

**Chemical methods to increase the reactivity of lignin
–In the context of green chemistry and education for
sustainable development**

Erica Birgersson

Master of Science and Education Thesis

Stockholm 2015



Stockholms
universitet

Table of contents

1.1 Abstract.....	5
1.2 Sammanfattning.....	6
2 Introduction	7
2.1 Objective	7
3 Background	8
3.1 Wood macromolecules	8
3.1.1 Cellulose.....	8
3.1.2 Hemicellulose.....	8
3.1.3 Lignin	8
3.2 Kraft lignin.....	11
3.2.1 Kraft Pulping	11
3.2.2 The Lignobost process	12
3.2.3 Kraft lignin	12
3.3 Kraft lignin in applications	13
3.4 Modification of lignin	15
3.4.1 Fragmentation.....	15
3.4.2 Functionalization of hydroxyls groups.....	16
3.4.3 Modification towards new chemical active sites.....	17
3.4.4 Demethylation	18
3.5 Green chemistry	20
3.5.1 Kraft lignin in the context of Green chemistry	20
The twelve principles of green chemistry	21
3.6 Principles of analytical methods used.....	23
3.6.1 Size Exclusion Chromatography, SEC.....	23
3.6.3 Folin–Ciocalteu reagent (FCR)	23
3.6.2 Nuclear Magnetic Resonance, NMR.....	25
4 Experimental	26
4.1 Material	26
4.2 Demethylation.....	26

4.3 Chemical analysis	27
4.3.1 Hydroxyl determination	27
4.3.2 Phenol determination.....	27
4.3.3 Aqueous Size Exclusion Chromatography (SEC).....	28
4.3.4 UV-spectrum	28
4.3.5 Elementary analysis and methoxyl determining	28
5 Results and Discussion.....	29
5.1 Demethylation.....	29
5.2 General chemical properties	32
5.3 Molecular mass distribution.....	32
5.4 UV absorbing structures	34
5.5 Changes in hydroxyl groups	35
5.6 Towards Green lignin chemistry.....	39
6 Conclusions	41
7 Future work	42
8 Utbildningsvetenskapligt avsnitt (Educational part).....	43
8.1 Inledning	43
8.1.3 Undervisningstraditioner	44
8.1.1 Samhällsfrågor i naturvetenskapen	45
8.1.2 De fem förmågorna	46
8.1.4 Syfte och Frågeställning.....	47
8.2 Metod och Genomförande	48
8.2.1 Lektionsgenomförande.....	48
8.2.2 Datainsamling.....	48
8.2.3 Urval.....	48
8.2.4 Kvalitetsredovisning och Källkritik	49
8.3 Resultat.....	50
8.3.1 Förmågor som utvecklas vid utförande av materialet	50
8.3.2 Samhällsvetenskapliga frågor i naturvetenskapen	51
8.4 Diskussion och Analys.....	53

8.5 Slutsats	54
8.6 Framtida forskning.....	54
9 Abbreviations	55
10 Acknowledgements	56
11 References	57
11 Appendices	60
Appendix 1.....	60
Appendix 2.....	62
2.1 Utbildningsmaterialet	62
2.2 Enkätundersökning.....	67

1.1 Abstract

The research concerning lignin in high value applications has increased during the last years due to its renewability and availability in the black liquor from pulp mills. Today the major part of kraft lignin found in the black liquor is used as fuel to gain energy in the recovery boiler. Lignin functions as natural glue in plants so that the function of kraft lignin as a phenol replacement in wood adhesives has been researched. Due to lignin's low reactivity the molecule must be modified prior to use. Demethylation is a method to increase the phenolic content in lignin to produce more reactive sites. Thiol mediated and iodine mediated demethylation was performed. Demethylated lignin was characterized by changes in phenolic and hydroxylic groups, molecular mass, elemental composition and other properties using methods including UV, SEC and ^{31}P NMR.

The results showed a decrease in the phenolic content contrary to the increase that was expected. Really low yields were also gained which makes the results non-representative. Size evaluation showed that the percentage of high molecular content in the demethylated lignin sample had increased, which point towards the loss of low molecular mass fractions. Due to demethylation lignin may have been more hydrophilic and soluble in DMF and water. In addition to this bond cleavage may have produced smaller fragments which also increase the solubility. The results point towards the loss of smaller fragments in the DMF and water phases.

The applied demethylation methods were evaluated in context of green chemistry. Production, waste, involving chemicals and efficiency were discussed and analyzed. The applied demethylation methods use DMF as solvent which is not a green alternative, greener solvents such as water or other energy adding methods could be used to make the process greener. The use of NaOMe produces methanol as a byproduct which could be eliminated by using NaOH, future studies on the efficiency of the bases in the needs to be done.

Nature science has a reputation of being hard and firm. By bringing in social issues in science education new ways of looking at science opens up. A social problem and at the same time an environmental problem in today's society is the large plastic mountain in the Pacific Ocean. An educational material of the "*Samhällsfrågor med Naturvetenskapligt Innehåll*", SNI, (Societal issues with scientific content) principle has been evaluated with respect to the abilities that can developed together with whether students increase their science knowledge through this. The study showed that students can develop almost all abilities described in the curriculum and their knowledge in science by this type of material.

Keywords Biomaterial, lignin reactivity, thiol mediated demethylation, iodine mediated demethylation, green chemistry, SNI-fall.

1.2 Sammanfattning

Forskning kring lignin i produkter har ökat under de senaste åren på grund av lignins förnyelsebarhet och tillgänglighet i svartluten från massabruken. Idag används den största delen av sulfatligninet från svartluten som bränsle för att producera energi i sodapannan. Lignin fungerar som ett naturligt lim i växter och på grund av detta undersöks funktionen av kraftlignin som fenolersättning i trälím. Med anledning av ligninmolekylens låga reaktivitet behöver lignin modifieras före användning i produkter. Demetylering är en metod för att öka fenolhalten i lignin och skapa en högre reaktivitet. I denna studie utfördes Tiolmedierad och jodidmedierad demetylering. Det demetylerade ligninet utvärderades med avseende på förändringar i fenol- och hydroxylgrupper, molekylvikt, elementarsammansättning och andra egenskaper med hjälp av olika metoder, inklusive UV, SEC och ^{31}P NMR.

Resultaten visade en minskning i fenolinnehåll i motsats till den ökning som förväntades. Riktigt låga utbyten påvisades också vilket gör att resultaten inte är representativa. Storleksutvärdering visade att andelen med högt molekylviktsinnehåll i det demetylerade ligninproven hade ökat, vilket pekar mot förlust av lågmolekylära fraktioner. På grund av demetyleringen kan ligninet ha blivit mer hydrofilt och lösligt i DMF och vatten. Utöver detta kan bindningsklyvning ha skapat mindre fragment som också ökat lösligheten. Resultaten pekar mot förlust av mindre fragment i DMF- och vattenfaserna.

De tillämpade demetyleringsmetoderna utvärderades med avseende på grön kemi. Produktion, avfall, kemikalier och effektivitet diskuterades och analyserades. De tillämpade demetyleringsmetoderna använder DMF som lösningsmedel, vilket inte är ett grönt alternativ. Grönare lösningsmedel såsom vatten, eller andra typer av energitillsättning, kan användas för att göra processen miljövänligare. Användandet av NaOMe i den thiol medierade demetyleringen skapar metanol som en biprodukt vilket kan bytas ut mot vatten om NaOH istället används. Vidare studier behöver göras för att undersöka de båda baserna effektivitet.

Naturvetenskapen har ett rykte om att vara hård och fast. Genom att föra in sociala frågor i den naturvetenskapliga utbildningen kan nya sätt att se på vetenskapen skapas. Ett samhällsproblem och samtidigt ett miljöproblem i dagens samhälle är det stora plastberget i Stillahavet. Ett undervisningsmaterial för "Samhällsfrågor Med Naturvetenskapligt Innehåll", SNI, principen har utvärderats med avseende på vilka förmågor som kan tränas tillsammans med huruvida eleverna kan öka sin vetenskapliga kunskap. Studien visade att eleverna kan utveckla nästan alla förmågor som beskrivs i läroplanen och sina kunskaper inom naturvetenskapen genom denna typ av utbildningsmaterial.

Nyckelord Biomaterial, lignin reaktivitet, tiol medierad demetylering, jod medierad demetylering, grön kemi, SNI-fall.

2 Introduction

The recent increased concern for sustainability has resulted in an enlarged usage of renewable materials. These materials aim on replacing petrochemicals and reduce our dependence of petrol. Renewable materials from the woods like lignin have a growing interest. Lignin is the main renewable source of aromatic structures but it has poor reactivity and that generate problems with its application as for example a replacement of phenol (Duval & Lawoko, 2014).

As a part of this project an educational material has been produced. A lot of students have a hard time to use and understand science, the subject is often described as secure and fixed (Löfgren et al., 2014). This material aim on introducing and educate students about sustainable development by using science in the application on a society problem.

2.1 Objective

The aim of the thesis is to increase the reactivity of lignin. To reach this goal a literature survey was done to select efficient methods for cleavage of aryl methyl ethers. Kraft lignin was modified by demethylation to increase the amount of phenol groups. In this thesis two methods reported to increase the reactivity of kraft lignin has been evaluated. The evaluation was done by phenol and hydroxyl determination. Lignin as a renewable material and the sustainability of the demethylation methods will be discussed in the context of green chemistry.

The educational part will aim on investigating how the use of social questions in science education can help students develops their skills. An educational material directed to secondary upper school and the course *chemistry 2* will be created and evaluated with observation and interviews. This part of the project will be presented as a separate section in chapter six in Swedish, as the target is the Swedish school.

3 Background

3.1 Wood macromolecules

Wood mainly consists of three different components, cellulose (39-45%), hemicellulose (20-30%), and lignin (22-31%). The amount of each component differs between different types of wood. Wood comes from trees which belong to seed-bearing plants. Trees can be divided in to two different groups, gymnosperms and angiosperms. Softwood belongs to the gymnosperms and hardwood belongs to the angiosperms (Sjöström, 1993).

3.1.1 Cellulose

Cellulose is the most common organic compound on earth and represents approximately one third of a plants mass (Albertsson et al., 2012). It is a homopolysaccharide that consist of β -D-glucopyranose units linked together by (1→4)-glucosidic bonds. Packages of cellulose molecules are aggregated together to form microfibrils. These microfibrils build fibrils which builds the cellulose fibers (Sjöström, 1993). Cellulose works as a structural unit in the cell wall of green plants and alga. In other words, the cellulose works as bones in the plants. Further cellulose is an important component in many different applications such as textile fiber and scum (Albertsson et al., 2012).

3.1.2 Hemicellulose

Hemicellulose is found in the cell wall of plants and it is a group of heterogeneous polysaccharides. As a difference from cellulose, hemicellulose can be branched and compounded by different saccharides. Hemicellulose is composed by different units including xylose, glucose, mannose, galactose and arabinose. In the nature hemicelluloses is very common in plants, but it is less used as chemicals in applications. The structure of hemicelluloses depends on plant species and if it is hardwood or softwood. Hardwood hemicelluloses consist mostly of glucuronoxylan and glucomannan while softwood celluloses consist mostly of galactoglucomannan, arabinoglucuronoxylan and arabinogalactan (Sjöström, 1993).

3.1.3 Lignin

The structure of lignin depends on its origin and it is the most complex biopolymer (Albertsson et al., 2012). In fact lignin is never defined as a single compound; it is a class of phenolic natural macromolecules (Ghaffar & Fan, 2014). Lignin is very hard to isolate without degrading, so its structure is not precisely known. What is known is that it is an amorphous and highly branched polymer. The structure is built by three different units: p-coumaryl alcohol, coniferyl alcohol and sinapyl alcohol. These three units are called monolignols and are connected to each other by carbon-carbon or ether bounds to a three dimensional structure through radical coupling reactions during synthesis, resulting in a highly heterogeneous structure (Sjöström, 1993).

In **Figure 3.1** the three monolignols residues p-hydroxyphenyl (H), guaiacyl (G) and syringyl (S) are shown. Gymnosperms consist mostly of G and small quantities of H. In contrast, angiosperms mostly consist of a mixture of G and S (Sjöström, 1993).

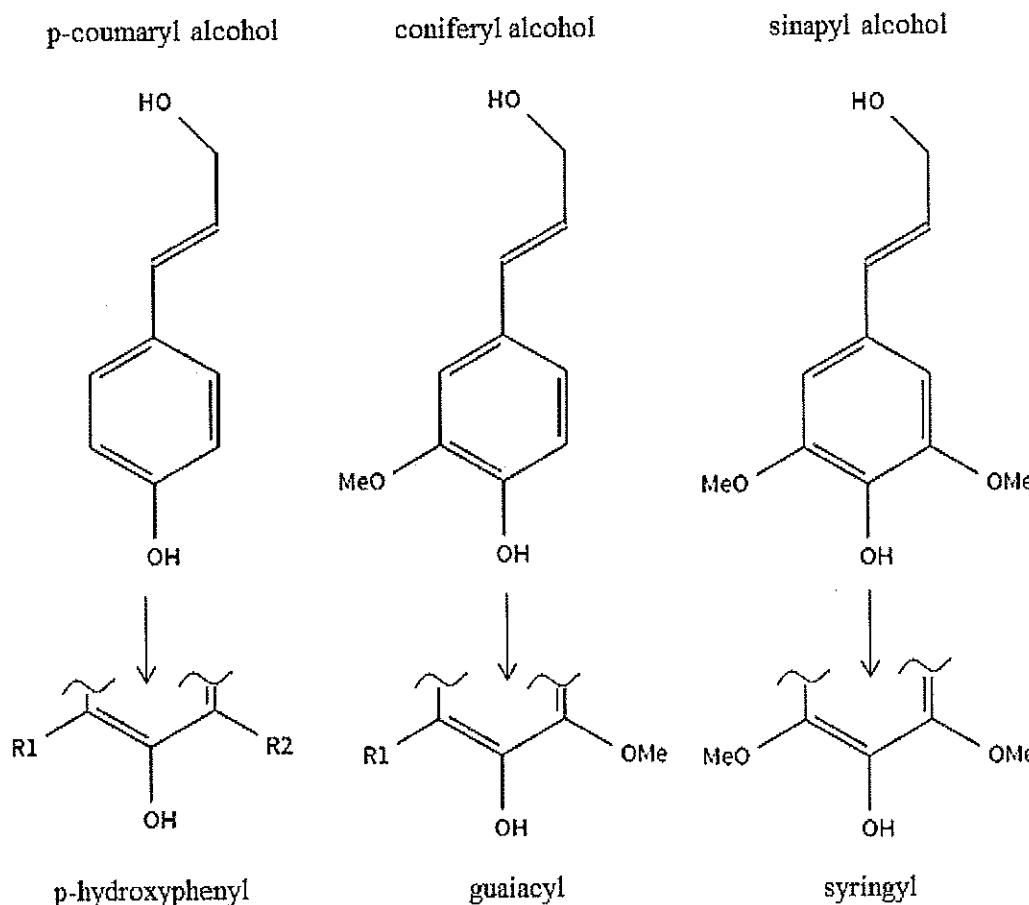
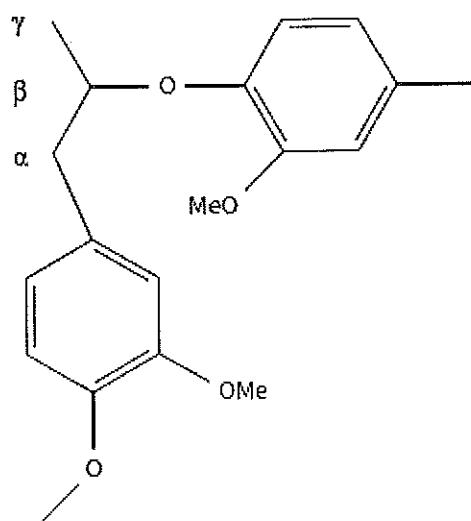
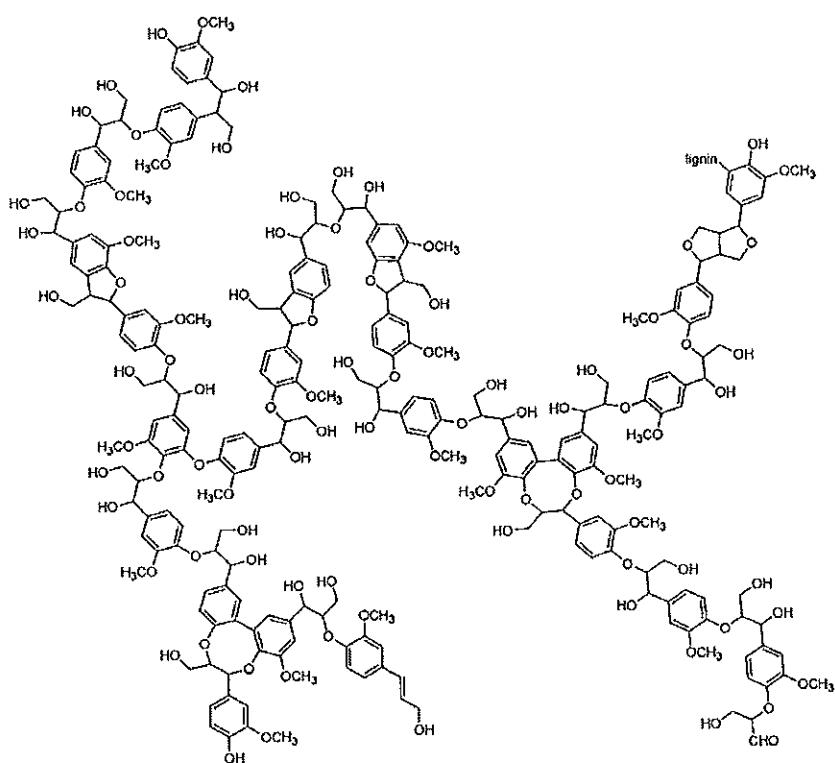


Figure 3.1 Upper part: The structures of the monolignols forming lignin. Lower part: Resulting residues in lignin. R₁, R₂ = H or lignin

These monolignols are linked together mainly by β-O-4 linkage, see **Figure 3.2**. This bond represents about 50% of the bindings in softwood and 60% in hardwood. Of the 60% in hardwood 40% are of guaiacyl type and 60% of syringyl type. (Sjöström, 1993)

**Figure 3.2** β -O-4 linkage in lignin

The characteristic functional groups in native lignin are methoxyl, phenolic hydroxyl, aliphatic alcohol and some terminal aldehyde groups in the side chain. (Sjöström, 1993) The potential of lignin are unmistakably not valorized today because almost all of the lignin is burned for energy generation in the recovery boiler. Only a really small part of all the lignin is being used for different applications such as components in biomaterial, health products, biocides etc. (El Mansouri & Salvado, 2007).

**Figure 3.3** A model of the complex structure of lignin

3.2 Kraft lignin

3.2.1 Kraft Pulping

To use wood in papermaking, pulp needs to be produced from the wood fibers. Pulp can be produced chemically, mechanically or by combining the two types. By creating pulp the fibers get liberated and can be used in different applications (Sjöström, 1993).

Kraft pulping is one of the chemical methods for producing pulp. In the chemical process the majority of lignin is removed and the remaining fibers can easily be liberated. Today the majority of all pulp is kraft pulp and the method has replaced other old chemical method like the soda process. The method is performed with a solution named "white liquor", composed of sodium hydroxide and sodium sulfide (Sjöström, 1993).

The selectivity for delignification is relatively low for kraft pulping due to attacks of the carbohydrates already at rather low temperature. This ends up in completely removed acetyl groups and the fact that the primary peeling process is terminated long before the maximum cooking temperature. The dissolution of lignin can be described by three phases. First the initial phase of delignification that takes place at temperatures below 140°C, this step is controlled by diffusion. When the temperature is over 140°C the second phase, the bulk phase, begins and here are the delignification controlled by chemical reactions. The delignification accelerates steadily together with an increasing temperature. The last phase, the residual delignification phase, takes place when approximately 90% of the initial lignin has been removed. This phase is a final slow phase that is regulated to some degree by varying the alkali charge and the cooking temperature. The kinetics of the kraft pulping process is simpler than for the sulfite process, which is one of the other common processes, and this is a main reason why the kraft pulping method is more used. By the simpler kinetics more applications have also been adopted for kraft pulping. Even though the kraft pulping is the most commonly used method to produce chemical pulp it produces malodorous gases and uses a lot of bleaching chemicals (Sjöström, 1993).

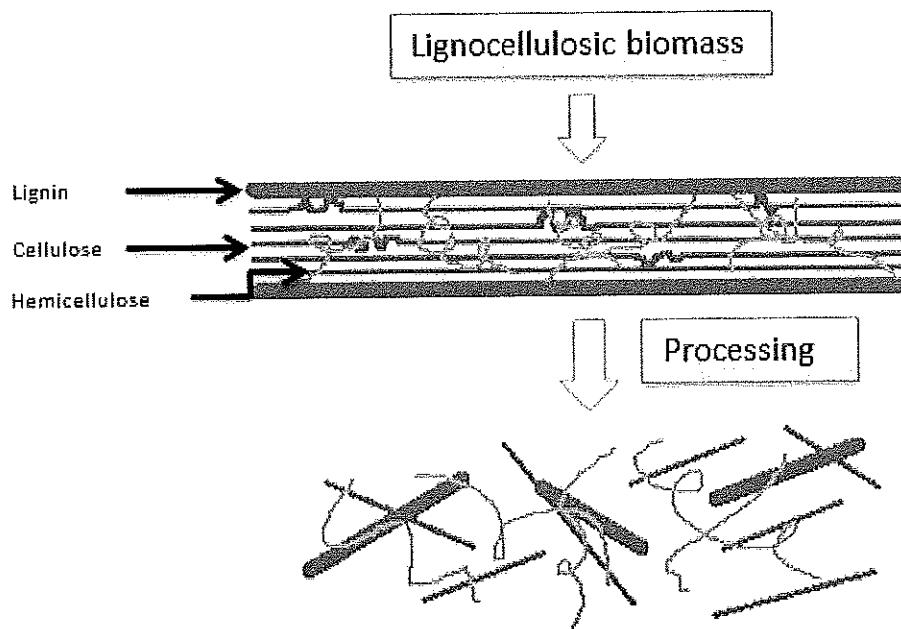


Figure 3.4 The constituents of wood processes into pulp.

Black liquor is the spent liquor from the kraft pulping and consists of lignin and carbohydrate degradation products together with small fractions of extractives and their reaction products, it is an extremely complex mixture. Many of the linkages from native lignin is destroyed or extremely modified to form the new kraft lignin. (Sjöström, 1993)

3.2.2 The Lignobost process

The black liquor from softwood kraft cooking consists of approximately 46% lignin, 30% hydroxyl acids, 13 % other acids (formic and acetic acid), 7% extractives and 4 % other compounds (Sjöström, 1993). Lignin extracted from the black liquor would generate a great opportunity for development of a new byproduct from the kraft pulping. For example dry lignin could as it does today be used as a biofuel. A new technique to isolate kraft lignin from the black liquor and produce solid biofuels has been an idea from the R&D project called KAM. This process concept came to be called Lignobost and was developed by Chalmers University of Technology together with Innventia. The Lignobost process makes it possible to extract a more pure lignin, compared to other methods, in an efficient way from the black liquor (Tomani, 2010). Today Valmet owns the patent of the Lignobost process. The availability of large amount of kraft lignin of high purity plays an important role in the step towards lignin transformation into value-added polymers or materials (Duval & Lawoko, 2014).

3.2.3 Kraft lignin

Kraft lignin originates from the kraft cooking process. Approximately 85% of the total lignin production is derived from here. (Vishtal & Andrzej, 2011). Kraft lignin differs from native lignin and other technical lignin types. Due to extensive cleavage of β -aryl bonds during the cooking, kraft lignin contains a high number of phenolic hydroxyl groups. Additionally some biphenyl and other condensed structures also form as a result of the cooking. More generally the amount of condensed structures increases together with cooking time. During the delignification formations of quinone and catechol structures as well as an increased amount of carboxyl groups can occur in the bleaching step (Vishtal & Andrzej, 2011).

3.3 Kraft lignin in applications

Native lignin works as a natural glue in plants and have a phenolic nature. This makes it an attractive replacement for wood adhesives. Though lignin has fewer reactive sites in its aromatic ring than phenols and its macromolecular structure hinders its reactivity due to steric effects (Hemmilä et al., 2013). The chemical reactivity of technical lignin is important in many applications. Lignin destined to be used in formulation of synthetic resins need to have a uniform structure (Vishtal & Andrzej, 2011). One other main issue with technical lignin is their high polydispersity; indexes in the range of 5-10 are commonly reported. These high values complicate the attempts to produce functional polymers and materials (Duval & Lawoko, 2014). Technical lignin contains many different functional groups that will react in different ways, in applications only one of them may be desirable (Vishtal & Andrzej, 2011).

To utilize lignin as a fuel is not economically rational. If the lignin instead is used in chemical conversion the value can be higher (Vishtal & Andrzej, 2011). A transition from petrochemicals to bioprocesses based on renewable raw materials will provide environmental gains while maintaining the economic growth (Ghaffar & Fan, 2014). Additional jobs and new sales will also be generated as an effect (Gosselink et al., 2004).

Figure 3.5 shows the use of technical lignin in applications with and without modification in prior to use. One of the lignin utilization research primary objectives has been to use technical lignin as binders, with a focus on the using of lignin to (partly) replace phenol in phenolic wood adhesives for panel products. As a result of the industry moving towards more sustainable engineering there will be a bigger need for converting renewable materials into products (Ghaffar & Fan, 2014).

The direct use of the lignin polymer without modification has received great attention. Unmodified lignin is a relatively cheap raw material and it has shown promising results in the field of absorbents. The high carbon content of lignin makes it interesting as a precursor of all kind of carbon materials, for example carbon fibers. As the use of unmodified lignin is fragile, different mixtures with other polymers have been investigated (Duval & Lawoko, 2014).

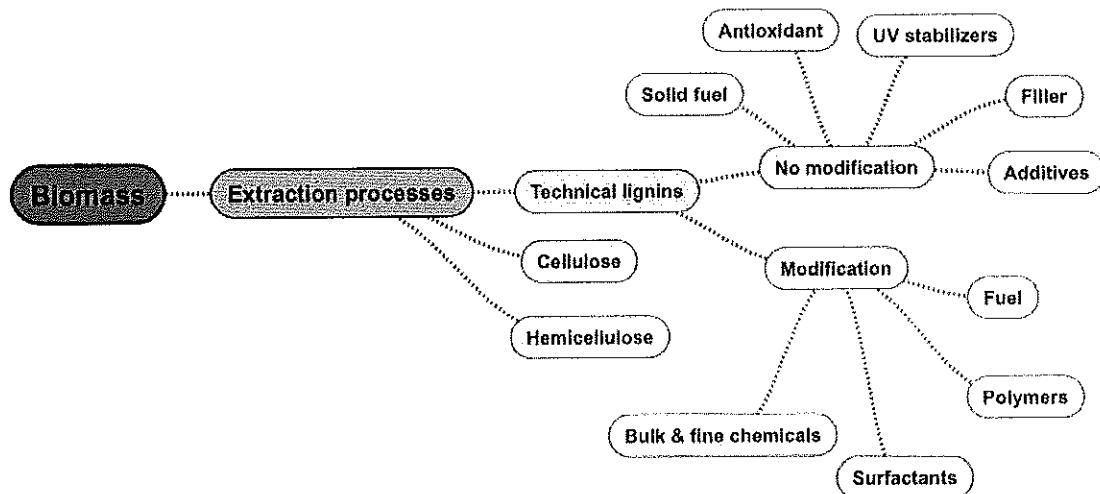


Figure 3.5 The use of technical lignin in applications with or without modification (UV - ultra violet).

As mentioned earlier there is a limitation in the use of unmodified lignin: The reactivity of lignin is essentially limited due to the lack of free ortho position on the phenolic ring. As shown in **Figure 3.6** the monolignols have different substituents linked to the aromatic ring.

In addition there are multiple types of hydroxyl groups and their susceptibility for chemical modification differs (Duval & Lawoko, 2014). There are different ways to increase the reactivity of lignin. One way is to decrease the molecular mass by fragmentation methods. Another way is to modify the structure in order to increase the amount of particular functional groups, for example phenol content (Vishtal & Andrzej, 2011).

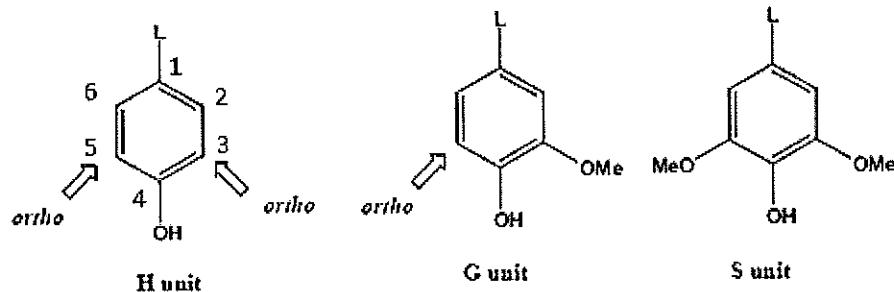


Figure 3.6 The three monolignols with their free positions and the associated nomenclature for C atoms (H - p-hydroxyphenyl, G – guaiacyl, S – syringyl).

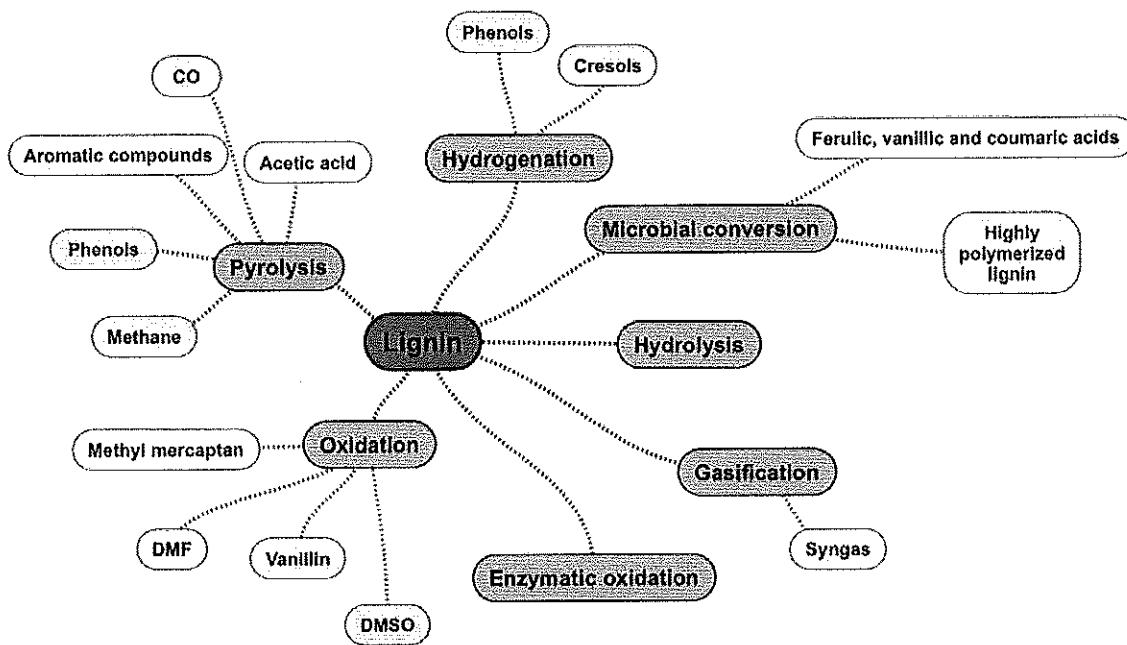
Many studies on how to increase the reactivity of lignin has been done over the years. Mostly they deal with methods as methylation/hydroxymethylation and phenolation which aims on introduce reactive functional groups to lignin (Hu et al., 2013). These functional groups are often non-polar to enlarge lignin compatibility with non-polar polymers, but polar groups are also used. In a described method lignin pre-reacts with formaldehyde to introduce a methylol group at the C5 position (for nomenclature see **Figure 3.6**). Then this methylolated lignin can be reacted with phenol and a modified phenol-formaldehyde resin with up to 50% lignin has been produced (Duval & Lawoko, 2014).

The understanding of the inter-unit linkages in lignin have been of interest to develop degradative methods that are able to cleave bonds in controlled ways (Duval & Lawoko, 2014). The interest of lignin as a replacement to phenol has been growing (Hu et al., 2013). In recent studies lignin based nanoparticles have been investigated. By dissolving lignin in ethylene glycol and then gradually add hydrogen chloride, nanoparticles can be produced (Duval & Lawoko, 2014).

3.4 Modification of lignin

3.4.1 Fragmentation

There are a great number of thermochemical conversion methods that depolymerize lignin (Figure 3.7). During the last decades, base-catalyzed depolymerization, pyrolysis, Lewis acid-catalyzed solvolysis and gasification have received significant attention. Thermochemical, biochemical and chemical conversion have also been used and developed to produce high value compounds. The upcoming focus on bio refineries has increased the interest in lignin fragmentation as a chemical resource (Laurichesse & Avéroux, 2014).



Figur 3.7 Different methods to degrade lignin and products that can be produced by them.
(CO – carbon monoxide, DMF – dimethylformamide, DMSO - dimethyl sulfoxide)

Pyrolysis is a deeply studied method for understanding biopolymer aromatic structure and breaking lignin down into aromatic low molecular mass compounds. The method is based on thermochemical decomposition by heating biomass at around 500°C without oxygen. At 280-500°C the ether and carbon-carbon bindings starts being cleaved. The degradation generates liquids, solids and gaseous fractions, whose amount depends on the reaction parameters. Pyrolysis can be used to generate a liquid called bio-oil. The method used is called flash pyrolysis and both the liquid (bio-oil) and the solid char can be used as fuel and the gas can be recycled back into the process (Laurichesse & Avéroux, 2014).

Oxidation of lignin is one way to obtain phenolic derivatives. The oxidant needs to preserve the aromatic rings of lignin and produces aldehydes and acids. Nitrobenzene, some metallic oxides, oxygen and air are some of the most used oxidants for lignin (Laurichesse & Avéroux, 2014).

One other method to degrade lignin is a process that involves different types of enzymes, e.g. peroxidases and oxidases. Phenol oxidases such as laccase use O₂ as the final electron acceptor rather than H₂O₂. This fact makes laccase different from other lignin modifying enzymes such as lignin peroxidase (Munk et al., 2015).

Laccase has not always been considered as an enzyme that contributes to lignin degradation. Mainly because of laccase redox potential is too low in order to oxidize non-phenolic units of lignin. The turning point came after important findings that established laccase role in lignin degradation in the nature. Laccase is now seen as a green alternative for lignin modification. The bond cleaving can however only happen in phenolic subunits of lignin. To be able to cleave bindings in non-phenolic subunits a mediator is needed (Munk et al., 2015). The process of complete lignin depolymerization or fragmentation is energy-negative processes aimed on disengage what nature once did. For this reason a number of methods to enhance the usage of lignin without modifying its fundamental structure have been on topic. (Laurichesse & Avérous, 2014).

3.4.2 Functionalization of hydroxyl groups

Lignin has phenol groups and aliphatic hydroxyl groups on the side chain. The most reactive ones are the phenolic hydroxyl groups and they significantly affect the reactivity of the material. If the hydroxyl groups get modified they can form lignin polyol derivatives that will increase the solubility. **Figure 3.8** shows a summary of chemical reactions for the functionalization of lignin hydroxyl groups (Laurichesse & Avérous, 2014).

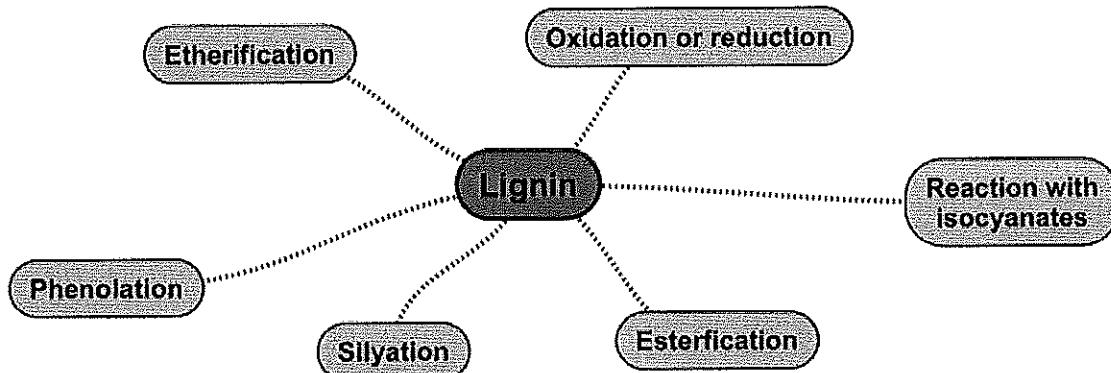


Figure 3.8 Summary of the chemical reaction for the functionalization of lignin hydroxyl groups

Esterification of the hydroxyl groups is probably the easiest reaction involving hydroxyl groups of lignin to carry out considering the reaction parameters and reactants used.¹ Phenolation is a method where lignin gets treated with phenol in an acidic medium. This leads to condensations of phenol with the lignin side chains and aromatic rings. Phenolation is one of the most common modification methods for lignosulfonates and is used to increase the amount of phenolic hydroxyl groups, thereby the reactivity (Laurichesse & Avérous, 2014). This type of chemical modification is described to be used to produce phenol formaldehyde resins. Prior to the reaction with formaldehyde lignin is modified with phenol. The lignin can after modification react with formaldehyde because of new phenolics with free *ortho* units. Phenolation can be carried out with for example cardanol which is a natural alkyl phenol from cashew nut shell liquid (Laurichesse & Avérous, 2014).

3.4.3 Modification towards new chemical active sites

As lignin has a complex structure value-added applications have not in bigger scale been achieved for unmodified lignin. To avoid this limitation, the lignin molecule can be modified to increase its range of applications. There have been different types of modification proposed to increase the chemical reactivity, increase the solubility in organic solvents, reduce the brittleness of lignin-derived polymers and improve the ease of processing lignin. The modifications entail an increased reactivity of the hydroxyl groups or a change in the nature of the chemical active sites (Laurichesse & Avérous, 2014). **Figure 3.9** presents modification methods to produce new chemical active site.

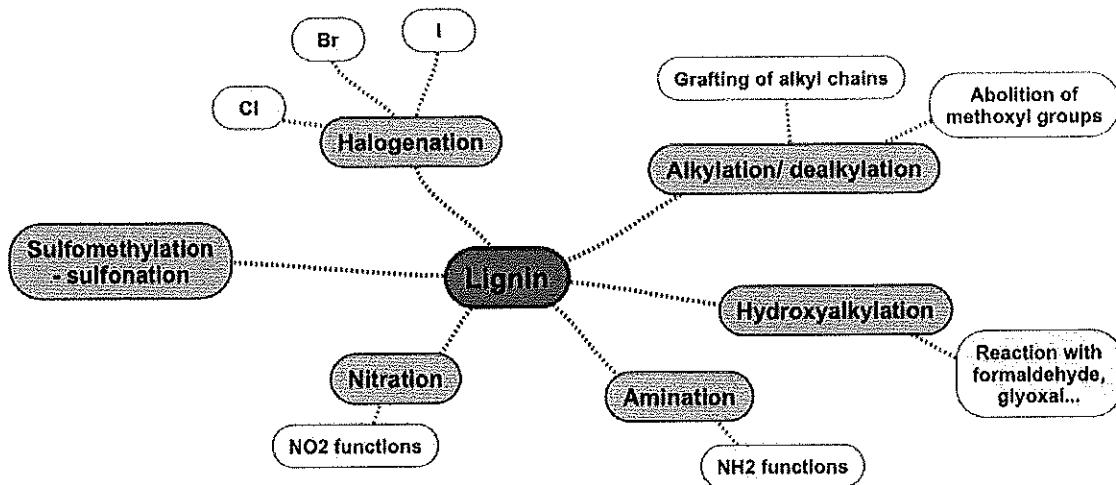


Figure 3.9 Methods to produce new chemical active sites. (NO_2 – nitrogen dioxide, NH_2 – amidogen, Cl – chlorine, Br – bromine, I – iodine)

The most known example based on the alkylation and or/ dealkylation is demethylation. This method will be described in the section 3.4.4. Hydroxyalkylation is the name of another method that will synthesize lignin-phenol-formaldehyde (LPF) resins. This substitution of non-renewable phenol by the biobased lignin is possible due to similarities in the structure of lignin and phenols (Laurichesse & Avérous, 2014).

Amination is another method mainly based on the Mannich reaction with amine and formaldehyde. The Mannich reaction takes place between a carbon with high electron density and an immonium ion, existing from formaldehyde and an amine. As a result an aminoethyl group will be introduced at the ortho position of a phenolic hydroxyl group (Laurichesse & Avérous, 2014).

3.4.4 Demethylation

Lignin has far less reactive sites than the phenol ring due to the presence of methoxyl groups. If these methyl groups could be removed the reactivity should increase due to increased phenol content and thus the increased amounts of free *para* and *ortho* sites. **Figure 3.10** shows the result of the demethylation reaction on a simplified lignin molecule. This demethylation can be done chemically or enzymatically (Hemmilä et al., 2013). In addition, the demethylation of lignin methoxyl groups in units having a neighboring free phenol group results in a catechol formation. Catechol is more reactive than phenol due to additional electron donating –OH. The formed catechols are susceptible to oxidation (Hu et al., 2013).

Enzymatically demethylation can be done by laccase. Laccase can oxidize phenolic subunits of lignin and a laccase-mediator system widens the oxidation spectrum to also include non-phenolic subunits (Ibrahim et al., 2011). The enzymatic treatment is milder, safer and cleaner than the chemical treatment. In addition the enzymatically demethylation may also lead to a degradation of lignin and release of monomeric subunits. These units are reactive towards other active groups and/or polymerize in the company of the enzyme (Ibrahim et al., 2011).

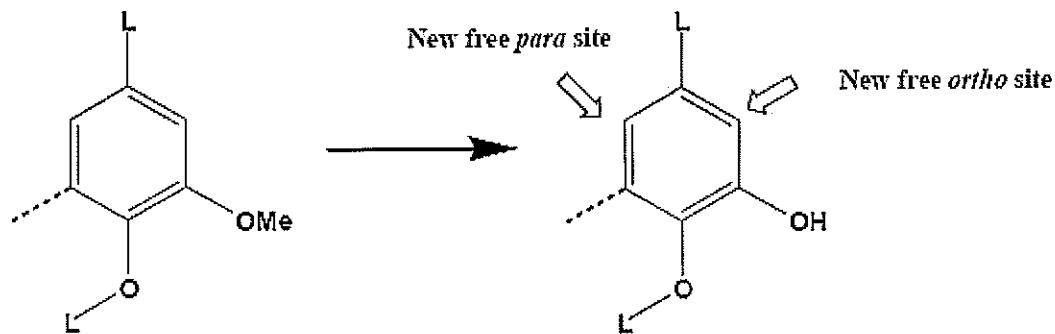


Figure 3.10 Left side: Schematic picture of the aromatic structure in lignin. Right side: Schematic picture of demethylated lignin and its new free *para* and *ortho* site.

The most common described chemical method for demethylation in the literature is based on a process for the production of dimethyl sulfide. Oxidation of dimethyl sulfide produces dimethyl sulfoxide (DMSO), an industrial solvent. Lignin reacts with elemental sulfur and produces dimethyl sulfide, demethylated lignin is one of the by-products in this process. Demethylation also occurs in the kraft cooking process as hydrogen sulfide is a strong nucleophile (Hu et al., 2013). Plenty of other methods have also been documented to be applicable on small scale syntheses. When it comes to large scale synthesis the methods gets fewer. One of the most popular reagents for demethylation, BBr_3 , is not a viable option for mass production due to its need of special equipment and high cost. There are other reagents such as BCl_3 , TMSI and $\text{AlCl}_3/\text{EtSH}$ that have similar disadvantages (Chae, 2008).

When the functional group of the substrate can withstand harsh reaction condition HBr is sometimes chosen as reagent. Additional to the harsh conditions this reaction often ends up with incomplete demethylation, probably due to poor solubility of the organics substrates. The use of sulfide nucleophiles as reagent has been proven effective. Sodium sulfide (NaSH) and sodium thioethoxide are some of the described reagents (Chae, 2008).

In a study made by Hu et.al (2013), a thiol is used to demethylate kraft lignin via a nucleophilic substitution reaction, a S_N2 reaction. Methanethiol and ethanethiol are small aliphatic thiols excellent for demethylation of aryl methyl groups, as they work as soft nucleophiles. One disadvantage with using small aliphatic thiols is their foul smell and toxic gases. By choosing one with a longer aliphatic chain this problem can be eliminated. In the study 1-dodecanethiol is used to demethylate kraft lignin. The demethylated kraft lignin showed increased content of phenolic, together with decreased methoxyl content. The average molecular mass decreased after the demethylation which can indicate on cleaved linkage in the lignin macromolecule (Hu et al., 2013).

Chae (2008) also uses 1-dodecanethiol to demethylate aryl methyl ethers. In the study different bases together with the reagent were evaluated; as a result sodium hydroxide is considered the most suitable one. Mainly because of that it was proven equally effective, have a low cost and easy handling (Chae, 2008).

Mentioned studies were reported to give high reaction yields and good results in increased phenol content. The described experimental methods are similar however the selection of base differs (Hu et al. 2008; Chae 2008).

Another chemical method describes the use of iodocyclohexane as reagent to demethylate aryl methyl ethers (Zuo et al., 2008). The method aims on to use relatively mild reaction conditions to generate high yields. As a result of their study high yields and effective demethylation were reported. The study that the method can be used for fused aromatic systems and that multiple methoxyl groups could be removed at the same time (Zuo et al., 2008).

3.5 Green chemistry

In the Brundtland Commission from 1987 sustainable development is defined as “*...meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own need*”. Since 1987 governments, industries and the society in general has been evaluating how to achieve sustainable development from their standpoint (Lancaster, 2002). The threat of upcoming climate changes affects the future for many countries and the environmental problem for people, especially in the third world, has transformed into a question of survival (Gröndahl & Svanström, 2010).

The most important goals of sustainable development are to reduce the consequences of the substances that we use and generate. One important part is to shift the production of energy and carbon-based chemical from fossil fuels to new renewable sources. Dealing with toxicities that are threatening the welfare and all living on earth are also an important part. The role of chemistry is essential to ensure that our next generation of chemicals, energy and materials are far more sustainable than today. The demand on environmentally friendly chemical processes and products worldwide requires the development of new methods for pollution prevention. One of the concepts in chemistry for sustainability is Green Chemistry. Green Chemistry is the utilization of twelve principles that reduces or eliminates the use or generation of hazardous substances in the process of designing, manufacture and for application of chemical products (Horva & Anastas, 2007). The twelve principles are described in **Figure 3.11**.

3.5.1 Kraft lignin in the context of Green chemistry

Lately a lot of attention has been drawn towards the development of new environmentally-friendly technologies for pulp and paper manufacture. In the term of water and energy usage and total discharges to the environment pulp and paper manufacturing constitutes one of the largest industry segments in the world (Lei et al., 2011). When green chemistry is considered from an industrial perspective it is important to notice some factors, for example the cost of implementing green technology into the industry. In this case it can be helpful to look at green chemistry as a cost reduction process and get a clearer perspective on how the application of green chemistry can lead to savings. These savings can result from reduced use of raw material, lower capital expenditure, less waste etc. The chemical industry has a fundamental challenge in continue providing the society needs at a low cost but at the same time in a sustainable way (Lancaster, 2002).

Pulp and paper are usually made from wood by chemical and/or mechanical methods. The mechanical process is extremely energy-intensive and the chemical process, for example the kraft process, produces hazardous chemical molecules (Lei et al., 2011). To execute green chemistry the synthesis should be less hazardous and energy effective, thing that these processes are not. As a result of the big environmental impact of the chemical and/or mechanical methods, a new biopulping method is being researched. The biopulping method is defined as the treatment of lignocellulosic material with lignin degrading fungi prior to pulping. The fungus is a selective lignin degrader and the most popular one is white rot fungi. The degradation occurs with the help of laccase, which is an enzyme but the process is time demanding in relation to chemical methods (Lei et al., 2011).

The twelve principles of green chemistry

1. Prevention

It is better to prevent the appearance of waste than to treat or take care of it after it has been created.

2. Atom economy

Methods for synthetic synthesis of chemical product should be so that as much of the entering material ends up in the final product. Design the chemistry so that the need of raw material and generation of waste gets minimized.

3. Less hazardous chemical synthesis

Synthetic methods to produce chemical products should be design to use and generate substances with as low toxicity as possible.

4. Design safer chemicals

Chemical products should be design so that their desired function and performance gets maximized and their toxicity gets minimized. Design better and safer chemicals.

5. Safer solvents and auxiliaries

The use of auxiliary substances should if possible be avoided or be innocuous when used.

6. Design for energy efficiency

The energy need of the chemical processes should carry their environmental and economic impacts and should be minimized. If possible, synthetic methods should be performed at ambient temperature and pressure.

7. Use of renewable feedstocks

Renewable raw materials should be used when the technology and economy allow it.

8. Reduce derivatives

Unnecessary derivatization (use of blocking groups, protecting/de-protection or other temporary modification of physical/chemical processes) should be minimized or avoided if possible.

9. Catalysis

Catalytic reagents should be as selective as possible and are superior to stoichiometric reagents.

10. Design for degradation

Chemical products should be design in a ways so that they at the end of their function can break down into innocuous degradation products and do not persist in the environment.

11. Real-time analysis for pollution prevention

Analytical methods needs to be further developed in order to allow real-time in-process monitoring and control prior to the creation of hazardous substances.

12. Inherently safer chemistry for accident prevention

The form and kind of substances used in a chemical process should be picked to minimize the potential risk of chemical accidents, including releases, explosions, and fires.

Figure 3.11 The twelve principles of green chemistry (Gröndahl & Svanström, 2011)

The usage of lignin in applications is a step towards green chemistry as it contributes to using lignin as a renewable raw material (principle 7, Figure 3.11) and not only as fuel to the pulp mill (Duval & Lawoko, 2014). The principle of using one of the byproducts as fuel to be able to recover the pulping chemicals and produce energy for the process is in line with the first principle of Green chemistry (Figure 3.11).

After the kraft cooking process lignin need to be recovered and processed. The Lignobost process is one effective way to extract lignin from the black liquor with less addition of sulfuric acid and yield than traditional methods. Research has also been done that shows that the Lignobost process can improve the economy. The process of extracting lignin with high purity from the black liquor opens up for using it as a biofuel or in high valued applications as a biopolymer (Tomani, 2010).

The need of derivatization to make lignin more useful in applications is not to prefer from a green chemistry perspective. The principles states that the use of derivatization should be minimized or avoided if possible (**Figure 3.11**) (Gröndahl & Svanström, 2011). As mention in previous chapters a lot of derivatization methods for lignin exist. These methods need to be adapted to the principles to make the use of lignin environmentally friendly.

3.6 Principles of analytical methods used

3.6.1 Size Exclusion Chromatography, SEC

Size Exclusion Chromatography (SEC) is the most common method for determining the Molecular Mass Distribution (MMD). Furthermore it is a liquid chromatographic method for macromolecules that will normally generate a relative molecular mass. The macromolecules are separated according to hydrodynamic size using columns packed with porous particles. Molecules with a larger size will elute earlier compared to smaller ones, which are able to diffuse into the pores with a greater extent (Harris, 2010).

The samples molecular mass decreases logarithmically with increasing elution volume. Mass sensitive detectors such as ultraviolet absorbance (UV) and differential refractive index (RI) are being used together with monodispersed standards of known molecular mass to establish a relationship between elution volume and molecular mass. The structure of the molecules used for the calibration should be similar to the unknowns for the comparison to work (Himmel & Squire, 1988).

The MMD is commonly evaluated by calculating the number average molecular mass (M_n), equation (1) and the weighted average molecular mass (M_w), equation (2). The molecular mass at the peak top is defined as M_p .

$$\overline{M_n} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i} \quad (1)$$

$$\overline{M_w} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} n_i M_i^2}{\sum_{i=1}^{\infty} n_i M_i} \quad (2)$$

The width of the distribution is defined as M_w/M_n and is called the polydispersity index (PD).

SEC of lignin performed with alkaline eluants, particularly with a phosphate buffer solution at pH 12 has showed several advantages over other SEC systems. Lignin is readily soluble in aqueous solution at pH 12 or higher without chemical derivatization. This method also uses a much cheaper solvent (water) than the many common organic solvents (dimethylformamide, dimethyl sulfoxide, dimethylacetamide) used to dissolve lignin (International Lignin Institute, 2014). Also, salts have to be added to prevent molecular aggregation in such polar solvents. One of the main factors why alkaline SEC has not been generally used has been the instability of the columns at high pH. Under the recent years SEC columns capable to withstand being exposed of a pH higher than 13 for a period of time has been developed (International Lignin Institute, 2014).

3.6.3 Folin–Ciocalteu reagent (FCR)

One of the most important functional groups in lignin is the phenolic hydroxyl group. Folin and Ciocalteu developed a simple and rapid method that could be used to determine the amount of these functional groups. From the beginning they used their method to measure phenolic amino acids in protein. Their method is based on the complexation to the phenol group of a heterophosphotungstate-molybdate which generates a blue color proportional to the amount of phenolic hydroxyl groups. Afterwards the amount of color is spectrophotometrically measured and thereby the amount of phenolic hydroxyl groups. The Folin-Ciocalteu method has a big advantage in its simplicity (de Sousa et al., 2001)

Phenols from solid samples are dissolved before analyzing. Dilute aqueous solutions of other solvents unreactive in the assay such as dimethylformamide may be used. But preparing the standards in the same solution is recommended for a more accurate result (Singleton et al., 1999).

The relevant chemistry of tungstates and molybdates is very complex. In the fully oxidized +VI valence state of the complex, the isopolyphosphotungstates are colorless and the corresponding molybdenum compounds are yellow. Together they form mixed heteropolyphosphotungstates-molybdates. In acid solution they exist as hydrated octahedral complexes with the metal oxides coordinated around a central phosphate. Sequences of one or two electron reversible reductions generates blue species such as $(PMoW_{11}O_{40})^{4-}$. Principally it works so that addition of an electron to a formally nonbonding orbital reduces nominal MoO_4^{4-} units to isostructural MoO_4^{3-} blue species. As for tungstate forms they are less easily reduced, but more susceptible to one-electron transfer. The detailed structures, both molecular and electronic, of the blue reduction products are unknown due to their complex nature (Singleton et al., 1999).

The absorption peaks for the blue complexation product are rather broad and can be observed in various wavelengths. But to avoid interference with other components, the analysis generally uses 760 nm. In the theory it is possible for phenols to form complexes with phosphotungstates and molybdates, but the FCR's oxidation of the phenol seems to have no other effect than as an electron supplier (Singleton et al., 1999).

It has been showed that some thiols are reactive towards the reagent, together with other molecules. All the thiol derives tested showed significant activity towards the FCR, however less activity than for phenols (Everett et al., 2010).

3.6.2 Nuclear Magnetic Resonance, NMR

The NMR method is based on the fact that atomic nucleus with an odd number of protons and/or neutrons have a specific spin, examples are ^1H , ^{13}C , ^{19}F , ^{31}P and ^{11}B . When these nuclei are placed in a magnetic field their spin will either conform with or against the field. The NMR method takes advantage of that the nucleus can switch spin direction when absorbing radio emission and in the NMR experiment a frequency is applied to induce the spin shift. The nucleus will then go back to a lower energy state and thereby transmit the absorbed emission. The energy of the transition depends on the nucleus position in the molecule and on its chemical environment. The transmitted pulse is then detected by the NMR-instrument and generates a spectrum (Burrows et al., 2009). Techniques of magnetic resonance have been proved to be excellent analytical tools for structural elucidation of lignin.

Phosphorus-Nuclear Magnetic Resonance, ^{31}P -NMR, is used to quantify hydroxyl groups of lignin. To implement this, phosphorylated lignin is analyzed by ^{31}P -NMR in presence with a relaxation reagent and an internal standard (Granata & Argyropoulos, 1995). The phosphorylation of lignin is described in **Figure 3.12**.

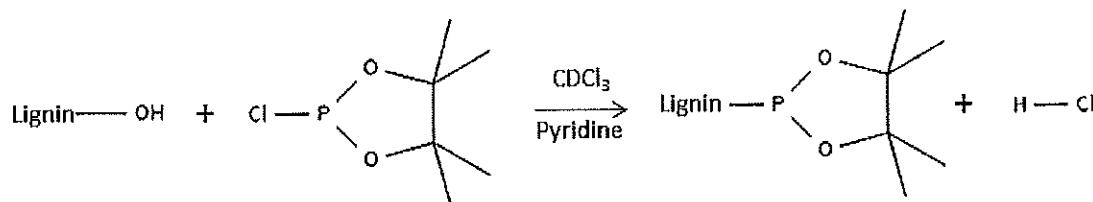


Figure 3.12 Picture showing phosphorylation reaction for lignin. (CDCl₃ - deuterated chloroform)

4 Experimental

4.1 Material

The lignin used in this study is softwood kraft lignin recovered by the Lignobost process from black liquor at Bäckhammar. All lignin used in the experiments were dried at 105°C for 18h prior of use.

1-Dodecanethiol (98%) and Iodocyclohexane (98%) were purchased from Alfa Aesar (Germany), hydrochloric acid (HCl, 37%), N,N-dimethylformamide (DMF), sodium hydroxide (NaOH, 97%), pyridine (99,8%), vanillin and n-hexane from Merck KGaA (Germany). Sodium methoxide (NaOMe, 95%), chromium(III)acetylacetone (99.99%), deuterated chloroform, N-hydroxy-5-norbornene-2,3-dicarboxylic acid imide (97%), 2-chloro-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaphospholane (95%) and sodium carbonate (Na_2CO_3 , 99.5%) from Aldrich and The Folin Ciocalteu's reagent from Merck were used.

4.2 Demethylation

Three different methods for demethylation were carried out, thiol mediated demethylation with NaOMe, thiol mediated demethylation with NaOH and iodine mediated demethylation. 1g lignin was dissolved in 2.5 mL DMF.

The thiol mediated demethylation were carried out by adding 1 mL (4mmol) 1-dodecanethiol and 2.5 mL DMF to an 25 mL oven-dried three necked round-bottom flask equipped with a magnetic stirrer. The solution was bubbled with nitrogen gas for 20 seconds. The flask was then put on an ice-water bath until the internal temperature became 5-10°C. For the first thiol mediated method 0.65 g (12 mmol) NaOMe was added in one portion under stirring and nitrogen atmosphere. The procedure for the second method differed only by the adding of 0.5 g (12 mmol) NaOH instead of NaOMe. The dissolved lignin (6mmol) was then carefully added under stirring and the reaction mixture was refluxed at 130°C under nitrogen atmosphere for one hour. To quench the reaction 1.25 mL purified water was added, followed by cooling on an ice-water bath.

The iodine mediated demethylation was carried out by adding 7 mL iodocyclohexane (10 equiv) and the dissolved lignin (1equiv) to a 25 mL oven-dried three necked round-bottom flask equipped with a magnetic stirrer. The mixture was then refluxed at 130°C in nitrogen atmosphere for 3h and then cooled on an ice-water bath.

The demethylated lignin from all three methods was gained by bringing the pH to 1 by adding 1M HCL. Precipitated lignin was obtained by centrifugation and then washed with ice-cold purified water three times and centrifuged in between the washing cycles. About 10 mL n-hexane was added to the lignin and stirred for 10 minutes, then separated by centrifugation. The obtained lignin was then dried at room temperature.

4.3 Chemical analysis

4.3.1 Hydroxyl determination

^{31}P -NMR was used in order to determine the hydroxyl groups of lignin. Prior to the analysis the lignin sample was dried for 42 h in a desiccator in the presence of silica gel.

A solution mixture was prepared of 10 mL, N,N-dimethylformamide:pyridine, 1:1, v:v. The solution was sealed and placed in a desiccator. A relaxation reagent was then prepared by measuring 50 mg of chromium(III)acetylacetone in a volumetric flask and dilute with pyridine to 10 mL. In the same way an internal standard was prepared with 200 mg N-hydroxy-5-norbornene-2,3-dicarboxylic acid imide and diluted with pyridine to 10 mL. The relaxation reagent and the internal standard were also sealed and placed in a desiccator.

Thirty milligram of lignin was weighed into a 1 mL vial equipped with magnetic stirrer and then 100 μL solution mixture, 100 μL relaxation reagent and 100 μL internal standard were added. The solution was left for stirring in 2 h. Then 100 μL of the phosphorylating reagent (2-chloro-4,4,5,5-tetramethyl-1,3,2-dioxaphospholane) was mixed with 400 μL deuterated chloroform and transferred to the solution. The solution was left stirring for 10 minutes before transferred to an NMR-tube.

The measurements were performed on a 400 MHz Bruker NMR spectrometer, with 5 mm NMR tube, using 45° pulse, 12135.922 Hz sweep width, 10 sec delay between successive pulses and 1 sec acquisition time pulses. 360 scans were recorded and then the spectrum were processed with the help of Bruker topspin 3.0. All chemical shifts were calculated relative to the internal standard, which has been observed to give a sharp signal in pyridine/ CDCl_3 at 151.9 ppm. The spectrum was evaluated according to Granata & Argyropoulos (Granata & Argyropoulos, 1995).

4.3.2 Phenol determination

A method of Folin and Ciocalteu was used to estimate the amount of phenolic hydroxyl groups. Vanillin was used to create a calibration curve with three points. 2.5 mg, 5 mg and 10 mg. 10 mg of lignin was weighed in and placed in a 100 mL volumetric flasks. The vanillin standards were weighed out and placed in the same type of flask. All samples were made duplicated. The samples were diluted with deionized water, 1 mL 1 M NaOH was added to 100 mL, and left over night.

1 mL of the prepared solution was then added to a 50 mL volumetric flask, this was repeated for all solutions. An empty flask was also prepared to function as a blank for the measurement. 3 mL Folin reagent and 30 mL water was added and left to react for 5-8 minutes, 10 mL sodium carbonate, Na_2CO_3 , (20%) and deionized water was added to 50 mL then left for two hours. The measurement was performed at 760 nm on a Agilent 8453 spectrophotometer.

4.3.3 Aqueous Size Exclusion Chromatography (SEC)

Samples was dissolved in a phosphate buffer solution (0.05 M NaH₂PO₄.H₂O), the eluent, with pH 12 at a concentration of 1 mg/ mL. Prior to injection the samples were filtered (0.5 µm, millex-SR, Millipore) and then characterized on a Size Exclusion Chromatography (SEC) system consisting of an Optimas automatic sampler from Spark, with an 515 HPLC pump (Waters) and a Knauer Smartline ultraviolet detector K-2501. The calibration standard used in this method is monodispersed sodium polystyrene sulfonate (Na-PSS) from Polymer Standard Service (PSS GmbH, Germany) with the M_w value of 891, 7750, 46000, 78400 and 400 000 Da. The injection volume was 50 µL and the separation were performed in room temperature with the phosphate buffer as mobile phase (0.6 mL/min) and with three MCX colums (PSS precolumn MCX, 10µm + MCX,10µm, 10⁵ Å + MCX,10 µm, 10³ Å in series). Data acquisition and calculations were carried out using Cirrus GPC/SEC Software v. 3.1 (Varian Inc.).

4.3.4 UV-spectrum

Samples was dissolved in 1 M NaOH at the concentration of 1mg/mL and then diluted to 0.01 mg/mL. The measurements were performed in the ultraviolet range, 200-400 nm, on an Agilent 8453 spectrophotometer.

4.3.5 Elementary analysis and methoxyl determining

Samples were sent to Analytische Laboratorien (Germany) for analysis with respect to the elements C, O, H, S, N and methoxyl content.

5 Results and Discussion

Demethylation according to three different methods was done to increase the phenolic content in Softwood Kraft Lignin (SKL). The resulting demethylated lignin samples were named as following: Iodine mediated Demethylation Softwood Kraft Lignin (IDSKL), Thiol mediated Demethylated Softwood Kraft Lignin with NaOMe (TDSKL 1) and Thiol mediated Demethylated Softwood Kraft Lignin with NaOH (TDSKL 2). A blank run (SKL 0) was made with the same procedure as TDSKL 1, but without the thiol.

All analysis was done on the isolated lignin with respect to yield, hydroxylic content, phenolic content, elemental composition, methoxyl content, molecular mass distribution and UV absorption.

5.1 Demethylation

Thiol and iodine mediated demethylation was performed. The blank run of the thiol mediated demethylation with NaOMe (TDSKL 1), SKL 0, was performed as an indication whether lignin gets affected from the base, the heating and/or the isolation. **Table 5.1** summarizes the yield from the demethylation experiments and the blank run. The yield from all reactions are very low in relation to the reported yields of up to 99% for thiol mediated (Hu et al., 2013), and 93% iodine mediated demethylation (Zuo et al., 2008) respectively. Notable is that Zuo et al. (2008) investigates aryl methyl ethers not lignin.

The blank run, SKL 0, shows also a relative low yield, 58%, in relation to the reported one. This indicates that the thiol do not have a major effect on the yield. Both TDSKL 1 and 2 show significant lower yields than the one reported in the literature, 39 and 28% respectively. TDSKL 2 shows a slighter lower yield than TDSKL 1. The difference is not so distinct that conclusions about the effect of the base can be made.

SKL 0, the blank of TDSKL 1, consists of lignin, DMF and a base (NaOMe). The sample is not representative as a blank for IDSKL from the fact that IDSKL do not contain any extra added base, only DMF, and that the IDSKL has been refluxed for three hours not one hour. IDSKL shows a higher yield than the thiol mediated demethylated samples, even as it has been refluxed longer. This fact points towards that longer reflux time does not lower the yield. The use of the same isolating procedure and the fact that IDSKL also shows a significant low yield indicates the same type of problem with loss of lignin in the water and/or DMF phase.

Table 5.1 Table showing the yield in percentage of starting material from the demethylation attempts (TDSKL 1, TDSKL 2 and IDSKL) and the blank run (SKL 0).

Sample	Yield (%)
SKL 0	58
TDSKL 1	39
TDSKL 2	28
IDSKL	44

The low yield can be a consequence of the applied isolation method. The acidity of the solution, destined to precipitate the lignin could have been insufficient and not been able to gain all lignin fragments. The process of washing the precipitated lignin with water also may have contributed to the low yields. As demethylation should result in an increased amount of phenolic groups in the lignin structure, demethylated lignin will be more hydrophilic and more likely to dissolve in water and DMF than unmodified lignin.

The extraction method selected differs from the methods described in literature. The isolation method used in this thesis is a modification of the by Hu et al. (2013) described method (Hu et al., 2013). Lignin is precipitated by lowering the pH with hydrochloric acid (HCl) and washed with n-hexane to remove the thiol. The difference is that in this thesis the precipitated lignin is washed with water in prior to n-hexane. The use of water as a washing step is chosen due to problems with the removal of DMF. As a result of only washing with n-hexane, the precipitated lignin was hard to dry and was a sticky mixture of lignin and DMF. Vacuum evaporation at elevated temperatures, up to 90°C, was first tried to remove DMF but was not successful. As not all DMF would be removed.

Unmodified lignin has a low solubility in water but high solubility in DMF. By washing with water the DMF could be removed and a dry lignin could be obtained. Ice-cold water was used to minimize the solubility of lignin. Both the removed DMF and water phases had a brown color, which indicates that fractions of lignin have been dissolved. As a result of this really low yields were obtained. Acidified water could have been used to reduce the solubility of lignin and thereby minimize the loss of fragments.

The mechanism for thiol mediated demethylation reaction is a nucleophilic S_N2 substitution reaction and the mechanism is presented in **Figure 5.1**. In brief the thiol gets deprotonated due to the base (NaOH or NaOMe). The deprotonated thiol function as the nucleophile and attacks the partially positive charged carbon in the methoxyl group (-OCH₃) resulting in the leaving of the methyl group (-CH₃) as methyl iodide and formation of a new phenolic hydroxyl group (-OH).

In the kraft pulping, hydrosulphide (HS⁻) and hydroxide (OH⁻) ions are involved. These ions can cause demethylation of lignin. Hydrosulphide works as a nucleophile forming first methyl mercaptan and then dimethyl sulphide which are hazardous substances. In the kraft pulping process these substances are handled separately with care. The principle of using thiols with longer carbon chains is to use a mild reaction condition and slowly generate HS⁻ from an HS⁻ source. The longer carbon chain also contributes to a higher boiling point and the thiol does not develop into gas.

The mechanism for iodine mediated demethylation reaction is an elimination reaction, E1, followed by a nucleophilic S_N2 substitution reaction. In brief E1 is a two-step reaction, initiated by formation of a carbocation which is the rate-determining step. Due to its resonance structures DMF has a slightly alkaline character. Elimination of the β-hydrogen will induce formation of a double bond, **Figure 5.2**. The solvent, DMF, produces hydriodic acid (HI) from iodocyclohexane. Deprotonated HI (DMF as base) then reacts with methoxyl groups on lignin by a nucleophilic substitution reaction (S_N2) to produce a phenol group and methyl iodide (CH₃I).

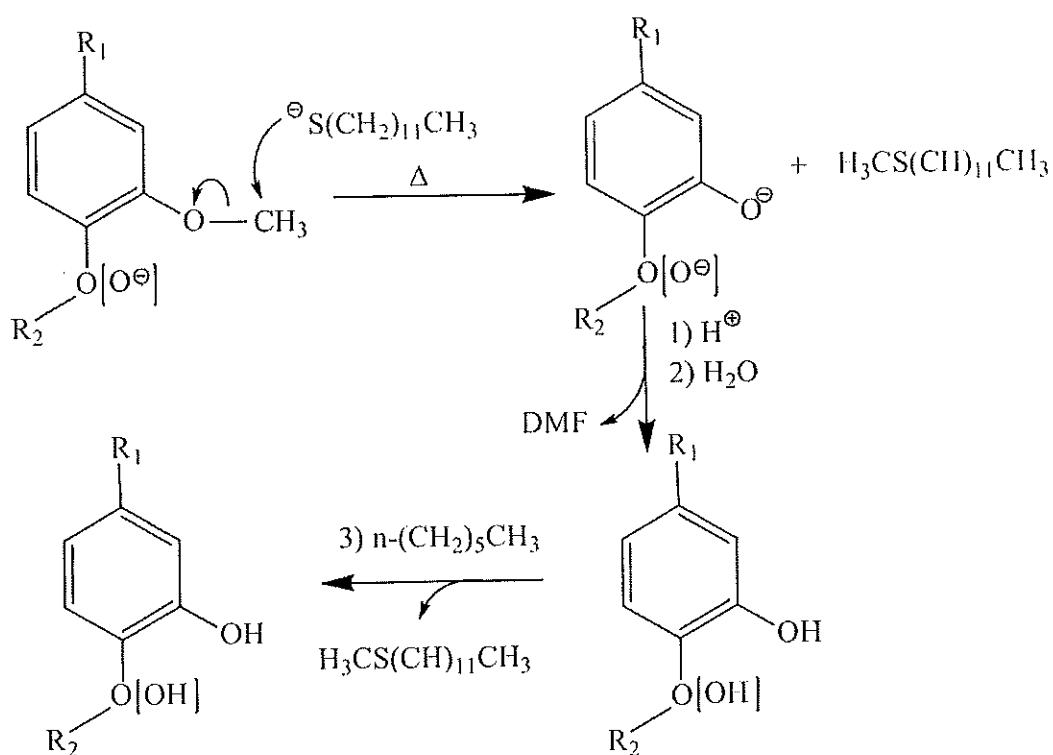


Figure 5.1 Thiol mediated demethylation reaction. R_1 = aliphatic side chain, R_2 = continuing of the lignin molecule. Step 1: The deprotonated thiol (the nucleophile) attacks the partially positive charged C on the methoxyl group ($-\text{OCH}_3$) and results in the leaving of the methyl group ($-\text{CH}_3$). Step 2: In acidic medium a new phenolic hydroxyl group ($-\text{OH}$) is formed and lignin precipitates. DMF can be removed. Step 3: The demethylated lignin is extracted from the thiol with n -hexane.

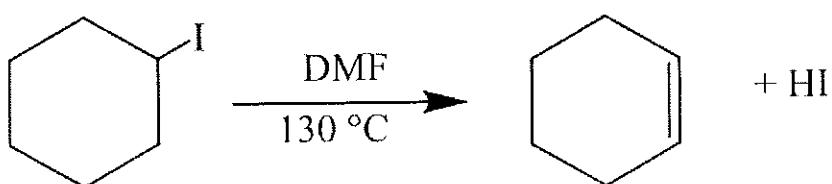


Figure 5.2 Iodine mediated demethylation reaction. Step 1: Iodocyclohexane reacts with DMF and form hydriodic acid (HI).

5.2 General chemical properties

General chemical properties such as elemental composition and methoxyl content was determined for unmodified softwood kraft lignin (SKL), the thiol mediated with NaOMe lignin (TDSKL 1) and the blank of TDSKL 1 (SKL 0). **Table 5.2** summarizes general properties of SKL, SKL 0 and TDSKL 1. The remaining samples were not analyzed due to lack of material. A C_{8.35} empirical formula was calculated based on the C, H, O and S content from the elemental analysis and the analysis of methoxyl content. This formula, C_{8.35}, was chosen due to previous investigations in the literature (Robert et al., 1984). The value is only approximately for TDSKL 1 and SKL 0 as the structure of the lignin may have changed as a result of the treatment.

SKL and SKL 0 show no significant difference except from increased nitrogen content in SKL 0. This can indicate that nitrogen has covalent bonded to lignin. The nitrogen can derive from the nitrogen gas, but this is not likely due to nitrogen gas inertness. The nitrogen can also originate from remaining DMF that has been incompletely removed from the sample.

The decrease in methoxyl content in TDSKL 1 indicates that demethylation has occurred. The content of C, H, N, O, S and OCH₃ showed in **Table 5.2** is presented in percent of the total sample. An increase in content of some atom species could be seen as the decrease in others. TDSKL 1 shows a slight increase in carbon and hydrogen content, which can derive from the long carbon chain in the thiol. The significant increase of sulfur content also indicates that the thiol is not fully removed.

Table 5.2 Table showing general properties of SKL, SKL 0, and TDSKL 1.

Sample	C (%w/w)	H (%w/w)	N (%w/w)	O (%w/w)	S (%w/w)	OCH ₃ (%w/w)	C _{8.35} -unit
SKL	64.6	5.7	0.1	26.2	1.7	13.0	C _{8.35} H _{7.42} O _{2.06} S _{0.09} (OCH ₃) _{0.70}
SKL 0	62.7	6.1	1.9	25.5	1.3	12.4	C _{8.35} H _{8.04} O _{1.97} S _{0.06} (OCH ₃) _{0.67}
TDSKL 1	66.7	8.1	0.3	17.5	6.4	8.9	C _{8.35} H _{11.43} O _{1.14} S _{0.33} (OCH ₃) _{0.48}

5.3 Molecular mass distribution

Size Exclusion Chromatography (SEC) was performed to determine the molecular mass distribution in the samples in relation to sodium polystyrene standards. In SKL the low molecular part is shown as a distinctive peak in relation to the smaller high molecular peak. SKL 0 shows a similar relation between its high and low molecular parts. This indicates that the treatment of SKL 0 has not affected the distribution within the sample and that the loss of lignin according to the low yield presented for SKL 0 is not represented by high or low molecular fractions. As this result describes the relative molecular mass in the sample, only a comparison of the proportion between low and high molecular fractions within the sample can be done. **Figure 5.3** is showing the SEC spectra for SKL, SKL 0, TDSKL 1, TDSKL 2 and IDSKL.

In the demethylated lignin the distribution shows two more equally high peaks. This can occur of two reasons, first the loss of low molecular parts and secondly the gain of high molecular parts. The absorbance of and/or bonding to dodecanethiol would increase the high molecular content. The elemental analysis of TDSKL 1 also shows an increase in carbon and hydrogen content in relation to SKL 0, which probably originates from the long carbon chain in

dodecanethiol. In contradiction the iodine mediated sample (IDSKL) is showing the same trend of two more equally high peaks. The increase of carbon and hydrogen content in TDSKL 1 is neither significant. The fact that this is connected to the low yield and thereby low molecular parts have been lost is more likely.

Many factors could affect the dissolution of lignin but the molecular mass normally plays an important role, small fragment are harder to precipitate and could have been lost in the applied isolation method. The demethylation reaction can cause the cleavage of ether linkages in lignin and therefore reduce the size of the macromolecule. In demethylated lignin a higher percentage of low molecular part would have been expected (Hu et al., 2013). This fact also indicates the loss of smaller fragments.

The weight average molecular mass (M_w) and the peak molecular mass (M_p) of SKL, SKL 0, TDSKL 1, TDSKL 2 and IDSKL are presented in **Table 5.3**. The M_w were calculated with respect to the two main peaks. The M_w values are not accurate due to that the peaks are not resolved and the M_w of the peak distributions will be overestimated (low molecular mass peak) and underestimated (high molecular mass peak).

In relation to SKL 0, both TDSKL 1 and 2 show a higher M_p value of the high molecular mass peak and a lower one at the low molecular mass peak. IDSKL shows a lower value at the high molecular mass peak but a higher value in the low molecular part. The IDSKL peaks is slightly shifted together in relation to SKL and SKL 0, which indicates an more monotone distribution.

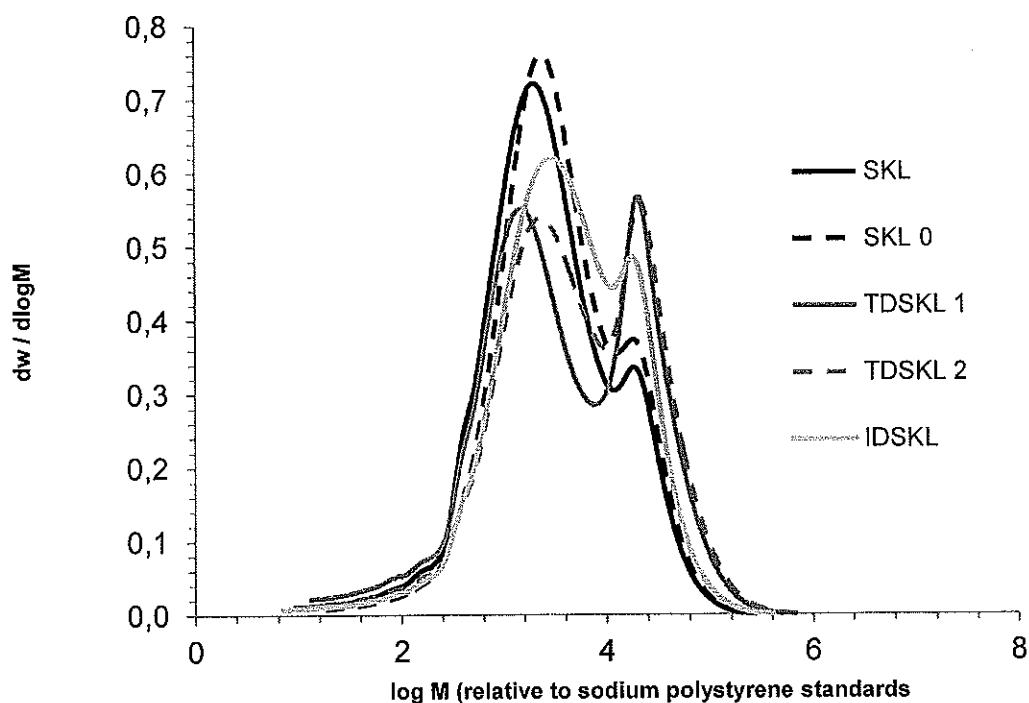


Figure 5.3 SEC spectra of SKL, SKL 0, TDSKL 1, TDSKL 2 and IDSKL. See **Table 5.3** for peak assignment.

The changed molecular mass distribution is most clearly seen in thiol mediated Demethylated samples which also presented the lowest yields. The trend continues as IDSKL with the highest yield of the demethylated samples and also presents a higher percentage of low

molecular fragments. The trend of a more equal distribution of high and low molecular mass fragments is not shown in SKL 0, which in contrary also showed a relative low yield but no significant difference in molecular mass distribution in relation to SKL. This point towards that demethylated fragments of lignin has been lost, as SKL 0 did not go thru any demethylation attempt.

Table 5.3 M_p and M_w value for the high molecular (hm) and low molecular (lm) part.

Sample	$M_p / 10^3$ (hm)	$M_p / 10^3$ (lm)	$M_w / 10^3$ (hm)	$M_w / 10^3$ (lm)
SKL	18.5	2.0	28.7	2.8
SKL 0	18.5	2.4	29.4	3.2
TDSKL 1	20.2	1.6	32.8	2.0
TDSKL 2	21.8	2.3	36.1	2.8
IDSKL	18.3	3.1	30.1	3.4

5.4 UV absorbing structures

The UV spectra of all samples are presented in **Figure 5.4**. Due to that the lignin molecule contains no large percentage of unsaturated aliphatic units in addition to its aromatic structure, it is considered that there are two characteristic bands in the lignin spectrum useful for analysis, at 200–230 and 260–280 nm (Kallavus, et al., 2015). In UV wavelengths shorter than 220 a scattering pattern occurs and due to that the wavelength range at 200-220 will not be evaluated in this thesis.

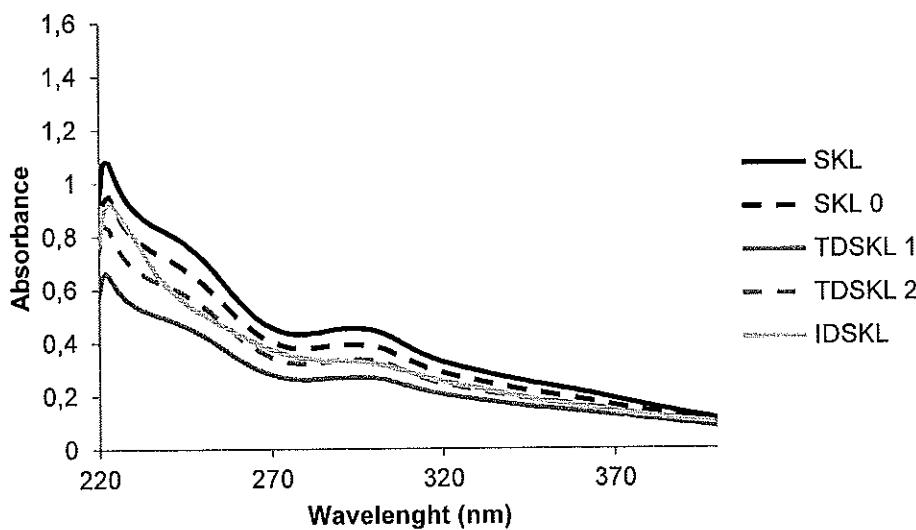


Figure 5.4 The UV spectrum of SKL, SKL 0, TDSKL 1, TDSKL 2 and IDSKL, graph showing 220-400 nm.

All curves show a peak around 230 nm and a broader peak around 280 nm. At 280 nm the absorbance corresponds to the aromatic ring, a higher absorption in this area implements that it exists more free-phenolic guaiacyl units. It has also been shown that catechols, aromatic structures with two hydroxyl groups, are also having their absorption maxima at ~280 nm (Dong, 1993). A higher absorbance at 280 nm may due to this fact also suggest the forming of catechol during the demethylation reaction (Hu, et al., 2013). The IDSKL curve differs from the other samples as it does not show a shoulder at 230-260 nm and the shoulder at 280-310

do not rise in relation to the other samples. The non-existing rise at the area around 280 nm could indicate that the demethylation reaction has destroyed some aromatic structure in the lignin (Hu et al., 2013). According to literature the absorption at ~240 nm represents biphenyl derivatives (Todorciuc et al., 2009), this needs to be investigated further to be verified.

One study has shown that even small concentration differences in sodium hydroxide could affect the absorption, due to the deprotonation extent of the phenol structure (Dong, 1993). However, no absorbance of up to 1 M NaOH will appear at wavelengths higher than 240 nm. As seen in **Figure 5.4** the absorption are different for all samples, this can be a result of a slight differ in lignin concentration. As the difference is displayed in the whole wavelength range and not only at lower wavelength there is probably a difference in the lignin concentration not in NaOH concentration.

To investigate further Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) could be performed to investigate the different bond types and analyze the scattering pattern.

5.5 Hydroxyl composition

The changes in hydroxyl groups where determined by two methods, by the Folin and Ciocalteu method (FC method) and ^{31}P -NMR. The FC method is a spectrophotometric method based on complexation between phenols and metals. The method was selected due to its simplicity for an approximation of the phenolic content. As this method is not so exact ^{31}P -NMR was used to verify the results. ^{31}P -NMR is a spectroscopic method that determines the structure of phosphor containing compounds. The hydroxyl groups of the samples are phosphorylated in prior to analysis. The analysis results in a spectra from where the amount of aliphatic-, condensed-, guaiacyl-OH and carboxylic groups can be determined in relation to an internal standard. The FC method shows a slighter higher value of phenolic content than ^{31}P NMR for all samples, but the trend between the samples remains the same.

The content of phenolic groups in all the samples is listed in **Table 5.4**. According to both the FC method and ^{31}P -NMR an decrease in phenolic content has occurred in the blank run, SKL 0, in relation to SKL. This strengthens the theory of lost phenolic fragments, due to their hydrophilic character. The increased change in the molecular mass distribution of the demethylated samples can be a sign of an increased phenol content and thereby an increased loss.

TDSKL 1 and 2 shows a decrease in phenolic content in the result from both ^{31}P -NMR and the FC method in relation to SKL 0. This is in contribution to the earlier presented decrease in methoxyl content for TDSKL 1 in relation to SKL 0. TDSKL 1 displays the lowest phenolic content and also the lowest yield. The phenolic content is decreasing within the samples with the same order as the yield. A sample with low yield presents a low phenolic content in this study, which also points towards the loss of phenolic fragments.

Table 5.4 ^{31}P NMR mmol OH/ g(lignin) compared to the Folin & Ciocalteu method, mmol OH/ g(lignin)

Sample	Folin & Ciocalteu	^{31}P NMR
SKL	3.4	2.5
SKL 0	2.8	2.4
TDSKL 1	2.3	1.6
TDSKL 2	2.5	1.9
IDSKL	2.8	2.7

According to the phenolic content determined by ^{31}P NMR a small increase in phenol content has occurred in IDSKL. **Table 5.5** shows more detailed the hydroxyl content obtained from ^{31}P NMR. The total hydroxyl content of the demethylated samples, including IDSKL, are lower than for SKL and SKL 0. Notable here is the increase of guaiacyl-OH units in IDSKL, from 1.1 in SKL 0 to 1.6 mmol OH/ g lignin in IDSKL. This indicates that demethylation has occurred.

The aliphatic-OH content has decreased significantly in IDSKL in relation to SKL. The demethylation reaction of IDSKL produces methyl iodine (MeI) which according to studies can contribute to methylation of aliphatic hydroxyl groups in presence of a strong base, potassium carbonate (K_2CO_3) (Sadeghifar et al., 2012). As DMF is not as strong base as used in that study, methylation reaction is not likely in the present study. One reason for the increase can be that aliphatic parts are lost in the isolation of lignin, due to their hydrophilic structure. In the TDSKL 1 and 2 a slight decrease in aliphatic-OH can be seen but not as big as for IDSKL.

Table 5.5 ^{31}P NMR analysis, mmol OH/ g(lignin)

Samples	Aliphatic-OH	Condensed-OH	Guaiacyl-OH	COOH	Total phenol content	Total
SKL	1.0	1.0	1.2	0.3	2.5	3.4
SKL 0	0.9	1.0	1.1	0.2	2.4	3.2
TDSKL 1	0.6	0.7	0.8	0.2	1.6	2.2
TDSKL 2	0.7	0.8	1.0	0.2	1.9	2.6
IDSKL	0.3	0.9	1.6	0.2	2.7	3.0

The ^{31}P NMR spectra of SKL is presented in **Figure 5.5** and the spectra of IDSKL in **Figure 5.6**, spectrum for the other samples are presented in chapter 11, Appendix 1 (**Figure 11.1, 11.2, 11.3**). **Table 5.6** shows the signal assignment used for hydroxyl determination by ^{31}P -NMR. The spectrum of the different samples looked similar and also similar to the ones reported by Granata & Argyropoulos (1995) and Ragauskas (2011). If studying the spectrum of SKL and IDSKL a distinct difference in the Guaiacyl-OH peak could be seen. IDSKL shows a lower signal but two types of phenols compared to one high peak in SKL. According to the literature the second peak (4b) at ~ 138.9 may represent catechols (Pu et al., 2011). The two peaks represent demethylation as a new structure was observed either as a catechol (from a starting free phenolic G-unit) or as a phenol structure from a starting non-phenolic G-unit (Granata & Argyropoulos, 1995).

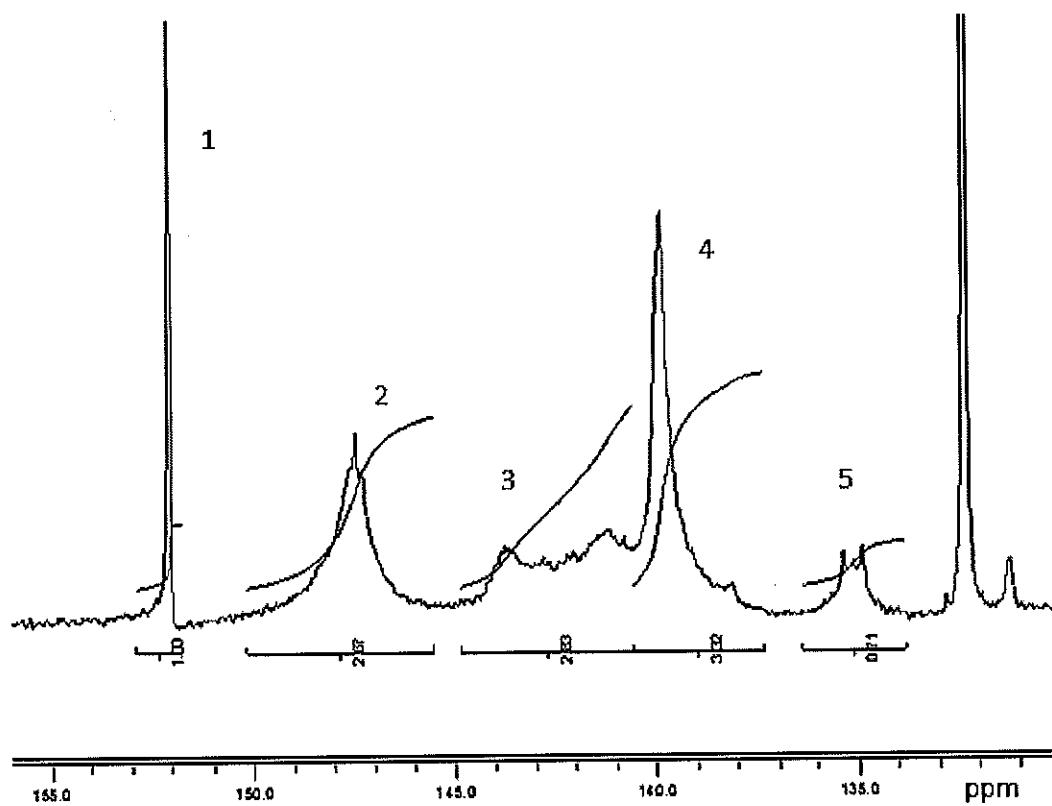


Figure 5.5 ^{31}P NMR spectra of SKL. From left internal standard, aliphatic OH, condensed OH, g-unit OH and carboxylic acids.

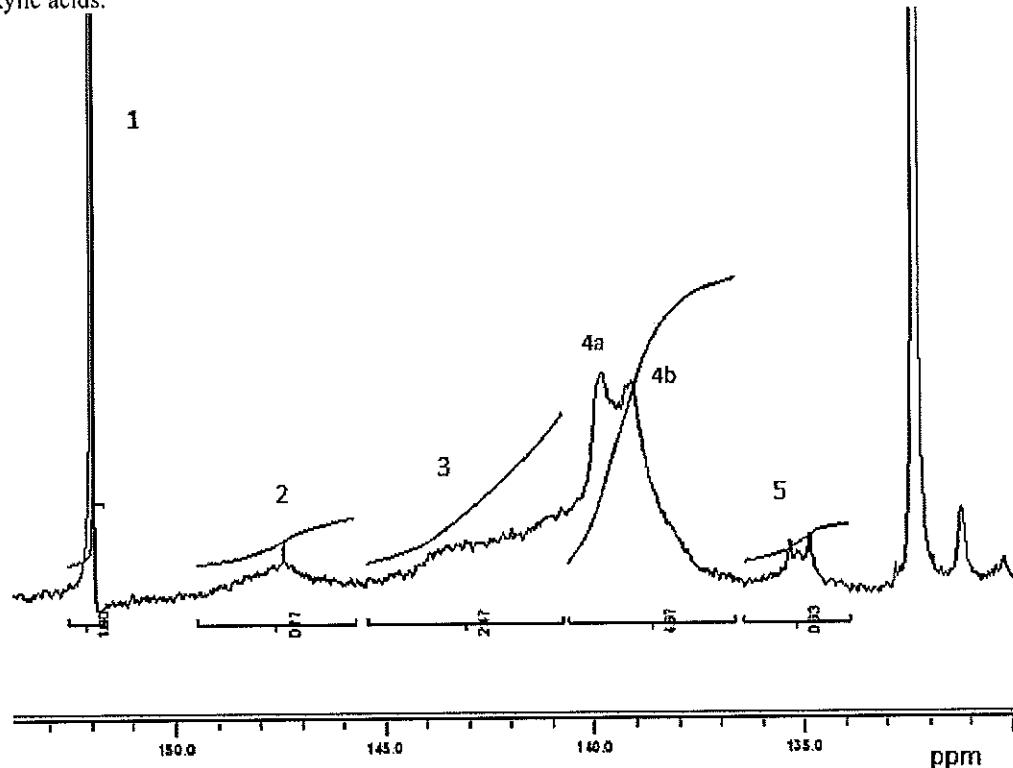


Figure 5.6 ^{31}P NMR spectra of IDS KL. From left internal standard, aliphatic OH, condensed OH, g-unit OH and carboxylic acids.

Table 5.6 Signal assignment for ^{31}P -NMR spectrometry

Peak number	Signal (ppm)	Assignment
1	151.9	Internal standard
2	150.9-145.9	Aliphatic hydroxyl groups
3	145.9-140.4	Condensed (including S) hydroxyl groups
4(a)	140.4-136.8	G-unit hydroxyl groups
4b	\sim 138.9	Catechol hydroxyl groups
5	136.8-133.1	Carboxylic acids

The decrease or moderate increase in phenol content in of the isolated lignin is pointing towards the loss of demethylated fragments. The decrease in phenolic content for the SKL 0 and the trend of decreased molecular mass distribution in the low molecular part for the Demethylated samples support this interpretation. Due to the loss of a noticeable amount of lignin, we could not say that the demethylation failed for TDSKL 1 and 2. Demethylated structures would be more soluble in polar solvents such as the used water and DMF in the washings and be lost (not included in the analyses).

5.6 Towards Green lignin chemistry

The use of lignin in application demands multiple steps where the lignin first get recovered from wood and then modified to fit the application. One reason why the most of all lignin from the kraft cooking process gets burnt to generate energy can be that there are few options to valorize the lignin to more profitable applications, partly due to uneven quality. The use of the Lignobost process to extract lignin from the black liquor may open new possibilities for lignin.

The demethylation methods described in this report are examples of methods to make lignin a high value-added polymer and a replacement to phenols. As phenol is a chemical made from fossil fuels, the thought of replacing it with a renewable source is beneficial for the sustainable development. The use of derivatization is not according to the principles of green chemistry as it uses extra energy and often chemicals, if it should be used it needs to be as green and efficient as possible.

The demethylation processes described and evaluated in this thesis are similar in that they demand high temperatures and solvent to proceed. The use of solvents should according to the principles of green chemistry (**Figure 5.11**) be avoided or the solvent should be innocuous. In the demethylation methods described in the report DMF is used as solvent. DMF is classified as a hazardous substance and is dangerous to the human body and the environment (Long et al., 2001). The use of water as solvent demands a closed system, so that the temperature can exceed the boiling point. A closed system increases the risk of explosion. Instead energy could be added in other ways than by in-direct heating the solution. For example heat can be directly added by microwaves. This would generate an almost solvent free demethylation reaction and significant lower reaction times, from hours to minutes (Majetich & Hicks, 1994).

In one of the thiol mediated reactions (TDSKL 1) NaOMe is used as the base. As NaOMe is really strong and hard to deal with it is not very suitable for large scale synthesis (Chae, 2008). In the demethylation reaction NaOMe also contributes to the formation of toxic methanol. By using NaOH (as in TDSKL 2), water will instead be produced in the reaction. NaOH is also less hazardous, cheaper and easier to handle compared to NaOMe. According to previously findings reported in the literature (Chae, 2008) NaOH is as effective as NaOMe in the demethylation process for aryl methyl ethers, but the efficiency in lignin demethylation needs to be investigated.

The dodecanethiol is as mentioned earlier in this report selected due to its high boiling temperature and thereby lack of smell. The opportunity of reusing the thiol is an important factor for making the demethylation reaction sustainable. As no or a really small fraction of the thiol vanishes as gas the thiol can be extracted and reused. In the last extraction step the thiol is extracted by n-hexane, with not completely satisfying result. n-Hexane is obtained from oil which is not an green alternative, thus other options for extraction should be considered.

In IDSKL only lignin and iodocyclohexane is added aside from DMF as solvent, heat and nitrogen gas. Here the basicity of the solvent has a more critical role in the reaction efficiency. The solvent needs to be basic enough to facilitate the generation of hydrogen iodine (HI) from iodoalkanes via an elimination reaction and at the same time weak enough to minimize the neutralization effect of HI, since strong HI acid is needed for the demethylation (Zuo et al., 2008). The iodine mediated demethylation reaction (IDSKL) creates methyl iodine (MeI) as a

byproduct. Methyl iodine is a toxic and hazardous substance which can cause acute effects to human if inhaled or touched.

To make the process of modifying lignin and use it in application even more effectively, the concept of “*in situ*”, in place could be used. The modification, for example demethylation, could be achieved at the same spot as the product manufacturing. Catalysts for a more effective reaction could also be investigated, for using enzymes for demethylation of the lignin.

6 Conclusions

- Low yields were obtained
 - The decrease of low molecular fragments, in yields and phenolic content follow the same trend within the samples. This indicates the loss of hydrophilic fragments.
- The isolated lignin
 - By dodecanethiol irrespective base (NaOMe and NaOH) showed a decrease in both total phenolic and hydroxylic content which indicates that no demethylation has occurred.
 - By dodecanethiol with NaOMe shows a lower content of methoxyl groups in relation to unmodified lignin and the blank run, without the thiol, of the sample which indicates successful demethylation.
 - Indicates successful demethylation in the iodine mediated demethylation reaction due to higher phenolic content.
 - By iodine mediated demethylation reaction showed the increase in phenolic content due to an extra peak for g-unit OH in the ^{31}P -NMR, which indicates catechol forming and demethylation.
 - By iodine differed from the other samples by not showing a shoulder at ~240 nm and ~280 which may indicate the loss of biphenyl structures and/or other structures.
- Green lignin chemistry
 - DMF do not participate in the demethylation reaction of dodecanethiol irrespective base (NaOMe and NaOH) which open up for the possibility to partly or fully remove DMF and replace it to make the reaction greener.
 - The use of NaOH instead of NaOMe in the thiol mediated demethylation will eliminate the producing of methanol and replace it with water.
 - The thiol mediated demethylation reaction demands less energy as it is refluxed for one hours not three hours as the iodine mediated.
 - In the iodine mediated demethylation reaction DMF plays an important role, and greener solvents with similar properties could be considered.
 - The iodine mediated demethylation reaction produces toxic and hazardous methyl iodine (MeI) as a byproduct, which is not according to green chemistry.
 - The thiol mediated demethylation reaction with NaOH is the greenest demethylation reaction in this thesis according to the principles.

7 Future work

As mentioned in previous chapter the results are pointing towards the loss of lignin in the extraction process, due to low yields, low demethylation and change in molecular mass distribution. Further work can be done examining where and how this lignin has been lost. The water and DMF phase can be examined to look for aromatic groups. As mention earlier FTIR can be used to analyze the composition of the samples further.

A more developed study in the context of green chemistry for the use of lignin in applications should also be done. The efficiency of NaOMe and NaOH in the thiol mediated demethylation could be done to investigate the use of the friendlier NaOH in lignin demethylation.

8 Utbildningsvetenskapligt avsnitt (Educational part)

8.1 Inledning

Naturvetenskap kan framstå som ett svårt ämne att lära sig. Detta kan bero på att för att kunna förstå ett fenomen enligt vetenskapens teorier och lagar behövs ideligen en stor kunskapsbas, det existerar ofta inte ett svar som säger ”det bara är så”. Självklart finns det tillfället inom naturvetenskapen där en vardaglig förklaring räcker men naturvetenskapen i skolan kommer ofta med extra information samt en ny terminologi (Mortimer & Scott, 2003, ss. 14-17).

Kommunikationen inom naturvetenskapen sker med hjälp av termer vilka ej återspeglar vårt vardagliga språkbruk. Dessa begrepp, termer och teorier ger naturvetenskapen i skolan en stämpel av att vara evig, säker och oföränderlig. Skolan anses ofta vara en fristående del av samhället och studier pekar på att detta måste frångås för att öka elevernas intresse för naturvetenskapen. Genom att gå från att eleverna endast skall kunna ett korrekt svar till att också belysa ”hur det kommer sig veta svaret”, kan fler elever bli intresserade och delaktiga i ämnet. Det behövs fler interaktionsmöjligheter i det naturvetenskapliga klassrummet för att öka elevernas deltagande (Löfgren m fl., 2014).

Under den andra delen av 1900-talet skedde stora förändringar inom vår förståelse för utveckling av kunskap. Dessa förändringar har lett till att det idag fokuseras på elevers aktiva inlärning och att eleverna skall kunna reflektera över sin egen inlärning och vetenskapliga kunskap. För att utveckla en förståelse för det naturvetenskapliga språket behöver eleverna använda detta i strukturerade aktiviteter, där det ges möjlighet till reflektion. Dessa aktiviteter gynnar den sociala konstruktionen av kunskap genom att eleven ges möjlighet att förtydliga sitt tänkande, generera exempel och själv förstå när ytterligare information behöver inhämtas (Duschl & Osborne, 2002).

Petterson (2013) talar om att det talade språket är den naturliga grunden till begreppsförståelse och utveckling. Lärare behöver göra plats för eleverna i klassrummet och låta dem med utvecklas med hjälp av språket. Utforskningstal kan hjälpa elever att tillsammans med sina egna kunskaper från t.ex. vardagen utveckla sin förståelsekunskap inom naturvetenskapen (Pettersson, 2013). Duschl & Osborne (2002) menar att om strukturer med dialoger och argumentation saknas inom den naturvetenskapliga undervisningen är det inte så förvånansvärt att elever har svårigheter att lära sig (Duschl & Osborne, 2002).

Rundgren (2006) diskuterar kring gymnasieelevers användande av hjälpor i naturvetenskapen för att förklara fenomen och begrepp. Rundgren anser att gymnasieelevers användning av hjälpor, spontana metaforer och verbmetaforer hämtade från vardagliga situationer utgör naturliga inslag i deras kunskapsutveckling. Förväntan på att eleverna redan från början skall ha förmågan att resonera abstrakt kring ett nytt ämnesområde behöver försvinna, denna förmåga tränas gradvis. Att diskutera vetenskapen med hjälp av ett vardagligt språk och genom vardagliga situationer gynnar en djupare naturvetenskaplig förståelse och språkbruk (Rundgren, 2006).

8.1.3 Undervisningstraditioner

Att få en personlig förståelse för hur miljöproblem uppstår är en av byggstenarna när det gäller att diskutera det ”rätta” eller ”bästa” sättet att skapa en ”bra” miljöundervisning. Det finns i Sverige tre framstående traditioner när det kommer till miljöundervisningen. Dessa är faktabaserad miljöundervisning, normativ miljöundervisning och pluralistisk miljöundervisning. Pluralistisk miljöundervisning kan också kallas för utbildning för hållbar utveckling (ESD) (Wickman & Persson, 2009).

Den faktabaserade undervisningen tog form i och med utvecklingen av miljöundervisningen under 1960-talet. Här presenteras miljöproblemen i form av ekologiska problem och genom att öka vår kunskap om dem, kan de lösas. Kan lärare undervisa all världens befolkning i hur människan skapar miljöförstöring kommer denna förstöring att upphöra. Lärarens pedagogiska uppgift innefattar här att lära eleverna den korrekta och sanna kunskapen. Eleverna kan sedan använda denna kunskap för korrekta beslut och aktioner (Wickman & Persson, 2009).

Den normativa traditionen utvecklades under den under 1980-talet pågående samhällsdebatten om miljöförstöring. Här behandlas miljöproblem i huvudsak som en fråga om hur livsstilar och dess konsekvenser hotar världen. Vetenskapen fungerar här som ett redskap att ge tips till det bästa sättet att leva och därmed utveckla ett miljövänligt samhälle. Enligt utövande lärare skall korrekt vetande automatiskt leda till bättre värderingar och att människor vill leva ett mer miljövänligt liv (Wickman & Persson, 2009).

Den pluralistiska traditionen utvecklades under diskussioner på 1990-talet. Här handlar det om den växande osäkerheten inom miljöproblemen och det ständigt växande antalet åsikter i miljödebatten. Problemen ses här som både moraliska, politiska och miljömässiga samt ses som en konflikt mellan människors intresse. Den konfliktbaserade utgångspunkten inom den pluralistiska traditionen markerar den demokratiska processen i klassrumaktiviteter där allas åsikter skall vara relevant i diskussionen om hur miljöproblemen skall lösas (Wickman & Persson, 2009).

Enligt Sjøberg (2009) finns det fyra bra argument för att studera de naturvetenskapliga ämnena i skolan. Ekonomiargumentet motiverar naturvetenskapsundervisning i skolan genom att påpeka att dess kunskaper är ekonomiskt lönsamma. Samhället präglas till exempel av ett näringsliv som är beroende av teknikutveckling. Det andra argumentet, nyttoargumentet, anser att naturvetenskapen behövs för att människan ska kunna bemästra vardagslivet eftersom att människan omges av mycket högutvecklad teknik och vetenskap. Demokratiargumentet går ut på att den naturvetenskapliga kunskapen behövs för att skapa ett demokratiskt samhälle. För att ha en chans att påverka samhället behövs kunskap som ligger till grunden för bra argument. Det sista argumentet, kulturargumentet, ser naturvetenskapen som en av de viktigaste delarna i människans kultur. Naturvetenskapen ligger till grund för hur vi ser på världen idag och den kunskap vi besitter (Sjøberg, 2009).

I examensmålen för gymnasieskolans naturvetenskapliga program beskriver Skolverket (2011) att ”*Utbildningen ska ge förståelse av hur naturvetenskap och samhällsutveckling ömsesidigt har påverkat och påverkar varandra och särskilt belysa naturvetenskapens roll i frågor om hållbar utveckling. Eleverna ska också ges möjlighet till etiska diskussioner om naturvetenskapens roll i samhäller*” (Skolverket, Gymnasieskola 2011, 2011, s. 247) En liknande beskrivning finns att återfinna i examensmålen för teknikprogrammet. Det står därmed tydligt beskrivet i examensmålen att elever med hjälp av den pluralistiska

undervisningstraditionen, utbildning för hållbar utveckling, ska lära sig om förhållandet mellan naturvetenskapen och samhället (Skolverket, Skolverket, 2011).

8.1.1 Samhällsfrågor i naturvetenskapen

En väg att arbeta med utbildning för hållbarutveckling och ge eleverna möjlighet att uppfylla examensmålen är att använda sig av situationer från samhället. I samhällsdebatten dyker det ständigt upp nya aktuella frågeställningar vilka kan användas i den naturvetenskapliga undervisningen för att gynna intaget av kunskap. Enligt Ottander m fl. (2013) är dessa frågeställningar autentiska och gynnar elevernas förmåga att tillämpa sina kunskaper på reella situationer. Eleverna ska tillägna sig kunskaper de behöver för att leva i ett modernt samhälle och samtidigt utveckla sin förmåga att koppla ihop naturvetenskapen från skolan med samhället (Ottander m fl., 2013). Samhällsfrågor med Naturvetenskapligt Innehåll, SNI, är en metod för att få in det dialogiska klassrummet och samhällsfrågor i den naturvetenskapliga undervisningen. Här arbetar eleverna med innehåll både *i* naturvetenskap och *om* naturvetenskap. Med kunskaper i naturvetenskap menas att eleven kan förklara och tillämpa naturvetenskapliga processer och begrepp. Kunskaper om naturvetenskap handlar om insikten hur naturvetenskaplig kunskap växer fram och vad som är giltig kunskap (Ekborg, m fl., 2012). Ett SNI-fall konstrueras utifrån en autentisk frågeställning från samhället vilken kan kopplas till det centrala innehållet. Fallet byggs sedan upp kring frågeställningen med hjälp av kommunikativa inslag. Denna undervisningsform öppnar upp för diskussion och eleverna uppmuntras till att ställa frågor. Här tränas eleverna på att se naturvetenskapens roll i samhället och fundera över detta utifrån flera perspektiv (Ottander m fl., 2013).

I och med den stora teknikutvecklingen har det vid sidan av nya tekniska lösningar också uppstått problem och risker. Dessa risker har alltid funnits där men i och med den tekniska utvecklingen har de blivit fler och mer komplexa. Christensen (2009) talar om att dessa risker skapar frågeställningar vilka baseras på vetenskaplig kunskap och öppnar dörrar till det dialogiska klassrummet. Det kan handla om allt från hur mobiltelefoner påverkar vår hjärna till genmanipulerad mat. Dessa risker är tillverkade av människan med hjälp av tekniken och vetenskapen kan hjälpa oss att förstå dem. Inom flertalet samhällsfrågor behövs det naturvetenskapliga kunskaper för att kunna argumentera för vad som är rätt eller fel. I vårt nya ”risk-samhälle” är det till stor nytta att ha kunskap och verktyg för att kunna förstå och utvärdera riskerna (Christensen, 2009).

Christensen (2009) talar även om att genom att använda en frågeställning vilken kräver att eleven har vetenskaplig kunskap kan det inte endast öppna upp för debatt utan även motivera eleverna. Naturvetenskapen kan här bli till något mer verkligt och eleverna kan se hur deras kunskaper direkt kan tillämpas på samhällsfrågor (Christensen, 2009).

Ett steg mot en hållbar utveckling är förnyelsebara material. Dagens samhälle är uppbyggt kring plaster vilka är tillverkade av fossila material och de är dessutom icke-bionedbrytbara. Detta har lett till att ett stort plastberg har bildats ute i stilla havet. Plasten ligger och flyter i ett stort område som sträcker sig över flera länder, vilket har bidragit till att ingen tar på sig ansvaret (National Geographic, 2015). Det har därför bildats ett samhällsproblem vilket kan sättas in i flera olika perspektiv, både politiska och ekonomiska. Problemet kan även ses utifrån olika perspektiv, till exempel på individ och samhällsnivå. I det centrala innehållet för kursen kemi 2 på gymnasiet finns det beskrivet att kursen ska behandla ”*frågor om etik och hållbar utveckling kopplade till kemins olika arbetssätt och verksamhetsområden*” (Skolverket, Skolverket, 2011, s. 6). Ett SNI-fall behandlande problem med icke-bionedbrytbara material kan kopplas till flera av delar av det centrala innehållet för kursen

kemi 2, däribland det här över nämnda. Plaster är polymerer uppbygga av monomerer bundna till varandra. Eleverna får här chans att applicera sina kunskaper kring molekyler och dess bindningar, samtidigt som de kan få en förståelse kring hur olika plastmaterial är uppbygga. Detta tillsammans med de tidigare beskrivna examensmålen kan ge starkt stöd för ett SNI-fall behandlade problem med icke-bionedbrytbara material.

8.1.2 De fem förmågorna

En annan viktig aspekt av undervisningen på gymnasieskolan är strävan efter att träna de förmågor vilka finns beskrivna för varje ämne. Skolverket (2011) beskriver inom ämnet kemi för gymnasieskolan fem stycken förmågor (se **Figur 8.1**) vilka undervisningen skall sträva efter att ge eleverna möjlighet att utveckla med hjälp av det centrala innehållet. Dessa förmågor är övergripande för ämnet kemi, och kurserna kemi 1 och kemi 2 ger olika möjligheter till att utveckla dem. Syftet med förmågorna är att eleven efter avklarad utbildning skall ha utvecklat samtliga av dem (Skolverket, 2011).

1. Kunskaper om kemins begrepp, modeller, teorier och arbetsmetoder samt förståelse av hur dessa utvecklas.
2. Förmåga att analysera och söka svar på ämnesrelaterade frågor samt att identifiera, formulera och lösa problem. Förmåga att reflektera över och värdera valda strategier, metoder och resultat.
3. Förmåga att planera, genomföra, tolka och redovisa experiment och observationer samt förmåga att hantera kemikalier och utrustning.
4. Kunskaper om kemins betydelse för individ och samhälle.
5. Förmåga att använda kunskaper i kemi för att kommunikera samt för att granska och använda information.

Figur 8.1 De fem förmågorna beskrivna i kursplanen för kemi 2 vid gymnasiet (Skolverket, Skolverket, 2011).

8.1.4 Syfte och Frågeställning

Detta arbete syftar till att pröva ett pluralistiskt utbildningsmaterial med hjälp av ett SNI-fall som tar upp miljöfrågor om plaster, samt att undersöka hur detta kan ge möjlighet för elever att utveckla de olika förmågorna i kursplanen. Materialet och studien bygger på en litteraturstudie av tidigare forskning och en pluralistisk utbildningstradition samt är riktat mot kursen *Kemi 2* på gymnasiet. Det färdiga materialet testas och utvärderas kvalitativt genom intervjuer samt kvantitativt genom enkätundersökningar.

Frågeställning:

- *Vilka förmågor anser några gymnasieelever att de utvecklar med hjälp av ett SNI-fall som behandlar icke-biologisk nedbrytbara material?*
- *Använder elever sina kunskaper i kemi när de diskuterar samhällsvetenskapliga frågor?*

8.2 Metod och Genomförande

Ett material enligt SNI principen anpassat för kursen kemi 2 togs fram med hjälp av riktlinjer beskrivna av Ekborg m.fl. i boken Samhällsfrågor i det naturvetenskapliga klassrummet (Ekborg, Ideland, Lindahl, Malmberg, Ottander, & Rosberg, 2012). Detta material består av två delar, en instruktion till läraren och en till eleverna. Materialet testades på två elevgrupper från olika skolor vilka vid tillfället läste kursen kemi 2.

8.2.1 Lektionsgenomförande

Eleverna fick ca en vecka före lektionstillfället ta del av det förberedande materialet. Uppgiften förklarades och eleverna fick i uppgift att på egen hand se den förberedande filmen och läsa de två utvalda artiklar om ämnet (Se lärarhandledningen i **Bilaga 2.1**). Ämnet introducerades samtidigt och eleverna uppmuntrades att själva söka vidare information om ämnet samt förbereda sig på att diskutera det.

Vid lektionstillfället delades eleverna in i grupper om fyra. Uppgiften utfördes sedan med hjälp av elevinstruktionen under 30 minuter samtidigt som läraren gick runt i fall någon hade några frågor. Lektionen avslutades med en gemensam diskussion i klassrummet samt att eleverna lämnade in skriftliga svar på de diskuterade frågorna.

Efter lektionens slut ombads eleverna fylla i en enkätundersökning om vilka förmågor de ansåg sig kunna utveckla under lektionen samt allmänt om materialet, se **Bilaga 2.2**.

8.2.2 Datainsamling

För att kunna svara på ovan valda frågeställning samlades data in genom två olika metoder. En enkätundersökning användes som ett kvantitativt verktyg för att undersöka vilka av förmågorna eleverna ansåg sig kunna utveckla med hjälp av materialet (Bryman, 2008). Enkäten utformades med hjälp av de fem förmågorna vilka finns beskrivna i kursplanen för kemi 2 på skolverkets hemsida. Enkäten innehöll även frågor rörande hur eleverna tyckte att materialet bidrog till diskussion samt deras relation till denna typ av uppgifter. Frågorna besvarades genom att eleverna fick kryssa i de förmågor de ansåg sig kunnat utveckla samt de påståenden de tyckte stämde. Enkäten bifogas i **Bilaga 2.2**. Elevernas svar sammanställdes och gav grund för ett stapeldiagram, se **Diagram 8.1**.

Den andra metoden bestod av enskilda kvalitativa intervjuer på cirka 15 minuter utförda med två elever. Här användes en semistrukturerad intervju med förutbestämda öppna frågor (Bryman, 2008). Detta för att fördjupa studien och söka ett mer utvecklat svar på hur eleverna ser på materialet och förmågorna. Intervjuerna spelades in och transkriberas sedan. Viktiga delar representerande relevant information för studien valdes ut och presenterades i resultatet, bågge eleverna tilldelades fiktiva namn.

8.2.3 Urval

Eleverna informerades innan lektionen om undersökningen och materialet de fick ta del av. Enkätundersökningen innehöll en inledande sektion där eleverna informerades ytterligare om att studien följer vetenskapsrådets forskningsetiska principer gällande informations-, samtyckes-, konfidentialitets- och nyttjandekravet (Vetenskapsrådet, 2002).

Sammanlagt deltog 16 elever i enkätundersökningen, 8 stycken ur varje elevgrupp. Eleverna tillfrågades sedan om att delta i en personlig intervju varvid två stycken elever frivilligt ställde upp, en från varje grupp.

8.2.4 Kvalitetsredovisning och Källkritik

Enkätundersökningen anses ha en hög validitet då samtliga av eleverna kryssade i vilka förmågor de ansåg sig kunna utveckla med hjälp av materialet. Undersökningen var dock liten till antalet (endast 16 elever) svarande, vilket gör att resultaten inte blir representativa för någon större grupp. Att undersökningen utfördes vid endast två gymnasieskolor i Stockholm och att dessa elever inte representerar samtliga gymnasieelever ger studien en låg reliabilitet (Bryman, 2008).

Intervju undersökningen vilken utfördes på både eleverna anses ha högvaliditet då dessa resultat gav relevant data för undersökningen. De utfrågade svarade på de ställda frågorna och följdfrågor kunde tilläggas utan att intervjun flöt ut över andra områden.

Då endast två elever intervjuades har studien en låg reliabilitet. Att eleverna frivilligt anmälde sig till intervjun behöver här överses, då de ej är slumpmässigt valda. Även här utfördes studien på för få individer för att kunna generaliseras för någon större grupp. Att eleverna intervjuades enskilt kan ha bidragit till att deras personliga åsikter kommit fram och att de inte blivit påverkade av andras tankar (Bryman, 2008).

8.3 Resultat

Utbildningsmaterialet *Ett hav av plast* för gymnasieskolan se **Bilaga 2.1**

Samtliga frågor i enkätundersökningen samt de två intervjuade elevernas svar presenteras som resultat i denna studie. Enkätundersökningen var indelad i två delar. Den första delen, fråga 1, behandlar den första frågeställningen och elevernas syn på förmågorna. Fråga 2 behandlar elevernas åsikter angående utbildningsmaterialet och denna del analyserades bland annat med hjälp av Sjøbergs (2009) argument för naturvetenskap (Sjøberg, 2009).

8.3.1 Förmågor som utvecklas vid utförande av materialet

Samtliga elever vilka deltog i enkätundersökningen ansåg sig kunna utveckla sina kunskaper om kemins betydelse för individ och samhälle, förmåga nummer tre, med hjälp av materialet. Majoriteten tyckte sig också utveckla sin förmåga att analysera och söka svar på ämnesrelaterade frågor samt att identifiera, formulera och lösa problem. **Diagram 8.1** visar en sammanställning av resultaten från samtliga elevenkäter.

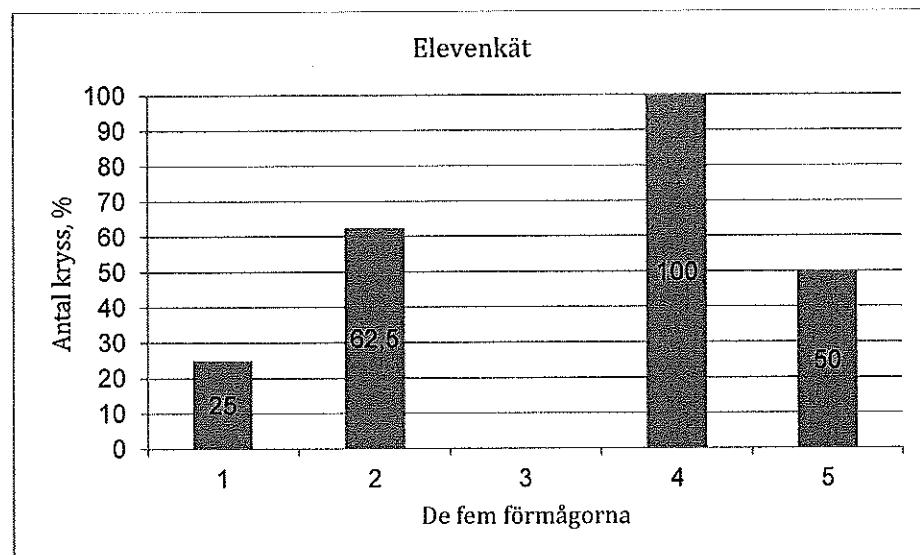


Diagram 8.1 Diagram visande antal kryss per förmåga från elevenkäten i procent. Förklaring av vilken förmåga som tillhör respektive nummer i diagrammet: 1 Kunskaper om kemins begrepp, modeller, teorier och arbetsmetoder samt förståelse av hur dessa utvecklas. 2 Förmåga att analysera och söka svar på ämnesrelaterade frågor samt att identifiera, formulera och lösa problem. Förmåga att reflektera över och värdera valda strategier, metoder och resultat. 3 Förmåga att planera, genomföra, tolka och redovisa experiment och observationer samt förmåga att hantera kemikalier och utrustning. 4 Kunskaper om kemins betydelse för individ och samhälle. 5 Förmåga att använda kunskaper i kemi för att kommunicera samt för att granska och använda information.

Ingen tillfrågad elev ansåg sig kunna utveckla förmåga nummer 3, förmåga att planera, genomföra, tolka och redovisa experiment och observationen samt förmåga att hantera kemikalier och utrustning.

De intervjuade eleverna resonerade båda två om att vissa av förmågorna kan utvecklas till en viss grad men inte till fullo. De valde därför att inte kryssa i den förmågan vid enkätundersökningen.

"Jag tycker att förmågorna är beskrivna ganska utförligt, så jag tycker liksom inte att uppgiften gör så att jag kan träna på allt. Men ja, man kan ju träna vissa grejer, så det kanske är bra ändå." – Elev 1

8.3.2 Samhällsvetenskapliga frågor i naturvetenskapen

På den andra delen av enkäten, fråga nummer två, som var riktad mot hur eleverna uppfattade materialet framkom det att majoriteten ansåg att uppgiften öppnade upp för diskussion och att de kunde använda sina kunskaper för att diskutera. Ingen av de tillfrågade eleverna kryssade i att de kände att de inte fick möjligheten att tala så mycket, samtidigt som de tyckte att uppgiften var både kul och användbar. **Tabell 8.1** visar det sammanställda resultatet för antal kryss av eleverna i procent av antal svarande.

Tabell 8.1 Tabell visande antal kryss i procent per påstående med hänsyn till antal deltagare.

Påstående	Antal kryss i procent av antal svarande
Jag lärde mig nya saker	50
Jag kunde använda mig av mina kunskaper inom kemi för att diskutera.	63
Jag kände att uppgiften främjade diskussion.	63
Jag tycker inte att jag fick möjligheten att tala så mycket.	0
Jag tycker att uppgiften var kul att utföra.	75
Jag ser mig ha användning för det uppgiften behandlade.	94
Jag känner mig van vid att göra muntliga argumenterande uppgifter under kemilektionerna.	31

Vid intervjun framkom det att eleverna inte ansåg sig vara speciellt bekanta med att ta in samhällsvetenskapliga frågor i naturvetenskapen och diskutera dessa.

"Nja, det är inte direkt vanligt att vi får diskutera frågor. Det är mest att läsa enligt boken." – Elev 1

Liknande resultat kan ses i enkätundersökningen (**Tabell 8.1**) där knappt en tredjedel av eleverna ansåg sig vana vid att göra muntliga argumenterande uppgifter under kemilektionerna.

Elev 2 talade under intervjun om att det är olika vad elever anser vara bra undervisning. Vissa elever vill ha mer av det samhällsvetenskapliga än det naturvetenskapliga medan andra elever tycker att den naturvetenskapliga undervisningen fungerar bra som den här.

"Vissa personer kanske bara vill sitta och läsa termer och lära sig naturvetenskapen på det sättet. Jag tycker det är bättre för mig att lära mig genom att få diskutera och läsa om sådant som är aktuellt, då blir jag mer motiverad." – Elev 2

Av de efter lektionen insamlade svaren på diskussionsfrågorna framgick det tydligt utifrån Sjøbergs (2009) argumnet att eleverna satt sig in i problemet utifrån olika perspektiv och att de tillsammans försökt tänka ut olika orsaker och lösningar (Sjøberg, 2009). De diskuterade

bland annat om hur problemet är en konflikt mellan olika människors intresse, då plast är väldigt lättillgängligt och användbart material men att det också kan skada miljön. Utifrån deras resonemang kunde ett tydligt pluralistiskt perspektiv ses.

"Det är ju svårt när plasten flyter runt i havet, då är det liksom ingens ansvar. Den är ju inte på någons mark, så det kanske är svårt att ta ansvar. Man ser ju inte problemet." – Elev 3

"Alla kanske inte är lika bra som Sverige. När jag var i Brasilien så låg det typ skräp överallt på gatorna. Det såg ganska fattigt ut där så jag tror inte de har råd med sopsortering å sånt." – Elev 4

Den andra frågan i enkäten visade på att hälften av eleverna lärde sig nya saker med hjälp av uppgiften. Nästan samtliga svarande ansåg sig även ha användning för det uppgiften behandlade. Elev 2 talade om att denna fick chans att förstå att det är de kemiska bindningarna i materialet som gör att de inte kan brytas ner.

"Jag har alltid tyckt att det har varit lite svårt att förstå bindningar mellan atomer och så. Det har liksom varit lite krångligt. Men när man tänker på det utifrån lite större perspektiv så är det egentligen ganska logiskt. Det är liksom bindningarna som håller ihop materialet." – Elev 2

Elev 1 talade samtidigt om att det är väldigt intressant att få se hur vanliga material, vilka man har att göra med varje dag är uppbyggda.

"Jag visste liksom inte vad PET betydde, jag har liksom bara alltid sagt petflaska." – Elev 1

Flera svarande elever sa att de kunde använda sig av sina kemikunskaper för att diskutera det samhällsvetenskapliga problemet med plastberget och att de även lärde sig nya saker.

8.4 Diskussion och Analys

Av studien har det framkommit att av de i studien deltagande eleverna anser samtliga att förmåga nummer 4, *kunskaper om kemins betydelse för individ och samhälle*, kunde tränas med hjälp av SNI-fallet. Majoriteten tyckte även att de kunde träna på att analysera och söka svar på ämnesrelaterade frågor och hälften av eleverna ansåg sig träna på sin förmåga att använda sina kunskaper i kemi för att kunna kommunicera samt för att granska information. Resultatet visar att majoriteten av förmågorna kan tränas genom SNI-fallet enligt eleverna. Den strukturerade aktiviteten i ett SNI-fall är i linje med det Duschl & Osborne (2002) talar om som aktiviteter för att gynna elevernas reflektion över sin kunskap. Vilket i sin tur skall bidra till elevernas kunskapsinlärning (Duschl & Osborne, 2002).

Som tidigare studier visat kan naturvetenskap ses som ett svårt ämne att lära sig, något som skulle kunna motverkas med hjälp av att ge eleverna interaktionsmöjligheter och att få sätta sina kunskaper i ett större sammanhang. Det framtagna utbildningsmaterialet fick en positiv respons bland de tillfrågade eleverna. Eleverna ansåg sig kunna föra en diskussion och samtidigt utveckla sina kunskaper inom vetenskapen på ett nytt sätt. Nästintill samtliga tillfrågade elever ansåg sig dessutom ha användning för det uppgiften behandlade, något som tyder på att denna typ av miljöproblem väcker intresse och ger eleverna möjlighet att lära sig nya saker, vilket överensstämmer med de Christensens (2009) talar om att eleverna kan bli mer motiverade att lära sig naturvetenskap (Christensen, 2009).

Utifrån elevernas svar på diskussionsfrågorna kunde det också tydligt ses att eleverna kunde använda sina kunskaper inom kemistämnet och naturvetenskapen för att diskutera olika frågeställningar. De vände och vred på problemet för att sätta sig in i olika perspektiv, något som Pettersson (2013) talar om är viktigt för att skapa grunden till begreppsförståelse (Pettersson, 2013). Eleverna använde sig också av hjälppord och metaforer för att kunna diskutera problemställningen vilket Rundgren (2006) ser som en nyckel till att skapa en djupare naturvetenskaplig förståelse. De tillfrågade eleverna vittnar om att de fick en större och klarare bild över hur ord och begrepp som tidigare känts abstrakta nu fick en tydligare innehörd (Rundgren, 2006).

Eleverna diskuterade både moraliska, politiska, ekonomiska och miljömässiga problem vilket är helt i linje med den pluralistiska undervisningstraditionen (Wickman & Persson, 2009). Detta samtidigt som de försökte se på problemet utifrån både individ och samhällsperspektiv. Detta gav eleverna möjlighet att se på naturvetenskapen från andra perspektiv än de vanligen gör, enligt Löfgrens (2014) studie och förhoppningsvis få en annan uppfattning av naturvetenskapen (Löfgren, 2014). Sjøbergs (2009) demokratiargument framkom som en aspekt många elever diskuterade kring. De såg på problemet med plastberget som ett problem politiker behöver ta hänsyn till (Sjøberg, 2009). Det tydliga demokratiska synsättet och synen på problemet som en konflikt mellan människor ger grund för den pluralistiska undervisningstraditionen (Wickman & Persson, 2009). Nytoargumentet påvisades också då eleverna, ansåg att nya tekniska lösningar kunde lösa problemet (Sjøberg, 2009).

Enkätundersökningens andra fråga visade på att ingen av de tillfrågade eleverna ansåg sig ha fått för några möjligheter att tala. Detta är i linje med Petterson (2013) som anser att eleverna behöver få ta plats i klassrummet och utvecklas med språket, vilket de enligt undersökningen verkar ha gjort. Majoriteten av eleverna kände sig inte vana vid att göra denna typ av uppgift under kemilektionerna, vilket tyder på att naturvetenskapen i skolan som Mortimer & Scott (2003) säger är beroende av sina termer samt teorier och inte ses ur ett vardagsperspektiv.

8.5 Slutsats

Slutsatsen av denna studie är att de flesta förmågor går att träna med hjälp av SNI-fall. Det som behöver kompletteras är de förmågor som utvecklas av laborativt arbete.

Utbildningsmaterialet ansågs främja diskussion kring ett miljöproblem med både vetenskapliga och samhällsvetenskapliga aspekter. Eleverna ansåg sig utveckla sina kunskaper inom naturvetenskap genom att använda frågeställningar från samhället.

Eleverna diskuterade problemet i linje med den pluralistiska undervisningstraditionen och hade användning av sina kunskaper inom kemi för att diskutera.

8.6 Framtida forskning

Denna undersökning gjordes i en väldigt liten skala och ett framtida alternativ skulle kunna vara att göra undersökningen mer utförligt i en större skala. Det skulle också vara intressant att undersöka på vilka olika sätt SNI-fall kan utformas och hur dess utformning påverkar hur elever och lärare hanterar dem.

Vidare kan lärares metoder för att hantera förmågorna och strävan mot elevernas utveckling undersökas. Här kan även elevernas synsätt på förmågorna kopplas in.

9 Abbreviations

AlCl ₃	Aluminum chloride
BBr ₃	Boron tribromide
BCl ₃	Boron trichloride
CDCl ₃	Deuterated chloroform
CH ₃	Methyl group
CO	Carbon monoxide
DMF	Dimethylformamide
DMSO	Dimethyl sulfoxide
EtSH	Ethanethiol
FC	Folin-Ciocalteu
FCR	Folin-Ciocalteu Reagent
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
G	Guaiacyl
H	p-Hydroxyphenyl
H ₂ O ₂	Hydrogen peroxide
HI	Hydriodic acid
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
IDSKL	Iodine mediated Demethylated Softwood Kraft Lignin
MMD	Molecular Mass Distribution
M _n	Number-averaged molecular mass
M _p	The peak molecular mass
M _w	Weight-averaged molecular mass
Hz	Hertz
NaOH	Sodium hydroxide
NaOMe	Sodium methoxide
Na-PSS-	Sodium Polystyrene Sulfonate Standard NH ₂
NO ₂	Nitrogen dioxide
OCH ₃	Methoxyl group
OH	Hydroxide
PD	Polydispersity
³¹ P NMR	³¹ Phosphorus Nuclear Magnetic Resonance
RI	Refractive Index
S	Syringyl
SEC	Size Exclusion Chromatography
SKL	Softwood Kraft Lignin
S _N 2	Substitution Nucleophilic (bi-molecular)
SNI	Samhällsfrågor med Naturvetenskapligt Innehåll
TDSKL	Thiol mediated Demethylated Softwood Kraft Lignin
TDSKL 1	Thiol mediated Demethylated Softwood Kraft Lignin with NaOMe
TDSKL 2	Thiol mediated Demethylated Softwood Kraft Lignin with NaOH
TMSI	Trimethylsilyl iodide
UV	Ultraviolet

10 Acknowledgements

I would like to thank my supervisor Elisabeth Sjöholm for all help, discussions, support and guidance throughout this work.

My supervisor Åsa Julin-Tegelman is thanked for all support and help with the educational part.

Monica Ek, my examiner, is thanked for her help and guidance throughout this work.

Thank you Innventia for being my workplace and make this thesis possible. Thank you Anders, Karolina, Jasna, and Jiebing for all help with the chemical analysis.

11 References

- Albertsson, A.-C., Edlund, U., & Odelius, K. (2012). *Polymer teknologi – Makromolekylär design*. Stockholm
- Bryman, A. (2008). *Samhällsvetenskaplig metod*. Liber AB.
- Burrows, A., Holman, J., Parsons, A., Pilling, G., & Price, G. (2009). *Chemistry 3*. New York: Oxford University Press Inc.
- Chae, J. (2008). Practical Demethylation of Aryl Methyl Ethers using an Odorless Thiol Reagent. *Archives of pharmacal research*. 305-309.
- Christensen, C. (2009). Risk and school science education. *Studies in Science Education* . 205-223.
- de Sousa, F., Reimann, A., Björklund Jansson, M., & Nilvebrant, N.-O. (2001). Estimating the amount of phenolic hydroxyl groups in lignins. *International Symposium on Wood, Fiber and Pulping Chemistry*, 649-653.
- Dong, D. (1993). *Characterization of kraft lignin and investigation of pulping effects on pulp yield, lignin molecular mass and lignin content of black liquore with a central composite pulping design*. University of Florida.
- Duschl, R., & Osborne, J. (2002). Supporting and Promoting Argumentation Discourse in Science Education. *Studies in Science Education*., 39-72.
- Duval, A., & Lawoko, M. (2014). A review on lignin-based polymeric, micro- and nano structured materials. *Reactive & Functional Polymers* (85), 78-96.
- Ekborg, M., Ideland, M., Lindahl, B., Malmberg, C., Ottander, C., & Rosberg, M. (2012). *Samhällsfrågor i det naturvetenskapliga klassrummet*. Gleerups
- El Mansouri, N.-E., & Salvado, J. (2007). Analytical methods for determining functional groups in various technical lignins. *Industrial Crops and Products* . , 116-124.
- Everett, J., Bryant, Q., Green, A., Abbey, Y., Wangila, G., & Walker, R. (2010). Thorough study of reactivity of various compounds classes toward the Folin-Ciocalteu reagent. *Agricultural and Food Chemistry* , 8139-8144.
- Ghaffar, S., & Fan, M. (2014). Lignin in straw and its applications as an adhesive. *International Journal of Adhesion & Adhesives* , 92-101.
- Gosselink, R., de Jong, E., Gurau, B., & Abächerli, A. (2004). Co-ordination network for ligning- standardisation, production and applications adapted to market requirements. *Industrial Crops and Products* , 121-129.
- Granata, A., & Argyropoulos, D. (1995). 2-Chloro-4,4,5,6-tetramethyl-1,3,2 dioxaphospholane, a Reagent for the Accurate Determination of the Uncondensed and Condensed Phenolic Moieties in Lignins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (43), 1538-1544.
- Gröndahl, F., & Svanström, M. (2011). *Hållbar utveckling - en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Zrinski, Kroatiens: Liber.
- Harris, D. C. (2010). *Quantitative Chemical Analysis*. New York: W.H Freeman and Company.
- Hemmilä, V., Trischler, J., & Sandberg, D. (2013). Lignin- An adhesive raw material of the future or waste of research energy? *Meeting of the Northern European Network for Wood Science and Engineering* (pp. 98-103). Hannover: Brischke, C. & Meyer, L.
- Himmel, M., & Squire, P. (1988). Size exclusion parameters. In P. L. Dubin, *Aqueous size exclusion chromatography* (pp. 3-22). Amsterdam: Elsevier sciece publishers.
- Horva, I., & Anastas, P. T. (2007). Introduction: Green Chemistry. *Chemical Reviews* , 2167-2168.

- Hu, L., Pan, H., Zhou, Y., & Zhang, M. (2011). Methods to improve lignin's reactivity as a phenol substitue and as replacement for other phenolic compounds. *BioResources*, 3515-3525.
- Hu, L., Pan, H., Zhou, Y., Hse, C.-Y., Liu, C., Zhang, B., et al. (2013). Chemical Groups and Structural Characterization of Lignin via Thiol Mediated Demethylation. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, (34:2), 122-134.
- Ibrahim, V., Mendoza, I., Mamo, G., & Hatti-Kaul, R. (2011). Blue laccase from Galerina sp.:Properties and potential for Kraft lignin demethylation. *Process Biochemistry*, 379-384.
- International Lignin Institute. (2014). *Analytical methods for lignin characterisation*.
- Kallavus, U., Kärner, K., Kärner, K., & Elomaa, M. (2015). Rapid semi-quantitative determination of aspen lignin. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 105–112.
- Lancaster, M. (2002). *RSC Paperbacks, Volume 30 : Green Chemistry : An Introductory Text*. Royal Society of Chemistry.
- Latif, M. H. (2013). Qualitative and quantitative determination of lignin in different. *Journal of Natural Sciences Research*, 2224-3186.
- Laurichesse, S., & Avérous, L. (2014). Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. *Progress in Polymer Science*, 1266-1290.
- Lei, W., Wangui, W., Xiang, J., & Lu, C. (2011). *Biodegradation of lignin by the white rot fungus*. Baotou, China : Institute of Bioengineering & Technology.
- Long, G., Meek, M., & Lewis, M. (2001). *N,N-Dimethylformamide*. Geneva: World Health Organization.
- Löfgren, R., Schoultz, J., Johnsson, K., & Domino Østergaard, L. (2014). Engagerande samtal i det naturvetenskaplig klassrummet. *NorDiNa*, 130-145.
- Majetich, G., & Hicks, R. (1994). *The use of microwave heating to promote organic reactions*. Georgia: International Microwave Power institue.
- Mortimer, E., & Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Hampshire: Open University Press.
- Munk, L., K. Sitarz, A., C. Kalyani, D., Dalgaard Mikkelsen, J., & S. Meyer, A. (2015). Can laccases catalyse bond cleavage in lignin? *Biotechnology Advances*.
- National Geographic. (2015). *Great Pacific Garbage Patch*. National Geographic Society.
- Ottander, C., Berglund, A., & Ekborg, M. (2013). Kom igång med SNI. *Nationellt resurscentrum för biologi och bioteknik*, 9-16.
- Pettersson, B. (2013). *Undervisningens möjlighet att stötta*. Malmö: FoU Malmö-utbildning.
- Pu, Y., Cao, S., & Ragauskas, A. J. (2011). Application of quatntitative ^{31}P NMR in biomass lignin and biofuel precursors characterization. *Energy & Environmental Science*, 3154-3166.
- Robert, D. R. (1984). Structural-Changes in Lignin During Kraft Cooking. 3. On the Structure of Dissolved Lignins. *Journal of Wood Chemistry Technology*, 239–263.
- Rundgren, C.-J. (2006). Att börja tala 'biokemiska' - Betydelsen av metaforer och hjälpor för meningsskapande kring proteiner. *NorDiNa*, 30-42.
- S. Chakar, F., & J. Ragauskas, A. (2004). Review of current and future softwood kraft lignin process chemistry. *Industrial Crops and Products*, 131-141.
- Sadeghifar, H., Cui, C., & Argyropoulos, D. S. (2012). Toward Thermoplastic Lignin Polymers. Part 1. Selective Masking of Phenolic Hydroxyl Groups in Kraft Lignins via Methylation and Oxypropylation Chemistries. *Industrial & Engineering Chemistry Research*.
- Singleton, V., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. (1999). Analysis of total phenols and

- other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 152-178.
- Sjøberg, S. (2009). *Naturvetenskap som allmänbildning - en kritisk ämnesdidaktik*. Malmö: Studentlitteratur.
- Sjöström, E. (1993). *Wood Chemistry*. San diego: Academic press
- Skolverket. (2011). *Gymnasieskola 2011*. Västerås: Skolverket.
- Skolverket. (2011). *Skolverket*. Hämtat från Åmne - Kemi:
http://www.skolverket.se/laroplaner-amnen-och-kurser/gymnasieutbildning/gymnasieskola/kem?tos=gy&subjectCode=KEM&lang=sv&courseCode=KEMKEM02#anchor_KEMKEM02 den 14 Maj 2015
- Todorciuc, T., Capraru, A.-M., Kratochvilova, I., & Popa, V. (2009). Characterization of non wood lignin and its hydroxymethylated derivates by spectroscopy and self-assembling investigations. *Cellulose chemistry and technology*, 399-408.
- Tomani, P. (2010). The Lignoblast process. *Cellulose chemistry and technology*, 53-58.
- Vetenskapsrådet. (2002). *Forskningsetiska principer inom humanistisk-samhällsvetenskaplig forskning*. Vetenskapsrådet: Elanders Gotab.
- Wickman, P.-O., & Persson, H. (2009). *Naturvetenskap och naturorienterande ämnen i grundskolan skolan*. Liber.
- Vishtal, A., & Andrzej, K. (2011). Challenges in industrial applications of technical lignins. *Bioresources*, 3547-3568.
- Zuo, L., Yao, S., Wang, W., & Duan, W. (2008). An efficient method for demethylation of aryl methyl ethers. *Tetrahedron letters*, 4054-4056.
- Öhman, J., & Rudberg, K. (2010). Pluralism in practice - experiences from Swedish evaluation, school development and research. *Environmental Education Research*, 95-111.

11 Appendices

Appendix 1

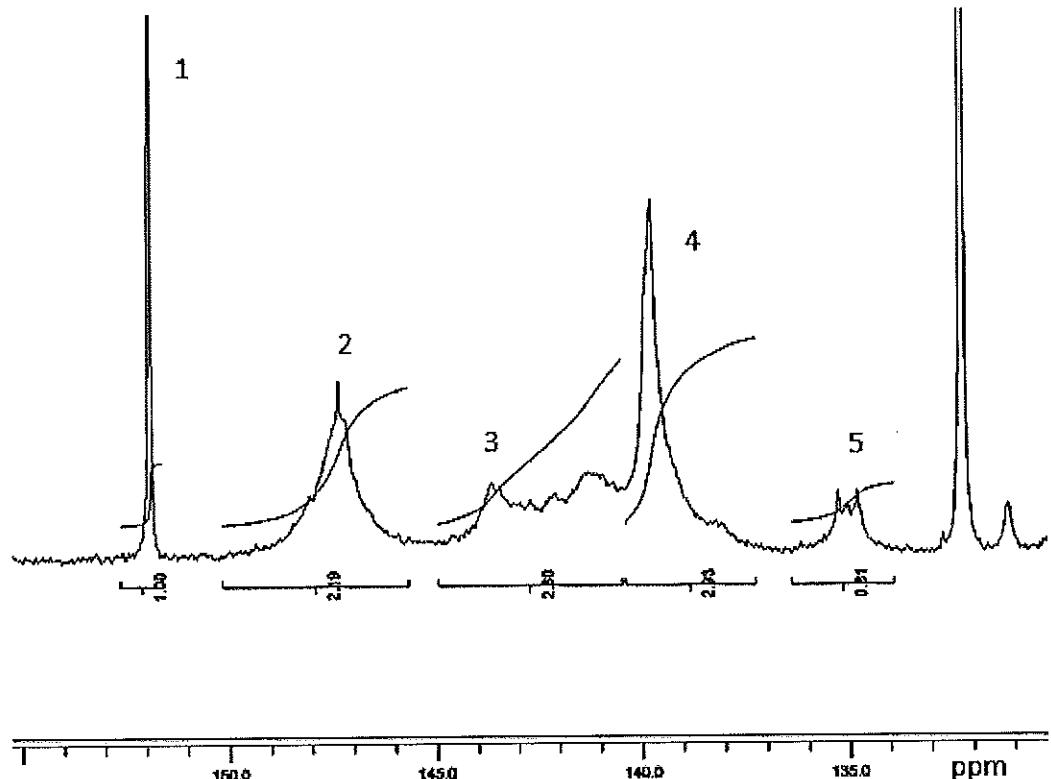


Figure 11.1 ^{31}P NMR spectra of SKL 0. From left internal standard, aliphatic OH, condensed (including S) OH, G-unit OH and carboxylic acids.

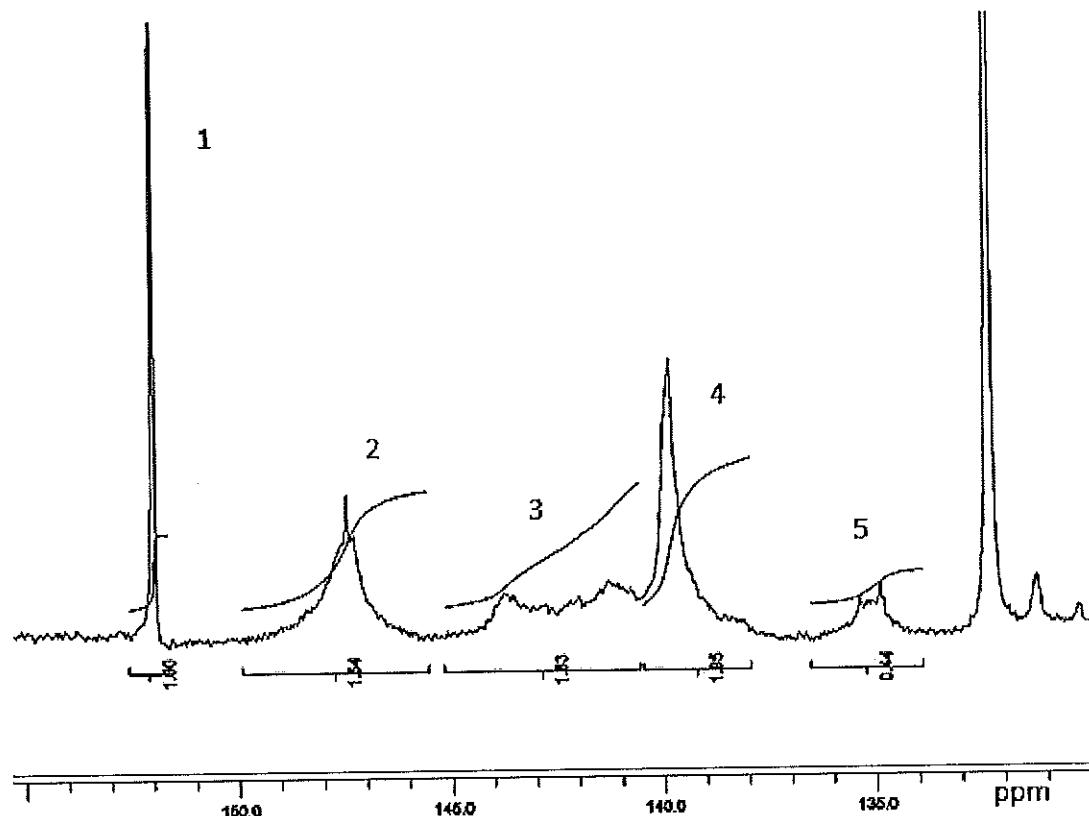


Figure 11.2 ^{31}P NMR spectra of TDSKL 1. From left internal standard, aliphatic OH, condensed (including S) OH, G-unit OH and carboxylic acids.

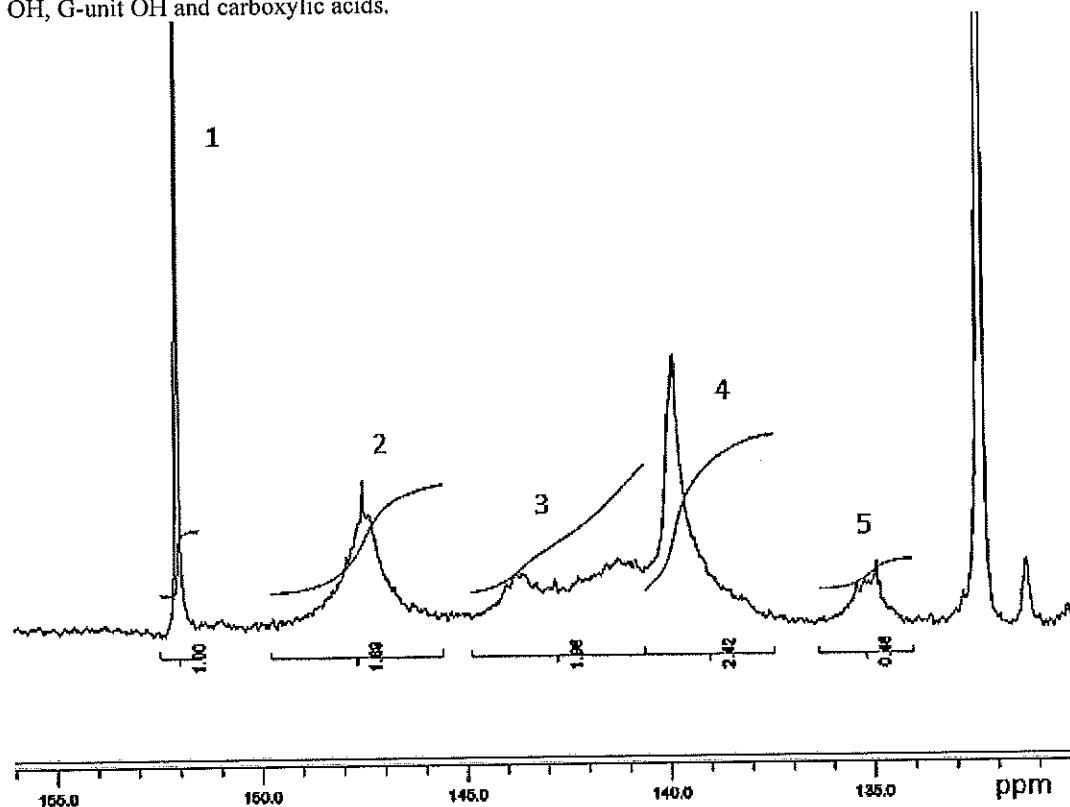


Figure 11.1 ^{31}P NMR spectra of TDSKL 2. From left internal standard, aliphatic OH, condensed (including S) OH, G-unit OH and carboxylic acids.

Appendix 2

2.1 Utbildningsmaterialet

Ett hav av plast

Utbildningsmaterial för gymnasieskolan

Materialet är skapat som en del av Erica Birgerssons examensarbete.

Ett hav av plast – lärarhandledning

Denna lärarhandledning vänder sig till dig som ska använda utbildningsmaterialet *ett hav av plast*. Nedan följer instruktioner för hur du som lärare kan använda dig av materialet. Till denna lärarhandledning hör en elevinstruktion att dela ut i samband med utförandet. Denna handledning kommer att ge information om materialets innehåll och syften, men även förslag på hur du som lärare kan utveckla elevernas idéer. Detta material innehåller ett så kallat SNI-fall vilket innebär Samhällsfrågor med Naturvetenskapligt Innehåll.

Val av utgångspunkt

Detta SNI-fall kommer att fokusera på vårt behov av att se över vår användning av först och främst plaster. Materialet kommer att grunda sig i en kort filmsnutt om det stora sopberget som flyter omkring i stillahavet mellan Asien och Nordamerika. Vart hamnar egentligen allt skräp som slängs i havet eller i naturen och vem ansvarar för det. Havet flyter över landsgränser och tar skräpet med sig från land till land. Kan endast återvinning lösa detta problem, eller behövs det andra metoder?

Det finns mycket material kring detta ämne vilket enkelt går att få tag i på internet. Utöver det filmklipp som rekommenderas i detta material finns flertalet längre och utförligare dokumentärer att titta på för den som är intresserad och har tid. För att underlätta för dig som lärare och användare av detta material rekommenderas att du läser in dig och ser någon av dessa klipp/filmer för att få en djupare förståelse samt för att kunna leda diskussionen.

Beskrivning av fallet

Detta fall handlar som tidigare nämnt om det stora sopberget i stillahavet. För att eleverna skall få en inblick i detta kan de förslagsvis titta på ett kortare filmklipp. Detta kan ske antingen under lektionstid eller att eleverna själva får titta på klippet innan lektionen. Skall eleverna förbereda sig själva kan det också vara aktuellt för dem att söka runt och hitta mer information, eller kanske se ett längre klipp. Se rubriken *Resurser* för ytterligare information.

Efter eleverna getts en inblick i sitt fall, delas elevmaterialet ut. Detta fungerar som en handledning till eleverna med diskussionsfrågor och funderingar. Det är här viktigt att beskriva för eleverna hur denna uppgift skall rapporteras. Se rubriken *Rapportering och bedömning* för mer information om detta. Som upplägg får förslagsvis eleverna först tillsammans i grupp skriva ner hur de tror att detta sopberg kan ha uppkommit. Vad är egentligen problemet? Efter detta kan de gå vidare med att tänka hur detta problem kan åtgärdas och förebyggas. Detta kan diskuteras på en individ-, samhälls- och global nivå. Är det konsumenten som måste ta ansvar? Eller är det producenten? Behöver samhället ställa högre krav?

Eleverna behöver här sätta sig in i frågor så som hur detta sopberg kan ha uppkommit. Varför bryts inte plasten ner och försvinner? Här behöver de undersöka plastens uppbyggnad. Förslagsvis får eleverna själva finna information om detta. Alternativt att du som lärare förser dem med relevant information.

Naturvetenskapligt innehåll

Denna fråga har en tydlig förankring i naturvetenskapen och kemiämnet genom dess koppling till plaster och andra icke bionedbrytbara material. I examensmålen för det naturvetenskapliga programmet på gymnasiet står det följande: *Utbildningen ska ge förståelse av hur naturvetenskap och samhällsutveckling ömsesidigt har påverkat och påverkar varandra och särskilt belysa naturvetenskapens roll i frågor om hållbar utveckling. Eleverna ska också ges möjlighet till etiska diskussioner om naturvetenskapens roll i samhället... Språket är ett redskap för kommunikation men också för reflektion och lärande. Utbildningen ska därför utveckla elevernas förmåga att argumentera och att uttrycka sig i avancerade skriv- och talsituationer med anknytning till naturvetenskap och matematik.*" (Skolverket). Innehållet i denna uppgift anknyter sig mot denna beskrivning. Eleverna får använda sina kunskaper i naturvetenskap för att diskutera samhällsvetenskapliga frågor. Vidare kan detta kopplas tydligt till kursen *kemi 2* där följande kursmål finns beskrivna:

- Frågor om etik och hållbar utveckling kopplade till kemins olika arbetssätt och verksamhetsområden.
- Avgränsning och studier av problem och frågor med hjälp av kemiska resonemang. Innehållet i detta fall behandlar med andra ord applicerad naturvetenskap i samhällsvetenskapliga frågor. Detta ger eleverna möjlighet till etiska diskussioner samt utveckling av deras argumentationsförmåga. Samtidigt som de behandlar kemins olika områden och ett vetenskapligt språk. Vi kan i vår vardag höra om denna typ av problem men med hjälp av uppgifter som denna kan vi tillsammans med naturvetenskapen analysera dem på en djupare nivå och samtidigt få en möjlighet att applicera våra kunskaper.

Samhällsvetenskapliga aspekter

Detta fall behandlar flertalet samhällsvetenskapliga aspekter. Först och främst handlar fallet om vem som ska ta ansvar för detta sopberg. År det individen, samhället, producenterna eller kanske alla tillsammans? I Sverige har vi ett fungerade system med återvinning, något som inte alla länder har. En vanlig syn i fattiga länder är att sopor hamnar på gatan och sedan ner i floder och ut i havet. Vems ansvar är detta? Samtidigt kanske återvinning är en för lätt väg ut. Mycket av den plast som hamnar i havet kommer inte från hushållssopor, utan är direkt råmaterial från fabrikerna, så kallade pellets. Fallet möjliggör för en diskussion om avsvarstagande och globalt samarbete med också hur enskilda individer kan påverka.

Intressekonflikt

Det finns olika typer av konflikter i detta fall. På en individnivå kan det handla om att bekvämlighet genom att inte slänga sitt skräp i en papperkorg utan i naturen. Det kan också handla om konsumenternas vanor. På en samhällsnivå handlar det snarare om hur samhället hanterar sina sopor. Vad händer med avfallet? Tippas det i havet, läggs på hög, förbränns eller återvinns? Plasten i haven känner inte av några landgränser utan färdas fritt med strömmarna. Detta gör förurenningen till ett globalt problem.

Vad eleverna skall använda sina kunskaper till

De kunskaper eleverna förhoppningsvis skapar utifrån detta material skall hjälpa dem att kritiskt diskutera samhällsfrågor och samtidigt applicera sina kunskaper inom naturvetenskapen. Detta fall kan användas som hjälp för att få in det dialogiska klassrummet i undervisningen samt öppna upp för en ny typ av applikation och förståelse. Eleverna kan få en tydligare bild av hur samhället kan arbeta mot en hållbar utveckling och hur de själva kan göra något. Samtidigt kan eleverna utveckla en djupare förståelse till hur plastmaterial är uppbyggda.

Mål för fallet

Eleverna skall efter arbete kunna:

- Ta reda på information om någon/några typer av plaster och dess uppbyggnad.
- Använda sin kunskap om plast och polymera material för att diskutera kring problemet med nedskräpning i havet.
- Förlära på molekylnivå kring hur polymerer är uppbyggda.
- Söka efter möjliga orsaker till nedskräpningsproblem och fundera kring möjliga åtgärder/lösningar
- Bearbeta och applicera information från olika källor på ett faktiskt problem.
- Sätt sig in i olika individer/länder möjlighet till att förebygga problem av denna typ.

Resurser

Den stora sophögen i stillahavet är ett uppmärksamt problem i media.

Det finns flertalet klipp att hitta på youtube, förslagsvis kan klippet *World biggest garbage dump - plastic in the Ocean* användas. Detta klipp är ca sju minuter långt och ger en inblick i problemet. Det finns även längre klipp och dokumentärer om ämnet.

Vidare ger sökorden *The great pacific garbage patch* flertalet träffar på hemsidor med bra information om situationen.

Information om polymera material och plaster finns också att finna på nätet, men även läroböcker kan ha information om dessa.

Rapportering och bedömning

Förslagsvis kan eleverna rapportera sina resultat i form av att skriva ett argumenterande brev till ansvariga politiker och/eller andra ledare. De kan också anordnas en debatt där olika länder och/eller organisationer finns med och dissuterar detta problem. Eleverna får här ett ytterligare tillfälle att läsa på om hur en viss organisation, land m.m. ställer sig i frågan.

Ett hav av plast

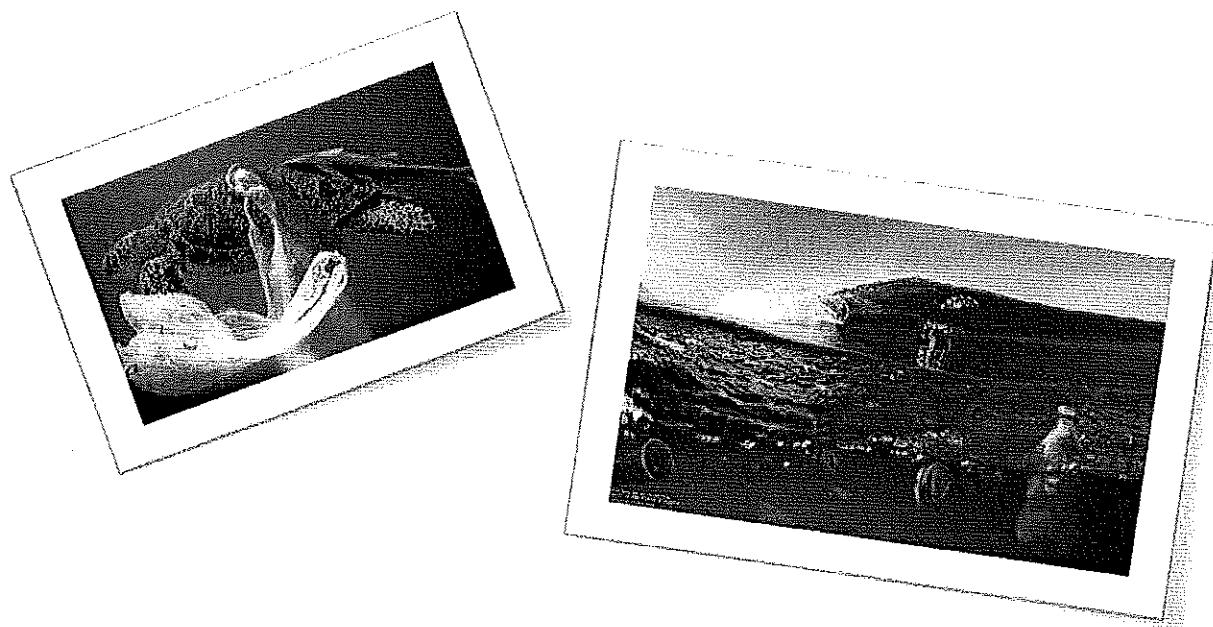
Mitt ute i stillahavet flyter ett stort berg av skärp runt. Strömmarna i stillahavet sveper avfall från kusterna och andra vattendrag in till detta område. Sopberget är fullt med rester från produkter av icke bionedbrytbara material. Plast är ett sådant material och varje sekund försvinner mer plast ut i naturen och så småningom också ut till haven.

Uppgift

Du har nu sett ett klipp om det stora sopberget i stillahavet. Tillsammans i grupp med dina klasskamrater ska du nu diskutera hur detta sopberg har kunnat skapas. Skriv tillsammans ner flera olika tänkbara orsaker. Försök också att fundera över är varför plast är ett icke bionedbrytbart material. Vad består plast av? Tänk här både utifrån vad plast tillverkas av, hur molekylen är uppbyggd och dess funktion i färdiga produkter.

När du formulerat dina orsaker till detta problem skall du fundera över hur problemet kan lösas och/eller förebyggas. Nedan följer några punkter att ta med vid funderingarna:

- Vems ansvar är sopberget?
- Vad kan vi göra som individer?
- Vad kan företagen göra?
- Vad kan politiker och organisationer göra?
- Kan vi använda andra material som är bionedbrytbara?
- Finns det miljövänligare alternativ till plast?
- Är brist på kunskap är orsaken till de miljöproblem som vi har idag?
- Är en livsstilsförändring viktigare än teknikutveckling för att nå en hållbar utveckling?



2.2 Enkätundersökning

Denna enkätundersökning riktar sig till dig som har arbetat med uppgiften *Ett hav av plast*. Studien genomförs av Erica Birgersson, mastersstudent från Kungliga Tekniska Högskolan. Syftet med studien är att undersöka hur samhällsvetenskapliga frågor kan behandlas inom naturvetenskapen. Allt material insamlat i denna studie kommer att hanteras konfidentiellt och samtliga svar kommer att vara anonyma. I rapporten kommer det heller inte framgå vilken skola studien utförts vid.

1. Vänligen kryssa i vilken/vilka av dessa förmågor du anser att du haft möjlighet att utveckla under ditt arbete med uppgiften.
 - Kunskaper om kemins begrepp, modeller, teorier och arbetsmetoder samt förståelse av hur dessa utvecklas.
 - Förmåga att analysera och söka svar på ämnesrelaterade frågor samt att identifiera, formulera och lösa problem.
 - Förmåga att planera, genomföra, tolka och redovisa experiment och observationers samt förmåga att hantera kemikalier och utrustning.
 - Kunskaper om kemins betydelse för individ och samhälle.
 - Förmåga att använda kunskaper i kemi för att kommunicera samt för att granska och använda information.
2. Vänligen kryssa i vilket eller vilka av följande påståenden som stämmer in på din upplevelse av lektionen och uppgiften.
 - Jag lärde mig nya saker.
 - Jag kunde använda mig av mina kunskaper inom kemi för att diskutera.
 - Jag kände att uppgiften främjade diskussion.
 - Jag tycker **inte** att jag fick möjlighet att tala så mycket.
 - Jag tycker att uppgiften var kul att utföra.
 - Jag ser mig ha användning för det uppgiften behandlade
 - Jag känner mig van vid att göra muntliga argumenterande uppgifter under kemilektionerna.

Övriga kommentarer (Skriv gärna några ord om vad du tyckte om uppgiftens upplägg eller andra övriga åsikter):

Tack för din medverkan!