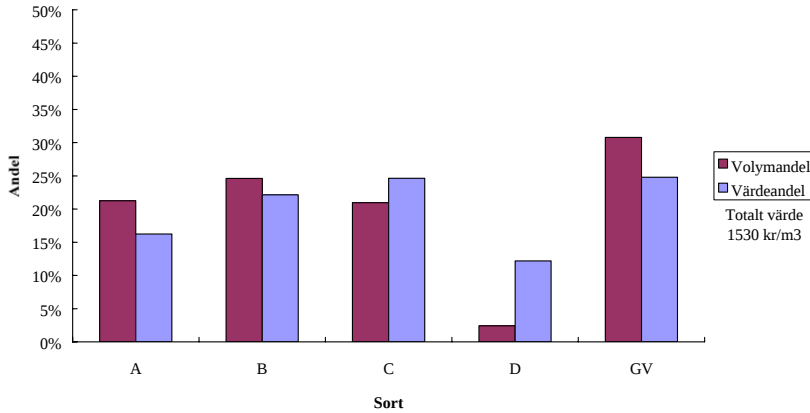
Av dessa sorteringar kan man dra slutsatsen att det i detta fall troligen inte lönar sig att ta ut grönkvinta, eftersom förtjänsten endast är 0,5 %. Med andra sorteringsregler och annan råvara kan det däremot vara lönsamt.

För att pröva den teorin klonades samma material i Defekteditorn, med 90 % av torrkvistarna bortmuterade. Det kan motsvara vad som händer om man har en timmersortering, i vilken friskkviststockar sorteras ut att såga grönkvinta av. Resultatet vid sortering utan och med grönkvinta på den muterade råvara ses i Figur 68 och Figur 69 nedan.



Figur 68. Figuren visar utfallet vid "vanlig" sortering enligt Nordiskt trä. 600 automatiskt sorterade furuplankor i dimension 50 x 115 mm. Före sorteringen har 90 % av torrkvistarna tagits bort. Medelvärde för partiet är 1458 kr/m³.

Utfall vid sortering av 600 furuplank 50 x 115



Figur 69. Figuren visar utfallet vid grönkvinta-sortering enligt Nordiskt Trä. 600 automatiskt sorterade furuplankor i dimension 50 x 115 mm. Före sorteringen har 90 % av torrkvistarna tagits bort. Medelvärde för partiet är 1530 kr/m³.

Tabell 18. Medelvärdet för partiet beroende på råvara och sorteringsregler.

Medelvärde för partiet [kr/m ³]	"Vanlig" Nordiskt Trä- sortering	Grönkvinta- sortering
Ursprungliga plankor	1357	1364
Friskkvistiga	1458	1530

Värdeökningen är ca 13 % för partiet med friskkvistiga plankor som grönkvinta-sorterats jämfört med vanlig sortering av ursprungliga plankor. För partiet med friskkvistiga plankor är värdeökningen ca 5 %, om grönkvinta också sorteras fram. För grönkvintasortering utan försorterade stockar blir värdeökningen endast ca 0,5 %. Värdeökningen för "vanlig" Nordiskt Trä-sortering blir ca 7% om friskkvistiga stockar används vid sågningen jämför med vanliga stockar.

I fallet med sortering av friskkvistvirke syns det i Figur 68 och Figur 69 att grönkvintan tagits från både A-, B- och C-sort. Det kan motivera ett lägre pris på de sorterna, eftersom de urvattnats på plankor med utseende som kunden "är van vid". Å andra sidan kan det vara så att de största kvistarna i B- och C-sort var friska på i övrigt friskkvistiga plankor, och att medelkviststorleken alltså minskat i övriga sorter efter uttag av grönkvinta, vilket kan motivera ett högre pris även på övriga sorter. För att utreda och se om det är möjligt kan man använda den *positiva sortbeskrivningen*, se kapitel 6.1.

Man inser även att utsortering av friskkvistiga stockar innebär att den övriga sågade varan ändrar utseende, jämfört med ett "normalfall" utan kvalitetsstyrd timmersortering. Vad en kvalificerad timmersortering innebär i ekonomiskt utbyte tas inte upp här. Det kan dock antagas att värdeutbytet kan öka betydligt om sortering och optimering kan genomföras i flera led från timmersortering genom råsortering till justerverk, med dubbelriktad kvalitetskoppling och resultatåterföring genom hela förädlingsprocessen.

20 Diskussion och slutsats

Ty där mycken vishet är, där är mycken grämelse; och den som förökar sin insikt, han förökar sin plåga.

Predikaren 1:18.

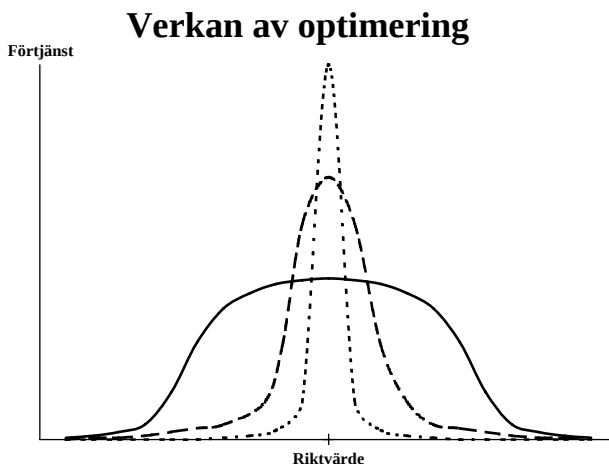
För skogsägaren, liksom för den som köper och tänker använda stockarna, gäller det att aptera stammen på ett så bra sätt som möjligt. Ingen tjänar på att aptera slarvigt och förstöra värdet som finns i stammen. På samma sätt gäller det för sågverket att tillvarata det värde som finns i det köpta timret. Således kan sågverkets optimeringsproblem formuleras som att det i första hand handlar om att *spara* pengar inte om att *tjäna* pengar. Detta skall göras genom att på bästa sätt vårda de inneboende egenskaperna och kvaliteterna som redan köpts, istället för att spolie- ra/förkasta de möjligheter till intäkt som finns. Vanligare är dock att i traditionell vokabulär tala om förtjänst istället för besparing. Det kan möjligen bero på ett ”försäljarorienterat” betraktelsesätt, istället för att se till vad virket bäst kan användas till och vem som är villig att betala för det. Ett sätt att väcka virkets värde är att optimera värdeutbytet genom att ställa de sortbestämmande parametrarna i råvaran och färdigvaran mot olika kundönskemål och olika processparametrar.

När kraftfulla flexibla och ”totaloptimerande” verktyg för optimering av hela verksamheten skall tas i drift, krävs ett engagemang i hela företaget. Det måste finnas någon eldsjäl, som har mandat och resurser att prova sig fram och utveckla metoderna efter de lokala förutsättningarna samt att därefter underhålla och upprätthålla kompetensen, så att optimeringsdata inte föråldras. Detsamma gäller för mindre, ”suboptimerande”, system som exempelvis automatiska sorteringssystem. Även de systemen kräver uppsikt och kontroll.

Optimering i sågverksproduktionen blir med nödvändighet komplicerad, beroende på det stora antalet ingående parametrar, vilket visats bland annat i kapitel 3. Oavsett hur komplicerad eller förenklad optimeringsmodell som används krävs det att modellen underhålls och att sågverket lär sig använda verktyget. För att verktyget skall kunna användas aktivt måste man inse att sågverket inte lever isolerat i en statisk miljö. Parametrarna ändras ständigt och helt andra förhållanden kan gälla (gäller) nästa dag, vecka eller månad.

Med det verktyg som beskrivits i uppsatsen kan man komma en god bit på väg mot en lönsammare sågverksproduktion, genom att man ser att det går att välja eller välja bort vissa produkter i sortimentet.

I Figur 70 ses en schematisk figur över verkan av optimering i olika hög grad, och vad som händer om man siktar mot optimum men inte når ända fram. Y-axeln motsvarar "förtjänst". X-axeln motsvarar "optimeringsparametrarna". Den heldragna linjen motsvarar traditionell styrning *utan skarp* kontroll på styrparametrar. Den streckade och den prickade linjen motsvarar optimering med ökande styrbarhet och precision, men även med större känslighet för störningar.



Figur 70. Schematisk figur över verkan av optimering vid olika skarpa optimeringar. Ett system med trubbiga optimeringsparametrar, heldragen linje, ger mindre optimal förtjänst, men är tåligare mot störningar och dålig styrning än ett hårdare optimerat system, streckad och prickad linje. Ett system med skarpare optimeringar kan däremot ge större förtjänst om det är korrekt styrt.

Man kan se att med en liten optimeringsgrad, heldragen linje, blir ändringen i förtjänst vid avvikelse från optimum, riktvärdet, inte så stor. Med ökande optimeringsgrad, innebärande skarpare parameterstyrning, ökar även förtjänstmöjligheten (besparingen), men förtjänstfallet blir större om man misslyckas med styrningen. Ett system med skarpa optimeringsparametrar blir alltså generellt sett känsligare för störningar än ett med trubbigare. Det skarpare kan däremot ge en högre förtjänst om det styrs optimalt. Ett välutvecklat optimeringssystem bör ha någon form av skyddsnät för att minska fallet vid felaktig styrning. En sådan inbyggd "falldämpare" medför dock att den maximala förtjänsten minskar.

En annan risk vid optimering är att styra mot fel riktvärde. Optimeringen kan då göras helt enligt planerna, men förtjänsten minskar kraftigt eller uteblir helt.

Som exempel på ovanstående resonemang kan ges de värden som presenteras i diagram och tabeller i uppsatsen. De är *inte* att betrakta som allmänt gällande för

hela Sveriges alla sågverk. Om enskilda sågverk optimerar efter de bästa regler som kan framräknas ur diagram och tabeller, styrs optimeringen mot fel riktvärde och ”optimeringen” får inte önskad effekt.

Om det enskilda sågverket däremot samlar data om den egna produktionen kan ett utmärkt material skapas, att utgå från vid förbättring av värdeutbytet. Detta kan ske genom en aktiv styrning av produktmixen genom att justera sorteringsreglerna efter ingående råvara och kundönskemål.

En automatisk sorteringsanläggning för sågat virke är alltså i detta sammanhang mycket mer än bara ett system för att lägga plankor och bräder i rätta sorter. Systemet kan generera ovärderlig information för att utveckla sågverkets uppläggning av sorteringsregler, kundvärdesanalys och försäljningsstrategi.

Uppsatsen visar att en *förbättring* av värdeutbytet för ett sågverk är enkel att åstadkomma med hjälp av rätt verktyg. Det går att utnyttja träets potential om man vet potentialen. För detta krävs att man vet vad som efterfrågas och kan ställa det i relation till vad som kan produceras.

Denna uppsats visar på ett område inom sågverksindustrin som har enorm potential: data- och informationsförädling. För att kunna göra goda affärer måste rätt information finnas tillgänglig i rätt tid i rätt form. Genom att samla in data från de maskiner som ändå genererar dem, kan informationstätheten öka dramatiskt. Genom att raffinera insamlade data på ett intelligent sätt kan en stor mängd information synliggöras och användas, information som annars helt faller bort.

Ett högönskligt tillstånd att uppnå, är att varje sågverk känner sin råvara och sina kunder, så att sågverket praktiskt i vardagen kan förbättra sin situation och tillvarata de möjligheter som finns. Dessa möjligheter är i många fall inte ens fördolda.

21 Framtida forskning

Och för övrigt är utom detta att säga: Min son, låt varna dig! Ingen ände är på det myckna bokskrivandet, och mycket studerande gör kroppen trött.

Predikaren 12:12.

Fortsatt forskning bör inriktas på avancerad optimering av hela träkedjan, från apteringen av timret till färdig produkt, och inte nöja sig med enstaka fristående länkar.

På detaljnivå har man länge kunnat studera och optimera små delar av flödet i träkedjan. Optimering i hela kedjan har däremot varit svårt, för att inte säga omöjligt, annat än på en högt aggregerad nivå. Med dagens databasteknik och med teknik för automatisk spårning av virke, är det inte längre utopiskt att samla in data om (bland annat) skogsförhållanden, avverkning, transport, inmätning, sönderdelning, torkning, sortering, försäljning och slutanvändning. Det finns alltså inte längre några egentliga tekniska hinder. Hindren är snarare ekonomiska och mentala: det kostar mycket pengar och andra resurser att bygga upp och utveckla kompetens inom området; innan det finns uppvisade resultat är intresset svalt att satsa medel på ett nytt område.

De länkar i kedjan som är intressanta att koppla ihop är exempelvis: stamdata – timmermätning – sågmönster – torkning – egenskaper på sågvaran – användningsområde – försäljning.

Med information från dessa besluts- och bedömningstillfällen gäller det för sågverket att optimera sin råvaruanvändning och sina produktionsresurser i förhållande till de kundvärden som kan skapas. Dessutom skall sågverket kunna ta betalt för dessa värden. Allt med syftet uthållig lönsamhet.

En gigantisk utmaning för forskning och utveckling!

22 Litteraturreferenser

Anon, 1982

Sortering av sågat virke av furu och gran
Stockholm, Föreningen svenska sågverksmän

Anon 1, 1991

SIS 23 27 11, Sågat virke. Dimensioner
SIS - Standardiseringskommissionen i Sverige

Anon 2, 1991

SS 23 27 40, Trävaror - Sågat och hyvlat virke av barrträ - Fuktkvot
SIS - Standardiseringskommissionen i Sverige

Anon, 1994

Nordiskt trä, Sorteringsregler för sågat virke av furu och gran
Stockholm, Föreningen svenska sågverksmän

Anon 1, 1996

SCAN information, <http://www.scan/scansite/djurenger>

Anon 2, 1996

Final draft, prEN 1313-1 Round and sawn timber - Permitted deviations and preferred sizes - Part 1: Softwood sawn timber
CEN

Anon, 1997

EN 1310 Trävaror – Rundvirke och sågat virke – Mätning av särdrag
CEN

Anon, 1998

Final draft, prEN 1611-1, Sawn timber - Apperance grading of softwoods. Part 1: European spruces, firs, pines and Douglas fir
CEN

Anon, 2000

Nordiskt kvalitetsspråk för träbranschen - Barrträ
Stockholm, AB Träteknik, Institutet för träteknisk forskning

Bentham J, 1781, 1996

An Introduction to the Principles of Morals and Legislation

The Internet Encyclopedia of Philosophy

<http://www.utm.edu/research/iep/text/bentham/bentpri.htm>

Brundin J, Thunell B, 1973

Sorteringsregler för sågade trävaror

STFI-meddelande A 233

Stockholm, STFI

Casselbrant S, Rydell R, 1998

Uppbyggnad av kvalitetsdatabaser genom provsorteringar av sågade trävaror –
underlag vid utarbetandet av europastandard för handelssortering

Rapport I-9903008

Stockholm, AB Träteknik, Institutet för träteknisk forskning

Elowson T, 1984

Ändamålsanpassat sorteringssystem för sågade trävaror

SLU, Institutionen för virkeslära. Rapport 0153

Uppsala, SLU

Elowson T, Lundgren M, 1980

Ändamålsanpassad sortering av sågade och hyvlade trävaror, Eurograding

STU-information nr 190-1980

Gonzalez C G, Woods R E, 1992

Digital Image Processing

Addison-Wesley publishing company, Reading

Gustafsson C, 1983

Efficiency and Related Rules for Organizational Action

Int. Studies of Man & Org. Vol XIII No 3

ME Sharpe, Inc

Grönlund U, 1995

Quality Improvements in Forest Products Industry – Classification of biological
materials with inherent variations

LuTH, Division of quality technology and statistics Doctoral Thesis 1995:172 D

Luleå, Luleå University of Technology

- Hagman O, 1996
On Reflections of Wood – Wood Quality Features Modelled by Means of
Multivariate Image Projections to Latent Structures in Multispectral Images
Doctoral thesis 1996:198 D
Luleå, Luleå University of Technology
- Hallonborg U, 1976
Om skärpan vid visuell virkessortering
STFI-meddelande A 397
Stockholm, STFI
- Liljeblad Å, Lycken A, Rosenkilde A, Uusijärvi R, 1998
Utökade funktioner vid automatisk sortering av sågat virke – Förutsättningar och
möjligheter
Rapport L 9803012
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning
- Liljeblad Å, Lycken A, Uusijärvi R, 1998
Sortering vid automatisk råsortering – SVAR
Rapport P 9812091
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning
- Liljeblad Å, Lycken A, Uusijärvi R, 1999a
Optimering av produktmix
Rapport P 9903012
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning
- Liljeblad Å, Lycken A, Uusijärvi R, 1999b
Paketspecifikation. Beskrivning av en metod
Rapport P 9903013
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning
- Lycken A, Uusijärvi R, Hagman O, Åstrand E, 1994
Automatoptimering av sågat virke – sammanfattning av AO-projektet perioden
920101-931031
Rapport L 9402005
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning
- Möller J, 1983
Product Mix Analysis, Slutrapport från en förstudie
CIM-report No: 83:05
Göteborg, Chalmers tekniska högskola, Institutionen för Industriell organisation

Sipi M, 1995

The Essential Differences of Nordic Timber Grading Rules and Instructions for the Grading of Export Timber

Tiedonanto 66

Teknillinen korkeakoulu, Puunjalostustekniikan laios, Puutekniikan laboratorio
Helsingfors

Thunell B, 1971

Nu ska vi välja virket med maskin

STFI-meddelande A 142

Stockholm, STFI

Thunell B, 1976

Kan virkesklassificeringen göras rationellare?

STFI-meddelande A 395

Stockholm, STFI

Uusijärvi R, Usenius A, 1997

Spårbarhet – Slutrapport i ett Nordic Wood projekt

Rapport L 9706061

Stockholm, AB Träteknik, Institutet för träteknisk forskning

Warensjö M, Jäppinen A, 1997

Såg 95, del 2

Sågverkens utrustning, produktivitet sågutbyten mm 1995

SLU, Institutionen för virkeslära, Rapport nr 252, 1997

Uppsala, SLU

Åstrand E, 1996

Automatic Inspection of Sawn Wood, Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations no 424. Department of Electrical Engineering

Linköping, Linköping University

23 Annan litteratur att läsa i ämnet

Arlinger J D, Spångberg K, 1993

Kompopt. En utvärdering av ett optimeringsprogram för framsågning av ämnen
SLU, Skoglig marknadsinriktning. Examens- och seminariearbeten 093
Uppsala, SLU

Brundin J, Thunell B, 1971

Sortering av sågade trävaror : utbyte vid alternativa sorteringsprinciper
STFI-meddelande B 67
Stockholm, STFI

Bryan E L, 1996

The best possible sawmill : guidebook for the high-tech journey ahead
San Francisco, Miller Freeman

Holmberg H, Sandberg D , 1995

Kvistars frekvens, form och beskaffenhet i trekantprofil av furu (*Pinus silvestris*
L) och gran (*Picea abies* Karst).
KTH, Träteknologi, Inst för produktionsstyrelse avd för Träteknologi
TRITA-TRÄ R-95-12
Stockholm, KTH

Johannesson B, Johansson C-J, 1983

Typprovning av träkonstruktioner: regler och kommentarer
Borås, SP

Lampinen J, Smolander S, 1994

Wood Defect Recognition: A Comparative Study
Proceedings Workshop on Machine Vision for advanced production, Oulu, Finland, June 2-3 1994
Oulu, Finland

Lycken A, Rudolfsson L, Uusijärvi R, 1998

Metodik för kvalitetssäkring av produkter från automatisk virkessortering
Trätek Rapport L 9810065
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning

Lycken A, 1999
On some important things in scanning and evaluation of wood scanning systems
Trätek Rapport L 9901003
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning,

Lycken A, Uusijärvi R, 1997
Utvärdering av system för automatisk sortering av trävaror. Beskrivning av problem och teorier
Trätek Rapport L 9706063
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning

Lycken A, 1997
Utvärdering av system för automatisk sortering av trävaror. Beskrivning av praktiska studier
Trätek Rapport L 9706065
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning

Reed J E., Massey J G, 1996
Using Customer-driven Information to Add Value to Lumber
Forest Products Journal, Vol 46 No 10, 1996

Rydell R, Elowson T, 1988
Ändamålsanpassat virke för fönster: förslag till sorteringsregler och resultat av provsorteringar
Trätek Rapport I 8804032
Stockholm, AB Trätek, Institutet för träteknisk forskning

Thunell B, 1969
On the premises for mechanical grading of timber
STFI-meddelande A 34
Stockholm, STFI

Thunell B, 1972
Developments in timber grading
STFI-meddelande A 169
Stockholm, STFI

Thunell B, 1973
Fakta om virkessorteringsmetoder
STFI-meddelande A 232
Stockholm, STFI

Thunell B, 1980
Principles and methods to determine lumber quality
KTH, Träteknologi. Rapport 0004
Stockholm, KTH

Thunell B, 1982
Grading errors in practice
KTH, Träteknologi. Rapport 0014
Stockholm, KTH

Thunell B, 1985
What should we claim on a lumber grading installation?
KTH, Träteknologi. Rapport 0032
Stockholm, KTH

Weslien H, 1983
Värdeklassificering av sågtimmer med objektiva mätbara faktorer : 1 : klassificering av talltimmer
SLU, Institutionen för virkeslära. Rapport 0140
Uppsala, SLU

Weslien H, 1983
Värdeklassificering av sågtimmer med objektiva mätbara faktorer: 2: klassificering av gransågtimmer
SLU, Institutionen för virkeslära. Rapport 0141
Uppsala, SLU

Paper II

Comparison between automatic and manual quality grading of sawn softwood

Anders Lycken

Abstract

An investigation has been performed to determine the repeatability and the accuracy of automatic and manual grading in a sawmill's final grading station. In total, approximately 400 boards of pine (*Pinus sylvestris* L) and spruce (*Picea abies*) of different dimensions are included in the study. The most common automatic grading system for sawmills in the Nordic countries is studied. The study shows that in many cases it is possible to replace manual graders with an automatic system and, at the same time, make production more effective and improve grading, which results in higher value yield. The value yield produced by the automatic system is over 90 percent (91% to 98%) for both boards and planks for both species. The manual grader reached over 92 percent value yield for planks, but only 83 percent for boards. The quality yield for the automatic system is between 52 and 75 percent. The manual grader reached between 31 and 61 percent. The repeatability for the value yield varied between 85 and 96 percent for the manual grader and between 85 and 94 percent for the system. An overshadowing problem in this kind of study is how to obtain an irrefutably true grading result, as all grading of wood is subjective by nature.

The author is a PhD student, Luleå Univ. of Technology, Div. of Wood Technology, Skellefteå Campus, Skellefteå, Sweden (Anders.Lycken@sp.se). This paper was received for publication in February 2004. Article No. 9843.

©Forest Products Society 2006.

Forest Prod. J. 56(4):

In connection to the introduction of systems for automatic grading and sorting in sawmills, it is becoming more and more interesting to know how well human graders can stand up to the competition from automatic systems. In the Nordic countries, automatic systems for sorting and grading have become common in secondary processing, where they function as cutting optimizers, and in sawmills, where they function as green sorters. Functional systems for final grading in sawmills have not been commercially available until the last few years. Depending on wood species, type of defects, grading rules, user interface, and other demands, the time from installation to full production can take from a few days up to several months, as the problems of fine tuning the systems vary.

By tradition, there has normally not been any quality grading in the green sorting station, the sorting of undried sawn wood. The sorting performed on green timber is has been based only on dimension, i.e., thickness, width, and sometimes length. Manual quality grading is very seldom performed on green timber. By quality grading green timber, it is possible to direct the lumber to the right kiln dryer and drying program according to quality. The final quality grading is performed in the final sorting station. The reasons for investing in automatic grading systems for final grading vary from sawmill to sawmill. The main reasons are to make grading more homogenous and to create a more flexible way to set and maintain the many complicated grading rules. The grading rules are mostly based on Nordic Timber rules (Anon. 1994) or the older rules, called the Green Book (Anon. 1980). Sawmills have their own interpretation of the rules according to customer needs. After grading, the boards are stamped with suitable shipping marks.

The final grading takes place after drying of the timber. Each board is fed in front of the grader, or into the grading system. The boards are inspected on all four sides, and the features such as knots, cracks, wane, etc., are recognized and classified. A decision on economical revenue in proportion to length and quality has to be taken before the next board is fed into view. The grader or the grading system has to decide on cutting position in both ends of the board and the quality of the remaining board to make the most economical choice for each board. For the manual grader, the time for inspection and decision is approximately 2 to 3 seconds per board. Some automatic systems are able to run at speeds of up to 180 boards per minute, which is up to 9 times faster than the human grader.

A number of studies have been performed on grading accuracy, but only a few have been published. There is only a little information on appearance grading of sawn softwood in the sawmill. The main part of the published material is about hardwood grading and optimization or secondary processing (Huber et al. 1985; Klinkhachorn et al. 1989; Huber et al. 1990; Regalado et al. 1992a, 1992b; Kline et al. 2000; Buehlmann and Thomas 2002; Kline et al. 2003) or strength grading (Thunell 1969, 1972, 1973, 1980, 1982, 1985; Wagner et al. 1991; Zeng et al. 1996) or grading of logs in relation to lumber quality (Jäppinen 2000; Lemieux et al. 2000; Oja et al. 2001, 2002, 2003; Chiorescu and Grönlund 2003). Of course, some of the results are applicable also to appearance grading of softwoods (Grönlund and Broman 1995, Hagman 1996, Lycken 2000). Only very few compare different grading systems or graders (Grönlund 1995).

The studies regarding grading accuracy, performed more or less regularly at the sawmills, are often very simple and mostly consist of checking a number of ready-made packages to see that the graders are at the same level and that not too many pieces are off grade. The Nordic Timber grading rules state, “at least 90% of the pieces in the batch shall not have wood features with values exceeding the maximum permitted values for a contracted GRADE” (Anon. 1994). By checking the lumber this way, it is impossible to see the real cost

of grading errors. That is because the cutoff pieces are chipped and the possibility to see an alternative cutting position starting from the whole board is wasted. If the board is uncut at the time of judging, it is possible to evaluate whether the grader's decision is accurate and optimal.

When discussing the matter of grading error with sawmill managers and personnel, the general impression is that a good grader is correct up to approximately 80 percent over time and a normal grader around 60 to 70 percent, which is in line with other studies, where rough mill employees performed at 68 percent of perfect (Huber et al. 1985) and where value recovery was between 62 and 78 percent (Regalado et al. 1992a).

As it is with almost every test situation, the problem with "correct" and subjectivity arises when grading lumber. Subjectivity has been a norm in the older Swedish grading rules, which stated that "A piece having a minor such defect as would place it in a lower grade may, nevertheless, remain in the higher grade if, in respect of other defects, it can be classed among the best pieces within that grade" (Anon. 1980). The problem with borderline defects has been reported in Kline et al. (2000) and Lycken (2000), while the problem with subjectivity and exactitude is expressed in Kline et al. (2003) and Huber et al. (1990).

Objective

The objective of the study was to examine a way to determine the accuracy and repeatability of automatic grading systems for final grading of dried lumber in sawmills and to compare one of the existing systems with manual graders. By doing that, it is possible to set the right demands when planning for investment in grading systems as well as to point out where system development needs an extra push. This paper does not cover the issue of investment costs, but it is intended to be a help to calculate the cost of grading differences between automatic and manual grading.

Materials and methods

In this study, one system for automatic grading was investigated and compared to a manual grader. The tests were performed at a Swedish sawmill during the spring of 2003. The system has transverse feeding and needs a turning device to be able to scan all four sides of the board. In one scanning station one face and the two edges are scanned; in the other scanning station the other face side is scanned. The system is installed as a final grading system in line with three manual graders as a complement. When the sawmill is confident in the function and all the different grading rules have been tested and tuned, the manual graders will be relieved.

Material

All material was taken from the running production. In the study, 100 boards of spruce (*Picea abies*) dimensioned 50 by 125 mm, 100 boards of spruce dimensioned 22 by 100 mm, 100 boards of pine (*Pinus sylvestris* L) dimensioned 63 by 125 mm and 100 boards of pine dimensioned 25 by 125 mm were used. Due to some difficulties during the test, not all boards made it to the end. The exact number in each test group is shown in **Table 1**. In addition to that, 20 boards of pine 25 by 175 mm were used for repetition tests.

The moisture content was 18 percent for all boards.

Grading rules

The grading rules used in the test were rules for appearance grading similar to the Nordic Timber grading rules (Anon. 1994) in the following sense: the allowed defect sizes are, according to the dimension of the lumber, defined in millimeters or part of board width, thickness, or length, and the grading system is hierarchical (Lycken 2000), i.e., a lower grade allows defects the same size or larger than those of a better grade. The intention of Nordic Timber is that “Numerical limit values have been given to all measurable features” (Anon. 1994). The number of grades in Nordic Timber is up to seven. In the present case, four different grades were used. Generally, the more grades used, the harder it is to grade the pieces correctly (Lycken 2000). The grade of a board is “determined on the basis of the number, location, type, and the maximum permitted values of the wood features according to the tables” (Anon. 1994). In addition, the Nordic Timber rules contain the following directions (Anon. 1994, p. 21):

- Each side of the piece shall be graded separately;
- The maximum values of wood features which in each GRADE are permitted on the worst one meter of length are given in the tables;
- The GRADE is decided on the basis of the outside face and both edges;
- The inside face may be one GRADE lower.

Table 2 shows the allowed knot sizes for the different grades and dimensions in Nordic Timber. The rules for other features are defined in similar ways. The actual limits used in the test are company secrets. The boards may be cut at both ends to eliminate downgrading defects in order to increase the quality of the remaining board and maximize value. No actual cuts were made during the test, but the cutting positions were registered. Up to a 15-cm difference between runs and between actual and optimal cut is considered as acceptable

Methods

The grading test can be divided into four components:

1. Grading accuracy for manual grading at production speed;
2. Grading accuracy for the automatic grading system;
3. Repeatability for the manual graders at production speed;
4. Repeatability for the automatic grading system.

All 420 pieces were numbered, fed through the system, and in front of the manual grader. This was repeated once for the planks, so they were graded two times. The 20 boards of pine 25 by 175 mm were run 3 times through the system and manual grading. “Free lengths” were used in the test, which means that cuts are allowed at any length. No actual cuts were made. In the system, all defect files were saved for all boards. By this means, it is possible to check the grading and see why the system behaved as it did. The system is designed to recognize defects such as knots of different types, cracks, scar, wane, and bark.

The grading rules were supposed to be the same for both the system and the manual grading, but the rules actually used by the manual grader are impossible to know, as the ones used in practice always are interpretations of the written rules.

The feed speed through the system and in front of the three manual grading chairs was approximately 60 carriers per minute. With one board on every third carrier, the speed for the manual grader in operation was 20 boards per minute, which is the normal speed for a manual grader. The automatic system was able to run up to 140 boards per minute.

To get optimal grading, the boards were graded manually between run 1 and run 2 by the sawmill's head grader together with one other grader, the system manufacturer and the test leader, a total of four people. The decisions were taken unanimously. The use of this method opens possibilities to say if the system was right or wrong in its decision, and also why. In the attempt to establish the irrefutable truth, all help was used, such as written grading rules, caliper, measuring tape, etc. As stated earlier, grading is always subjective in some ways. On almost every board there is at least one defect that that "might" downgrade the board, but other factors will affect that decision. In Lycken (2000), examples are shown of how borderline defects can change the quality yield by as much as 15 to 20 percent, depending on how they are treated. The value yield does not vary as much.

The assumption of the test was that borderline defects were to be treated in favor of the system, which was done in most cases. The manual grading did not enjoy that favor to the same extent. In test run 2, no favor was given.

Calculations

To calculate the *repeatability* of the runs, the following formulas were used:

The repeatability, R_v , for the value of the batch is calculated as:

$$R_v = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m r_{vk} \quad (1)$$

where

k = number of the board;

m = total amount of boards;

r_v = repeatability for individual board.

$$r_v = 1 - s/M \quad (2)$$

where

s = standard deviation for the value for each individual board;

M = mean value for the value for each individual board.

The repeatability, R_D , for length, quality, and defect detection can be calculated as:

$$R_D = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m R_{dl} \quad (3)$$

where

$$R_{dl} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{lkj} * 100\% \quad \text{where } \delta_{lkj} = \begin{cases} 1 & \text{if } d_{lk} = d_{lj} \text{ and } j \neq k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

where

R_{dl} = repeatability for individual board;

δ = individual board;

d = quality (length, defect, etc.);

j = run number;

k = run number;

l = board number;

m = total amount of boards;
 n = total amount of runs.

When calculating repeatability, the correctness of the grading decision is not considered. A 100 percent repeatability level can be reached if all boards in a test are given the same grade, length, and value, regardless of whether everything is totally wrong.

The value yield, Y_b , for each board is calculated as:

$$Y_b = \frac{O - |V - O|}{O} \quad (5)$$

where

O = optimal value;

V = assumed value of the board (automatic or manual grading);

$|V - O|$ = the unsigned difference between the two values.

Every board that is classified different from the optimal receives a value yield less than optimal, regardless of whether the assumed value is higher or lower than optimal. The value yield can thus never be more than 100 percent, and the direction of the error is insignificant.

The value yield for the batch, Y_B , is calculated as the average of the boards' yields:

$$Y_B = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m Y_b \quad (6)$$

where

Y_b = value yield for each board;

l = board number;

m = total amount of boards.

The quality yield for a batch is calculated as the amount of correctly graded boards divided by the total amount of boards. A board is regarded as correct quality if it is of the same grade and is the same length as or shorter than the optimal length. If a higher quality board is placed in a lower grade, it is considered incorrectly graded, as is the reverse. In this study, an approved board has to be strictly on grade.

$$\text{Quality yield} = \text{Number of approved boards} / \text{Total number of boards} \quad (7)$$

Results

As shown in **Figure 1**, the value yield for the automatic grading system in run 1 was between 91 and 98 percent, depending on species and dimension. For manual grading, the value yield varied between 83 and 92 percent. In run 2, the value yield was between 87 and 92 percent for the automatic grading system and between 82 and 88 percent for the manual grader.

Figure 2 shows that the quality yield is much lower for the manual grader than for the automatic system except for pine 63 by 125 mm in run 2. The quality yield is also lower than the value yield. In run 1 the quality yield for the automatic grading system varied between 66 percent and 93 percent. For manual grading, the quality yield varied between 36 percent and 60 percent. In run 2 the variation was 52 percent to 54 percent for the automatic grading system and 31 percent to 61 percent for the manual grader.

It turned out that there were disproportionately more oil stains on the boards in this study, compared to boards in normal production, due to handling procedures during the test. It also turned out that some boards had been graded wrong by the system due to rot, both actual rot and “ghost” rot. As the system was not fully trimmed to distinguish rot from other features, such as heartwood and annual rings, an adjustment was made in which the boards were graded without taking rot and extra oil into consideration. The results from the adjusted gradings are 2 to 3 percent better than the results presented in **Figure 1**.

The results from the repeatability test are shown in **Figure 3**. The value yield varied between 85 and 96 percent for the manual grader and between 85 and 94 percent for the automatic grading system. The automatic grading system had 80 percent of the 20 boards of pine 25 by 175 mm in the same quality all three runs; 90 percent were in the same quality in 2 out of 3 runs. The manual grader had 90 percent of the boards in the same quality all three runs; 100 percent were in the same quality 2 out of 3 runs.

Discussion

This study shows that in many cases it is possible to replace the manual grader with an automatic system. The output will probably not be the same, but not necessarily wrong. This study is to be used as a basis for discussion about how good automatic grading is compared to manual grading. During the test, it was obvious that the choice of test material matters to a great extent. A “difficult” material with a lot of hard-to-define knots will probably give other results compared to an “easy” material. In this test, we tried to get a representative sample of boards from the ordinary production, but found that due to drying at higher temperature than normal, the resin in the knots formed drops that could be mistaken for knots. This was to some extent taken into consideration in calculating the result. Another factor in run 2 is that the boards were mistreated during handling and “ghost” defects such as dirt, oil stains, and chain marks were introduced, which made the grading results appear worse than they really were. In real production, the handling is gentler and the number of ghost defects is smaller.

After the test, the manufacturer of the automatic grading system reprogrammed the defect-detection algorithm, and the boards were graded in a simulation. This time the value repeatability for pine 63 by 125 mm was close to 100 percent, and quality repeatability was 97 percent.

As seen in **Figures 1 and 2**, the value yield can differ considerably from the quality yield. That is because the quality yield is binary, 0 or 1, for each piece of lumber, whereas the value yield is analogue, 0 to 100 percent. The assumed grade for a board can be B of a certain length, while the optimum is grade A of a shorter length. For that board, the value yield can be well over 90 percent, but the quality yield is 0 percent.

When comparing systems for grading, it is important to choose the right grading rules and to be aware of what the system is supposed to manage. The test method must have defined whether all defects included in the rules are to be regarded, or only the ones the system is able to detect. If defects that the system is unable to detect are visible on the board, the test method must define whether such defects are to be ignored or recognized. It is possible to make two calculations of the performance: one “relative” that states the system performance in relation to what it is supposed to do, and one “absolute” that states the system performance without considering the system’s limitations. As wood grading is “subjective” work, it is important that all persons involved in the test be aware of the meaning of the grading rules. One of the most crucial points in doing tests like these is to establish an indisputable truth, or at least a trustworthy solution, that all participants can agree upon.

The automatic system in this test is doing very well compared to the manual grader when compared in a production line with ordinary grading rules and normal material to grade. The manual grader is able to see and classify unusual “new” defects better than the system. The automatic system needs to have every defect type specified, whereas the human grader can make a decision based on common sense. If the lumber contains many boards with defects that are hard to define, automation can be a difficult task. If, on the other hand, the properties of the lumber are well defined and the grading rules are defined, tested, and approved, the automatic system can replace the often tiresome and monotonous work of manual grading with a very good result.

Problems might arise when a small temporary change in the rules has to be made. It is easy to tell a grader to “allow slightly larger knots on the edges but not so much wane” if you need a change just for a small amount of lumber. In some automatic systems it is necessary to make a definition of a new grade, which might take a long time if the user interface is not fully developed to be user friendly. On the other hand, grading rules are often very complicated and difficult to simplify. If all degrees of freedom are to be allowed, the system is hard to grasp thoroughly. A general simplification of the grading rules would also make the interface easier to simplify.

After a change in the grading rules, it is not certain that the human grader will stay on the right track. It is very easy to fall back into old routines and thoughts, so a change might not be in effect for very long. Industrial experience shows that human graders tend to produce similar quality distribution regardless of incoming material, which means that when the timber is of “good quality,” the “lower” grades are better than when the timber has a lot of defects.

A change in the system’s rules will stay in effect until the next change. By using automatic grading systems, it is possible to collect data and information about the material and processes for control of raw material, yield, and machine behavior.

As with all automatic systems, the need for human supervision is not excluded. There have to be routines for cleaning and maintenance. It is not possible to “set and forget” a system.

Conclusion

According to these results, it is possible to replace manual grading with an automatic grading system. In the tests, the automatic system slightly outperformed the human graders in value repeatability, quality yield, and value yield for spruce planks, while the manual grading was better for pine planks. The differences were larger for the boards, both spruce and pine, where the system was much more accurate than the manual grader.

It is easier to automatically grade spruce than pine. The study shows, however, that an adjustment of the defect detection algorithm can make the system almost 100 percent correct even for pine planks. What was not analyzed in this study was what happens if timber with a different appearance is to be graded. The robustness of the system was never tested. More tests need to be done to verify the accuracy and robustness over a longer time.

One of the main problems involved in grading tests is to establish the irrefutable grading truth. To accomplish that, great thoroughness is required.

Literature cited

- Anonymous. 1980. Guiding principles for grading of Swedish sawn timber. (The Green Book.) The Assoc. of Swedish Sawmillmen, Stockholm, Sweden.
- Anonymous. 1994. Nordic Timber, grading rules for sawn wood. The Assoc. of Swedish Sawmillmen, Stockholm Sweden.
- Buehlmann, U. and R.E. Thomas. 2002. Impact of human error on lumber yield in rough mills. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 18:197-203.
- Chiorescu, S. and A. Grönlund. 2003. The visual grading system for Scots pine logs in relation to the quality of sideboards produced. *Forest Prod. J.* 53(1):53-60.
- Grönlund, U. 1995. Quality improvements in forest products industry - Classification of biological materials with inherent variations. Doctoral thesis. 1995:172 D. Luleå Univ. of Tech., Luleå, Sweden.
- Grönlund, U. and O. Broman. 1995. Relations between wood properties and manual grading - An approach based on multivariate analysis. *Holz als Roh- und Werkstoff* 53:413-420.
- Hagman, P.O.G. 1996. On reflections of wood - Wood quality features modelled by means of multivariate image projections to latent structures in multispectral images. Doctoral thesis. 1996:198 D. Luleå Univ. of Tech., Luleå, Sweden.
- Huber, H.A., C.W. McMillin, and J.P. McKinney. 1985. Lumber defect detection abilities of furniture rough mill employees. *Forest Prod. J.* 35(11/12):79-82.
- Huber, H.A., S. Ruddel, and C.W. McMillin. 1990. Industry standards for recognition of marginal wood defects. *Forest Prod. J.* 40(3):30-34.
- Jäppinen, A. 2000. Automatic sorting of sawlogs by grade. *Silvestria* 139. Doctoral thesis. Swedish Univ. of Agri. Sci., Uppsala, Sweden.
- Kline, D.E., C. Surak, and P.A. Araman. 2000. Evaluation of a multi-sensor machine vision system for automated hardwood lumber grading. In: *Proc. 4th Inter. Conf. on Image Processing and Scanning of Wood*. pp. 75-87.
- Kline, D.E., C. Surak, and P.A. Araman. 2003. Automated hardwood lumber grading using a multiple sensor machine vision technology. *Computers and Electronics in Agri.* 41(1-3):139-155.
- Klinkhachorn, P., J.P. Franklin, C.W. McMillin, and H.A. Huber. 1989. ALPS: Yield optimization cutting program. *Forest Prod. J.* 39(3):53-56.
- Lemieux, H., M. Beaudoin, and F. Grondin. 2000. A model for the sawing and grading of lumber according to knots. *Wood and Fiber Sci.* 32(2):179-188.
- Lycken, A. 2000. Sortering och produktmix inom trävaruindustrin - Analys av sorteringssimuleringar. (Sorting and product mix in the wood industry - Analysis of simulated sortings). Licentiate thesis. Trita-Trä R-00-45. Royal Inst. of Tech., Dept. of Wood Tech., Stockholm, Sweden. (in Swedish).
- Oja, J., S. Grundberg, and A. Grönlund. 2001. Predicting the stiffness of sawn products by X-ray scanning of Norway Spruce saw logs. *Scand. J. Forest Res.* 16(1):88-96.
- Oja, J., S. Grundberg, J. Fredriksson, and P. Berg. 2002. Automatic grading of saw logs: A comparison between X-ray scanning, optical 3D-scanning and combinations of both methods. *Scand. J. Forest Res.* 19(1):89-95.

- Oja, J., L. Wallbäcks, S. Grundberg, E. Hägerdal, and A. Grönlund. 2003. Automatic grading of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sawlogs using an industrial X-ray scanner. *Computers and Electronics in Agri.* 41(1-3):63-75.
- Regalado, C., D.E. Kline, and P.A. Araman. 1992a. Optimum edging and trimming of hardwood lumber. *Forest Prod. J.* 42(2):8-14.
- Regalado, C., D.E. Kline, and P.A. Araman. 1992b. Value of defect information in automated hardwood edger and trimmer systems. *Forest Prod. J.* 42(3):29-34.
- Thunell, B. 1969. On the premises for mechanical grading of timber. STFI-meddelande A 34. STFI, Stockholm, Sweden.
- Thunell, B. 1972. Developments in timber grading. STFI-meddelande A 169. STFI, Stockholm, Sweden.
- Thunell, B. 1973. Fakta om virkessorteringsmetoder. (Facts on timber grading methods). STFI-meddelande A 232. STFI, Stockholm, Sweden. (in Swedish).
- Thunell, B. 1980. Principles and methods to determine lumber quality. Rapport 0004. Royal Inst. of Tech., Dept. of Wood Tech., Stockholm, Sweden.
- Thunell, B. 1982. Grading errors in practice. Rapport 0014. Royal Inst. of Tech., Dept. of Wood Tech., Stockholm, Sweden.
- Thunell, B. 1985. What should we claim on a lumber grading installation? Rapport 0032. Royal Inst. of Tech., Dept. of Wood Tech., Stockholm, Sweden.
- Wagner, F.G., P.H. Steele, L. Kumar, and D. Butkovic. 1991. Computer grading of southern pine lumber. *Forest Prod. J.* 41(2):27-29.
- Zeng, Y., S. Randhawa, and J. Funk. 1996. An expert system for softwood lumber grading. *Comput. Ind. Eng.* 31(1/2):463-466.

Table 1. — The number of boards used.

	No. of boards
Pine 63 by 125 mm	100
Spruce 50 by 125 mm	81
Pine 25 by 125 mm	99
Spruce 22 by 100 mm	100

Table 2. — Allowed knot sizes in Nordic Timber grading. The allowed sizes in the test were similar, but not exactly the same.

		Knot size				
		Timber thickness	Timber width	Grade A	Grade B	Grade C
		------(mm)-----				
Sound knots						
Faces	16 to 25	75 to 115	20	35	50	
		125 to 150	25	40	55	
		175 to 225	30	45	60	
	32 to 38	75 to 115	25	40	55	
		125 to 150	30	45	60	
		175 to 225	35	50	65	
	44-50	75 to 115	30	45	60	
		125 to 150	35	50	65	
		175 to 225	40	55	70	
	63 to 75	75 to 115	35	50	65	
		125 to 150	40	55	70	
		175 to 225	45	60	75	
Edges	16 to 19	--	15	* ^a	*	
	22 to 25	--	20	*	*	
	32 to 38	--	25	30	*	
	44 to 50	--	30	40	*	
	63 to 75	--	35	50	*	
Type of knot			Reduced to percent of sound knot size			
			------(%)-----			
Other knots	Knot cluster, per knot		70	70	80	
	Dead knot		70	70	100	
	Barkringed knot		50	60	90	
	Unsound knot		--	50	90	

^aAsterisk indicates a knot size equal to the timber thickness.

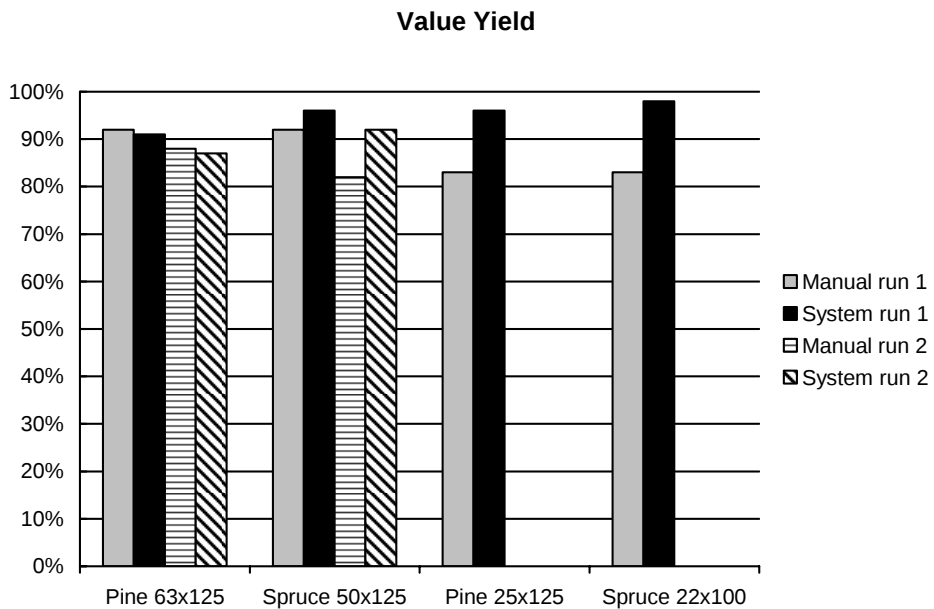


Figure 1. The value yield for manual grading and the automatic grading system.

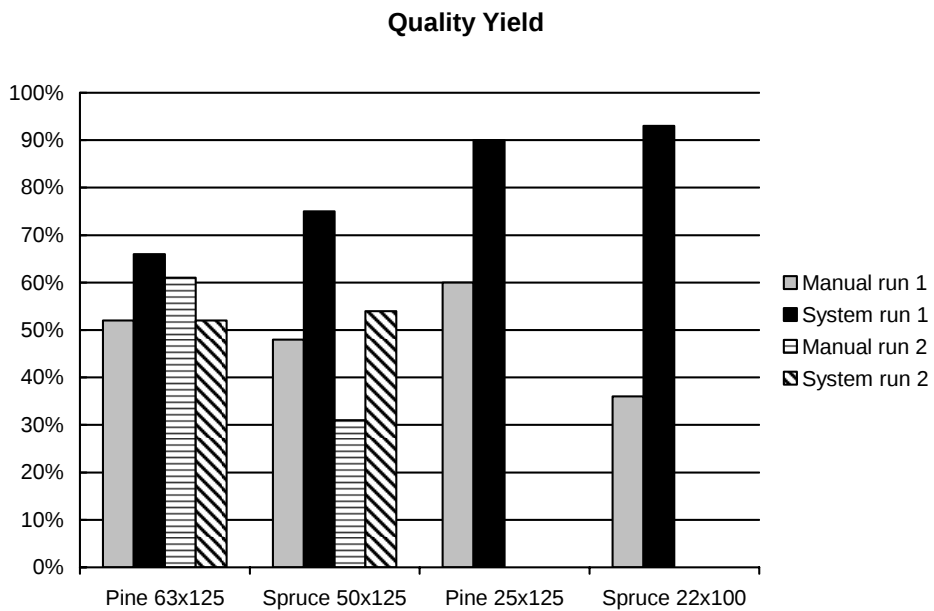


Figure 2. The quality yield for manual grading and the automatic grading system.

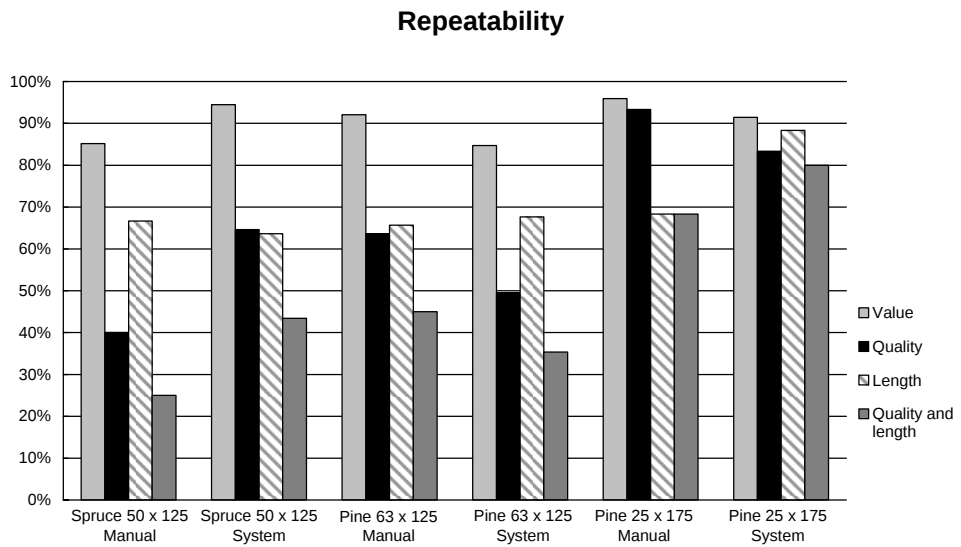


Figure 3. Repeatability for different parameters for the automatic grading system and the manual grader.

Paper III

A multivariate approach to automatic grading of *Pinus sylvestris* sawn timber

ANDERS LYCKEN^{1,2} & JOHAN OJA^{1,2}

¹Division of Wood Technology, Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden, and

²SP Swedish National Testing and Research Institute, Skellefteå, Sweden

Abstract

The objective of this study was to create an easier way to handle the often complicated and intricate situations with which the operator of an automatic grading system is faced each time a change to the grading rules is proposed. The scope of the study was the possibility of a holistic method of automatic appearance grading of sawn wood similar to manual grading and based on multivariate statistics. The study was based on 90 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sawlogs. The logs were sawn and the boards were scanned and manually graded. The result of the manual grading was defined as the true grade. Models for prediction of board grade based on aggregated defect variables were calibrated using partial least squares regression. The classification based on the multivariate models resulted in 80–85% of the boards being correctly graded according to the manual grading. In conclusion, this paper shows that a multivariate statistical approach for grading timber is a possible way to simplify the process of grading and to customize the grading rules when using an automatic grading system.

Keywords: Appearance grading, automatic grading, partial least squares, *Pinus sylvestris* L., sawn timber, sorting.

Introduction

The scope of this study was the possibility of a holistic method of automatic appearance grading of sawn wood similar to manual grading and based on multivariate statistics.

Manual grading of sawn wood is monotonous and tiresome work (Ager et al., 1977). The difference between grades is sometimes very hard to see, even if the rules are written down in an organized manner (Grönlund, 1995). Traditional automatic grading systems require very concise rules, as the systems are unable to interpret subtle and inconsistent information supplied by the operator. The need for very concise rules and threshold levels makes fine-tuning and changes a difficult process. Because of this there is a need for new methods that make it easier to fine-tune and continuously adjust the grading system in order to fulfil ever-changing market demands.

When using grading rules such as *Nordic Timber* (Anon., 1994), the grader has to take into consideration all the features on all four sides of the board. The outcome has to be optimized for value, so the grader has to know the price for each class to be able, if necessary, to cut the board to increase its value by removing unwanted degrading defects. Typically, the grader has 2–3 s to judge the board and make the decision.

Manual grading in practice is by nature subjective (Grönlund, 1995), in contrast to the written rules. In Grönlund (1995), only 57% of 2045 boards were given the same grade when graded by two graders using the *Nordic Timber* grading rules. In some cases subjectivity is wanted by the customer because the written rules are often only an attempt to describe a product that will fulfil the needs of the customer. Therefore, the struggle continues to achieve an automatic grading system that simulates manual grading.

The grading rules stipulate the maximum allowed size and number of the different defects for each grading class. The grading rules are in most cases hierarchical in the sense that each feature or defect is allowed to the same or greater extent in a lower, less valuable, grade than in a higher grade (Lycken, 2000). In some cases, however, the grades are not hierarchical, which means that one kind of defect is allowed to a larger extent in a higher, more valuable, grade at the expense of some other defect, which is judged harder. One example is the grade “green V”, a non-standard grade often used for furniture, where sound green knots are allowed to a greater extent than in ordinary V, whereas fewer dead knots are allowed.

According to the *Nordic Timber* grading rules, the minimum hit rate is 90%, which in this case means that “at least 90% of the pieces in the lot shall not have wood features with values exceeding the maximum permitted values for a contracted grade” (Anon., 1994, p. 24). There is a limit towards the higher grade, but not towards the lower. It is thus allowable to place a higher grade board in a lower grade, but not a lower grade board in a higher grade. In measurements of the hit rate for grading accuracy in this study, the boards were considered correctly graded only if they were of the correct grade. The hit rate is defined as the number of correctly graded boards divided by the total number of boards. Boards placed in too high a grade are as wrong as boards placed in too low a grade, in contrast to the *Nordic Timber* grading rules. In practice, a sawmill grader will achieve a grading accuracy hit rate between 70 and 90% over a long time (Grönlund, 1995; Pham & Alcock, 1998; Lycken, 2004). For brief periods the hit rate can be up to 100%, but that is not expected even by the sawmill managers to last for long. The hit rate will be lower when more grades are in use, as there are more possibilities for error.

It is easier to customize the grading when the grader knows the customer's needs and the function of the product than it is when the rules are formulated in general written terms. There are many reasons why grading rules are complicated and difficult to specify in a strict and irrefutable way. One example is that the wood user often tolerates a few defects larger than the general rules would tolerate if the rest of the board is better than the average board in the grade. To handle this, the grader must have a holistic and subjective way of looking at the boards that goes beyond the written rules. Customization regarding grading rules is becoming more and more specialized, because sawmills have to be able to deliver what the customers are willing to pay for (Alkbring, 2003). Sawmills also have to be able to deliver smaller batches that satisfy the needs of demanding customers.

Systems for automatic edging or grading of sawn wood have been in use in Nordic sawmills for more than two decades. The first systems were rather simple compared with those of today. Nowadays the systems are installed in all parts of the process as green sorters, for final grading and in secondary processing. Today's automatic grading systems are able to grade the lumber in an almost infinite number of grades. The limits are set by logistics. When it comes to changing parameters in a grade, there are often too many tables to go through and make changes in, so changes are seldom made. Nordmark (2002, 2003) demonstrated the use of neural networks to identify and model knots in computer tomographic (CT) images of sawlogs. There have been experiments with neural networks, fuzzy logic and self-organizing maps (SOMs) to detect and classify board defects, as well as to grade boards for appearance (Labeda, 1997; Kauppinen, 1999; Niskanen, 2003; Kline et al., 2003). The experiments have not been particularly successful, as neural networks used for optimization have not yet been introduced in commercial systems on a large scale, but at least one system uses SOMs to classify defects. The reason for the slow commercial introduction is partially the complicated system for changing and formulating new grading rules, where the system has to be "shown" good examples of each new grade or defect type. In some cases there are thousands of boards in the test set (Lee et al., 2003; Klein et al., 2003). With partial least squares (PLS) methods of grading, some of the problems associated with neural networks are diminished or removed. The PLS method gives a transparency impossible to reach with neural networks, which in turn engenders confidence in the system. A PLS regression model can be analysed by using plots, such as score plots, loading plots, coefficient plots and VIP plots (Eriksson et al., 2001). These tools are helpful in interpreting and analysing the model and thereby making the model transparent. A transparent model is easy to interpret and understand and thus also easy to validate. In addition to the general holistic view, similar to a human grader's view, that can be achieved with the PLS method, it is possible to define fixed limits for specific features, for example maximum size of dry knots or length of cracks.

Using PLS methods it is possible easily to control and change the settings and thereby influence the quality yield and the value yield. With a traditional automatic grading system, the change often takes a lot of work, going through a lot of tables. Industrial experience shows that for a manual grader it is easy to change the grading rules a little, but the grader very often falls back into the usual rules. Industrial experience also shows that the manual grader is very "distribution conscious", which means that quality distribution is very similar over time, regardless of the quality of the incoming material (oral communication with sawmill personnel). An automatic system handles each board for itself with no respect to the other boards' grades.

The approach using multivariate PLS methods has successfully been introduced in grading of logs (Oja et al., 2004), where logs were sorted in three classes based on exterior and interior data extracted from X-ray and three-dimensional scanners. Several commercial systems based on these methods are presently in use at Swedish sawmills.

One of the aims in formulating the *Nordic Timber* grading rules was to create rules that could be implemented by computerized vision systems. In spite of this, the *Nordic Timber* grading rules are not often used “by the book” for either automatic or manual grading, as the sawmills have their own grading rules which are suited to specific customers, even if the bases for the different grades are similar to those found in the *Nordic Timber* grading rules.

The objective of this study was to develop a more efficient method of defining and fine-tuning grading rules used in automatic grading systems. Such a method should simplify the process with which the operator of an automatic grading system is faced each time a change in the grading rules is to be made. One proposed way in which to handle the problem is the use of a holistic view based on multivariate statistical methods.

Materials and methods

The materials used were Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) boards taken from Moelven’s sawmill in Valåsen, central Sweden. The boards were sawn from 90 sawlogs chosen at random from the timber yard with a controlled, equal distribution regarding dimension class (top diameter 21 cm and 25 cm) and log type (butt, middle and top). A butt log was defined as the first log in a stem, top logs were logs within the green crown of the stem, and the rest of the logs were defined as middle logs. Fifteen sawlogs of each combination (log type and diameter class) were selected, making 90 logs in total. The logs were sawn with two centre pieces from each log. During handling some logs and some boards were lost. The boards used were 71 boards of dimensions 50 x 150 mm and 83 boards of 50 x 200 mm. The boards were graded manually by the sawmill’s head grader. The rules used were based on, but did not strictly follow, the *Nordic Timber* grading rules. A grade called Vm was introduced in addition to the common OS, V and VI, where OS is the “best” and VI is the “worst” grade. Vm is a type of green V, which allows larger sound knots but fewer dead knots than ordinary V. When grading, the grader did not take into consideration defects such as blue stain, decay or cracks. In addition, the grading was done in a holistic manner, so a board with one or two large defects was not necessarily downgraded if the rest of the board was classed among the best pieces in that grade.

The boards were scanned semimanually, one side at a time, in the VTT Wood Laboratory in Esbo, Finland. The scanner was built on an RGB CCD camera (Temet Vision Industry OY, MSC-1024 RGB12), with 1024 pixel width and 12 bit colour depth. A resolution of 0.5 x 0.5 mm was used. The feed was lengthwise and the speed was 0.5 m s⁻¹. The pictures of the boards were manually scrutinized and the defects were manually classified and measured. The type, size and position of defects were stored in a data file in text format, one file per board. The defects in the files were reorganized in an aggregated way. The aggregated parameters were maximum size, mean area and the number of defects calculated for each defect type and board side. The ratio between the number of dead knots and the number of sound knots was calculated. The total number of defects on each side, all types together, was also calculated. This was done in an attempt to simulate the manual view of grading, taking more than just the size and position of the single defect into consideration. The position of the knots lengthwise and across the board was not considered. In a real grading situation, knot position is

important, as it is possible to cut away unwanted defects to increase the value of a board. However, in this study this simplification was done, as it was in the manual grading. For each side of the board, a table similar to the one in Table I was created. Between 35 and 60 variables were included in the models, depending on board dimension and the search for model simplicity.

The statistical model for predicting the grade of the boards based on the aggregated variables was then calibrated using PLS regression (Geladi & Kowalski, 1986) and SIMCA-P+ 10 software (Anon., 2002). PLS regression was chosen because it is based on the assumptions that the x variables are correlated, that there is noise in the data and that there can be structures in the residuals (Lindgren, 1994). PLS regression has been used in prediction of board values in sawlogs (Nordmark & Oja, 2004). The use of PLS regression has also been successful in the grading of logs (Oja et al., 2004), an application that from a statistical point of view has many similarities with the grading of boards. Because of this, PLS regression was considered well suited to the investigation.

One model was created for each dimension of boards and one for the two dimensions together, in all three models. Both dimensions were graded with all three models. For each model, both the coefficient of determination (R^2) and a Q^2 value based on cross-validation were calculated (Martens & Naes, 1989). When cross-validating, n models are built, each time excluding an n th part of the observations and thereby creating a training set. Each model is then tested on the observations that were excluded when building the model (the test set). Q^2 represents the proportion of variance of y values in the test sets that is explained by the model. Hence, Q^2 is a measure of the model's ability to predict future observations, i.e. observations that were not included when building the model. A model that explains random variations in the training set will fail when testing on new observations, and hence Q^2 will be low for such a model (Martens & Naes, 1989). The variables included in the models were chosen by removing the variables with the least significant VIP values (Eriksson et al., 2001), to obtain sufficiently large values for R^2 and Q^2 .

Using the PLS model to predict the grade of boards gives a probability value for each board and grade. A high probability value means that, according to the PLS model, the probability is high that the board fits that grade. In the same way, a low probability value indicates that the board does not belong to that grade. In the model it is possible to skew the distribution to a better fit by adding a term, an offset, to the predicted probability value to maximize the hit rate, either for the whole batch or for a single grade. If, for example, a large enough number is added to grade V, the probability in the model arises that each board is a V board, and all boards are graded as V and all grade V boards are graded correctly and thus found. At the same time, a lot of non-V boards are wrongly graded as V. If a large negative number is added to grade V, no board is graded as V and all V boards are missed. When changing the offsets for the grades, it is important to consider how many false positives and false negatives are acceptable. By using the offset, it is possible to find all boards in a specific grade, with a risk of also obtaining some false positive boards that do not belong to that grade. It is also possible to find only boards belonging to a certain grade, with a risk of missing some boards of that grade. So, by choosing the value of the offset, it is possible to choose a level of risk and to choose on which side of false positive and false negative to be. To achieve the best model, the highest hit rate, the offset in this study was set to a small value for some of the grades.

Results

When testing the model on the same dimensions as the model was created with, the hit rate, defined as the number of correctly graded boards divided by the total number of boards, was 80% for the 50 x 200 mm boards and 85% for the 50 x 150 mm boards (Table II). When the model created with one set of dimensions was tested on boards of the other dimensions, the hit rate was 70% for the 50 x 200 mm boards and 59% for the 50 x 150 boards. The hit rate was 80% for the 50 x 200 mm boards and 81% for the 50 x 150 mm boards in the model for the two dimensions together. In this model the R^2 value was 0.41 and the Q^2 value was 0.31, which means that 41% of the variation can be explained by the model and that 31% can be predicted according to the cross-validation.

This shows that a model created for more than one dimension is sufficient to handle more dimensions, but that a model created for just one dimension may be unsuitable for other dimensions. Looking at Figure 1, the separation between grade O/S (squares) and grade Vm (diamonds) is clear. There are mixed zones between grades O/S and V (circles) and between grades Vm and V. Grade VI (triangles) is spread all over the plot, mainly because these boards have some single defects that are larger than allowed, and that the model does not take into consideration in this case. Another reason is that the number of boards in grade VI was so small that it was not possible to obtain a good model for that grade (Table III).

The loading plot in Figure 2 shows which defects have the greatest influence on the different grades. Small and few defects lead to grade O/S (lower right corner), while sound knots and sound knot ratio influence grade Vm and dead knots influence grade V.

The coefficient plot in Figure 3 shows the influence of the different defects. The mean size of sound knots and mean size of dead knots on the outer side, side 1, and mean and maximum sizes of dead knots on the two edges together, side 3, have a large impact on the model.

Discussion

The results of this study show that there is great potential in this grading method. As the results show, it is possible to separate boards of different grades based on overall holistic defect parameters. The reasons for using a system with a holistic approach instead of the conventional table-based grading are that it is easier to use and it is similar to the manual way of grading, which is what most wood users want. The user interface can be very simple, which makes the changing of grading rules easier and more transparent than current systems. When changing the rules in today's systems, there are often so many tables to go through that the operator is afraid to make changes, as the risk of mistakes is significant (oral communication with system operators).

This study was performed on boards with exactly defined defects. In practice, defect detection and classification is a great challenge and one of the reasons automatic grading systems are not more widespread. The hit rate for defect classification in automatic systems is around 70 – 80% (Lycken, 2003). The rate for manual detection and classification is of the same magnitude, but the human errors are of a different kind to the errors made by automatic systems, which make the former easier to forgive. They are easier to forget, as the errors are of a kind that a wood user might make. An error made by an automatic system can be very obvious to the wood user, but the defect is not defined in the system, so it passes as a non-defect. Huber et al. (1985) found that operators grading red oak achieved a 68% score, based

on the operators' ability to recognize the number, type and location of defects as a percentage of their actual occurrence. Automatic grading systems in the Nordic sawmill industry with rule-based defect detection and grading typically have a hit rate for board grade and value yield of 80–90%, sometimes up to 95%, depending on grading rules and raw material (Lycken, 2006). One problem expressed by the users of automatic grading systems is the troublesome work of defining new grades or changing them once in use. There is a need for an easier method of defining grades.

The knot structure of a board is dependent on log dimension and where in the tree the log comes from (Jäppinen, 2000; Nordmark, 2005). The boards in this test were taken from logs of different sizes and different positions in the tree. As the test logs were mixed in a controlled way, with an equal number of logs in each dimension class and log type, the knot structure is mainly dependent on board size and not on log parameters. According to *Nordic Timber*, larger knots are allowed in larger boards, which is why different models for different dimensions are tested and probably also give different grading results.

To calibrate a robust and reliable model, the PLS algorithm, as with any statistical method, needs to have a representative data set (Eriksson et al., 2000). The number of boards needed for this depends on the rule of complexity and defect frequency. In the calibration of models for log sorting, industrial experience shows that the required number of logs per grade is somewhere between 30 and 50 (Oja et al., 2003, 2004). The complexity of grading boards, compared with grading logs, makes the necessary number of boards larger than that. A qualified guess would be that around 100 boards per grade will be needed to calibrate an accurate and robust model.

An interesting result emerged when using dedicated models for the different dimensions. The model created with both dimensions produced a hit rate for 50 x 200 mm boards that was as good as the more dedicated model. This may be because the dedicated method is too specialized, so noise emanating from single defects or defect types influences the model to too large an extent. When a general model created with more boards is used, a single defect or defect type does not have as large an impact on the resulting model. This result is probably also an effect of the limited number of boards included in the study. With more boards to start from, the models might have been even more reliable. A solution to that problem in production is to use a larger population to obtain more boards in each grade and not to have only a few in any grade.

As always when performing a study of this kind, it is a difficult task to establish the basic facts. The grading result depends on the consistency of the grader, which is based both on grading skill and on customer acceptance of discrepancies with the written rules.

Future work could test the models on a larger amount of material and to test them on boards scanned by an industrial grading system. In that way it would be possible to include more dimensions with more defect types. It would thereby be possible to refine the choice of variables included in the models. In this case, the grading rules used are appearance-grading rules. Strength grading is a prioritized field, so it would be appropriate in the very near future to test the models on rules for visual strength grading.

In conclusion, this paper shows that a multivariable approach for grading timber is a possible way to simplify the process of grading and to customize the grading rules when using an automatic grading system.

Acknowledgements

This study was funded by Vinnova, the Kempe Foundations, the SkeWood programme, the Swedish Forest Industries Federation and Formas—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning.

References

- Ager, B., Eklund, B., Gasslander, J.-E. & Söderman, E. (1977). Ergonomi och produktionsteknik i sågverk [Ergonomics and production techniques in sawmills] (STFI-meddelande Serie A nr 393). Stockholm: STFI. (In Swedish.)
- Alkbring, M. (2003). The doubleness of the industry recipe, a study of the sawmill industry in northern Sweden (Licentiate thesis, Umeå School of Business and Economics). FE-publikationer, 2003:169. (In Swedish with English abstract.)
- Anon. (1994). Nordic timber, grading rules for pine and spruce sawn timber. Stockholm: Föreningen Svenska Sågverksmän.
- Anon (2002). User guide, SIMCA-P and SIMCA-P+ 10. Umeå: Umetrics.
- Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N., Wikström, C. & Wold, S. (2000). Design of experiments—Principles and applications. Umeå: Umetrics Academy.
- Eriksson, L., Johansson, E., Kettaneh-Wold, N. & Wold, S. (2001). Multi-and megavariable data analysis—Principles and applications. Umeå: Umetrics Academy.
- Geladi, P. & Kowalski, B. R. (1986). Partial least-squares regression: A tutorial. *Analytica Chimica Acta*, 185, 1 – 17.
- Grönlund, U. (1995). Quality improvements in forest products industry—Classification of biological materials with inherent variations (Doctoral thesis, Division of Quality Technology and Statistics, Luleå University of Technology). 1995:172 D.
- Huber, H. A., McMillin, C. W. & McKinney, J. P. (1985). Lumber defect detection abilities of furniture rough mill employees. *Forest Products Journal*, 35(11/12), 79–82.
- Jäppinen, A. (2000). Automatic sorting of sawlogs by grade. Doctoral thesis, Department of Forest Management and Products, Swedish University of Agricultural Science, Uppsala.
- Kauppinen, H. (1999). Development of a color machine vision method for wood surface inspection. Dissertation, Department of Electrical Engineering and Infotech, Faculty of Technology, University of Oulu.
- Kline, D. E., Surak, C. & Araman, P. A. (2003). Automated hardwood lumber grading using a multiple sensor machine vision technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 41, 1–17.
- Labeda, A. (1997) Industrial application of artificial neural network in computer lumber grading (Rapport L 9703021). Stockholm: Träteknik, Institutet för träteknisk forskning.
- Lee, S.-M., Abbott, A. L., Araman, P. A. & Schmoldt, D. L. (2003). A system for optimal edging and trimming of rough hard wood lumber. *Proceedings of the 5th International Conference on Image Processing and Scanning of Wood*, Bad Waltersdorf, Austria, March 23-26, pp. 25–34.

Lindgren, F. (1994). Third generation PLS. Some elements and applications (pp. 17–41). Thesis., Umeå University.

Lycken, A. (2000). Sorting and product mix in the wood industry—Analysis of simulated sorting (Licentiate thesis, Department of Wood Technology, Royal Institute of Technology, Stockholm). KTH, Träteknologi. Trita-Trä R-00-45. (In Swedish with English abstract.)

Lycken, A. (2003). Comparison between automatic and manual quality grading of sawn wood. Grading precision and repeatability (Internal Report). Stockholm: Trätek. (In Swedish.)

Lycken, A. (2006). Comparison between automatic and manual quality grading of sawn wood. Forest Products Journal (in press).

Martens, H. & Naes, T. (1989). Multivariate calibration. New York: John Wiley & Sons.

Niskanen, M. (2003). A visual training based approach to surface inspection (Dissertation, Department of Electrical Engineering and Infotech, Faculty of Technology, University of Oulu). Acta Universitatis Ouluensis C, 186.

Nordmark, U. (2002). Knot identification from CT images of young *Pinus sylvestris* sawlogs using artificial neural networks. Scandinavian Journal of Forest Research, 17, 72–78.

Nordmark, U. (2003). Models of knots and log geometry of young *Pinus sylvestris* sawlogs extracted from computed tomographic images. Scandinavian Journal of Forest Research, 18, 168–175.

Nordmark, U. (2005). Value recovery and production control in the forestry –wood chain using simulation technique. Doctoral thesis. Luleå University of Technology, 2005, 21.

Nordmark, U. & Oja, J. (2004). Prediction of board values in *Pinus sylvestris* sawlogs using X-ray scanning and optical three-dimensional scanning of stems. Scandinavian Journal of Forest Research, 19, 473–480.

Oja, J., Wallbäcks, L., Grundberg, S., Hägerdal, E. & Grönlund, A. (2003). Automatic grading of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sawlogs using an industrial X-ray scanner. Computers and Electronics in Agriculture, 41(1–3), 63–75.

Oja, J., Grundberg, S., Fredriksson, J. & Berg, P. (2004). Automatic grading of saw logs: A comparison between X-ray scanning, optical three-dimensional scanning and combinations of both methods. Scandinavian Journal of Forest Research, 19, 89–95.

Pham, D. T. & Alcock, R. J. (1998). Automated grading and defect detection: A review. Forest Products Journal, 48(4), 34–42.

Table I. The aggregated defect table used for model creation and grading. One table for each side, outer, inner and edges, was created.

	Amount	Largest	Mean size
Super sound knot			
Sound knot			
Dead knot			
Bark-ringed knot			
Rotten knot			
Splay knot			
Spike knot			
Black knot			
Scar			
Total number of defects			
Ratio between dead and sound knots			

TableII. The hit rate, percent correctly graded boards, for the different models and dimensions.

Board dimension	Model based on "own" dimension	Model based on "wrong" dimension	Model based on both dimensions
50 x 150	85%	59%	81%
50 x 200	80%	70%	80%

Table III. The number and the percentage of boards in each grade, observed and predicted, using a model created with all boards.

Number of boards [Percentage of boards] Predicted/Observed	Predicted OS	Predicted V	Predicted Vm	Predicted VI	Sum
Observed OS	42 [93%]	3 [7%]	0 [0%]	0 [0%]	45 [100%]
Observed V	9 [12%]	61 [82%]	3 [4%]	1 [1%]	74 [100%]
Observed Vm	0 [0%]	6 [25%]	18 [75%]	0 [0%]	24 [100%]
Observed VI	0 [0%]	7 [64%]	1 [9%]	3 [27%]	11 [100%]
					124 [81%]

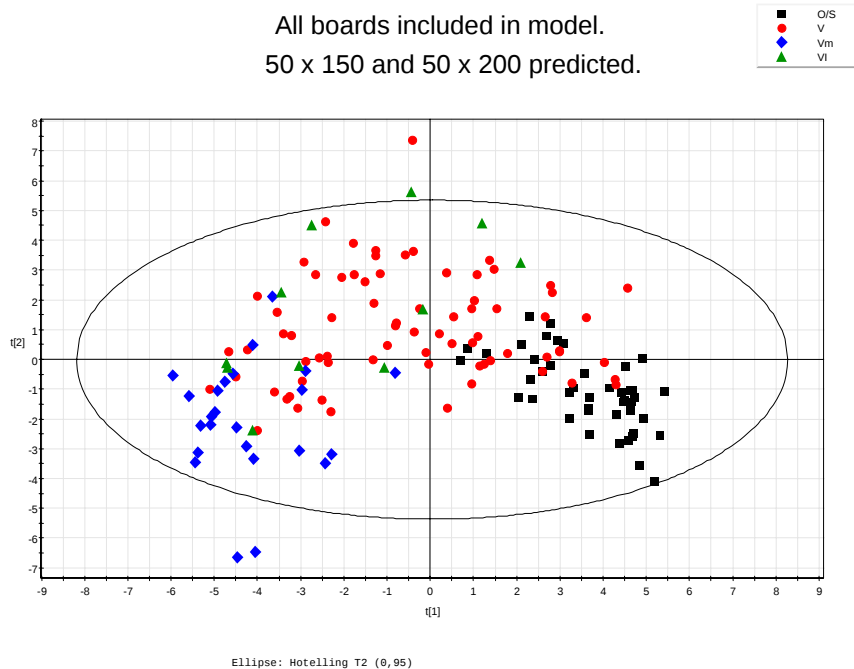


Figure 1. Score plot showing the different grades and their formation in the principal component model plan. Grade O/S, squares. Grade V, circles. Grade Vm, diamonds. Grade VI, triangles.

Coefficient Plot All boards included in model

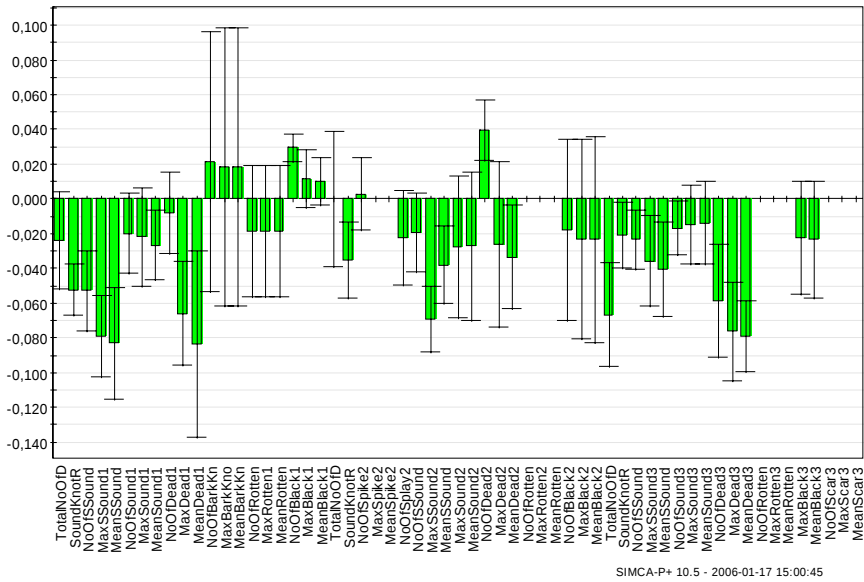


Figure 3. The figure shows the coefficients included in the model created with all boards.

Paper IV

Grading accuracy on sawn timber depending on number of graded sides.

Anders Lycken ^{1, 2}

¹ SP Swedish National Testing and Research Institute, Skeria 2, SE-931 77 Skellefteå, Sweden

² Luleå University of Technology, Division of Wood Technology, Skellefteå Campus, Skeria 3, SE-931 87 Skellefteå, Sweden

ABSTRACT

An investigation of the dependence of grading accuracy on the number of inspected sides of sawn softwood timber has been performed. The results show that anything less than a four-sided inspection leads to less accurate grading. The material was 710 boards of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies*) taken from Swedish, Norwegian and Finnish sawmills. The grading was performed in a computerized grading simulator, SortSim. The rules used were the Nordic Timber grading rules, which is a grading guideline based on four-sided inspection used in the Nordic countries. The reason for performing the study is the need for higher production speed, which might be reached by only inspecting some of the sides of the timber.

The accuracy when using Nordic Timber was between 28% and 98%, compared to four-sided grading, depending on species and number of graded sides, with the lowest score for edge grading of pine planks and the highest for grading spruce side boards on outer face and edges.

Keywords

grading, sorting, sawmill, timber, face, edge

INTRODUCTION

Final grading in Nordic sawmills is traditionally carried out by manual visual inspection of the sawn timber. A grader has typically 2 to 3 seconds to inspect, decide on possible cuts and decide the grade for each board. The grader shall inspect all four sides of the board during this short time, if the grading is performed according to the Nordic Timber Grading Rules. (Anon. 1994). In order to increase capacity, large sawmills have several (usually 2 to 4) graders, each of whom grades only a part (50%–25%) of the total flow of boards. Despite the short time used to judge a board and the increased number of graders, final grading of sawn wood is often a bottleneck in the sawmill's production.

In order to get rid of this bottleneck, different strategies have been discussed in the Nordic industrial society, and to some extent adopted. The following strategies can be mentioned:

1. Grade as in central Europe, where only the faces are graded (Anon. 1990; Anon 2000).
2. Install an automatic grading system in the final grading station.
3. Do more or less of the final grading in the green sorting plant, automatically or manually.
4. Enrich some of the grades along the saw line.

For all these strategies, it is interesting to know what the grading result will be if the grading is based on 1, 2 or 3 sides compared to the situation today, in which the board's grade is set based on all four sides. This knowledge is also valuable for the design of flexible feature-controlled breakdown processes, where each process step is monitored and controlled by automatic inspection of the newly sawn surfaces.

One reason for face grading is that it is possible to place the timbers adjacent to each other, as in central Europe, and by so doing to increase the feed speed in boards per minute. It makes it hard or impossible to inspect the edges, so the face grading has to be good enough, and the grading rules set only to the faces.

When installing an automatic grading system as final grader, concerns expressed from sawmills are that the automatic grading has to be at least as good as the manual grading. The errors made by the system cannot easily be repaired by a manual grader, as the concept is built on an automatic, fast handling. Timber graded in the green sorting station often goes directly to secondary processing after drying, with no further inspection.

If the final grading is done in the green sorting station, with no grading after drying, there is a need to have good control over the drying process so the timber will be as good after drying as before. The timber can only degenerate in grade during drying, never improve.

By enriching some grades along the production line, the remaining products will look different compared to their appearance when all grading is done at the end of production, after drying. With some grading done after each process step, the possibility to treat all products according to their actual value increases. Low-grade timber can, for instance, be dried faster, with a risk of more deformation, cracks, and checks as a result, while high grade timber can be treated more carefully.

The studies performed on the accuracy of appearance grading of sawn timber have focused on human and scanning system accuracy or defect detection, mainly in the hardwood industry or

in secondary processing (Kline et al. 2003; Buehlmann and Thomas 2002; Regalado et al. 1992a, b; Huber et al. 1990; Huber et al. 1985) or on comparison of human graders (Grönlund 1995). Some of the results concern appearance grading of softwoods (Backman 2003; Lycken 2005; Lycken 2000; Grönlund and Broman 1995).

In Klein et al. (2003), the problem with manual grading accuracy is addressed, and a multiple sensor scanning system for hardwood is presented. The accuracy of the human grader in the study was 48%, and the automated system's accuracy was 63%. The paper also discusses the problem of establishing the true grade of a board.

Buehlmann and Thomas (2002) show that three quarters of the human operators' decisions when grading hardwood for furniture are erroneous in some way, resulting in a yield loss of approximately 16%.

Regalado et al. (1992a) found that three different mills had a value recovery of between 62% and 70% of the optimum value. 120 red oak boards were trimmed and edged by manual operators and by a computer optimization program.

In Regalado et al. (1992b), the output value dependent on defect information during edging and trimming of red oak is tested. The conclusion is that it is not necessary to detect all defects to get an efficient grading. No test, however, is made on the output's dependency on number of graded sides.

Grönlund (1995) showed that manual graders had different opinions on up to 40% of graded boards when grading the same boards for the same use.

Backman (2003) has studied the reasons for downgrading of Norway spruce (*Picea abies*) boards at a Swedish sawmill. Her results show that on average only 1 percent of the planks and 2 percent of the side boards were downgraded due to defects on the edge sides of the timber pieces. The downgrading caused by face defects was on average 65 percent. The grading rules were company specific. Backman's result is contradictory to a rather general opinion among many sawmill graders. They claim that it is often the edges that are decisive for the grade of a piece of timber. Backman's conclusion is that it is possible, in this company-specific case, to inspect only the faces in the green sorting plant. One possible explanation for this disagreement can be that the graders' opinion mainly is based on experiences from grading of Scots pine (*Pinus sylvestris*), and Backman's study was performed on spruce. This shows, however, that it is necessary to study the importance of the number of graded sides for the final grade for different species and different timber sizes.

Lycken (2000) presents a description of which side of a board is most important in grading. The study is performed on 349 pine planks, 50 x 150 mm, where only the largest defect of each type is registered and collected in a database. The results show that grading on outer face gives an accuracy of 55%–60%; grading on only the edges gives an accuracy of around 40%. As only the largest defect of each type was included, a more thorough study was called for, where all defects were included.

Grönlund and Broman (1995) conclude that there is not enough correlation between the properties in a piece of wood. It is therefore impossible to reduce and simplify grading by measuring only a few characteristics.

Lycken (2005) compares manual graders with an automatic grading system for final grading in a Swedish sawmill. The result was that the system outperformed the manual graders in some, but not all dimensions. The material was both pine and spruce, both centre yield and side boards. The automatic system was better on spruce and on boards than on pine and on planks. The manual grader was better than the system only on pine planks. The conclusion was that a system could replace manual grading in most cases and at the same time increase productivity.

Huber et al. (1990) studied the objectivity of defect classification in hardwood products. The conclusions were that defect classification is sometimes subjective. One defect group is based on the fact that the defect is well defined with natural borders, such as knots, holes and checks, while another group, with defects such as colour, stain and decay, is judged more subjectively, and the defects are evaluated more in terms of the end use of the product.

Huber et al. (1985) found that operators in six mills performed at about 60% of perfect when remanufacturing red oak for furniture. The conclusion was that an automatic system need not be 100% perfect to improve the yield.

The scope of this study is to illuminate the problem of how many sides of a board it is necessary to inspect in order to grade the board correctly. The study includes different timber sizes of Scots pine and Norway spruce. No manual judgements have been involved in the comparisons of the different grading strategies.

MATERIALS AND METHODS

The material used is timber of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies*) taken from Swedish, Norwegian and Finnish sawmills. The dimensions, origin and number of the timber used are shown in Table 1.

The boards were digitized, and all the board features, such as knots, cracks and other defects, were manually classified and collected in data files. The information on each defect consisted of defect type and enough coordinates to define the defect's shape and size. The timber was not trimmed, so all features stemming from the log and the process were visible and influenced the grade of the board.

To simulate a grader or a grading system capable of seeing only some of the sides of the boards, the defects on the "unseen" sides were deleted in the defect files. In this way, systems capable of grading on either

- outer face and edges,
- inner face and edges,
- both faces,
- both edges or
- outer face

were simulated.

The boards' profile data, which include wane data, were not changed, so wane is always part of the grading in the simulations. The results shown are thus slightly better than they would be in practice where wane is not seen on uninspected sides of the timber.

The boards created this way are never of a lower quality than the original, as the removed sides are considered clean, without defects.

The boards were graded in a grading instructor and simulator, SortSim. When using SortSim as a grading instructor, the boards are shown on the screen as high-resolution pictures in which it is possible to turn the boards, zoom in on interesting defects and other details, cut at lengths chosen by the user and choose grade. After the user has decided on grade and cutting positions, the program calculates the optimum decision and presents the results.

SortSim can also, as in this study, function as a grading simulator to test and compare different rules and price lists. It is possible to create new customized grading rules to test how the yields, both value and number of boards in the different grades, are influenced by the change. Inputs to the program are defect files and grading rules. The defect files include profile data and defect data, one file per board. The profile data is used to calculate length, width, thickness and wane. The defect data provide information about the defects' type, size, side of the board and position. The grading rules possible to use in SortSim are Nordic Timber, EN 1611-1 (Anon. 2000) and INSTA 142 (Anon. 1997) and modified rules based on Nordic Timber and EN 1611-1. Nordic Timber and EN 1611-1 are rules for appearance grading, and INSTA 142 is a set of rules for visual strength grading. The rules in the program are "hard" rules in so far as the rules, once specified, are followed strictly. No subjectivity, such as is common in manual grading, is possible. Subjectivity is not permitted in the grading rules, but often practiced. Therefore, it is possible to say that the true grade is what the program says.

The grading rules used in the study were the Nordic Timber rules, which were used without modifications. The grading was done automatically without human subjectivity. Four grades were used, A, B, C and D, where A is the "best" and D is the "worst". Nordic Timber gives the maximum permitted values of wood feature for each grade. If one feature is larger than the permitted value, the timber is downgraded. According to Nordic Timber, the grade of a piece of wood is determined by the worst side of the outer face and the edges, while the inner face may be one grade lower. If the inner side is two steps lower than the worst of the outer face or edges, the board's grade is set to one step higher than the inner face's grade.

After grading the boards which were graded on one, two or three sides, the quality, length and value were compared to the boards which were graded on all four sides. The amount of correctly graded boards was calculated as accepted percentage.

The Nordic Timber grading rules for knots are shown in Table 2. The tables for the other features look similar, with specified limits for all grades except for Grade D, where everything is permitted as long as the piece holds together. The prices used in the test were based on prices collected from different sawmills and compiled to an average (see Table 3). However, the absolute price is not important, as it is the relations between the prices for different grades that are important.

When calculating the results from grading on fewer than four sides, one of three outcomes is possible (see Figure 1).

1. The board is correctly graded equivalent to four-sided grading. The board is accepted.

2. The board is of a correct grade, but too long. It is possible for a customer to cut the board to the correct grade and length at a later stage in the process. The board is accepted.
3. The board is placed in a grade that is too high. It is not possible to cut the board to get the correct grade. The board is not accepted.

The first and the third outcomes are easy to understand. The second outcome is based on the assumption that a customer can cut incoming material, perhaps in a window or furniture factory, and that the customer is aware that it might be necessary to cut some boards in the batch to get the right, usable grade. The price for a batch with boards that are too long will be subject to negotiations between seller and buyer, as the buyer has to do some work and the actual yield in each batch is uncertain and unspecified. In this study, the boards were treated as accepted but too long (see Figure 4 and Figure 5). In Figure 1, outcomes 1 to 3 are pictured.

In order to test if a three-sided inspection is sufficient for side boards, one grading with outer face and edges and two with inner face and edges were performed. As the inner face may be one grade lower than the rest of the sides, one grading was performed where the inner face was judged as inner face and one grading was performed with the inner face judged as outer face. As the automatic grading systems may have trouble differentiating between inner and outer face if the boards are sharp edged, it is of interest to know how to treat the visible face—as inner face or outer face. The results from these gradings are shown separately in Figure 6. In practice, if the grading is set to treat the inspected face as outer face, regardless of which face is seen, the result will be somewhere close to the average between these values.

RESULTS

The results show that all deviations from four-sided grading lead to less accurate grading. The amount of timber that is graded wrong (the number of incorrectly graded timber divided by the total number) is between close to 0% and approximately 70 %, depending on species, graded sides and dimension (see Figure 2 through Figure 8) with the most correctly graded boards in the thinnest dimension of spruce, which is the only side board dimension in the study. There are no strict correlations between grading result and species, thickness or width for the thicker timber (the centre yield).

It is obvious that it is not enough to look only at the edges or only at the faces to get an accurate grade. The average of correctly graded timber is between 75% and 80% for face grading, with a maximum of 91% and on average below 40% to 50% for edge grading, with a maximum of 59% (see Figure 2, Figure 3, Figure 7 and Figure 8). That is a contradiction to what the manual graders usually assert. The common saying is that the edges are the most important sides to inspect.

The three-sided grading of centre yield seems to be more sensitive to dimension in pine than in spruce. The yield differences are larger between the pine dimensions than between the similar spruce dimensions.

When comparing the pine three-sided grading and grading on only the edges (see Figure 2), it can be seen that the three-sided grading was better for all dimensions. It can also be seen that one dimension, 63 x 150 mm, is the worst in the three-sided grading and the best in the edge grading. For spruce there is a similar relationship if three-sided grading is compared to both

face grading and edge grading (see Figure 3). Different dimensions are better in different grading modes.

If using a three-sided grading, with outer face and edges inspected, the amount of correctly graded boards is on average over 80%. The problem in that case is to turn the board outer face up in order to grade it correctly.

In only two cases is the grading over 90% correct.

Figure 2 and Figure 3 represent outcome 1 as presented in Figure 1. Figure 4 and Figure 5 represent the sum of outcomes 1 and 2.

A special study was performed to see what happens if side boards are graded three sided, with or without knowing which face is graded. As seen in Figure 6, the difference in accuracy depending on which face is graded is considerable.

The inner face may be one grade lower than the piece itself, and the test shows what happens if outer or inner face is inspected. If the outer face is graded and treated as outer face, the accuracy is 99%. If the inner face is inspected and treated as outer face, the accuracy is 88%. If the inner face is treated as inner face, which may be one grade lower than the outer face, the accuracy is 58%. In this case, the grade is set to the edges' grade or one step higher than the inner face's grade, whichever is lowest. If side boards are graded three sided without turning the piece, with the inspected face treated as the outer face, the accuracy is somewhere between the two first alternatives, around 95%. One problem with only three-sided inspection of sideboards is the wane, which is not seen if the board arrives with inner face up. Therefore, the accuracy might be significantly lower than mentioned here if the saw pattern is set to produce much wane.

In Figure 7 and Figure 8, the mean accepted percentage is shown for pine and spruce respectively.

DISCUSSION

In only two cases is the grading over 90% correct. This points up the necessity to inspect all sides of the timber if a four-sided grading rule is used.

The number of sides of a board that need to be graded depends on the appearance of the incoming material. Some downgrading defects are seen mainly on one side of the board, sometimes the inner face, such as top rupture and ring shakes, while others, such as wane, are found on outer face and edges, and still others can appear on any of the sides. A batch with many top ruptures has to be inspected on the inner face also, while another batch might be very well graded by only looking at the outer face and edges.

Human graders, due to their underlying knowledge of timber, find some of the "unseen" defects. This knowledge makes it possible to "see" a defect by recognizing the fibre structure that reveals that something, perhaps an unwanted feature, is present even if the inspected area is clear. This factor has not yet been incorporated into any working automatic scanning system. It might therefore be possible for a good human grader to inspect only one side of thin boards with good results, but it is not possible for an automatic system.

Some sawmills see the possibility of using a three-sided scanner, mainly to grade thinner boards. The thinner the board, the more similar the two faces are, apart from wane. The grading of the side boards in this study gave almost the same result when grading on the outer face and the edges as when grading on all four sides. It is not possible, though, to grade on only the faces or on only the edges, as both the faces and the edges contribute to the grade. It is also necessary to turn the side boards in order to see the wane: otherwise, the side boards with the wane turned down will be incorrectly graded. In this study, wane is taken into account, regardless of which side is inspected. According to the Nordic Timber grading rules, the inner face may be one grade worse than the outer face, but it is of no use to inspect the inner face and treat it as inner face (see Figure 6).

Even if it is almost impossible to achieve correct grading by looking at fewer than all four sides, it is possible to enrich the output by grading on only one or more sides, and reject timber that contains unwanted defects at an early stage in the process. A one- or two-sided grading might be sufficient after the first saw or in the green sorting station as a means to enrich the grades.

If the edges on thicker timber yield enough information to grade a board correctly, it would be possible to scan the cant after the first saw and set the next saws to a dimension that optimizes the grade of the boards, as the faces of the cant become the edges on the timber. The edges do not yield enough information to decide the grade of the sawn timber. But if the edges are of a low grade, the lumber as a whole will not be of a higher grade. It is thus possible to make an enrichment of grades by inspecting the cant and setting dimensions according to the timber edges.

As grading becomes more customized, it is necessary for sawmills to know the sensitivities of their customers. How many incorrectly graded boards are the buyers willing to accept? How much work are the buyers willing to do themselves?

If a customer is willing to cut the timber to length, it is possible to use a 2- or 3-sided scanner and give the customer uncut timber, which will statistically contain the ordered amount of timber of a certain grade, but the user will have to cut away some defects.

One important point is whether the grading rules mirror the actual needs. Does a customer really care if there is a large knot on the inner face if he is going to use the outer face as the visible surface? Are edge knots important other than in constructions where strength is needed? As the grading rules become more customized, it is possible that a more thorough grading will be necessary, but the possibility is also that a less rigid grading might be sufficient for some products and some customers.

In the Nordic Timber rules, up to 10% of a batch might be off grade. Discussions with sawmill personnel give the impression that a good grader is correct up to approximately 80% over time, and a normal grader around 60%–70%. Exactly what is meant by “correct” is hard to specify. Sawmills usually only check how much in a package is acceptable, with some subjectivity. Other studies have shown that manual graders make errors: (cf. Huber et al. (1985), in which rough mill employees performed at 68% of perfect; Regalado et al. (1992a), in which value recovery was between 62% and 78%; and Grönlund (1994), in which manual graders had different opinions on 40% of the boards graded).

The amount of correctly graded timber needed in a batch is heavily dependent on grading rule, how familiar the customer is to a certain supplier and the appearance of the timber from certain sawmills or companies. A customer who is used to receiving 100% on grade, even though the rule or contract allows 10% off grade, will be discontented with 95% on grade. A sawmill that is considering a change in grading procedure might want to discuss the consequences with its most important customers to make sure that the new way of grading the timber is satisfactory to the customers needs. Otherwise there is a risk that the customer will change supplier, which might be very costly for the sawmill.

A three-sided grading is wanted in order to eliminate the need for a turning device, which is expensive and often slows down the feed speed or causes logistic problems. A three-sided grading of boards, knowing that the outer face is inspected, is possible if the inspection is performed right after the edger, where the side boards are turned outside face up. Then it is also possible to grade according to remaining wane.

In Figure 2 and Figure 3 it is seen that the number of correctly graded boards is between 27% and 98%, depending on species, dimension and number of graded sides. So it might be possible to use fewer than 4 sides for grading for special dimensions or products, but the loss could be very large if used on the wrong products.

The sensitivity grading accuracy to the number of graded sides is very dependent on grading rule. In Backman's case (2003), the rules used were company specific, and this study uses the Nordic Timber rules. In Backman's study, the timber was examined after trimming in the final grading station, which means that some of the downgrading defects had already been removed. The results may differ because of that, but the general tendency is the same: it is not generally sufficient to inspect only the edges or only the faces to achieve a correct final grading.

In Nordic Timber, the edges have a prominent role. In other rules, the edges might be uninteresting, with more or less everything permitted. In those cases, a two-sided face grading is sufficient. When grading for strength, the edges have a more obvious role, and a two-sided face grading seems even more risky.

The results in this study are built upon the assumption that all defects and other features are apprehended correctly. That is not the case in practice. Some defects are misinterpreted, some are missed and some are fictitious. That means that the grading results in practice probably are worse than this study shows. With a system that is 100% correct in defect detection it would be possible to reach at least 70% correctness if only the faces or outer face and edges are inspected. Unfortunately, the automated systems are like humans; they make errors, but different errors from human operators. The errors the automated systems make are often harder to accept by the end user, as these errors are of a new kind and sometimes totally incomprehensible. In the best of worlds there is a system that is 100% correct in defect detection and irrefutable in optimization. But today it is futile to hope for a faultless grading system.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by Vinnova, the Kempe Foundations, the SkeWood programme and the Swedish Forest Industries Federation

LITERATURE CITED

Anon. 1990. *Tegernseer Gebräuche*, 1985. Stuttgart: DRW-Verlag (In German). ISBN 3871811203.

Anon. 1994. *Nordic Timber, Grading rules for pine and spruce sawn timber*. Stockholm: Association of Swedish Sawmill Men.

Anon. 1997. *NS-INSTA 142. Nordic visual strength grading rules for timber*. Oslo: Norges Standardiseringsforbund (The Standardization Organizations in Norway).

Anon. 2000, EN 1611-1, Sawn timber. Appearance grading of softwoods. Part 1: European spruces, firs, pines and Douglas firs. European Standard.

Backman, M. 2003. *Analys av orsak till nedklassning av granträvaror* (Master's Thesis in Swedish). Examensarbeten nr 14. Department of Forest Products and Markets, SLU, Uppsala, Sweden. ISSN 1651-4467

Buehlmann, U. and R.E. Thomas. 2002. Impact of human error on lumber yield in rough mills. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 18:197–203.

Grönlund U. 1995. *Quality Improvements in Forest Products Industry – Classification of biological materials with inherent variations*. LuTH, Division of quality technology and statistics. Doctoral Thesis 1995:172 D. Luleå University of Technology. Luleå, Sweden. ISSN 0348-8373.

Grönlund, U. and O. Broman. 1995. Relations between wood properties and manual grading - an approach based on multivariate analysis. *Holz als Roh- und Werkstoff* 53:413–420.

Huber, H.A., S. Ruddel and C.W. McMillin. 1990. Industry standards for recognition of marginal wood defects. *Forest Products Journal* 40(3):30–34.

Huber, H.A., C.W. McMillin and J.P. McKinney. 1985. Lumber defect detection abilities of furniture rough mill employees. *Forest Products Journal* 35(11/12):79–82.

Kline, D.E., C. Surak and P.A. Araman. 2003. Automated hardwood lumber grading using a multiple sensor machine vision technology. *Computers and electronics in agriculture* 0:1–17.

Lycken, A. 2005. Comparison between automatic and manual quality grading of sawn wood. Unpublished manuscript. Author contact: Luleå University of Technology, Division of Wood Technology, Skellefteå Campus, Skeria 3, SE-931 87 Skellefteå, Sweden.

Lycken, A. 2000. *Sortering och produktmix inom trävaruindustrin - Analys av sorteringssimuleringar; Sorting and product mix in the wood industry – Analysis of simulated sortings* (In Swedish with English abstract). Licentiate Thesis, Royal Institute of Technology, Department of Wood Technology, Stockholm, Sweden; KTH, Träteknologi. Trita-Trä R-00-45.

Regalado C., D.E. Kline and P.A. Araman. 1992a. Optimum edging and trimming of hardwood lumber. *Forest Products Journal*. 42(2): 8–14

Regalado, C., D.E. Kline and P.A. Araman. 1992b. Value of defect information in automated hardwood edger and trimmer systems. *Forest Products Journal*. 42(3):29–34.

Table 1. Species, dimensions, origin and number of boards included in the study.

Species, dimension	Origin	Number of boards
Pine 50 x 150	Sweden	73
Pine 50 x 200	Sweden	83
Pine 63 x 150	Norway	87
Spruce 22 x 100 – 150	Finland	93
Spruce 38 x 115	Finland	104
Spruce 50 x 150	Sweden	86
Spruce 50 x 200	Sweden	88
Spruce 63 x 150	Norway	96
Total		710

Table 2. Allowed knot sizes in Nordic Timber grading.

Wood features			Grade		
Sound knots	Timber thickness mm	Timber width mm	A	B	C
			Knot size mm		
Faces	16-25	75-115	20	35	50
		125-150	25	40	55
		175-225	30	45	60
	32-38	75-115	25	40	55
		125-150	30	45	60
		175-225	35	50	65
	44-50	75-115	30	45	60
		125-150	35	50	65
		175-225	40	55	70
	63-75	75-115	35	50	65
		125-150	40	55	70
		175-225	45	60	75
Sound knots Edges	Timber thickness mm		Knot size mm		
	16-19		15	*	*
	22-25		20	*	*
	32-38		25	30	*
	44-50		30	40	*
	63-75		35	50	*
Other knots	Type of knot		Reduced to % of sound knot size		
	Knot cluster, per knot		70	70	80
	Dead knot		70	70	100
	Barkringed knot		50	60	90
	Unsound knot		-	50	90

* equal to timber thickness

Table 3. Prices for the different dimensions and species.

Prices in SEK/m3	A	B	C	D	Chips
Pine 50 x 150, 50 x 200, 63 x 150	1900	1500	1300	800	150
Spruce 50 x 150, 50 x 200, 63 x 150	1900	1500	1300	800	150
Spruce 38 x 100	2000	1500	1300	800	150
Spruce 22 x 100–150	2300	1500	1300	800	150

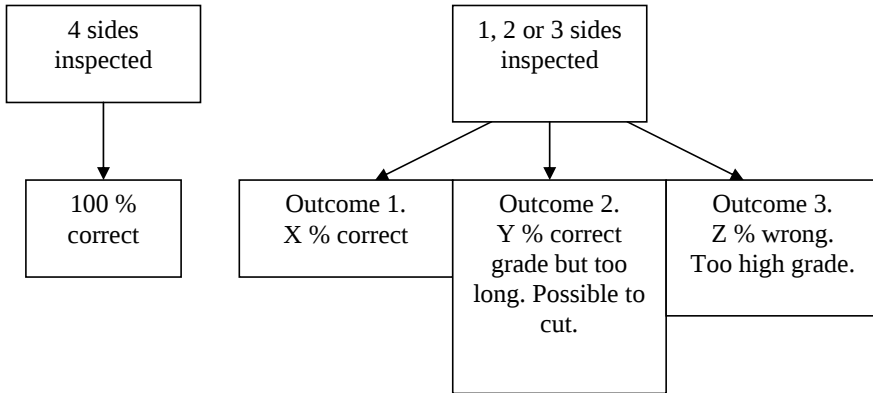


Figure 1. Possible grading outcomes

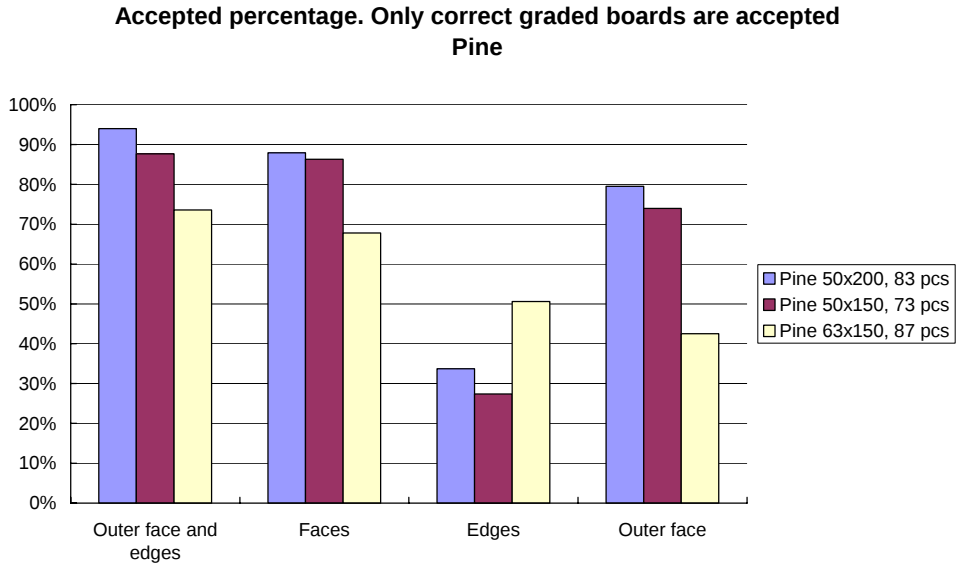


Figure 2. The percentage of correctly graded pine boards. Only correctly graded boards are accepted.

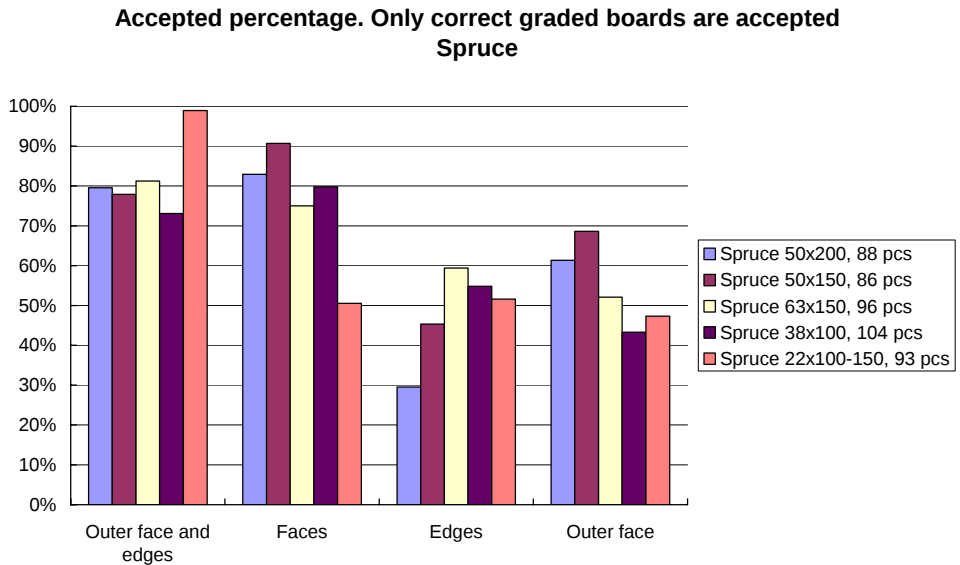


Figure 3. The percentage of correctly graded spruce boards. Only correctly graded boards are accepted.

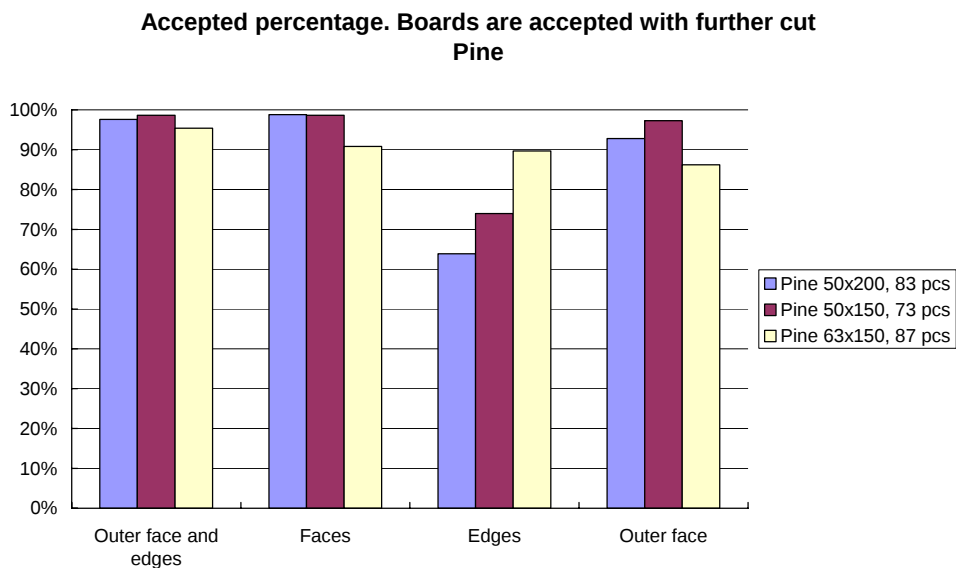


Figure 4. The percentage of pine boards that are correctly graded or too long but accepted with further cutting.

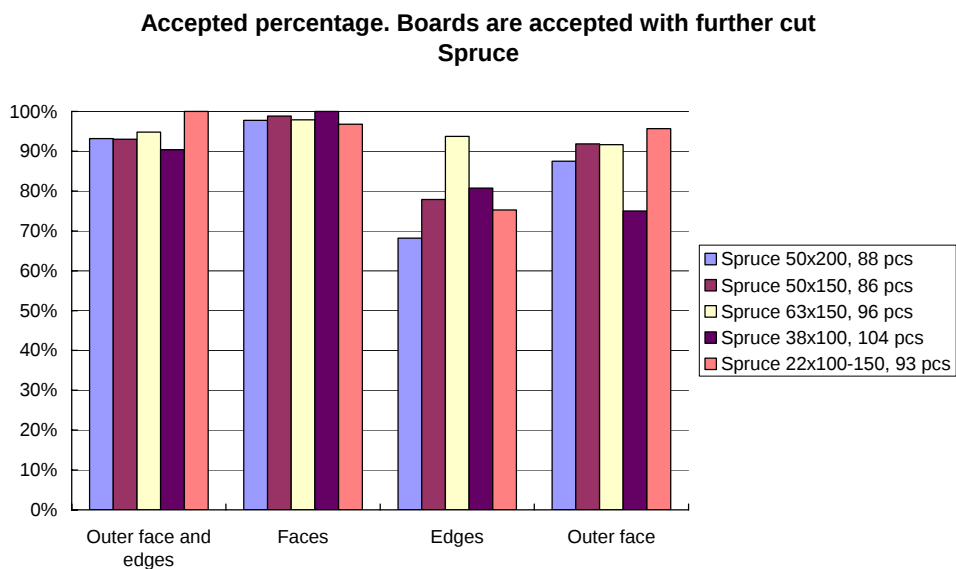


Figure 5. The percentage of spruce boards that are correctly graded or too long but accepted with further cutting.

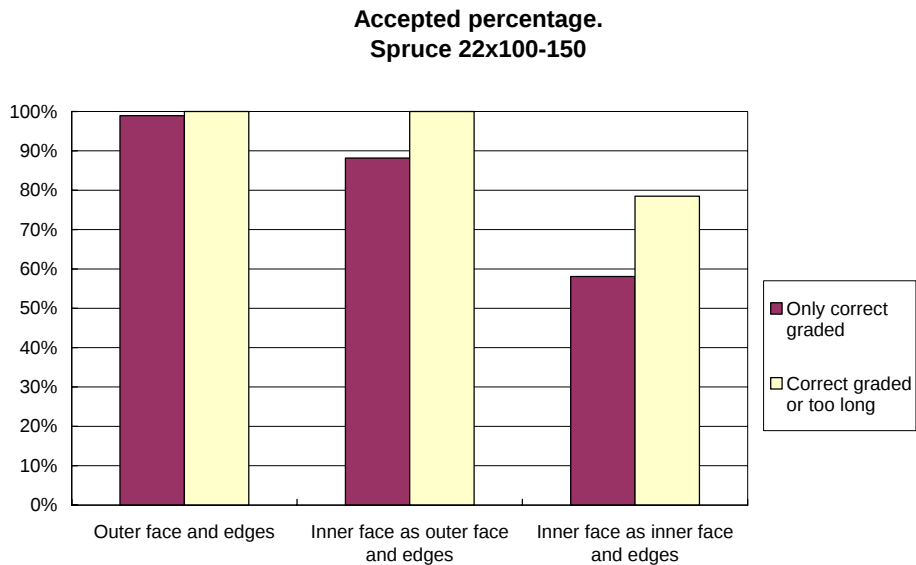


Figure 6. The accepted percentage of spruce side boards when grading based only on three sides. The inner face may be one grade lower than the piece itself, and the test shows the difference that arises depending on whether the outer or inner face is inspected. Regarding correctly graded boards:

- *If outer face is inspected and treated as outer face the accuracy is 99%.*
- *If inner face is inspected and treated as outer face, the accuracy is 88%*
- *If the inner face is treated as inner face, which may be one grade lower than the outer face, the accuracy is 58%.*

In this latter case, the grade is set to the edges' grade or one step higher than the inner face's grade, whichever is lowest. If the boards that are of correct grade but also the boards that are too long are accepted, the accepted percentage is higher.

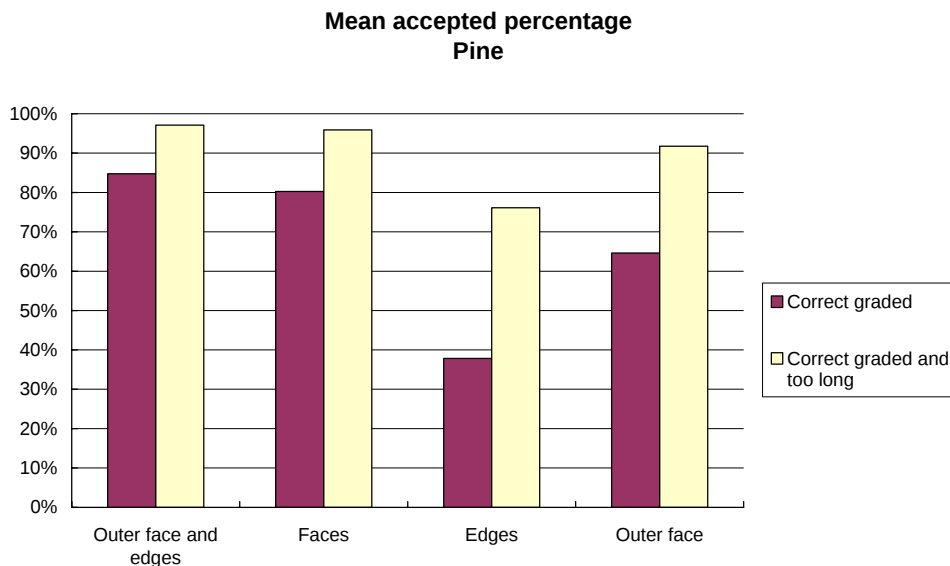


Figure 7. The mean percentage of correctly graded timber of pine, depending on sides graded. The timber is accepted if it is correctly graded or if it is possible to cut it to remove unwanted defects and obtain the correct grade.

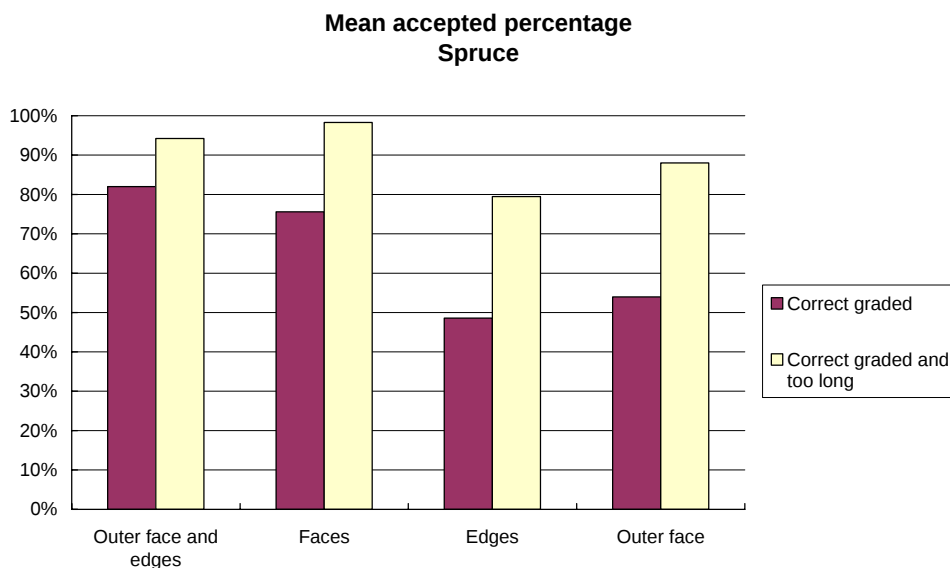


Figure 8. The mean percentage of correctly graded timber of spruce, depending on sides graded. The timber is accepted if it is correctly graded or if it is possible to cut it to remove unwanted defects and obtain the correct grade.

