

# PROMOTING CIRCULAR ECONOMY BY PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT WITH **SCMs** – A REVIEW ON WOOD ASH

Högskoleingenjörsutbildning i byggt teknik  
Examensarbete

Asal Salman



HÖGSKOLAN I BORÅS

**Program:** Byggingenjör, 180 hp

**Svensk titel:** Främja cirkulär ekonomi i betongindustrin i Sverige genom att delvis ersätta cement med alternativa bindemedel – En översikt av träaska

**Engelsk titel:** Promoting circular economy in concrete industries in Sweden by partial replacement of cement with SCM – A review on wood ash

**Utgivningsår:** 2022

**Författare:** Asal Salman

**Handledare:** Abdinasir Kadawo, Högskolan i Borås  
Marjan Mousavi, RISE

**Examinator:** Madumita Sadagopan

**Nyckelord:** Cement, Circular economy, Concrete industry, SCM, Wood ash

---

## **Acknowledgment**

The following thesis comprises 15 credits and is the final part of my education in the civil engineering program at the University of Borås. The work was carried out in collaboration with RISE during the spring semester of 2022.

I wish to extend my special thanks to my external supervisor, Marjan Mousavi at RISE, who has contributed great help and guidance along the way and made the work possible for me.

I would also like to thank my internal supervisor, Abdinasir Kadawo, for the guidance and tips I have received during the work.

A big thanks to all the respondents who lined up for the interviews.

Finally, I would like to take this opportunity to thank my family for supporting me throughout my studies.

Borås, May 2021

Asal Salman

## **Abstract**

The European Commission adopted the first action plan for the transition to a circular economy in 2015. As a result, the concrete industry's goal is for all concrete produced in Sweden to be climate neutral by 2045. Cement production is the third-largest carbon dioxide emitter in Sweden and accounts for 90% of concrete's carbon dioxide emissions. Thus, to lower the climate footprint of concrete, it is necessary to find alternatives to cement.

The potential of the use of wood ash in cement as a supplementary cementitious material (SCM) has been investigated in several studies. Due to Sweden's nature and wood industry, a comprehensive study has been done to investigate the possibility of using wood ash as an SCM in Sweden based on availability and efficiency.

This work aims to investigate the obstacles and driving forces that concrete producers face when transitioning to a circular economy by partially replacing cement with new potential SCMs. The aim is also to investigate the availability of wood ash generated in Sweden and account for the potential to be used as an SCM.

Qualitative semi-structured interviews with open-ended questions were conducted to determine the obstacles and drivers that concrete producers in Sweden face when converting to a circular economy by partially replacing cement with new potential SCMs. The amount of ash produced in Sweden was estimated based on the value of ash content and the potential annual supply of wood fuels in Sweden. In addition, a literature review was performed to investigate the properties of wood ash.

The economic and environmental aspects, as well as the fact that the supply of fly ash and slag is likely to decrease in the future form the main driving forces for concrete producers. The obstacles raised by the correspondents were the availability of SCMs, technical barriers, logistics, and standards. The amount of the annual production of wood ash in Sweden is estimated to be between 851 450 and 1 232 950 tons. The chemical characteristics of wood ash did not meet the requirements according to European standard (EN450-1). However, the reviewed articles indicated a potential for wood ash to be used as a supplementary cementitious material due to the indication of some hydraulic and pozzolanic activities. The combination of fly ash and wood ash in concrete is considered viable due to promising results based on mechanical strength.

## Sammanfattning

EU-kommissionen antog den första handlingsplanen för omställningen till en cirkulär ekonomi 2015. Som ett resultat av detta är betongindustrins mål att all betong som används i Sverige ska vara klimatneutral år 2045. Cementindustrin är den tredje största koldioxidutsläpparen i Sverige och står för 90 % av betongens koldioxidutsläpp. För att sänka betongens klimatavtryck är det nödvändigt att hitta alternativ till cement.

Potentialen för användningen av träaska i cement som ett alternativt bindemedel har undersökts i flera studier. Med hänsyn till Sveriges natur- och träindustri har en omfattande studie gjorts för att undersöka möjligheten att använda träaska som alternativ bindemedel i Sverige utifrån tillgänglighet och effektivitet.

Arbetet syftar till att undersöka de hinder och drivkrafter som betongföretag möter vid övergången till en cirkulär ekonomi genom att delvis ersätta cement med nya alternativa bindemedel. Syftet är också att undersöka tillgången på träaska som genereras i Sverige och redogöra för potentialen att användas som ett bindemedel.

Kvalitativa semistrukturerade intervjuer med öppna frågor genomfördes för att fastställa de hinder och drivkrafter som företag inom betongtillverkning i Sverige möter vid en omställning där cement ersätts delvis med nya bindemedel. Mängden aska som produceras i Sverige har uppskattats utifrån värden på askhalt och den potentiella årliga tillgången på träskränslen i Sverige. Dessutom har en litteraturöversikt genomförts för att undersöka träaskans egenskaper.

Drivkrafterna för en omställning till cirkulär ekonomi hos betongindustrier genom delvis ersättning av cement med nya alternativa bindemedel är de ekonomiska och miljömässiga aspekterna samt det faktum att tillgången på flygaska och slagg riskerar att sjunka i framtiden. Hindren som korrespondenterna tog upp var tillgången till alternativa bindemedel, tekniska barriärer, logistik och standarder. Mängden av den årliga produktionen av träaska i Sverige uppskattas mellan 851 450 och 1 232 950 ton. Kemiska egenskaper hos de undersökta träaskorna uppfyller inte kraven enligt europeisk standard (EN450-1). Litteraturöversikten visar dock en potential för träaska att användas som ett alternativt bindemedel till följd av en viss hydraulisk och puzzolanisk aktivitet. Kombinationen av flygaska och träaska i betong anses lönsam på grund av lovande resultat baserade på mekanisk hållfasthet.

# TABLE OF CONTENTS

<b>1 INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1 Background .....	1
1.2 Aim.....	1
1.3 Research questions .....	2
1.4 Limitations.....	2
<b>2 THEORIES .....</b>	<b>3</b>
2.1 Circular economy .....	3
2.2 Circular economy and concrete industry.....	4
2.3 Cement.....	5
2.4 Supplementary cementitious materials .....	5
2.5 Industrial waste and by-products as SCM .....	6
2.6 Wood ash and the availability in Sweden .....	7
<b>3 METHOD .....</b>	<b>8</b>
3.1 Qualitative semi-structured interviews .....	8
3.2 Literature Review .....	9
<b>4 RESULTS .....</b>	<b>10</b>
<b>4.1 Drivers and obstacles of concrete producers when implementing new potential SCMs .....</b>	<b>10</b>
4.1.1 Use of SCM in concrete .....	10
4.1.2 Challenges with SCM in concrete .....	10
4.1.3 Need for new SCM.....	12
4.1.4 SCM in the product development process .....	12
<b>4.2 Estimation of produced wood ash in Sweden .....</b>	<b>13</b>
<b>4.3 Assessment of wood ash.....</b>	<b>15</b>
4.3.1 Chemical composition .....	15
4.3.2 Morphology.....	16
4.3.3 Pozzolanic activity .....	16
4.3.4 Hydraulic activity.....	16
4.3.5 Water demand of fresh concrete .....	17
4.3.6 Compressive strength.....	17
4.3.7 Flexural and tensile strength.....	18
4.3.8 Water absorption .....	18
<b>5 DISCUSSIONS .....</b>	<b>19</b>

5.1 Drivers and obstacles of concrete producers when implementing new potential SCMs .....	19
5.2 Estimation of produced wood ash in Sweden .....	19
5.3 Assessment of wood ash.....	20
<b>6 CONCLUSIONS .....</b>	<b>21</b>
<b>REFERENCES .....</b>	<b>22</b>
<b>APPENDIX 1 – INTERVIEW GUIDELINE .....</b>	<b>26</b>
<b>APPENDIX 2 – DATABASE SEARCH .....</b>	<b>27</b>
<b>APPENDIX 3 – LITERATURE REVIEW ARTICLES.....</b>	<b>28</b>
<b>APPENDIX 4 – ESTIMATION OF PRODUCED ASH .....</b>	<b>29</b>
<b>APPENDIX 5 – RESPONDENT 1 .....</b>	<b>30</b>
<b>APPENDIX 6 – RESPONDENT 2 .....</b>	<b>34</b>
<b>APPENDIX 7 – RESPONDENT 3 .....</b>	<b>39</b>
<b>APPENDIX 8 – RESPONDENT 4 .....</b>	<b>42</b>

# 1 INTRODUCTION

In this chapter, the background for the study as well as the aim, research questions, and limitations, are presented.

## 1.1 Background

As the effects of climate change have become increasingly apparent, greenhouse gas emissions have become an essential issue in global development. It is time to change the direction of action to ensure that future generations have the same conditions. Climate reports have resulted in more attention and emphasized the significance of a circular economic approach. The European Commission adopted the first action plan for transitioning towards a circular economy in 2015 (Europeiska kommissionen n.d). The number of scientific contributions about the circular economy and construction industry tripled from 2015 to 2019. Out of 66 papers, 71 % were European (Hossain, Thomas, Antwi-Afari & Amor 2019). The Swedish government in turn has developed a climate action plan to achieve a fossil-free country. The goal is for net emissions of greenhouse gases to be zero by 2045. To date, fourteen industries have developed roadmaps to achieve the goals, including the concrete and cement industries (Sveriges miljömål 2022).

Concrete is the most widely used artificial material in the world. This drives cement production, the concrete's most popular binding medium, to 4.1 billion tons in 2020, tripling the production rate in 25 years (Statista 2022). Cement is the sub material in concrete with the most carbon emission, standing for more than 90 percent of the total carbon dioxide emissions derived from concrete (Svensk Betong 2017). Supplementary cementitious materials (SCMs) are used to replace parts of the limestone. The common SCMs used in cement and concrete industries in Sweden are fly ash and granulated blast furnace slag. However, the availability of fly ash has decreased, and it is relevant to explore alternative materials that enable a significant reduction of the carbon footprint.

## 1.2 Aim

This thesis is a comprehensive study to investigate the possibilities of promoting a circular economy by replacing cement with new potential SCMs to make the most out of wastes or industrial by-products generated in Sweden and reducing carbon dioxide emissions by decreasing the use of cement.

The work aims to investigate the obstacles and driving forces that concrete companies face when transitioning to a circular economy by partially replacing cement with new potential SCMs. The aim is also to investigate the availability of wood ash generated in Sweden and account for the potential to be used as an SCM.



### **1.3 Research questions**

- What obstacles and drivers do companies in concrete manufacturing in Sweden face when converting to a circular economy by partially replacing cement with new potential SCMs?
- Is the supply of wood ash in Sweden sufficient for use as an SCM for cement replacement?
- Does wood ash have the technical properties required to be used as an SCM?

### **1.4 Limitations**

The idea was to investigate the availability of potential SCMs derived from waste or by-products in Sweden. However, because the subject was too broad, this report has been limited to only examining the availability of wood ash generated in Sweden. The estimation of the production of wood ashes in Sweden is only limited to the by-products from bioenergy power plants.

When investigating the drivers and obstacles of the transition to a circular economy by replacing cement with SCMs, the interviews were only limited to people working in concrete manufacturing companies. In addition, the articles used for the assessment of wood ash are limited to use in cement and concrete, and the requirements for SCM are according to the European standard EN 450-1.

## 2 THEORIES

In this chapter, the theories are presented and aim to give the reader theoretical background to the topic.

### 2.1 Circular economy

Circular economy is a principle, where business models are designed to obtain material flow and reduce environmental impacts caused by industries and manufacturing, unlike today's linear economy system where business models are designed around the model of take-make-dispose, leaving consequences such as climate change, biodiversity losses, waste, and pollution (Ellen MacArthur Foundation n.d).

The circular economy principle first appeared in Kenneth Boulding's essay, *The economics of the Coming Spaceship Earth* in 1966. Boulding introduced the importance of environmental quality in a growing economy. He pointed out the limited resources on the planet and the importance of harnessing the resources and obtaining a cyclical ecological system (Resources 2017). The actual term "circular economy" was first mentioned in *Economics of Natural Resources and Environment* by David W Pearce and R Kerry Turner in 1989. The authors pointed out the significance of maintaining a material flow and turning waste into inputs.

The idea behind circularity derives from the concept that the planet is limited with limited resources, and the necessity of utilizing resources moderately to obtain sustainability for future generations and protect ecosystems. It also derives from the conception that there is no waste in the natural world and that every system's output is an input for another (Ritchie & Freed 2021). This concept was featured as the cradle-to-cradle method by Professor Michael Braungart and William McDonough (2001), who pointed up that all materials must conclude in closed loops like nature's own cycle.

The Ellen MacArthur Foundation has defined three main principles required for a circular economy: eliminating waste and pollution, circulating waste and materials, and regenerating nature (Ellen MacArthur Foundation n.d). These are further developed into the framework of the 6R's consisting of the following: rethink, refuse, reduce, reuse, repair, and recycle, replacing the inefficient 3R's: replacement, reduction, and refinement.

No recognized definition is applied to the term circular economy, in fact, there are at least 114 different definitions of this term according to Kirchherr, Reike, and Hekkert (2017). However, the principle is distinct. The difficult part is about implementing the principle. As the circular economy is a concept to be applied on large scale to producers and consumers, various dimensions require to be considered. In a study done at the University of Hong Kong, ten different aspects of the circular economy were defined and studied. These included design, material selection, supply chain, business model, relevant policy, uncertainty and risk, collaborations among actors, knowledge among stakeholders, integration of urban metabolism, and methodology for circular economy evaluation (Hossain et al. 2019).

## 2.2 Circular economy and concrete industry

There are over 100 concrete industries in Sweden. In 2020, concrete production amounted to 4,588,000 cubic meters for houses and 1,638,000 cubic meters for infrastructure. 90% of the CO<sub>2</sub> emissions from concrete industries derive from cement production (Svensk Betong 2020). Carbon dioxide emissions from cement production amounted to 1.8 million tons in 2020, calculated as the third-largest carbon dioxide emitter in Sweden (Sveriges Natur 2022).

The lifecycle of concrete is shown in figure 1. Concrete is 100 % recyclable and is recycled into aggregate in new concrete or as filling material (Svensk betong n.d). However, cement is not incorporated in the concrete cycle as reuse or recycling of cement is not possible thus, the production of cement is imperative. Partial replacement of cement clinker or cement with industrial by-products or construction and demolition waste is an efficient way to circularity in the cement industry.

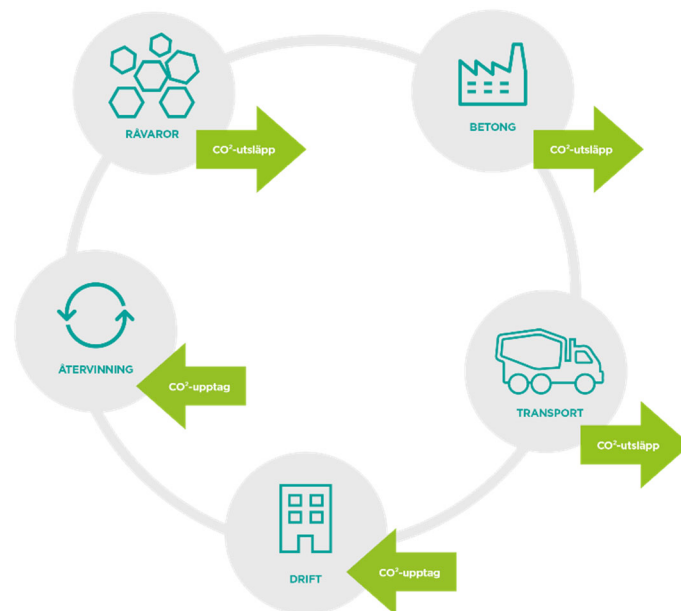


Figure 1 The lifecycle of concrete (Svensk Betong 2017)

A roadmap for climate-neutral concrete has been developed to achieve the concrete industry climate goals by actors along the value chain in Betonginitiativet (Fossilfritt Sverige 2018).

- Using cement with lower climate impact
- Optimizing concrete composition by partial replacement of cement with alternative binders.
- Material optimization to contribute to more resource-efficient construction.
- Optimizing the concrete use, making sure concrete with high quality is only used when needed.
- Lower climate impacts from the distribution of concrete.

## 2.3 Cement

Cement is made from limestone and marl, which are crushed and ground together to undergo a calcination process where the chemical bonds are broken down, and new compounds are formed (Cementa n.d). Due to the need for heating at a high temperature, large amounts of carbon dioxide are released into the air. Carbon dioxide emissions from cement production in Sweden amounted to 1.8 million tons and constituted Sweden's third-largest carbon dioxide emitter in 2021 (Sveriges Natu 2022). Cementa is Sweden's only cement manufacturer, with two running factories in Slite and Skövde. The annual cement production amounts to 2.8 million tons of cement, of which 80% of the cement produced is used in Sweden and corresponds to approximately 2.2 million tons. The factory in Slite produces 75 percent of the total cement (Cementa n.d).

Cement consists of four main phases formed during the calcination process: tricalcium silicate (C3S), dicalcium silicate (C2S), tricalcium aluminate (C3A), and tetra calcium aluminoferrite (C4AF), as well as small quantities of calcium sulfate dihydrate/gypsum. As a result of the hydration of cement, four products (Calcium silicate hydrate (CSH), Calcium hydroxide (CH), AFt-phases, and AFm-phases) are formed, which are the main contributors to the hydraulic properties. C3S contributes to the products CSH, and CH. CSH makes up almost 50% of the cement and is primarily responsible for the majority of the strength properties, and CH makes up 15-20% of the cement and is the second contributor to the strength in concrete (National Precast Concrete Association 2016).

## 2.4 Supplementary cementitious materials

Supplementary Cementitious Materials (SCMs) have similar properties to cement clinker and cement because they can form strength-bearing phases when reacting with either water or cement paste. SCMs are sourced as residual products from other industries and are used in the manufacture of cement and concrete. Fly ash, silica fume, granulated blast furnace slag, metakaolin, natural pozzolan, and limestone are some of the most common SCMs. The use of SCM can provide specific properties such as facilitating the processing of concrete; at the same time, resulting in reduced cement content. By using SCM in concrete, concrete of lower climate impact is obtained due to a reduction in carbon dioxide emissions that the cement industry is responsible for. SCM can only replace cement to a certain extent because properties such as durability and strength in concrete are negatively affected at higher concentrations. Depending on the type of SCM and requirements for concrete quality, the use of SCM in concrete contributes to a relative proportion of reduced carbon dioxide emissions and is reliable on factors such as availability and efficiency (Sundlin 2021).

Hydraulic and pozzolanic activities are the two primary forms of reactions that enable the strength-bearing properties that SCM is characterized by. These are different reactive depending on the chemical composition of the different SCM materials. Hydraulic reactivity stands for the SCM materials that form strength-bearing phases when reacting to water while pozzolanic reactivity refers to the SCM materials, also called pozzolan's strength-bearing reaction in the presence of both water and cement (Holland, Kurtis & Kahn 2016).

Pozzolans have a lower CaO content, and the pozzolanic activity is facilitated by SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, also known as primary oxides (Singh 2018). The pozzolanic reactivity is a result of the primary oxides reacting with the CH in the cement paste and forming additional CSH, contributing to more strength (Sutter 2016).

Chemical, physical, and mechanical methods are used to evaluate pozzolanic activity. The chemical method is described in the standard (ISO R863-1968), where the reduction of calcium in a lime solution is measured when suspended with pozzolanic material. The mechanical method is described in the European standard (EN 450-1) where the compressive strength ratio of two mortar bars (one prepared with pure cement and one prepared with 75% Portland cement and 25% pozzolanic material) is determined (Singh 2018). According to Swedish standard (SS-EN 450-1:2012, p. 10), the  $\sum$ primary oxides must be > 70% for a pozzolan.

## **2.5 Industrial waste and by-products as SCM**

The concept of utilizing waste material for building applications is successful in terms of the economic and environmental aspects as well as the technical aspects of concrete. Examples of SCMs deriving from industries as by-products are fly ash, slag, and silica fume. The waste materials in landfills are considered valuable commodities for enhancing specific properties of concrete. Different types of by-products from sectors such as industrial and agricultural are produced on a large scale and can be hazardous if not disposed of safely. These remain in the environment for a longer duration when unused. Usage of waste and by-products as partial replacement of cement reduces environmental issues. It contributes to solving landfill problems, incorporating waste into a circular cycle, and providing energy savings as well as reducing emissions. It also provides a cost-effective solution for building materials (Aprianti 2015).

## 2.6 Wood ash and the availability in Sweden

Wood ash is a by-product that occurs during the combustion of wood, for example, in bioenergy production. It is composed mainly of calcium compounds and other elements present in the wood. The properties and the chemical composition of wood ash vary due to various factors. The geographical region and industrial processes such as the collection location and temperature of combustion affect the properties of wood ash. Therefore, it is difficult to generalize the properties of wood ash (Risse & Gaskin 2013).

Sweden's area consists of 70% forest, corresponding to approximately 28 million hectares, of which 23.5 million hectares is productive forest land. The forest growth is greater than felling, with an average annual growth of just over 120 million cubic meters of forest (Skogsindustrierna n.d) The forest industry accounts for 9–12% of the Swedish industry (Skogsindustrierna n.d) Due to the considerable resources of forests in Sweden and the wood industry, the supply of biomass is a natural consequence that is operated today, among other things, to produce bioenergy. In Sweden, the total weight of biomass was estimated at 2,643 million tons in 2018 (Sveriges Lantbruksuniversitet 2021). In addition, there are 239 biopower plants in Sweden (Bioenergi 2021).

There have been no complete studies about ashes from bioenergy production, specifically ashes derived from wood, and statistics from biopower plants are limited. However, there are different methods to estimate the amount of ashes produced. A statistic of energy ashes originating from biopower plants was performed by Statistiska centralbyrån (2012). The measurement data collected for ash production is based on surveys from companies of biopower within SNI 35. As a result, the total amount of ash in Sweden was estimated at 1,459,000 tons of dry matter, of which ashes derived from wood are estimated at a total of 285,600 tons of dry matter. Table 1 presents ash production on ashes derived from wood along with values of bottom ash, fly ash and fly gas during 2012 (Statistics Sweden 2012).

*Table 1 Ash production derived from solid biofuels and recycled wood, given in tons, 2012 (SCB 2012)*

<b>Fuel category</b>	<b>Bottom ash</b>	<b>Fly ash</b>	<b>Flue gas</b>	<b>Total (Ton)</b>
Solid biofuels	153 600	101 100	600	255 300
Recycled/reclaimed wood	20 600	9 700	0	30 300
<b>In total</b>	<b>174 200</b>	<b>110 800</b>	<b>600</b>	<b>285 600</b>

### 3 METHOD

This chapter describes the methods that have been used in this study.

#### 3.1 Qualitative semi-structured interviews

Qualitative semi-structured interviews with open-ended questions were used to determine the obstacles and drivers that concrete producers in Sweden face when converting to a circular economy by partial replacement of cement with SCMs. Semi-structured interviews are interviews that are based on predetermined questions with room for adaptation and follow-up questions to gain a rich understanding of the subject. When conducting a semi-structured interview, some preparations are crucial. The interview guideline should cover the topics and questions to steer the conversation towards the focus area. A previous study of the research topic is required by the interviewer for drafting relevant follow-up questions and directing the discussion towards targeted areas to get more out of the discussion.

#### Selection of respondents

The selection of the respondents was based on a selective approach. All respondents were selected as a result of contacts through the external supervisor, Marjan Mousavi. The selection group consists of four people who work at four different companies, Abetong, Strängbetong, Swerock, and Thomas Betong. All respondents were involved in concrete development projects or had a leading role in the company. The respondents that participated in the interviews and their corresponding companies and job titles are presented in table 2.

Table 2 All respondents with corresponding company and job title

Respondents	Name	Company	Job title
Respondent 1	Anders Mattson	Strängbetong	Technical Manager
Respondent 2	Oskar Esping	Thomas Betong	Project Manager – Research and development
Respondent 3	Staffan Carlström	Swerock	Product Manager- Factory department
Respondent 4	Stefan Östman	Abetong	Concrete expert

#### Methodology

Three respondents have been interviewed over google teams/Zoom, and one interview was done in person. Permission was taken from the respondents to record all interviews, later transcribed in a document. All respondents received an email and were informed about the aim of the interview. An interview guideline was developed based on the first research question in this study. The interview guideline consists of three main areas in which the questions are categorized based on as well as an introductory part with questions that describe the respondents' role in the companies in order to understand their perspective and relevance to this study. The three main areas are the following: Use of SCM, Challenges with SCM, and SCM in product development where each area consisted of four, six, and two questions, respectively. The questions in the interview guideline are not followed to the point as the discussion is drafted to gain a better understanding of the respondent's point of view.

## 3.2 Literature Review

A literature study is an approach to collecting, evaluating, and compiling existing literature to identify current research and highlight under-researched areas. The literature study aims to investigate the use of wood ash in cement and concrete, to get an overview of the area, and emphasize the potentials and gaps.

### Database search

Databases used for searching relevant papers were based on content areas and accessibility via the University of Borås. Three databases met the above criteria and were used for this literature study, Web of Science, Scopus, and Taylor & Francis Online. The first two databases had the same prerequisites in terms of search fields and search categories. However, the last had limited options in terms of search categories, thus the differences in the selecting criteria. The keywords used in the searching field were designed by combining and excluding different keywords to find relevant papers. First, the main idea and keywords, as well as synonyms, were defined. Later, different keywords were combined with the interconnecting words AND, OR, and NOT to refine the results. Finally, the same combination of keywords was used on all the databases. The keywords used were *Wood fly ash*, *cement*, and *concrete*. In addition, the preposition NOT was used to exclude articles that dealt with *mortar* as these were available to a large extent but not relevant to this study.

### Inclusion and exclusion criteria

Inclusion and exclusion criteria were designed to identify papers in the relevant subject area. First, a test search was performed using the main keyword "*wood fly ash*" to get an idea of the search result and the demand for applying criteria. The test search showed that wood ash had been studied in several fields; however, the papers covering the use of wood ash as an SCM were relatively new. In addition, a large part of the papers that dealt with wood ash as a supplementary cementitious material was linked to mortar. Since wood ash is applicable in various fields, one inclusion criterion was that the keyword *wood fly ash* should appear in the context of *cement*, *concrete*, or *SCM*. No criteria for publication date were stated as the papers in the relevant field were relatively new, and the numbers were limited. Accessible abstracts and articles in English or Swedish were also criteria. The exclusion criterion was that the content of the articles would not include the keyword mortar. The search results for each database are presented in Appendix 2 and the chosen articles are presented in Appendix 3.



## 4 RESULTS

This chapter compiles collected results from interviews, data collection, calculations, and a literature review. The results are presented based on the research questions in the report.

### 4.1 Drivers and obstacles of concrete producers when implementing new potential SCMs

#### 4.1.1 Use of SCM in concrete

The use of SCM in concrete occurs in all interviewed companies to varying degrees, and there are plans to increase the use of SCM. In addition, all companies have the vision to use SCM to a greater extent in concrete recipes in the future. According to respondent 3, SCM is used in concrete recipes partly to develop climate-smart concrete and strengthen specific technical properties. It has been possible to reduce the carbon footprint of certain concrete products by up to 50%. However, lower levels are more common. The respondent mentioned that supplementary cementitious materials are a prerequisite for significantly reducing carbon dioxide emissions. Strängbetong has in recent years, begun to use blast furnace slag in concrete, especially in perforated deck production, achieving a 20% reduction in carbon dioxide emissions of green hollow core elements in relation to standard concrete for hollow core elements. An investment that has made it possible to reduce the carbon dioxide content is fly ash and slag combined with a reduction in the water-cement content. This element is used in indoor constructions. Tests of rice husk as a potential SCM are also underway. Abetong uses slag at two of seven factories and is implementing it in two additional factories. The plan is to implement SCM at all factories by the end of 2022. A reduction of 30–35% of carbon dioxide emissions is achieved compared to standard concrete. The reduction is due to optimized concrete mix proportions, including the utilization of SCMs.

A success factor in using SCM is the opportunity for better competitiveness. By offering climate-smart concrete, Abetong has sold several projects. Respondent 3 also agreed on the competitiveness aspect as a success factor.

#### 4.1.2 Challenges with SCM in concrete

Several obstacles could be identified during the interviews. Obstacles mentioned were the availability of SCMs, logistics, standards and regulations, technical barriers, and financial investments. One obstacle that all interviewees agreed on is that the current regulations do not apply to new potential SCMs.

Respondents 2 and 3 mentioned the importance of maintaining a material flow and the challenges that follow when it comes to circular materials. One of these challenges is that some industries have seasonal production that prevents even availability of certain materials. Respondent 2 also mentioned the importance of certifying the materials and the difficulty in generating waste or by-products of equal quality. Waste and by-products can also contain unsuitable substances such as heavy metals. This is also a challenge as the products may need to be processed, causing additional costs and emissions.

Respondent 1 emphasized the technical challenges that come with using SCM in concrete recipes. The use of slag causes a slower strength development of the concrete, which can be problematic for prestressed concrete elements. Therefore, it is important to consider cracking and other technical aspects by controlling the strength development. Respondent 4 also addressed technical challenges that may occur outside the concrete industry. For example, he mentioned power plants that may need to adapt their combustion technology to produce a valuable and reactive residual product. Time and capacity are also obstacles that respondent 4 mentioned.

The commercial aspect is another type of obstacle. Respondent 1 took up the example of calcinated clay and the natural factors required for such implementation. Considering the different treatment and processing, including transporting, an analysis of the sustainability of the environmental and economic factors is necessary before going into new SCMs.

The difference in the assessment of circular materials compared to virgin materials were brought up by respondent 3. More critical requirements are applied to circular materials than virgin materials and no reference values are available when reporting circular materials, making it difficult to interpret the figures. Today, there is no chain based on receiving circular materials. Instead, it is based on the virgin straight line. Respondent 3 also identified local sales as an important aspect when investing in SCMs on a large scale. It is challenging to solve material flows when aiming at the same product range in all factories. Local deposition of circular materials helps to keep the transport chain down as much as possible. Standards, regulations, and external requirements of clients, organizations, and Naturvårdsverket were also obstacles that were identified by all respondents during the interviews.

One of the challenges raised by respondent 4 mentioned that there will probably be greater use of SCMs in the future. Different factories adapting to a local supply of SCMs will have different binder combinations. He took up the example of biogas, where local availability would be the prerequisite for using the material as SCM. In the case of the local supply of SCM, there will be more significant challenges because different factories have different binders.

Respondent 4 also mentioned a specific resistance from the coal industry, which accused the concrete industry of having sick houses due to fly ash content in concrete. In addition, he mentioned resistance from a particular customer side against the use of other than cement which is believed to cause concern for them. Blast furnace slag is accepted. Significant research may be required to show that new SCMs will not cause problems in the future so that customers feel safe.

According to all correspondents, the easiest obstacles to fix are technical ones because they rely on adapting processes, testing, and finding balance. The factor that concrete producers cannot influence and thus experience as more difficult are regulations and standards.

#### 4.1.3 Need for new SCM

There is a need for new SCMs in the future. Fly ash is discontinued as Germany is impending to shut down all its coal-fired power plants. Respondent 4 pointed out that the supply will disappear drastically in the coming years. Blast furnace slag supply will not cease as steel production will continue. However, the supply will not be sufficient. External supply also seems limited as there is a demand for SCMs outside of Sweden. Furthermore, respondent 4 mentioned great potential with calcined clays as a product for cement suppliers.

Concrete manufacturers are evolving and optimizing their recipes. The new standard SS 137003:2021 increases the possibilities of utilizing the benefits of slag in a more significant way than before. However, there is a risk of a shortage of slag. Slag can be bought from the continent, but this kind of solution is questionable given the transport prices.

Conditions and availability of SCMs depend on various industries, such as steel production in the case of slag and the coal industry in the case of fly ash. According to respondent 1, it is not sure that today's SCM's availability will remain in the future. For instance, the steel industry seeks to change the PCR, which today is the basis for calculating slag. Therefore, there may not be access to slag.

#### 4.1.4 SCM in the product development process

SCM is seen as a partial solution to reduce the climate footprint of concrete, but it is on several fronts that investments are made. According to respondent 1, climate impact reduction has not been linked to SCM as the most significant measure. Instead, the climate footprint reduction is linked to the total CO<sub>2</sub> emissions and deals with various aspects such as reducing the strength class, reducing dimensions, developing new calculating methods, working with the customer side, and finding new exposure classes.

In Abetong, SCM has not been implemented for climate benefits but for concrete durability since 2011. However, respondent 4 pointed out that we are probably facing a cement shortage due to the potential closure of Cementa's factory in Slite. SCM can be utilized to decrease cement content. The environmental aspects will also be credited.

All respondents agree that collaboration with other actors can affect the opportunities for large-scale investment in SCM. These actors include clients, organizations, other industries, and authorities.

Both respondents 1 and 4 agree that essential players who can influence the possibilities for large-scale investments of SCMs in concrete are researchers. Research efforts are necessary to discover the opportunities that can drive development. It is important to invest in research to identify the possible binders and identify which ones are impossible to use and test.

## 4.2 Estimation of produced wood ash in Sweden

As there are no new statistics on the availability of wood ash in Sweden, an estimation of wood ash production from bioenergy power plants is computed. The weight of ash produced from the amount of produced energy can be estimated by figures of specific biomass's calorific value and the ash content of different biomasses. The calorific value is a parameter that describes the amount of energy developed during the combustion of a certain amount of fuel. The values of ash content refer to the weight percentage of ash produced when a certain amount of fuel is burned. The numbers of the calorific value and ash content are taken from a previous study (Ringman 1995) and are presented in table 4 along with an estimation of the produced wood ash, given in tons per GWh of fuel.

Table 3 The calorific value, the ash content (Ringman 1995), and the estimated produced wood ash for different wood fuels

<b>Assortment of wood fuels</b>	<b>Calorific value (MWh / ton)</b>	<b>Ash content (wt.%)</b>	<b>Production of ash (Ton/GWh)<sup>a</sup></b>
<u>Felling residues</u>			
Chipped wood	2,6	2,3–3,0	9–12
Crushed wood	2,5	4,5	18
Unprocessed wood	2,5	2,5	10
Bark from softwood	1,55	2,9	19
Wood briquettes	4,3	0,7	2
Wood shavings	4,5	0,4	1
Unprocessed wooden parts	2,3	2	9
Sawdust	1,9	0,3	2
<u>Wood chips from the sawmill</u>			
Raw softwood	1,9	1,8	9
Dry softwood	4,1	0,3	1
Wood powders	4,9	0,5	1
Pellets	4,5	0,7	2
Recycled wood fuel	3,8	15–20	39–53

<sup>a</sup> The values are estimated based on the calorific value and ash content and rounded to the nearest integer. The calculations are described in appendix 4

An estimation of the annual potential supply of bio-based raw materials in Sweden for 2019 was performed by IVL Svenska miljöinstitutet (2019) and the results of four categories of wood fuels are presented in table 5. These values along with the values of produced ash per GWh form the basis for calculating the production of wood ash in Sweden. The total production of wood ash along with the amount of produced wood ash from each category of wood fuels are presented in table 6. The total production of wood ash in Sweden is estimated to be 851 450 to 1 232 950 tons per year.

Table 4 Estimated annual potential supply of bio-based raw materials in Sweden 2019 (IVL Svenska Miljöinstitutet 2019)

Assortment of wood fuels	Supply (TWh/year)
Processed wood fuels (pellets, wood briquettes, wood powders)	8,4
Fuels from forest residues (wood chips from the sawmill, felling residues, unprocessed wooden parts)	58–85
Industrial by-products (sawdust, wood shavings)	3,7
Recycled wood fuel/ reclaimed wood	4,9–5,2

Table 5 The estimation of the production of wood ash for each category of wood fuels.

Assortment of wood fuels	Produced ash Ton/GWh	Supply (GWh/year)	Production of wood ash (Ton/year)
<u>Processed wood fuels</u>			
Pellets	2		
Wood briquettes	2		
Wood powders	1		
<b>Average</b>	2 <sup>b</sup>	8400	16 800
<u>Fuels from forest residues</u>			
Wood chips from the sawmill	11 <sup>c</sup>		
Felling residues	12-13 <sup>c</sup>		
Unprocessed wooden parts	9		
<b>Average</b>	11 <sup>b</sup>	58 000-85 000	638 000 – 935 000
<u>Industrial by-products</u>			
Sawdust	2		
Wood shavings	1		
<b>Average</b>	1,5	3700	5 550
<u>Recycled wood fuel/reclaimed wood</u>			
Recycled wood fuel	39-53		
<b>Average</b>	39-53	4900-5200	191 100 - 275 600
<b>Total</b>			<b>851 450 – 1 232 950</b>

<sup>b</sup> rounded to the nearest integer

<sup>c</sup> average value from table 3 rounded to the nearest integer

## 4.3 Assessment of wood ash

### 4.3.1 Chemical composition

The chemical composition of different types of wood ashes have been tested in several papers and the results have been compiled in table 6 where they have been categorized based on ash type. The results show that the chemical composition differs very much between all samples. The differences differ between samples with different ash types as well as samples with the same ash type. These are shown for wood ash (WA), two different samples of wood bottom ash (WBA), wood mixed ash (WMA), and three different wood fly ash samples (WFA). The large differences in the chemical composition are probably due to the fact that different types of wood resources are used in each paper as well as other parameters such as the climate, conditions of combustion, and storage.

The compiled data showed that CaO and SiO<sub>2</sub> were the most common oxide components on all the tested ashes. CaO dominated in six of seven tested wood ash samples where the levels ranged from 25.88 to 48.83 percent. However, wood bottom ash in (Sigvardsen, Kirkelund, Jensen, Geiker & Ottosen 2019) had a significantly higher content of SiO<sub>2</sub> compared to CaO. A study of Berra, Mangialardi & Paolini (2014) showed a significant content of heavy metals such as Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, and Zn, which may result in specific environmental problems at the landfills. Zinc was the predominant heavy metal, (636-2274 mg/kg). The presence of metals has probably arisen from phosphate fertilizers and sludge in soils adsorbed by plants (ibid).

Table 6 The chemical composition of wood ashes

Chemical composition [wt.%]	Wood Ash (unspecified)	Wood Bottom Ash		Wood Mixed Ash	Wood Fly Ash		
	[4]	[5]	[7]	[5] <sup>d</sup>	[5] <sup>d</sup>	[6] <sup>d</sup>	[8] <sup>d</sup>
SiO <sub>2</sub>	25.00	57.80	4.45	5.2	7.42	26.52	35.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.76	4.90	1.85	1.15	1.28	5.33	9.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.76	1.10	5.32	0.98	1.47	2.53	6.09
K <sub>2</sub> O	3.20	8.90	10.42	12.03	17	7.41	4.14
Na <sub>2</sub> O	2.00	0.00	0.46	0.9	1.68	1.33	1.95
CaO	35.60	16.00	48.83	51.1	46.97	45.33	25.88
MgO	1.76	1.50	6.62	2.58	2.93	4.14	3.34
MnO						0.53	0.48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		<0.50	2.45	2.15	2.52	2.78	1.64
TiO <sub>2</sub>		0.20	0.11	0.1	0.17	0.34	
Cl		0.001 ± 0.0002		0.56 ± 0.01	4.26 ± 0.25		1.57
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>		0.02		1.51 ± 0.25	4.76 ± 0.16		
SO <sub>3</sub>	0.45	0.20	2.11	1.4	6.65	3.70	5.63

<sup>d</sup> The average value of several samples

### 4.3.2 Morphology

The morphology of wood ash was investigated by (Wang, Miller, Llamazos, Fonseca & Baxter 2007; Sigvardsen, Kirkelund, Jensen, Geiker & Ottosen 2019; Bajto, Štirmer, Cerкови, Carevi & Jurić 2021; Berra, Mangialardi & Paolini 2014) where it was shown that wood fly ash has a different particle structure as well as larger particle size distribution than other fly ashes. All fly ashes except wood ash have similar particle size with the main portion in the range of 3–50  $\mu\text{m}$ , while the particle size for most wood ashes is in the range of 30–130  $\mu\text{m}$  according to (Wang et al. 2007). However, the particle size of the wood fly ash samples that are tested by (Berra, Mangialardi & Paolini 2014) amounted to 450 and 600  $\mu\text{m}$ , which is a significantly larger figure. The particles in wood ash are irregular and porous. An insignificant number of spherical particles were found in most samples while the structure of most particles is angular and non-spherical. Micrographs conducted using SEM analysis exhibited nanoparticles bonding to larger angular and spherical wood ash particles which lead to higher water demand, this negatively affects the workability of cement composites (Bajto et al. 2021).

### 4.3.3 Pozzolanic activity

The pozzolanic activity of wood ash was tested in (Ristic, Grdic, Z., Toplicic-Curcic, Grdic, D. & Dodevski 2021) using the mechanical test method according to ISO R863-1968 on wood fly ash and in (Berra, Mangialardi & Paolini 2014) using the chemical test method according to EN 450-1 on wood bottom ash. The results of (Ristic et al. 2021) showed that fly ash has higher pozzolanic activity than wood bottom ash, however, the pozzolanic activity of wood bottom ash did not meet the requirement according to EN 450-1. The chemical test method on the pozzolanic activity of wood bottom ash (15 and 30 wt.%) tested by (Berra, Mangialardi & Paolini 2014) revealed no sufficient pozzolanic activity, although the percentage of primary oxides was significantly higher than that in (Ristic et al. 2021). The behavior of the ashes can be explained considering that the content of primary oxides is not directly proportional to the pozzolanic activity and the pozzolanic test using the chemical method might be a deficient alternative for pozzolanic materials with high CaO content according to the conclusions made by (Berra, Mangialardi & Paolini 2014).

### 4.3.4 Hydraulic activity

The hydraulic activity can be measured with the so-called hydraulic index  $K_3$ , defined as  $(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2$ . A value of  $K_3 > 1$  represents good hydraulic properties (Berra, Mangialardi & Paolini 2014). Based on the data in table 7, it appears that six of seven of the examined wood ashes meet the requirement of hydraulic activity, thus the possibility of being used as a partial replacement for cement. Wood bottom ash with a high content of  $\text{SiO}_2$  and low figures for CaO, MgO, and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  has the lowest hydraulic index of 0.39 and did not meet the requirements for hydraulic activity (Sigvardsen et al. 2019).



Table 7 Chemical characteristics and requirements according to EN 450-1

Chemical characteristics (wt.%)	WA	WBA	WBA	WMA	WFA	WFA	WFA	Requirement
	[4]	[5]	[7]	[5]	[5]	[6]	[8]	
Loss of ignition (LOI)	28,01	0,4	12,24	7,6–23,2	10,2–25,4	5,1–24,1	3,13–4,50	EN 450-1 max. 9,0
Primary oxides	28,52	63,80	11,62	7,33	10,17	34,38	51,02	min. 70%
Hydraulic activity	1,52	0,39	12,88	10,54	6,90	2,07	1,08	min. 1
MgO max.	1,76	1,5	6,62	2,58	2,93	4,14	3,34	max. 4,0
Sulfur trioxide (SO <sub>3</sub> )	0,45	0,2	2,11	1,4	6,65	3,7	5,63	max. 3,0
Chloride		0,001		0,56	4,26		1,57	max. 0,10

#### 4.3.5 Water demand of fresh concrete

All test results on the fresh concrete mixture in the studies done by (Sachin Prabhu, Nishaant & Anand 2018; Wang et al. 2007a; Wang, Miller, Llamazos, Fonseca & Baxter 2007b; Ristic et al. 2021; Berra, Mangialardi & Paolini 2014) showed that both fly ash and wood ash had a greater water demand than that of the concrete mixture of only cement. However, the water demand was highest in the case of wood ash and is estimated to be 6% higher than concrete of pure cement. This is partly due to the morphology of wood ash causing increased porosity and a higher specific surface area as well as a higher value of LOI (Wang et al. 2007a). Due to the greater water demand in concrete mixtures with wood ash, the consistency of the concrete mixes is impacted, in which further water is needed to obtain standard consistency. Slump tests have been performed on concrete mixtures in (Bajto et al. 2021) on five different wood ash samples as well as a reference sample of pure cement. Three of the samples showed a significant loss of workability where difficulties in molding were noticed. The sample with the greatest loss of workability was also the one with the highest LOI (24,1%) which may have caused the low consistency.

#### 4.3.6 Compressive strength

An increase in the compressive strength was observed when incorporating both wood ash and coal fly ash in the concrete mixture by (Sachin Prabhu, Nishaant & Anand 2018; Wang et al. 2007a; Ristic et al. 2021). The optimum strength was achieved with a replacement of fly ash by 10 wt.% of wood ash, resulting in the compressive strength of 58,9 MPa and 79,8 MPa at 28 respectively 90 days, corresponding to an increase of a total of 3.2% relative to pure cement (Ristic et al. 2021). A mixture incorporating wood ash with 20 wt.% of that of fly ash resulted in approximately the same strength as pure cement mixture after 28 days. A further increase of wood ash with a content exceeding 20 wt.% of fly ash content resulted in a decrease in its compressive strength (Ristic et al. 2021). However, the findings of (Sachin Prabhu, Nishaant & Anand 2018) concluded that a concrete mixture with equal amounts of fly ash and wood ash replacing a total of 31,25 wt.% of the cement also resulted in a higher compressive strength than a concrete mixture with 25 wt.% fly ash content. The influence of wood ash on the higher strength however was observed after 28 days, indicating a higher later age strength development in comparison to pure cement. The lower values of early compressive strength can be related to



larger particle size, the heat of hydration, and the high values of LOI (Sachin Prabhu, Nishaant & Anand 2018; Ristic et al. 2021).

When the replacement of only wood ash was incorporated in the concrete mix, a significant reduction in the compressive strength was observed. Concrete mixture incorporating wood ash with 31,25 wt.% of cement showed a decrease in compressive strength with 13,33% and 7,61 % at 7 respectively 28 days in correspondence to the concrete mixture with 25 wt.% fly ash (Sachin Prabhu, Nishaant & Anand 2018). The influence of the incorporation of wood ash alone in the concrete mixture was further tested by (Bajto et al. 2021), where five different samples of wood ashes with the proportion of wood ash limited to 15 wt.% of cement in concrete were tested for compressive strength. The findings of the study showed that the concrete mixture containing 15 wt.% wood ash had a compressive strength lower than that of pure cement. The decrease in compressive strength ranged from 26- 51 % at 1 day and 22- 48 % at 28 days. The effects of pozzolanic activity were proportional to the compressive strength where the wood ashes with topmost pozzolanic activity reached the highest compressive strength at 28 days while the wood ash with lowest pozzolanic activity caused the lowest compressive strength (ibid).

#### 4.3.7 Flexural and tensile strength

The results on flexural and tensile strength conducted by (Sachin Prabhu, Nishaant & Anand 2018) are similar to the ones of the compressive strength. The specimens containing a mixture of wood ash and fly ash showed higher strength than the specimens with either wood ash or fly ash. The values of the specimens with wood ash did not differ significantly from those for pure coal fly ash. However, with an increasing amount of the content of wood ash in concrete mixtures, both flexural and tensile strength are reduced (Ristic et al. 2021).

#### 4.3.8 Water absorption

The water absorption of hardened concrete was measured by (Hussain et al. 2017; Bajto et al. 2021) where it was revealed that the water absorption on all concrete samples containing wood ash significantly increased when compared to the concrete of pure cement. Results of the water absorption by (Bajto et al. 2021) showed that water absorption was higher for all specimens containing wood biomass ash relative to the control mix of only cement. The water absorption of three of the tests exceeded the maximum water absorption, limited to 6 % by mass according to the European standard EN 1340. While both wood ash and fly ash showed a significant increase in the water absorption rate, the water absorption of concrete containing fly ash as an SCM was significantly higher than the concrete specimens of wood ash (Hussain et al. 2017). The increase in water absorption can be linked to the higher porosity of concrete.

## **5 DISCUSSIONS**

In this chapter, the results from each research question are discussed.

### **5.1 Drivers and obstacles of concrete producers when implementing new potential SCMs**

The results of the interviews indicated that there is a need for new potential SCMs. The economic and environmental aspects are the driving forces for the replacement of cement with SCMs. The replacement of cement is the main operation to reduce carbon dioxide emissions and enable achieving the goal for net emissions of greenhouse gases to be zero by 2045. A reduction of 20-50 % of carbon dioxide emissions on specific concrete products within the interviewed companies have been achieved by replacing cement with SCM. The environmental aspects also caused increased competition in the market. However, the results from the interviews indicated that several obstacles were noticed in different fields, and work on different fronts is required to implement new waste or by-products as SCMs for the replacement of cement.

Some of the obstacles raised were directly linked to the potential SCM materials and the need for certification, which is necessary for adopting new regulations considering the use in cement. Availability, maintaining a material flow, and logistics are other challenging barriers to implementing new potential SCMs. For instance, some industries have seasonal production, disrupting material flow and limiting availability. In addition, logistics optimization and localization of resources are essential from the perspective of a circular economy. A necessary procedure to enable implementation is cooperation with different actors.

The technical barriers were considered the easiest to succeed, as it relies on optimizing concrete mixtures. The most challenging obstacle that all respondents agreed on was adapting new requirements and regulations to the new SCMs. Today's regulations are only limited to fly ash and slag. The drivers and obstacles of replacing SCM in concrete to promote a circular economy were explored from the concrete manufacturer's point of view only. This means that the obstacles and drivers listed in this report are limited. Further investigation of affected fields needs to be done to get a credible and broader view.

### **5.2 Estimation of produced wood ash in Sweden**

The estimation of the availability of wood ash in Sweden corresponding to 851 450 tons/year (lowest estimated) is three times higher than the amount of wood ash derived from biomass presented by Statistiska centralbyrån in 2012, which only corresponded to 285 600 tons/year. This is a result of the gradual increase of bioenergy use in Sweden over the past 30 years. Between 2000 and 2017, the use of bioenergy increased by 3.5 TWh per year (Svebio 2020). In addition, the use of bioenergy is expected to increase even more in the future. Energikommissionen has set the goal to produce 100 percent renewable electricity production by 2040, which according to Svebio, is possible to achieve (ibid 2020). This indicates that the availability of wood ash in the future will probably be sufficient.

The figures of the annual supply of bio-based raw materials in Sweden for 2019 according to IVL Svenska Miljöinstitutet is a result of estimation based on statistics of net felling and values of the heat of combustion for each wood fuel. Thus, the result of the total wood ash produced in Sweden is only an estimate, and there are uncertainties in the resulting values.

Regarding the efficiency of wood ash in cement, the amount of wood ash can be compared to the amount of fly ash used in base cement. In base cement, 16% fly ash is used, which, compared to the amount of cement used in Sweden (2.2 million tons), would respond to 352,000 tons of wood ash, which is sufficient according to the estimated ash production. However, the calculations do not show the amount of the different types of ash produced, bottom, mixed and fly ash. In addition, as previously mentioned, the properties of wood ash vary greatly, which means that the total estimated amount of wood ash will not be suitable for use as an SCM. No account has been taken of the use of wood ashes today, which means that the available amount of wood ash is less than the figures for the amount of wood ash produced.

### **5.3 Assessment of wood ash**

The possibility of the use of wood ash as SCM when it comes to its technical properties was investigated in the literature review. Based on the studies examined, it can be observed that there is potential for wood ash to partially replace cement as a certain indication of both hydraulic and pozzolanic activities was noticed in the studies; however, these are inconsistent.

The content of CaO was predominant in most of the investigated wood ashes, and a relation could be noticed between the content of CaO and the hydraulic activity, which is consistent with the hydraulic index K3. However, the chemical composition of wood ash varied significantly and fitted with the theory that the composition varies due to various factors such as the geographical region and the industrial processes. Thus, a generalization of the ashes is not possible, likewise the use of wood ash as SCM on a large scale.

None of the wood ashes meet the requirements of chemical characteristics according to the European standard (EN450-1). Most tested wood ashes showed significant hydraulic activity due to the content of CaO. The tested wood ashes also showed some pozzolanic activity despite the low content of primary oxides.

The influence of wood ash on the mechanical strength of concrete causes an apparent lower strength than the concrete of pure cement or with the addition of fly ash. However, the studies provided new insight into the relationship between wood ash and fly ash when testing the mechanical strength of concrete mixtures containing both ashes. All results showed that the incorporation of wood ash together with fly ash in concrete mixtures indicated an apparent increase in the mechanical strengths. In a study done by Bui, Ogawa, Nakarai & Kawai (2015) investigating the pozzolanic reaction of fly ash, it appeared that alkali injection increases the CH consumption by the pozzolanic reaction. This may explain the higher mechanical strength caused by a mixture of wood ash, containing a significant amount of alkali, and fly ash relying mainly on pozzolan activity.

## 6 CONCLUSIONS

The driving forces for the transition to a circular economy through partial replacement of cement are the economic and environmental factors and the fact that the availability of fly ash and slag furnace blast will probably be reduced in the future. However, the obstacles that could be mapped included the availability of SCMs, technical barriers, logistics, and the standards and regulations, which were the most challenging obstacle to overcome, according to the correspondents. Responsibilities are split into different fields such as concrete companies, other industries, standards, and researchers, which in turn requires financial investments.

The estimated available wood ash in Sweden amounting to 851 450 – 1 232 950 tons is satisfactory regarding the total amount of cement used in Sweden. However, since wood ash's characterization varies significantly, and the amount of wood ash used in other sectors in Sweden is not presented, no conclusions can be made regarding the sufficiency of wood ash for partially replacing cement in Sweden.

The properties of wood ash provide the potential to be utilized as an SCM to replace cement. However, the incorporation of wood ash in concrete is only considered viable when replacing fly ash. The maximum replacement of fly ash with wood ash is suggested to be 20 wt%. Furthermore, the properties of wood ash do not meet the requirements according to European standard (EN450-1), and a new standard need to be regulated for the use of wood ash as SCM.

### **Suggestions for further research**

Because the characterization and properties of wood ash vary considerably, it causes deficiencies in investigating possible wood ashes. To further investigate the potential of using wood ash as an SCM, it would be interesting to investigate various parameters that affect the properties of the wood ash and thus examine the optimal condition for obtaining wood ash of the desired quality.

In addition, a more comprehensive study of the availability of wood ashes in Sweden is required by examining the source of the fuel. In addition, the location of the bioenergy facilities and the mapping of the current consumption of wood ash is required.

## REFERENCES

- Aprianti, E. (2015). A huge number of artificial waste material can be supplementary cementitious material (SCM) for concrete production e a review part II. *Journal of Cleaner Production*, 142(4). pp. 4178-4194. doi:10.1016/j.jclepro.2015.12.115
- Bajto, J. S., Štirmer, N., Cerкови, S., Carevi, I. & Jurić, K. K. (2021) Pilot Scale Production of Precast Concrete Elements with Wood Biomass Ash. *Materials*, 14(21), Article 6578. doi:10.3390/ma14216578
- Berra, M., Mangialardi, T. & Paolini, A. E. (2014). Reuse of woody biomass fly ash in cement-based materials. *Construction and building materials*, 76, pp. 286-296. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.11.052
- Bioenergi (2021). *Biokraft I Sverige*.  
<https://bioenergitidningen.se/e-tidning-kartor/biokraft-i-sverige/> [2022-04-23]
- Bui, P. T., Ogawa, Y., Nakarai, K. & Kawai, K. (2015). A study on pozzolanic reaction of fly ash cement paste activated by an injection of alkali solution. *Construction and Building Materials*, 94, pp. 28-34. doi:[10.1016/j.conbuildmat.2015.06.046](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.046)
- Byggvärlden (2020). *Klimatneutral cement till 2030*.  
<https://www.byggvarlden.se/klimatneutral-cement-till-2030/> [2022-02-21]
- Cementa (no date). *Om cementa*. <https://www.cementa.se/sv/foretagsfakta> [2022-04-02]
- Cementa (no date). *Så här tillverkas cement*.  
<https://www.cementa.se/sv/tillverkning-av-cement#:~:text=Tillverkningen%20sker%20i%20en%20s%C3%A5,finns%20det%20viktiga%20r%C3%A5materialet%20kalksten.> [2022-04-02]
- Clark, T, Osterwalder, A & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation*. Hoboken, New Jersey, U.S: John Wiley Sons Inc
- Ellen MacArthur Foundation (no date). *How we build a circular economy*.  
<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview> [2022-02-14]
- Emelie Sundlin (2021). *Circular economy in the construction industry: An insight into the difficulties and possibilities with improving the concrete recycling rate for housing in Sweden*. Masteruppsats, Institutionen för geovetenskaper. Uppsala: Uppsala universitet.
- Europeiska kommissionen (no date). *Circular economy action plan*.  
[https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan\\_sv](https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_sv) [2022-03-02]
- Fossilfritt Sverige (2018). *Betongbranschen*.  
<https://fossilfrittsverige.se/roadmap/betongbranschen/> [2022-02-25]
- Freed, E & Ritche, Kyle. (2021). *Circular Economy For Dummies*. Hoboken, New Jersey, U.S: John Wiley Sons Inc

Holland, R. B., Kurtis, K. E. & Kahn, L. F. (2016). Effect of different concrete materials on the corrosion of the embedded reinforcing steel. *Corrosion of Steel in Concrete Structures*. pp. 131-147. doi:[10.1016/B978-1-78242-381-2.00007-9](https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-381-2.00007-9)

Hossain, U. Md., Thomas, S. Ng., Antwi-Afari, P. & Amor, B. (2019). Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130. doi:10.1016/j.rser.2020.109948

Hussain, Z., Maqsood, R., Din, M. I., Khan, S. M., Shahnaz, A., Rashid, M. & Ameen, S. (2017). Enhanced mechanical properties of wood ash and fly ash as supplementary cementitious materials. *Advances in Applied Ceramics: Structural, Functional and Bioceramics*, 116, pp. 355-361. doi:10.1080/17436753.2017.1321274

IVL Svenska miljöinstitutet (2019). *Tillgång på skogsråvara – sammanfattning och scenarier*. Stockholm: IVL Svenska miljöinstitutet. <https://www.ivl.se/download/18.694ca0617a1de98f473bb8/1628417819084/FULLTEXT01.pdf> [2022-04-23]

Julian Kirchherr, Denise Reike & Marko Hekkert. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conversation & Recycling*, 127. pp. 221-232. doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Mikael Skou Andersen (2006) An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science* volume 2(1), pp. 133–140. doi:10.1007/s11625-006-0013.6

National Precast Concrete Association (2016). Cement Hydration Kinetics. <https://precast.org/2016/03/cement-hydration-kinetics/> [2022-04-29]

Regeringens proposition (2019/20). En samlad politik för klimatet – Klimatpolitisk handlingsplan (Prop 2019/2020:65). Stockholm: Miljödepartementet

Resources (2017). *Economic Principles for “Spaceship Earth”* <https://www.resources.org/archives/economic-principles-for-spaceship-earth/> [2022-02-10]

Ringman, M. (1995). *Trädbränslesortiment – definitioner och egenskaper*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. <https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forskn/popvet-dok/faktaskog/faktaskog95/4s95-05.pdf> [2022-04-23]

Ristic, N., Grdic, Z., Toplicic-Curcic, G., Grdic, D. & Dodevski, V. (2021). Properties of Self-compacting Concrete Produced with Biomass Wood Ash. *Tehnički vjesnik*, 28(2), pp. 495-502. doi:10.17559/TV-20200214103332

Risse, M. & Gaskin, J. (2013). *Best Management Practices for Wood Ash as Agricultural Soil Amendment*. Athens: The University of Georgia. [B 1142\\_3.PDF \(uga.edu\)](https://www.uga.edu/b1142_3.pdf) [2022-04-22]

Sachin Prabhu, P., Nishaant, H. & Anand, T. (2018). Behaviour of Self-Compacting Concrete with Cement Replacement Materials. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8, pp. 360 - 363.

- SCB (2012). *Askor i Sverige 2012*. [Askor i Sverige 2012 \(energiforetagen.se\)](http://www.energiforetagen.se) [2022-04-07]
- Sigvardsen, N. M., Kirkelund, G. M., Jensen, P. E., Geiker, M. R. & Ottosen, L. M. (2019). Impact of Production Parameters on Physiochemical Characteristics of Wood Ash for Possible Utilisation in Cement-based Materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 145, pp. 230-240.
- Singh, M. (2018). Coal bottom ash. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete*, pp. 599-621. doi:10.1016/C2016-0-04037-8z
- Skogsindustrierna (no date). *Sveriges och världens skogar*.  
<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/sveriges-och-varldens-skogar/> [2022-04-22]
- Skogsindustrierna (no date). *Skogsnäringens betydelse för ekonomi och välfärd*.  
<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/ekonomisk-betydelse2/> [2022-04-22]
- SS-EN 450–1:2012. *Flygaska för betong – Del 1: Definition, specifikationer och kriterier för överensstämmelse*. Stockholm: Svenska institutet för standarder (SIS).
- Statista (2022). *Cement production worldwide from 1995 to 2021*.  
<https://www.statista.com/statistics/1087115/global-cement-production-volume/#:~:text=The%20total%20volume%20of%20cement,4.4%20billion%20tons%20in%202021.> [2022-02-17]
- Sutter, L. L. (2016). Supplementary cementitious materials: Best practices for concrete pavements. <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif16001.pdf> [2022-04-29]
- Svebio (2020). *Färdplan Bioenergi – Så möter vi behovet av bioenergi för fossilfritt Sverige*. Stockholm: Svenska Bioenergiföreningen.  
<https://www.svebio.se/wp-content/uploads/2020/03/Svebio-Fa%CC%88rdplan-Bioenergi-2020.pdf> [2022-05-07]
- Svensk Betong (no date). *Betongens egenskaper*.  
<https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/betongens-egenskaper> [2022-03-02]
- Svensk Betong (no date). *Betongindikatorn 2020 – helår*.  
[https://www.svenskbetong.se/images/Betongindikatorn/2021/Betongindikatorn\\_resultat\\_2020\\_-\\_hel%C3%A5r.pdf](https://www.svenskbetong.se/images/Betongindikatorn/2021/Betongindikatorn_resultat_2020_-_hel%C3%A5r.pdf) [2022-03-02]
- Svensk Betong (2017). *Betong och klimat*. <https://www.svenskbetong.se/klimatrapport> [2022-03-02]
- Sveriges Lantbruksuniversitet (2021). *Skogsdata 2021*. Umeå: SLU Institutionen för skoglig resurshushållning.  
[https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata\\_2021\\_webb.pdf](https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2021_webb.pdf) [2022-04-20]

Sveriges miljömål (2022). *Utsläpp av växthusgaser till år 2045*. <https://www.sverigesmiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-till-ar-2045/#:~:text=Senast%20%C3%A5r%202045%20ska%20Sverige,l%C3%A4gre%20%C3%A4n%20utsl%C3%A4ppen%20%C3%A5r%201990.> [2022-02-17]

Sveriges Natur (2022). *De släppte ut mest koldioxid 2021*. <https://www.sverigesnatur.org/aktuellt/de-slappte-ut-mest-koldioxid-2021/> [2022-04-13]

Wang, S., Miller, A., Llamazos, E., Fonseca, F. & Baxter, L. (2007a). Biomass fly ash in concrete: Mixture proportioning and mechanical properties. *Sciencedirect*, 87, pp. 365–371. doi:10.1016/j.fuel.2007.05.026

Wang, S., Miller, A., Llamazos, E., Fonseca, F. & Baxter, L. (2007b). Durability of biomass fly ash concrete: Freezing and thawing and rapid chloride permeability tests. *Sciencedirect*, 87, pp. 359–364. doi:10.1016/j.fuel.2007.05.027



# APPENDIX 1 – INTERVIEW GUIDELINE

## Intervju underlag

**Intervjun kommer att användas som underlag för att svara på följande frågeställningar:**

- ❖ Vilka utmaningar och hinder företag inom betongindustrin i Sverige står inför vid omställning till en cirkulär ekonomi genom att delvis ersätta cement med nya potentiella SCM i betong?
- ❖ Vilka potentialer finns det med att använda SCM i betong med avseende på cirkularitet?

## Inledning

- Vilken roll har du i företaget?
- Vilka olika skeden inom betongverksamheten är du inblandad i?
- Vad är dina arbetsuppgifter?

## Användning av SCM i betong

- Använder ni kompletterande cementbaserade material i betong? Om ja, i vilken omfattning?
- Användning av SCM i betong för att erhålla klimat smart betong har bidragit med upp till 50% mindre CO<sub>2</sub>-utsläpp. Hur många procent mindre CO<sub>2</sub>- utsläpp har optimerad betong recept genom användning av SCM bidragit till hos er på [företaget]?
- Vilka framgångsfaktorer har användning av SCM medfört för [företaget]?

## Utmaningar med SCM i betong

- Vilka potentialer ser du att det finns med SCM som hittills inte har implementerats?
- Vilka anser du är de största grundläggande utmaningarna på sättet att använda SCM i betong för att främja cirkularitet?
- Vilka specifika hinder och försvårande omständigheter anser du finns vid nyttjande av SCM i betong?
- Vilket hinder anser du lättast att bemästra respektive svårast att bemästra?
- Hur ser tillgängligheten av SCM ut?
- Tror du att det kommer finnas ett behov av nya potentiella SCM i framtiden?
- Ser du att det finns någon speciell part inom nätverket som kan driva eller bromsa utvecklingen av SCM i betong för att främja cirkularitet?

## SCM i produktutvecklingsprocessen

- Känner du till att [företaget] har en vision om att använda SCM i större omfattning i betongrecept för att minska cementhalten i betong?
- Hur upplever du att samarbetet med andra aktörer kan påverka möjligheterna till en storskalig satsning på SCM i betong?

## APPENDIX 2 – DATABASE SEARCH

Table 8 Article search related to keywords in the databases Web of science, Scopus and Taylor & Francis Online

Database	Keywords	Numbers of hits	Titles read	Abstract read	Papers used
Web of science	(Wood fly ash AND cement) OR ((Wood fly ash AND concrete) NOT (mortar)	247	247	37	7 (7/7 duplicate)
Scopus	(Wood fly ash AND cement) OR ((Wood fly ash AND concrete) NOT (mortar)	168	168	43	8
Taylor & Francis Online	(Wood fly ash AND cement) OR ((Wood fly ash AND concrete) NOT (mortar)	5	5	3	0
<b>Total</b>		<b>420</b>	<b>420</b>	<b>72</b>	<b>8</b>

## APPENDIX 3 – LITERATURE REVIEW ARTICLES

Tabell 9 The studies used for the literature review

No.	Author(s) & year	Title of paper	Country	Database
1	SachinPrabhy, P., Nishaant, Ha., Anand, T.	Behaviour of Self- Compacting Concrete with Cement Replacement Materials	India	Scopus
2	Shuangzhen, W., Miller, A., Llamazos, E., Fonseca, F., Baxter, Larry.	Biomass fly ash in concrete: Mixture proportioning and mechanical properties	USA	Scopus & Web of Science
3	Shuangzhen, W., Llamazos, E., Fonseca, F., Baxter, Larry.	Durability of biomass fly ash concrete: Freezing and thawing and rapid chloride permeability tests	USA	Scopus & Web of Science
4	Hussain, Z., Maqsood, R., Din, M. I., Khan, S., Shahnaz, A., Rashid, M., Ameen, S.	Enhanced mechanical properties of wood ash and fly ash as supplementary cementitious materials.	Pakistan	Scopus & Web of Science
5	Sigvardsen, N. M., Kirkelund, G. M., Jensen, P. E., Geiker, M. R., Ottosen, L. M.	Impact of Production Parameters on Physiochemical Characteristics of Wood Ash for Possible Utilisation in Cement- based Materials	Denmark & Norway	Web of Science & Web of Science
6	Bajto, J. S., Stirmer, N., Cerkovic, S., Carevic, I., Juric, K. K.	Pilot Scale Production of Precast Concrete Elements with wood Biomass Ash	Croatia	Scopus & Web of Science
7	Ristic, N., Grdic, Z., Toplicic-Curcic, G., Grdic, D., Dodevski, V.	Properties of Self- compacting Concrete Produced with Biomass Wood Ash	Serbia	Scopus & Web of Science
8	Berra, M., Mangialardi, T., Paolini, A. E.	Reuse of woody biomass fly ash in cement-based materials	Italy	Scopus & Web of Science

## APPENDIX 4 – ESTIMATION OF PRODUCED ASH

The amount of ash produced from GWh of fuel was calculated according to formula 1.

$$\text{Ton ash per GWh of fuel} = \text{Ash content} / \text{Calorific value} \quad [1]$$

**Calculation example of ton ash produced per GWh of fuel for crushed wood:**

Ash content of crushed wood: 4,5 wt.%  
Calorific value of crushed wood: 2,5 MWh/ton

$$\frac{0,045}{0,0025 \text{ GWh/ton}} = 18 \text{ ton / GWh}$$

## APPENDIX 5 – RESPONDENT 1

### - Vilken roll har du i företaget?

Jag jobbar som teknisk chef på strängbetong, har jobbat på strängbetong sen 1990. Jag har jobbat både med konstruktionsfrågor, tekniska frågor, både lokalt och övergripande. Sedan 2011 så har jag varit ansvarig för konstruktion verksamheten, för tekniska verksamheten i omgångar, centralt i Sverige. När jag började 1990 var jag ansvarig på konstruktions kontoret i Herrljunga och Borås. Sen har jag jobbat en period som fabrikschef i Herrljunga, mellan 2000-2010, då jobbade jag mer med fabriks frågor. Som teknisk chef jobbar jag med både våra styrande dokument, standarder, vad vi har för betongen i våra produkter, armering, våra byglar, olika typer av tekniska lösningar, och då har vi vår produkthandbok, som vi kallar den för, vår tekniska standard, vår bibel.

### - Använder ni kompletterande cementbaserade material i betong? Om ja, i vilken omfattning?

Rent historisk har Cementa med flygaska i sin bascement, så länge det har funnits har vi använt den typen utav tillsatsmaterial. På senare år har vi även jobbat med slagg, om att vi ska tillföra slagg i framför allt håldäcks produktionen. Så vi har investerat nu då i en ny silo slagg i Vårdige fabriken, så då kommer vi då kunna tillsätta slagg, utöver cementas. Så vi kommer att kunna jobba med receptet på ett helt annat sätt. Sen håller vi på att testa lite grann med risskals aska, olika typer av askor som vi har testat att gjuta element i Örebro fabriken.

### - När började ni med detta?

Det här är ju ganska nyligen så att det är inte så långt, det är bara något år tillbaka i tiden. Sen jobbar vi också, jobbar kan jag inte säga, men vi har insyn i det här med lera då. Att vi ska eventuellt testa olika typer utav kalcinerade leror som vi kan använda och ha i cementet, men det är också kopplat till RISE och det forskningsprojekt som finns där.

### - Användning av SCM i betong för att erhålla klimatsmart betong har bidragit med upp till 50% mindre CO2-utsläpp. Hur många procent mindre CO2- utsläpp har optimerad betong recept genom användning av SCM bidragit till hos er på Strängbetong?

Varje år tar vi fram hållbarhetsrapport. Vi följer CO2 utsläpp från totala produktion, CO2 utsläpp från transport och energiförbrukningen i totalt sätt. Så det är dessa tre parametrarna som vi tittar på varje år, sen bryter vi ner det här när vi kollar på håldäcks produktion, väggproduktion, vi tittar på massa olika bitar. Jag sitter också med svensk Betong, vår branschorganisation där tar vi fram en vägledning till klimatförbättrande betong och klimat förbättrade betongprodukter.

Många har bio, grön klimat betong, Så länge man inte har regelverk att förhålla sig till så blir det väldigt svårt. Därför har vi tagit fram det här regelverket där vi pratar om fyra nivåer på klimatförbättrande betong eller klimat förbättrade betongprodukter. Det är 10, 20, 30, 40%

reduktion i förhållande till standard betong, Det vi har uppnått i dag är det som vi kallar för gröna håldäck, det är 20% reduktion i förhållande till normal betong för håldäck. Det är en dotter EPD som vi har tagit fram i förhållande till våran standard EPD. Då är det flygaska, slagg, högre vattencementtal, utomhuskonstruktioner, det kan vi redan idag leverera.

- **Vilka anser du är de största grundläggande utmaningarna på sättet att använda SCM i betong för att främja cirkularitet?**

Det finns en utmaning, slagg gör att betongens hållfasthetsutveckling går lite långsammare, vi har förspända produkter, som vi behöver spänna ner. Då är vi beroende utav att det finns en viss hållfasthet i betongen, så att här ska man vara lite försiktigt så att man inte får problem, sprickbildning och annat i produkten. Så att man inte spänner ner för tidigt, utan man måste ha kontroll på hållfasthet utvecklingen. Det är en viktig sak att tänka på när man gör om sitt recept, att hela vägen måste hållfasthets utvecklingar vara under kontroll.

- **Du menar att det är mest tekniska utmaningar?**

Ja det är en teknisk utmaning definitivt, sen det som har hänt senaste året med Cementa och att det inte finns cement att tillgå och så vidare är också är en utmaning, att vi är endast beroende av en fabrik, Slite i Sverige. Ett annat problem i sammanhanget, att stålindustrin vill jobba mot att förändra PCRen som är till grund på hur man kan räkna på slagg. Så att stålindustrin tycker inte att det är så himla bra att betong tillgodoräknar sig något som stålindustrin har producerat. Det kanske inte blir bra för oss att använda slagg, men då får man hitta något annat i stället. Men det som är absolut viktigast är att man tar hand om koldioxiden när man tillverkar cement. 50–60 % procent av cement, vid tillverkningen av cement, när man bränner kalksten frigörs koldioxid, kan man ta hand om källan, CCS tekniken. Cementa skulle bli världens första klimatneutrala cementfabrik, det hade kunnat underlätta väldigt mycket för våran del. Då hade vi kunnat säga att vi har cement som inte bidrar till klimatförändringen.

- **Vilka specifika hinder och försvårande omständigheter anser du finns vid nyttjande av SCM i betong?**

Kopplat till investeringar, vi har utrustning för att ta hand om krossat betong, och få en cirkularitet i fabriken. Det är kopplat till investeringar, det är en del pengar eller medel för att investera fullt ut. Nu har vi fått sponsring från länsstyrelsen i Halland.

- **Vilket hinder anser du lättast att bemästra respektive svårast att bemästra?**

Jag tänker att tekniska hinder är lättare att åtgärda, handlar om att anpassa sina processer, vara försiktig, testa sig fram och hitta balans, det ligger på oss själva. Andra faktorer som vi inte kan påverka är regelverk eller tillgång på cement, eller PCR, saker som vi inte kan tillverka.

- **Hur ser tillgängligheten av SCM ut?**

Det finns definitivt tillgång på slagg, även flygaska finns. Sen är det en fråga om hur länge det finns flygaska, eftersom det är restprodukt från värmekraftverk och bilindustrin, så det är inte säkert att det ska finnas fram till. När det gäller ståltillverkning pratar man om att man ska tillverka stål på ett annat sätt. Det kanske inte heller finns tillgång på slagg på grund av det. Så att processerna kan förändras så att det inte finns den typen av material. Sen när det gäller leror, vi vet ju var det finns i Sverige, men vi vet inte hur mycket. Vi har inte fullt ut kartlagt. Det är också en del av forskningsprojektet att hitta fram det kommersiella bitar om vad är möjligt att få fram.

- **Tror du att det kommer finnas ett behov av nya potentiella SCM i framtiden?**

Ja, det är frågan. Jag tror mer på att tillverkningstekniker på att göra cement utav kalksten som behöver förändras. Det är lite grann konstgjord andning vi gör idag, vi tar annat material med liknande material. Vi kommer aldrig att bli av med cement beroendet. Det som behövs är att tillverka cement på ett annat sätt. Exempelvis, man kan tillverka med hjälp av el, eltillförsel eller exempelvis, behandla och bearbeta kalksten på ett sätt för att få fram cement, eller för den sakens skull ta han om CO2. Det tror jag mer på som en långsiktig lösning.

- **Men utöver cementen, om vi pratar om slagg och kalcinerade leror och allt annat potentiella material?**

Men om du kan tillverka cement utan att bidra till CO2 utsläpp då behöver man inte tänka på SCM. Sen finns det andra egenskaper med tillsatsmaterial, du får ju kanske lite bättre beständighet och sådana saker, det finns ju för och nackdelar med alla material. Men kan vi få bort CO2 från cementtillverkningen, då kan vi ju använda cement, då är inte det problem, så man kan jobba med den biten. Men det är en lång väg dit, men jag tror att det är det som krävs för att uppnå våra klimatmål, för att ju mer vi gör desto svårare blir det att nå ett steg till. Det är ju inte linjärt, det är exponentiellt.

- **Ser du att det finns någon speciell part inom nätverket som kan driva eller bromsa utvecklingen av SCM i betong för att främja cirkularitet?**

Det är det vi jobbar med inom RISE. Att titta på olika forskningsprojekt, se vad man kan göra med avfallsaskor, bränna avfall, den typen av restprodukter från livsmedelsindustrin, allt som man idag slänger kan man kunna använda.

Det måste finnas en kommersiell aspekt, bara för att det går att göra betyder inte att det är lönsamt. Jag vet fortfarande inte om det här med lera är ekonomiskt eller inte. Eftersom du ska gräva lera, behandla den, transportera till fabrik, så att det är många bitar i detta, det kanske inte slutar att vara lika hållbar, ex om det blir dubbelt så dyrt, även miljöaspekterna. Jag tror att man behöver göra den här analysen innan man går in i det. Om du har en betongfabrik som ligger nära ett värmekraftverk till exempel så har du ingen transport avstånd, då finns det stort potential för betongfabriken att titta på material som kommer därifrån. Strängbetong har

fabriken från Långviksmon uppe i norr till Veddige i söder och de ligger lite utspritt, det är ju kanske ett problem.

- **Är ni flexibla med att ni ha olika produkter och betongrecept i olika fabriker?**

Vi jobbar med recept i alla fabriker, sen är det så att vissa fabriker, till exempel uppe i norr, då är det som en multi fabrik. De tillverkar alla produkter som finns för att det är så långa avstånd och transportera. Annars till exempel i Mellansverige så har vi en fabrik som gör håldäck och spänn produktion och en som gör slakarmerad produktion. Då tar man elementen från dom fabrikerna till Stockholm till exempel.

- **Utgår ni från att resurserna ska ligga nära till fabriker?**

Vi försöker optimera så att vi inte tar elementen som ligger i en fabrik i Veddige uppe till Norrland och vice versa, utan vi försöker hitta det optimala transport avståndet. Sen är det klart att det beror lite grann på beläggning och annat, så där kan det bli tokigt att man tillverkar ett element i Långviksmon och kör elementet ner till södra Sverige för att det finns ingen annan lösning. Det är inte speciellt bra för klimatet. Tittar man på LCA analysen, så kan transport delen variera väldigt mycket. Det kan bli väldigt stor beroende på transport delen. Så att transporten är en viktig del att tänka på.

- **Känner du till att Strängbetong har en vision om att använda SCM i större omfattning i betongrecept för att minska cement halten i betong?**

Ja, vår vision är att minska, fram till 2026 ska vi minska klimatpåverkan med 30%. Kanske inte direkt med SCM eller tillsatsmaterial, utan vi har kopplat det mer till det totala CO2 utsläppet. Så kan vi till exempel minska på hållfasthetsklassen, minska dimensioner, räkna på andra sätt, jobba med kundsidan, hitta exponeringsklasser som inte kräver så mycket, och så. Man kan göra massa saker för att minska på cement förbrukningen, inte bra.

- **Hur upplever du att samarbetet med andra aktörer kan påverka möjligheterna till en storskalig satsning på SCM i betong?**

Det är ju tillverkningen utav stål och den processen som skulle kunna påverka tillgången på slagg. Nu jobbar alla betongtillverkare med att ändra sina recept, man jobbar extremt mycket med att optimera recept. Den nya standarden som kom 137003–2021, den ger oss möjligheter att jobba på ett annat sätt än tidigare, så vi kan utnyttja fördelarna med slagg på annat sätt än tidigare. Det kan ju bli en bristsituation av slagg i världen om att det inte finns tillräckligt med tillgång, slaggen kostar också pengar, så det kan vara att priserna sticker iväg. Nu har vi tillverkning i Sverige uppe i Norrland, sen finns slagg att köpa från kontinenten men med tanke på transport priserna så är frågan om det är en lösning, om det är värt att köpa slagg på det här sättet.



## APPENDIX 6 – RESPONDENT 2

- **Vilken roll har du i företaget och vilka olika skeden inom betong verksamheten är du inblandad i?**

Jobbar med forskning och utveckling.

- **Använder ni SCM i betong recept idag?**

Ja, det har vi gjort i många år, ersatt cement med slagg och ersatt det med flygaska och det har vi gjort låt säga sedan 90-talet kanske.

- **I vilken omfattning?**

Ja det har ju gått upp och ner beroende på tillgång, hur mycket man får tillsätta och intresset från marknaden. Just nu finns det miljöfokus och intresset börjar öka. Innan var det ett sätt att få ner kostnaden på betong.

- **Har ni siffror på hur mycket reducerad koldioxid utsläpp användningen av SCM i betongrecept har bidragit till?**

Nej det har vi inte. Det finns statistik på svensk betong. Det är väldigt svårt, det beror på vad man jämför med hela tiden. Det är inte lätt att få sådana siffror. Det är mycket sänkningar nu.

- **Vilka potentialer ser du att det finns med SCM som hittills inte har implementerats?**

Ja det finns ju möjlighet att använda andra ersättningsmaterial än de som vi får använda idag. Det pågår mycket forskning kring det idag. Men i dagsläget så är vi begränsade av standarder som säger till oss vad vi kan använda. Det finns massa möjliga. Det finns restprodukter från industrin som är intressanta men det kan också vara andra askor som finns naturligt som vulkanaska och så där. Det är miljöaspekter men ekonomiska aspekter också. Efterfrågan har ökat och tillgången har minskat och så här ser det ut framöver. Om vi fortsätter att stå på de material som vi använder idag så går ju priserna upp också.

Sen finns ytterligare en aspekt och det är utsläppen som genereras när de här materialen kommer fram eller tillverkas, och tittar man tex på slaggen i stålindustrin, de är intresserade av att betongindustrin ska ta en del av de här utsläppen. De talar om allokering då, att flytta över en del och det kan man göra på lite olika sätt. Man kan titta på ekonomiska allokering, vikt allokering, det finns lite varianter men då försvinner mycket av intresset hos oss att använda de där produkterna. De är inte fria från utsläpp utan de utsläppen hamnar på en annan industri, det där kan man också fundera på. Stål kanske man kommer att behöva ändå men kol är väldigt dumt kan jag tycka. Sen är det bra att man får avsättning för restprodukterna men det känns så fel kan jag tycka. Sen det här med miljö, hur mycket CO<sub>2</sub> man sparar, det är svårt. Det enda vi beräknar med i utsläppen är transporten av det. Sen när det förbränns i de här värmeverken så genererar det ju mycket CO<sub>2</sub>, så det är ju inte helt enkelt det här.

- **Vilka anser du är de största grundläggande utmaningarna på sättet att använda SCM just för att främja cirkularitet?**

Kanske att få standarderna att hänga med, och göra det möjligt för oss att använda de. Vi får inte göra som vi vill. Materialet certifieras och har en jämn kvalitet. Det finns många svårigheter också. Om vi till exempel tittar på sopor så blir det mycket sopförbränning så blir det aska där som mycket väl kan användas i betong, men den är väldigt oberömlig kvalitet och så är det med många andra restprodukter. Det är svårt att certifiera produkter som varierar väldigt mycket. Vi måste använda certifierade material.

- **Ser du att det finns andra hinder förutom när det kommer till regelverken och certifiering?**

Ja vi måste också ha en jämn tillgång. Vissa av de här industrierna har säsongs produktion av de här materialen, flygaska är en sån till exempel. Sen kan man behöva processa mycket med de här materialen. De kan innehålla olämpliga saker. Det är också en utmaning, exempelvis tungmetaller och annat som vi inte vill ha. Det kan vara kostnader och man behöver bygga upp någonting också.

- **Hur ser tillgängligheten av SCM ut idag?**

Det är en stor efterfrågan på det som vi får använda. Nu är tillgängligheten begränsad skulle jag säga. Det är inte bara betongtillverkare som är intresserade utan även cementtillverkare som är intresserade. Nu håller man på att avveckla mycket av flygaskan, och det är ingen snäll industri. Ståltillverkare håller man på att elektrifiera och jobba med till exempel vätgas och så där och då har man en annan process som inte genererar den typen av slagg som vi är intresserade av. Tillverkar man grönt stål så får man inte den slaggen som vi kan använda. Men visst man skulle kunna använda men det har inte samma fördelar. Man kan inte ersätta lika mycket med cement osv. I framtiden vet vi inte. Förutom miljöaspekter finns det också cement brist på grund av att man inte får miljötillstånd att bryta kalk helt enkelt.

- **Tror du att det kommer att finnas behov av nya potentiella SCM?**

Ja. Därför pågår bred forskning på just det här.

- **Ser du att det finns någon speciell part inom nätverket som kan driva eller bromsa utvecklingen av SCM?**

Industrier. Det har förändrats ganska mycket de sista 5 åren. sista året i och med cement debatten har det verkligen fått fart. Det kommer hända mycket och det är kul.

- **Känner du till att Thomas betong har en vision om att använda SCM i betong recepten i större omfattning i framtiden?**

Det är var branschen och våra kunder och marknaden efterfrågar. Även de statliga myndigheter när det kommer till olika tillstånd osv. Sen är det en kostnadsfråga också givetvis. Men det kommer nog bara öka.

- **Upplever du att det finns hinder med de tekniska aspekterna när man tillsätter en större mängd SCM?**

Nej. Får vi marknaden att hålla med om att betongen kommer att vara lite annorlunda så finns det inga begränsningar egentligen. Fabrikerna har förutsättningar att ta in massa olika delmaterial och byta ut osv.

- **Om man pratar om hållfastheten?**

Man måste uppfylla alla kraven givetvis. Vi har beställt en viss betong med en viss hållfasthet eller konsistent, exponeringsklass eller lufthalt. Det är något som vi anpassar betongen efter. Så länge det är ett material som inte bekämpar betongens egenskaper. Vi använder inte material som är dåliga för betong.

- **Betongindustrier har en nollvision till år 2045.**

Vi alla har nollvisioner. Exempelvis, cementa har satt till 2030 vilket jag tycker är mycket ambitiöst. De satsar på ny teknik. Det finns olika typer av koldioxidlagring. Sen håller de också på att titta på elektrifiering och vätgas istället än att använda andra energikällor. De jobbar mycket på det sen håller de på att minska klinker mängden. Cement på marknaden kommer att ha mycket lägre avtryck. De har kommit ganska långt i forskningen och det är en vision om att ganska snart börja pumpa ner koldioxid i berggrunden. De pratar till och med om negativa utsläpp för cement i och med att betong tar upp koldioxid med tiden. En stor del av den koldioxid som släpps ut i cement fabrikerna tas upp av betong senare. Så om man pumpar ner koldioxid från cementfabriker så kan betong istället suga upp atmosfären. På så sätt kan man få ett negativt utsläpp säger dem. Det är en annan aspekt av det. Vi har också såna nollvisioner. Det är i händerna i cementtillverkare. Kan de få en cement utan avtryck då får ju vi också cement utan avtryck.

- **Jag tror att det kommer även att återstå lite på betongindustrin att få betong utan avtryck.**

Ja men pratar vi då om att ersätta, det som du är intresserad av. Då kan man prata om de materialen och var de kommer ifrån. Att säga att det är nollutsläpp genom att använda slagg eller flygaska, det håller jag inte med om. Även om vi inte belastar saker så kommer det från någonting annat som belastar. Vulkanaska till exempel är ett material som vi kan använda och börja testa. Det har man inte så stort avtryck på. Man kanske behöver bearbeta det lite osv. Kanske lite malning osv, annars blir det inte så mycket. Men å andra sidan kan man kanske inte ha så mycket i. Man kan inte ersätta all cement, så fortfarande. Sen kan man fråga sig hur man

gör med nollvisionen. Investerar man i en annan industri som håller på att utveckla eller förbättra sin miljöprestanda så får man då handla med ett sådant utsläpp. Det tycker jag också är lite konstigt att säga att man får noll utsläpp genom att köpa sig utsläpp. Då har man inte gått till källan av problemet. Det är konstigt, men det är mina åsikter, det tycker jag inte är nollutsläpp.

- **I examensarbetet fokuserar vi på att hitta potentiella SCM från avfall och biprodukter.**

Men när det är avfall och biprodukter så har vi ett utsläpp i andra änden. Samtidigt får de industrier betala väldigt mycket för att bli av med det här. Vi gynnar den industrin ändå, så jag vet inte om det är rätt heller. Det är komplext.

- **Upplever du att samarbete med andra aktörer kan påverka möjligheten till en storskalig satsning på SCM?**

Ja men hela branschen jobbar med det och flera organisationer. Absolut. Men det måste vi alla vara med på.

Jag har inga siffror av hur mycket reduktion av CO<sub>2</sub> som är möjlig vid tillsättning av SCM i betong. Det finns betong som har stort potential att få ner utsläppen på. Sen kan jag tycka att det är helt fel väg att gå, att använda de här betongen. Vi kan ta ett exempel om de här torkbetongen som man har. Att det ska gå fort, asså det ska gå snabbt att bygga helt enkelt. Man har inga andra intressen när man bygger än att det ska gå snabbt. Även om betongen får hög hållfasthet så är man inte intresserad av det. Det är liksom en bieffekt av det här med snabb uttorkning och att det blir så hög hållfasthet så måste man armera väldigt mycket. Det blir mycket järn. Det behövs också väldigt mycket cement i den typen av betong. Skulle man valt rätt betong för ändamålet så hade man kunnat få ner CO<sub>2</sub> jättemycket bara genom att minska cementmängden inte via alternativa bindemedel. Det är många såna betong som går åt fel håll. De vill ha lösare konsistens, det ska vara mindre sten osv. Det gör att vi har mer cement i den, så det har ökat de sista åren ganska mycket, det är ju cementvikt som vi tillsätter. Ytterligare en sak som gör att cementinnehållet ökar är att vi använder grus som är ganska vattenkrävande. Vi har också på oss att vi ska använda krossat material, helkross och inte använda naturgrus. Det gör också att det blir jätte vattenkrävande och skär betongen och vi måste komplettera med höga cement. Vi kan få ner cementvikten genom att till exempel använda bättre grus eller sand. Det är också något som vi håller på att titta på och optimerar våra recept så att vi får ner cementvikten och där är det större miljövinster flera gånger. Vi importerar sand från Polen och Danmark osv. Sen natursand som är ganska gynnsam för betongen, till skillnad till krossanden som är tvärtom och svår att jobba med. Det är ganska komplext och svårt att göra en jämförelse.

- **Anledningen att jag frågar om ni har siffror på koldioxidreduktion är att många betongföretag marknadsför den typen av betong.**

Vi har använt slagg och flygaska väldigt länge men det har inte kunderna vetat om. Det har vi gjort ändå. Sen har det blivit en stor miljöfokus och då kan man börja sälja produkter som under namnen grön eller miljö. Ekonomin styr också mycket.

Det finns potential att minska cement halten med hälften i vissa betongtyper. I anläggningsbetong så får man nästan inte ersätta någonting. Då finns det ingen potential att klimat förbättra. Använder vi då till en vanlig anläggningskonstruktion, så det cementet som vi använder är portlandcement och tillverkas i Sverige i Slite, så är ju den fabriken inte så modern och inte optimal. Medans tar vi samma cement från en annan modern fabrik då har cementet betydligt bättre miljöprestanda på grund av att den fabriken är modern då. Även om vi blandar i slagg eller flygaska i den mängden som vi får så är ändå cement från den moderna fabriken bättre på grund av att fabriken är bättre.

Det är bara vissa betongtyper som vi kan ersätta en större del med SCM och som kunden är beredd att ta. Härdningstiden av betongen är också betydelsefull för kunden. Har man höga halvering av CO2 då får man lägga på lite mer för att då ersätter man mer än hälften av cementen. Då blir det en väldigt långsam betong. Kunden är inte intresserad av att det ska ta långt tid. Många gånger faller det på att det är pressade tider och svårigheter för kunden att kunna hantera den betongen. Anläggningsbetong får man nästan inte ersätta cement. Men är det inomhus betong som används i ett bostadshus eller något då kan man ersätta en större del av cementet. Där kan man absolut halvera, dock är det som sagt pressade tidsramar. Man pratar mycket om klimatsmart betong men den beställs jätte sällan. Det är inte så många som är intresserade av det. Stålindustrin släpper ut oerhörda mängder och de släpper ut ledande utsläpp. Utsläpp kostar en del. Det har blivit väldigt dyrt för de som släpper ut mycket.

## APPENDIX 7 – RESPONDENT 3

- **Vilken roll har du i företaget och vilka olika skeden inom betong verksamheten är du inblandad i?**

Jag jobbar som produktchef för vår fabriksbetong avdelning. Det betyder jag har ansvar för vår forsknings och utvecklingsarbete. Mycket också teknisk support både åt kunder och sälj produktions organisationer. Jag är egentligen involverad i hela kedjan från delmaterial till vår slutkund och även vår kunds kund, alltså byggherren. Egentligen hela kedjan.

- **Använder ni på Swerock kompletterande cementbaserade material i betong? Om ja, i vilken omfattning?**

Ja det gör vi. Inte i alla och inte alltid men i ganska stor utsträckning så använder vi SCM.

- **Har ni utvecklat klimatsmart betong?**

Ja

- **Är det på det sättet ni använder SCM?**

Asså det är både och. Ibland använder vi för klimatsmart betong, det som vi kallar eko betong. Ibland använder vi för att förstärka tekniska egenskaper.

- **Användning av SCM i betong för att erhålla klimatsmart betong har bidragit med upp till 50% mindre CO2-utsläpp. Hur många procent mindre CO2- utsläpp har optimerad betong recept genom användning av SCM bidragit till hos er på Swerock?**

Ja, det har vi. I de flesta fall får vi leverera en EPD eller dotter EPD som verifikat på de man löper i betong. Jo men i vissa fall så har vi reducerat upp emot 50 %. Vi har nog varit över 50% i nåt tillfälle också men det är inte jättevanligt. Man ligger kanske vanligare i lite lägre nivåer.

- **Har just SCM material bidragit till en sådan reduktion?**

Ja, för så stora reducering så är det nästan en förutsättning. Vi måste lyckas byta cement mot något annat cement likt material för att byta ut den.

- **Vilka framgångsfaktorer har användning av SCM medfört för Swerock?**

Dels att vi får ut en ny produkt i marknaden i form av klimatsmart betong, men även att vi får ut tekniskt bättre i vissa egenskaper. Sen skulle jag säga att det även har fått oss att fundera på vår produktionsmodell och hur vi proportionerar betong. Så att det är både hur vi gör och vad vi gör som vi ser att vi liksom får jobba på både liksom. Det skulle jag säga är en framgångsfaktor.

- **Vilka potentialer ser du att det finns med SCM som hittills inte har implementerats?**  
Det finns viss potential som man tittar på lera bland annat, olika former av biokol asker. Jo men det finns förutsättningar för att hitta andra material också. Sen känns det att i dagsläget är det lite långt bort. Lera kan ligga rätt nära medans alternativa askor av olika slag är kanske lite längre bort.

- **Vilka anser du är de största grundläggande utmaningarna på sättet att använda SCM i betong för att främja cirkularitet?**

Främsta sakerna är våra tillverknings standarder. Där blir vi väldigt styrda av vilka användare, hur mycket vi kan använda och vilka material vi kan använda. Så det är väl egentligen den största begränsande delen idag. Sen finns en viss begränsning i tillgången också i och med att det är ett cirkulärt material som kommer från en annan process. Så att går inte processen mycket så blir mindre material över. Det är en begränsning i sig.

- **Vilket hinder anser du lättast att bemästra respektive svårast att bemästra?**

Vår processkedja är lättare att bemästra för att den har vi kontroll över själva, medans yttre krav, standarder, beställare och organisationer, naturvårdsverket, de är svårare att påverka. Det är mycket mera tunga processer att förändra, det tar flera år att få förändringar där. Yttre lagar och regelverk är ju svårare.

- **Hur ser tillgängligheten av SCM ut?**

Det finns ganska god tillgänglighet på båda. Flygaska är betydligt svårare att få tag på än slagg. Men flygaska är oftast bland cement, vi köper färdigblandad produkt av cement leverantör. Slagg finns i ganska god tillgänglighet men man ser en begränsad tillgång både i och med att det är en rest i en annan process och att den processen är på väg att förändras. Idag okej men imorgon är det nej. Den finns en viss tid, sen kommer den att minska.

- **Tror du att det kommer finnas ett behov av nya potentiella SCM i framtiden?**

Ja absolut i och med att både flygaska och slagg som det ser ut idag troligtvis kommer att försvinna. Förbränning av kol i energiframställning är ju liksom, den har en klart begränsad livstid. Lika som gasens framställning av stål kommer att förändras. Det är ju en begränsad tid, det kanske är 10 år kvar.

- **Ser du att det finns någon speciell part inom nätverket som kan driva eller bromsa utvecklingen av SCM i betong för att främja cirkularitet? Du nämnde regelverk och tillgänglighet, ser du att det finns andra parter som kan påverka eller förenkla?**

Ja, egentligen, en sak som faktiskt också spelar roll är ju hur vi bedömer cirkulära jämfört med jungfruliga material. Det där ser vi oavsett om vi tittar på ballast eller bindemedel. Där ställs mycket större krav på att redovisa vissa saker så fort det kommer till ett cirkulärt material än vad du gör med ett jungfruligt material. Grundtanken kan vara bra, svårigheten är att de värden som du tittar på har du aldrig tittat på förut, så du vet inte vad värdena säger. Är det här ett högt eller lågt värde? Och det blir ju också en liten begränsad del för då blir det oftast liksom, vår beställare eller byggherre kanske tänker, mäter ni upp det där, aha då kan vi inte använda det.

Så där kan det bli lite svårigheter med att använda cirkulära material. Vi har inte en kedja som bygger på att du får in ett cirkulärt material. Det bygger på jungfruligt rät linje liksom.

- **Hur kan man lösa en kedja eller materialflöden för att cirkulära material stannar hållbara. Jag tänker lite på lokal användning och att undvika transport, bearbetning och behandling.**

Jag håller med dig, vi funderar lite i de banorna. Vi tittar i material i fabriker över hela landet. Vi kommer inte kunna lösa materialflöden som är likadana på alla ställen. Vi måste lära oss att använda det som finns lokalt mera, det håller jag helt med om. Vi har inte kommit närmare någon lösning eller tanke på det men vi har ju, vi måste jobba på det sättet och försöka hålla ner transportkedjan så mycket det går. Ska vi köra runt massa grejer, det blir lätt att nå topp.

- **Tror du att SCM material är en delösning till att uppnå målet om klimatneutral betong år 2045?**

Ja, det är absolut en förutsättning för att vi ska nå dit. I och med att cement är den tunga källan, även om cementa vill använda CCS teknik, då tror de att de kan minska 50% av koldioxidutsläppet. Det betyder alltså att 50% är kvar. Så den måste vi ju fortfarande försöka att få ner så mycket vi kan och då kommer vi att använda kompletterande cement material.

- **Känner du till att Swerock har en vision om att använda SCM i större omfattning i betongrecept för att minska cement halten i betong?**

Ja

- **Hur upplever du att samarbetet med andra aktörer kan påverka möjligheterna till en storskalig satsning på SCM i betong?**

Vi måste ju samverka med andra branschaktörer för att påverka till exempel tillverknings regler, naturvårdsverket osv. Vi måste samverka för att branschen ska acceptera dessa lösningar och det hela också. Standarden kommer absolut att vara en del för att komma framåt. Frågan är för stor för att ett enskilt bolag ska liksom hitta lösningar. Vi måste samverka och hitta lösningarna tillsammans.



## APPENDIX 8 – RESPONDENT 4

- **Vilken roll har du i företaget och vilka skeden inom betong verksamheten är du inblandad i?**

Min titel är betongexpert. Jag jobbar delvis med support i fabrikena, sex fabriker i Sverige och en i polen. Jag ansvarar för utveckling av betong, nya betongrecept, framför allt klimatförbättrande betong. Jag är med i utvecklingsskedet.

- **Använder ni kompletterande cementbaserade material i betong? Om ja, i vilken omfattning?**

Ja det gör vi, vi använder oss av slagg i två fabriker och vi håller på att introducera i två ytterligare fabriker. Inom årets slut ska vi använda oss av SCM i alla fabriker är tanken.

- **Användning av SCM i betong för att erhålla klimatsmart betong har bidragit med upp till 50% mindre CO2-utsläpp. Hur många procent mindre CO2- utsläpp har optimerad betong recept genom användning av SCM bidragit till hos er på Abetong?**

Enskilda recept, förbättring på 30–35 % i förhållande till ordinarie recepten. Som helhet hela Abetongs fabriker tillsammans kanske 5% koldioxidreduktion.

- **Vilka framgångsfaktorer har användning av SCM medfört för Abetong?**

Konkurrenskraft, vi har sålt ett antal projekt med vad vi kallar klimatsmart betong. De projekten har vi fått för att vi har kunnat erbjuda det. Möjlighet för bättre konkurrenskraft.

- **Vilka potentialer ser du att det finns med SCM som hittills inte har implementerats?**

Vi använder inte för klimatnytta utan för beständighets punkt, det började vi 2011 med men utnyttjad. Men med tanke på att vi förmodligen står inför brist på cement på grund av Slite fabriken så kan vi utnyttja SCM på det sättet att dryga ut cement.

- **Vilka anser du är de största grundläggande utmaningarna på sättet att använda SCM i betong för att främja cirkularitet?**

Vi har inte tid och kapacitet, nu har vi fått investera i två silos i två fabriker. Det finns inte tillgång till SCM i den utsträckning som branschen vill ha. Nu kommer alla att vilja ha scm, slagg framförallt, det är det som vi har tillgång till i Sverige. Sen kommer det självklart andra SCM i framtiden, där finns det säkert nya utmaningar om att ta fram nya recept med mer. Andra SCM som säkert kommer i framtiden, då är även regelverk att vara utmaning. Det går inte att använda dagens regelverk. I framtiden kommer säkert fler SCM, kanske lokala. Olika fabriker kommer att ha olika typer av bindemedels kombinationer.

Tittar du på tillgång på bioaskor, ska det vara aktuellt så är det med lokala avsättning som skulle vara förutsättningen. Vi får kolla på lokalförsörjning av SCM och då blir det större utmaning för oss att olika fabriker har olika typer av bindemedel. Det blir betydligt mer utveckling av betongrecept.

- **Vilka specifika hinder och försvårande omständigheter anser du finns vid nyttjande av SCM i betong?**

Först ska man få fram SCM som funkar in betong, det tror jag att kalcinerad lera är inget nytt, det har man gjort i många år, och finns i stor utsträckning i Danmark. Även bioaskor där blir det mer tekniska utmaningar, alltså att få kraftverken att kanske anpassa sin förbränningsteknik för att producera en restprodukt som är användbar, så reaktiv som möjligt. Det som sätter störst hinder för oss att använda är standarder idag. Idag finns inga standarder som reglerar annat än det som görs idag: flygaska och slagg. Allt annat som ligger utanför standarden får inte användas. Riskalsaska som har testats med RISE tillsammans med strängbetong, är en betong som används i stor utsträckning. Vi vet att det funkar men det är utanför våra standarder. Det måste jobbas på flera fronter för att kunna uppnå det här. Standard är en sak.

- **Hur ser tillgängligheten av SCM ut?**

Flygaska finns inte i Sverige, annat än det som finns i cementen. Men slaggen, idag finns det ingen brist på slagg, Jag tror att det kommer att bli en bristvara inom en snar framtid. Vi kommer ha större behov i Sverige inom ett par år. Vi kommer inte kunna förlita oss bara på en typ av SCM. Jag tror att tillgången utifrån kommer också att vara begränsad eftersom efterfrågan kommer att finnas i övriga Europa.

- **Tror du att det kommer finnas ett behov av nya potentiella SCM i framtiden?**

Ja, det tror jag. Flygaska är redan utgående eftersom Tyskland har börjat att lägga ner alla sina kolkraftverk. Tillgången kommer att försvinna ganska drastiskt de närmaste fem åren. Slagg kommer det att finnas tillgång på. Vi kommer fortfarande att tillverka stål, det kommer inte att upphöra, däremot kommer inte tillgången att räcka. Den stora potentialen, kalcinerad lera tror jag på som en stor produkt. Kanske inte betongrecept, men som cement leverantör använder i sin tillverkning.

- **Kan ni inte tänka er att använda kalcinerad lera?**

Jo det kan vi, men jag tror att logistiken har kanske, vi har inget ställe att bryta lera på idag, vi har inget tillstånd.

- **Tror du att samarbeta med andra aktörer skulle möjliggöra att ni använder kalcinerade lera?**

Skulle det finnas tillgång, så absolut. Någon måste kalcinera, då måste man ha en cementugn. Det är väl mest naturligt att det är cementa i Sverige som har cementugn som gör det. Vi har en fabrik som är nedlagt och vi kör tester med kalcinerade leror där. Än vet vi inte om det blir en produkt till oss eller inom cement.

- **Ser du att det finns någon speciell part inom nätverket som kan driva eller bromsa utvecklingen av SCM i betong för att främja cirkularitet?**

Ja alltså det finns ett visst motstånd mot att använda ett annat än cement i betongen, inte i betongbranschen vad jag vet utifrån mina kontakter där vi alla är intresserade på utveckling. Om man tittar på andra delar, vi har redan haft bekymmer med flygaska i cement där kolbranschen har beskyllt betongbranschen för att ha sjuka hus.

Jag tror att det kommer finnas ett motstånd från en viss kundsida mot att vi använder annat än cement, jag tror att det kan orsaka bekymmer för dom i framtiden. Slagg är relativt accepterat. Ska vi använda andra SCM måste vi nog ha betydande forskning bakom för att visa om att det inte kommer att ge bekymmer inom 20, 30, 50 år så att våra kunder känner sig trygga i det

- **Känner du till att Abetong har en vision om att använda SCM i större omfattning i betongrecept för att minska cementhalten i betong?**

Ja, vi håller på att implementera det på fler fabriker.

- **Hur upplever du att samarbetet med andra aktörer kan påverka möjligheterna till en storskalig satsning på SCM i betong?**

Det är viktigt att vi satsar på forskning kring det för att få fram de möjliga bindemedel, vilka som inte är möjliga att använda och testa. För vår del har vi samarbete med RISE, det är därför vi stöttar RISE forskning. Det är där vi är idag, vi har en bit att forska inom. Vi är i behov av att uppnå nollvisionen 2045, och att visa att vi är påväg dit.



# HÖGSKOLAN I BORÅS

Besöksadress: Allégatan 1 · Postadress: 501 90 Borås · Tfn: 033-435 40 00 · E-post: [registrator@hb.se](mailto:registrator@hb.se) · Webb: [www.hb.se](http://www.hb.se)