

Master Thesis

# Environmental Potential of Infra-as-a-Service: *A case study of a municipal slow traffic road*

By

I. (Ivana) Mandić

In partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Industrial Ecology at Delft University of Technology and Leiden University

Thesis defended on August 31<sup>st</sup> 2021

## AUTHOR

**Name** Ivana Mandić  
**Delft student number** 5198038  
**Leiden student number** s2637960

## GRADUATION COMMITTEE

<b>Fist supervisor</b>	Dr B. Sprecher	CML – Leiden University
<b>Second supervisor</b>	Professor C. A. Bakker	Industrial Design – Tu Delft
<b>Supervisor at the municipality</b>	MSc M. Sauer	



Universiteit  
Leiden



Leiden

# Abstract

The building and civil engineering sector is the most polluting sector in the Netherlands. Therefore, there is an increasing need for circular and sustainable products and processes. High demand for raw materials and high environmental pressure of this sector could be reduced by implementing the Circular Economy (CE) principles in the public procurement, which is called circular public procurement (CPP). There are different ways to circular public procurement (CPP), among which is the implementation of new business concepts such as Product-Service System (PSS). An example of a business concept that is relatively new in the Dutch infrastructure sector, is the concept of infrastructure-as-a-service, which is a type of PSS. Even though some of CE principles are incorporated in PSS, PSS does not always lead to higher circularity or environmental improvements. Therefore, in this study, the following research question is answered: *Does PSS lead to a higher circularity and lower environmental pressure when implemented in the municipal procuring process of a slow traffic road?* The research question was answered by performing semi-structured interviews with the experts from the field, by providing the first comparative LCA of a traditional road and its product-service alternatives, and by calculating and comparing the Material Circularity Indicator (MCI) of each alternative.

The scope of this study considers the upper layer of the road and the following life cycle stages: extraction of raw materials, transport of raw materials, production and transport of road components, use, maintenance, replacement, transport of waste and other released material, recycling and waste treatment. The function studied was the availability of 11,200 m<sup>2</sup> of paving brick slow traffic road surface for 40 years'.

Based on the set scenarios, the LCA results showed that product-service alternatives do have significant environmental benefits over the reference system. The product-service scenarios were based on the two environmental strategies that were mentioned in both the interviews and in literature: i) extending the useful lifetime of the product and ii) reducing waste and optimizing end-of-life treatment. Relative to the baseline scenario, the biggest environmental gains and the biggest increase in circularity can be achieved when the currently downcycled material is reused or repurposed instead of recycled. By reusing all residual paving material at the end of its use, the CO<sub>2</sub>-eq emissions can be reduced by 77%, and circularity can be increased by 8%. The other two assessed improvements of the use and end-of-life phase were the reduction of breaking percentage and the increased utility of concrete components through a material passport. The last initiative led to 3% higher circularity but it did not lead to significant environmental improvements while the reduction of breaking percentage did lead to improved environmental impacts but it did not lead to a change in circularity. When combining all three initiatives, which was done in the product-service++ scenario, CO<sub>2</sub>-eq emissions can be reduced by 95%, freshwater aquatic ecotoxicity by 98% and stratospheric ozone depletion by 90%, relative to the baseline scenario. In addition, this study identifies the supply of road components that includes extraction of raw materials, production and transport as the hotspot of each alternative, which indicates

the importance of material reuse. Furthermore, over the whole life cycle of each alternative, electricity was identified as the biggest contributor to the characterization results due to the high share of fossil fuels in its generation.

Even though the possible product-service scenarios lead to improved environmental performance and circularity, the results from the interviews indicated that the concept of infrastructure-as-a-service is still in its infancy and that several issues need to be addressed before it can be implemented on a large scale. The issues that need to be addressed are the separation of economic and legal ownership by law, additional burden in contract management and contractual risk inclusion. Furthermore, the concept of infrastructure-as-a-service seemed to fit more to infrastructural objects that are located in the countryside because an object in the countryside has less direct connections to other infrastructure meaning the influences from the surroundings are minimized, which poses less risk to the provision of the functional unit. Before the above-mentioned issues are solved, infrastructure-as-a-service is not recommendable. Instead, municipalities as the owner of an infrastructure should take their responsibility to properly reuse paving material.

# Table of content

Abstract	2
List of tables	6
List of figures	7
List of abbreviations	8
1. Introduction	9
1.1 Problem introduction	9
1.2 Previous studies	9
1.3 Knowledge gap	10
1.4 Research goal and objective	10
1.5 Case study selection	10
1.6 Research question and sub questions	11
1.7 Report structure	11
2. Research approach	12
3. Theoretical framework	12
3.1 Circular economy	12
3.2 Public procurement for a circular economy	14
3.3 From product to service: the concept of product-service systems	15
4. Infrastructure-as-a-service in theory and practice	16
4.1 Methodology	16
4.1.1 Literature research	16
4.1.2 Semi-structured interviews	16
4.2 Integrated contracts: DBFM & DBFMO	17
4.3 Infrastructure-as-a-service	19
4.4 Chapter summary and conclusion	23
5. Modelling product-service systems through life cycle assessment	24
5.1 Methodology	24
5.2 Guidelines to assess PSS through LCA	25
5.3 Chapter summary and conclusion	28
6. Life cycle assessment	28
6.1 Goal & Scope Definition	28
6.1.1 Goal definition	28
6.1.2 Scope definition	29
6.1.3 Function, functional unit, alternatives, reference flow	30
6.1.4 Scenarios	30
6.2 Inventory analysis	34
6.2.1 System boundaries	34

6.2.2 Cut-off	34
6.2.3 Flowchart	35
6.2.4 Data collection and relating data unit processes	36
6.2.5 Multi-functionality and allocation	39
6.2.6 Results of inventory analysis	39
6.3 Impact Assessment	39
6.3.1 Impact categories, characterization models, category indicators, characterization factors	39
6.3.2 Characterization results	40
6.4 Interpretation	41
6.4.1 Consistency check	41
6.4.2 Completeness check	41
6.4.3 Contribution analysis	41
6.4.4 Sensitivity analysis	42
6.5 Chapter summary and conclusion	44
7. Material circularity indicator	45
7.1 Methodology	45
7.2 Material circularity indicator results	46
7.3 Chapter summary and conclusion	46
8. Discussion	47
8.1 Discussion of the results	47
8.2 Implication for theory and practice	50
8.3 Limitations and recommendations for further research	51
9. Conclusion and recommendations for the municipality	52
10. References	53
Appendix A: Interview questions	58
Appendix B: Interview transcripts	62
Appendix C: Description of road components	88
Appendix D: Additional LCA steps from Kjaer et al. (2018)	91
Appendix E: LCA results	92
Appendix F: MCI calculations & data input	94
Appendix G: Excel file (data & results)	100
Appendix H: CMLCA file	100

## List of tables

**Table 1.** List of interviewees.

**Table 2.** Insights from the interviews regarding economic aspects, circularity and environmental potential of DBFM(O) and product-service.

**Table 3.** Included lifecycle phases and the corresponding processes (X: included in the study; NI: not included in the study).

**Table 4.** Composition of the paving layer and the corresponding lifetimes, as operated by Municipality Leiden.

**Table 5.** Scenario 1: Baseline scenario. Current maintenance and replacement scheme of Municipality of Leiden.

**Table 6.** Scenario 2: Product-service+ scenario.

**Table 7.** Scenario 3: Product-service++ scenario.

**Table 8.** Required energy for the production of 1 m<sup>3</sup> concrete.

**Table 9.** Sensitivity analysis: characterization results and the corresponding changes as result of offshore wind energy use.

**Table 10.** MCIs.

## List of figures

**Figure 1.** Research flow diagram.

**Figure 2.** The 9R Framework by Potting et al. (2017).

**Figure 3.** Product Service System (Tukker, 2004).

**Figure 4.** Development of integrated contracts in infrastructure sector (Lenferink et al., 2013, as shown in Huizing, 2019).

**Figure 5.** Infrastructure-as-a-service, as shown in Huizing (2018).

**Figure 6.** Recommendations to overcome the three main challenges when performing environmental assessment of PSS as presented in Kjaer et al., 2016.

**Figure 7.** Guidelines on performing environmental assessment on PSS as proposed by Kjaer et al. (2018, p. 669).

**Figure 8.** Flowchart of Baseline scenario.

**Figure 9.** Flowchart of the product-service alternatives.

**Figure 10.** The environmental impacts of the three interventions that were incorporated in the scenarios.

**Figure 11.** Results of the contribution analysis at the level of product.

## List of abbreviations

**CE** Circular Economy

**CPP** Circular Public Procurement

**PSS** Product-Service System

**PPP** Public-Private Partnership

**RWS** The Directorate-General for Public Works and Water Management (Dutch: Rijkswaterstaat)

**DBFM** Design-Build-Finance & Maintain

**DBFMO** Design-Build-Finance-Maintain & Operate

**ECI** Environmental Cost Indicator

**MCI** Material Circularity Indicator

**LCA** Life Cycle Assessment

**NMD** Nationale Milieudatabase



# 1. Introduction

## 1.1 Problem introduction

In the Netherlands, the building and civil engineering sector is responsible for the highest virgin material demand (50%), the highest waste production (40%) (Rijksoverheid, 2016), and the highest CO<sub>2</sub> footprint (33%) (Metabolic, 2020). To reduce i) the large demand for raw materials, ii) the dependency on foreign countries for the supply of raw materials, iii) waste production and iv) the current impact of the construction and civil engineering sector on the climate change due to greenhouse gas emissions, changes in this sector are necessary (Ministry of Infrastructure and the Environment & Ministry of Economic Affairs, 2016).

A solution for the current unsustainable take-make-dispose business model is Circular Economy (CE) that is an economic system with closed loops that aims to keep the value of raw materials and products as high as possible throughout their life cycles and to minimize the generation of waste (Ellen MacArthur Foundation, 2015; Geissdoerfer et al., 2017; Ghisellini et al., 2016). CE allows for economic growth and efficient use of resources (Ellen MacArthur Foundation, 2015) and therefore it is receiving increasing attention in policy agendas in many countries (Alhola et al., 2019; Greissdoerfer et al., 2017; Winans et al., 2017).

## 1.2 Previous studies

The implementation of CE principles into the procurement processes of public authorities is called Circular Public Procurement (CPP). The following definition of CPP was suggested by Alhola et al. (2019): *“A procurement of competitively priced products, services, or systems that lead to extended life spans, value retention, and/or remarkably improved and non-risky cycling of biological or technical materials, making use of and supporting the circular business model and related networks.”* In the same paper, Alhola et al. (2019) demonstrated four main approaches to CPP that can be used by governmental entities. One of the presented approaches is *Procurement of services and use of new business concepts* that promote CE, such as the concept of product-service system (PSS). PSS promotes a shift from selling products to selling the utility of products through a mix of products and services while fulfilling the same client demands (Manzini and Vezzoli, 2002). When applying PSS, the product stays in the ownership of the provider and the client pays for the use, instead of purchasing the product (Tukker, 2004). In some studies, PSS is claimed to have the potential to reduce environmental impacts and to lead to economic benefits (Bocken et al., 2016; Tukker, 2004). Other studies, however, claim that the implementation of PSS does not necessarily lead to positive economic and environmental outcomes and in some cases, PSS can even lead to negative environmental and economic impacts (Catulli & Dodourova, 2013; Heiskanen & Jalas, 2003; Mont, 2004; Pigosso & McAloone, 2016; Tukker 2004; Tukker & Tischner, 2006).

### 1.3 Knowledge gap

Currently, little is known about the environmental and economic impact of PSS when implemented in the building and civil engineering sector. At the time this study was conducted, no scientific literature was available on infrastructure-as-a-service nor on any of the related synonyms. Therefore, infrastructure-as-a-service can be considered as a novel approach to project delivery within the infrastructure sector. However, one master thesis research was found in the TU Delft database that provides a deeper understanding of financial, legal, organizational, and technical considerations that have to be taken when applying PSS at the project level (Huizing, 2018). Furthermore, the same master thesis provides a model in how to implement service characteristics in the delivery of infrastructure projects. The results of this master thesis were used by the construction company Dura Vermeer as a starting point for the development program called “De Circulaire Weg”, in which eight pilots of infrastructure-as-a-service were started in cooperation with several municipalities, provinces, banks, a university and a consultancy and engineering firm. However, the most pilots are in the start-up phase, which means that there are no results yet on the environmental, economic, and social consequences of the implementation of PSS in construction projects.

### 1.4 Research goal and objective

The aim of this master thesis is to provide the first comparative LCA of a traditionally procured slow traffic road and a slow traffic road that is procured through a service contract, to examine whether the concept of PSS leads to an improvement in the environmental performance. The second aim is to calculate the circularity of each initiative using the Material Circularity Indicator (MCI) of Ellen MacArthur Foundation, in order to determine whether the product-service contract leads to higher circularity. Due to the broadness of the topic, a case study approach was chosen with a case study within the borders of the municipality of Leiden.

### 1.5 Case study selection

Within the municipality of Leiden, the three biggest material inflows are concrete (43%), asphalt (39%), and clay bricks (15%) (Metabolic, 2020b). Those materials are mostly present in the domain ‘Pavements’ which is the biggest domain considering that 90% of the *total* material inflow of the municipality of Leiden goes into this domain. Taking into account that the domain ‘Pavements’ is the biggest domain, the reconstruction project of Haarlemmerstraat and Lange Mare in Leiden was selected from a few tenders that were provided by the municipality because the road surface of Haarlemmerstraat and Lange Mare consists of concrete pavers, stone pavers and clinker bricks.

## 1.6 Research questions & sub questions

The following main research question will be answered in this master thesis research:

*Does PSS lead to a higher circularity and lower environmental pressure when implemented in the municipal procuring process of a slow traffic road?*

The main research question is divided into following sub questions which correspond to the research steps that have to be in order to answer the main research question:

1. What can be learned from the literature and running infra-as-a-service pilots with regard to circularity, and environmental impacts of a road-as-a-service?
2. What are possible product-service scenarios that can be applied to a slow traffic road?
3. How is PSS being modelled through LCA, and how to define an appropriate functional unit?
4. How does the implementation of PSS influence the outcome in environmental impacts of a municipal brick-paved slow traffic road?
5. Do those scenarios lead to an increase in circularity, and to what extent?

## 1.7 Report structure

The overall approach to this research is given in chapter 2. Subsequently, the report is structured as follows. In chapter 3, the theoretical framework is given in which CE, (circular) public procurement and PSS are explained. Subsequently, in chapter 4, the first sub question is answered by discussing the results from the literature research and the interviews, while in chapter 5, the answer is given on the third sub question. In chapter 6, the methodological steps and the results of LCA are discussed to answer the fourth sub question. The last sub question is answered in chapter 7, which also explains how the circularity of each alternative was calculated. In chapter 8, the results are placed in a wider context and discussed. Finally, in Chapter 9, a conclusion is derived and recommendations are given for further work.

## 2. Research approach

In this Chapter, the research approach is provided that was taken in order to answer the sub questions and the main question. The research design is summarized in the research flow diagram given in Figure 7.

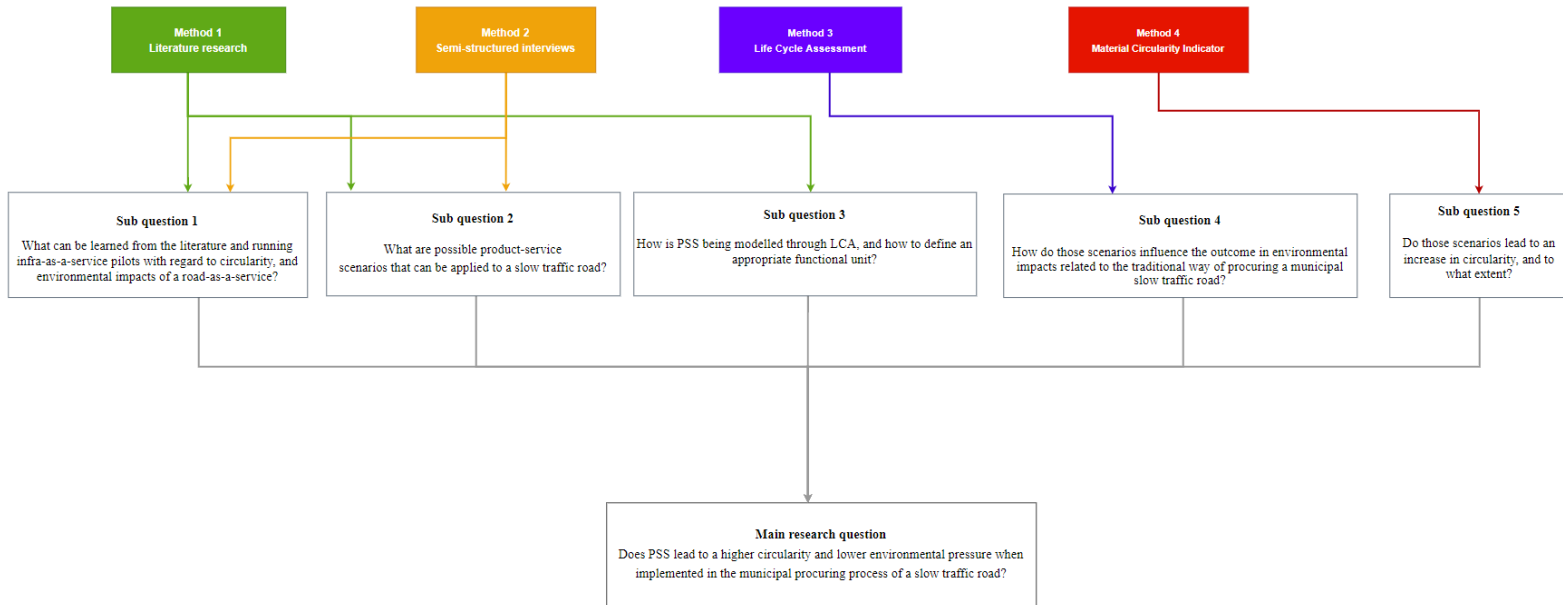


Figure 1. Research flow diagram.

## 3. Theoretical Framework

### 3.1 Circular Economy

In contrast to our current economic system which is linear, Circular Economy (CE) is an economic system with closed loops that aims to keep the value of raw materials and products as high as possible throughout their whole life cycles, minimizing the generation of waste and promoting the use of renewable energy (Ellen MacArthur Foundation, 2015; Geissdoerfer et al., 2017; Ghisellini et al., 2016). CE provides a possible solution to the problem of resource depletion as it aims for the reduction of virgin material use and transformation of waste into raw materials (Witjes & Lozano, 2016). Although different CE frameworks exist, the 9R-strategy framework is the most complete one (Figure 2). This framework suggests that smarter product use and manufacture strategies lead to the highest circularity and therefore the least natural resources use and environmental pressure while downgrading of the materials is the least circular and environmentally friendly option. Furthermore, lifespan extension of products and materials through reuse, repair, refurbish, remanufacture and repurpose contributes to circularity and lower virgin material use and lower environmental pressure.

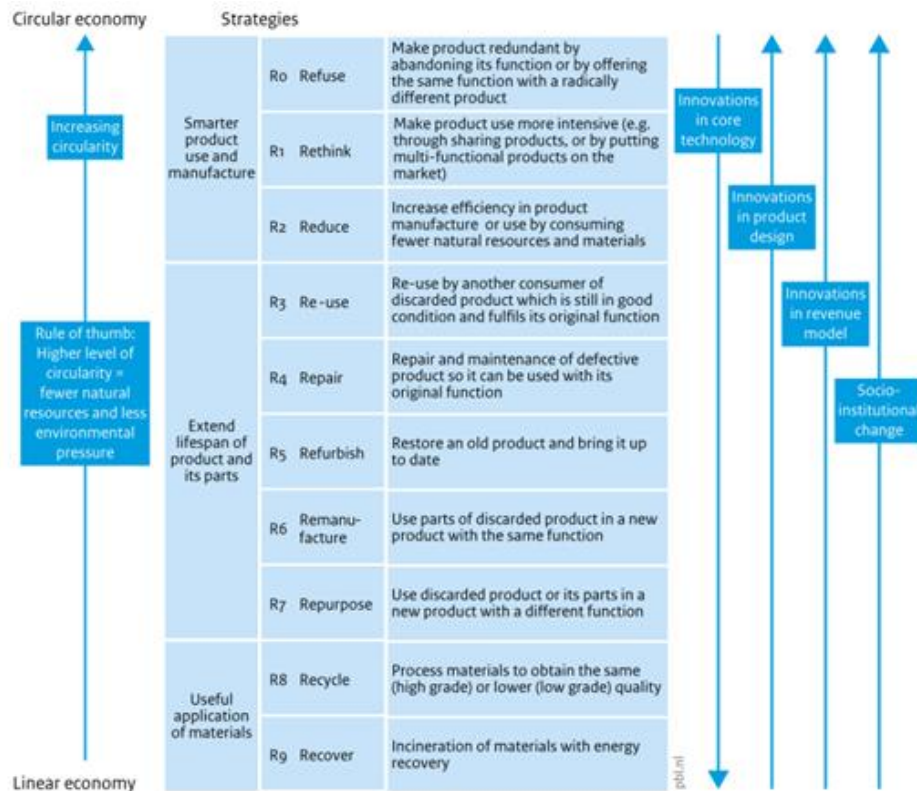


Figure 2. The 9R Framework by Potting et al. (2017).

However, achieving CE in the business chain is more complex than applying the principles of the CE (Mentink, 2014). To successfully implement the principles of CE, a systemic multilevel change is required (Alhola et al., 2019). The change on a system level would require new business models, stakeholder collaboration, and technological innovations (Witjes & Lozano, 2016). In contrast to the current economic system, which is driven by competition, within CE, stakeholder collaboration plays a crucial role (Bocken et al., 2016; Witjes & Lozano, 2016, FinanCE, 2016). Lack of collaboration, stakeholder involvement, or even lack of certain important actors in the network would result in businesses being linear even if they apply a circular business model (FinanCE, 2016).

In summary, CE does provide a solution to the problem of resource depletion and high environmental pressure if its principles are successfully implemented. To achieve CE in the business chain, different stakeholders have to work together towards a common goal, and the implementation of new business models and technologies is required.

## 3.2 Public Procurement for a Circular Economy

Public procurement is the process by which public authorities, such as government departments or local authorities, purchase work, goods or services from companies (European Commission, 2017). A procurement process starts with an invitation to tender which ideally consists of different documents in which public authorities describe their interests and needs and provide additional information such as preliminaries, requirements, specifications and design drawings. Those documents invite companies to bid for the project within a certain time frame. In response to this invitation to tender, companies will submit a proposal in which they describe how the client's requirements will be satisfied and at what price. After interested companies have responded to the invitation, the offer that meets the needs and provides the best value of money, which is usually either the lowest price or the best price-quality combination, will be selected as the winning bid.

In the European Union (EU), public procurement amounts to around 14% of gross domestic product (GDP) (European Commission, 2017). In the Netherlands, the public procurement of the Dutch government amounts to around 73 billion euro per year (PIANOO, n.d.), the biggest part of which (30%) is spent in the building and civil engineering sector (Metabolic, 2020). Considering the size of public procurement and the fact that public authorities have the power to demand certain products and services, public procurement has been seen as a useful tool in the transition to CE (Alhola et al., 2019). Together with local and regional authorities, the Dutch government wants to stimulate the market for sustainable and circular products (PIANOO, n.d.) by implementing CE principles into the procurement processes of public authorities that is called Circular Public Procurement (CPP). CPP can be considered as an important aspect of sustainable development as CPP aims for environmental improvements, social well-being, and value creation (Alhola, Ryding, Salmenperä, & Busch, 2019), which are in direct connection to Industrial Ecology (Chertow, 2008).

Within CPP, the first step is to rethink the need: is the procurement really necessary, and what is the functional need of users? Very often, the answer to this question is that the functional need is not a physical product itself but the service that this product is offering. This idea shows the need for a new business model. The idea of procuring the services of a product instead of the product itself corresponds to the concept of product-service system (PSS), which is discussed in the next subchapter.

In conclusion, CPP has been seen as a way to start the circular transition economy-wide through the purchase power of the state considering that the State is the biggest buyer within an economy. In consequence, governmental entities can reduce their material demand and potentially reduce the costs and their carbon footprint and ensure that cities become and remain healthy and attractive as both residential and working area. In some cases, new business models will be required to achieve the highest circularity. If the governmental entities make the first move, the market will tend to facilitate the inclusion of new circular business in the future.

### 3.3 From Product to Service: The Concept of Product-Service System

The product-service system (PSS) promotes a shift from selling products to selling their utility (Tukker, 2004). Companies that move from traditional product-sale business model to PSS deliver a desired function through a mix of product and services while fulfilling the same client needs and demands with less environmental impact (Manzini & Vezzoli, 2002). In Figure 3, eight types of PSS are shown which are classified into the three main categories: product-oriented, use-oriented, and results-oriented.

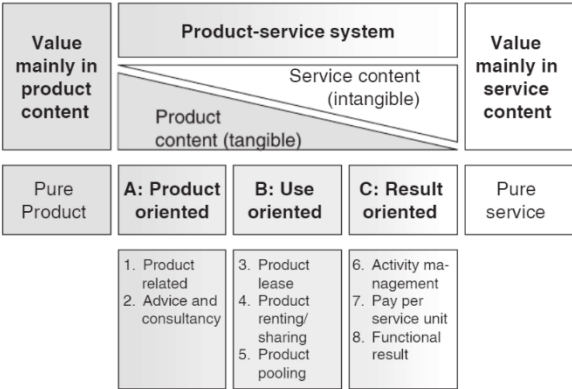


Figure 3. Product Service System (Tukker, 2004).

A. Product-oriented services: the aim of this business model is to sell products. The value of product-oriented service is mainly in (tangible) product content. However, in contrast to a traditional business model, product-related services, advice and consultancy are added. Examples of product-related services are maintenance, take-back agreement, and financing contracts.

B. Use oriented service: in this business model, the traditional product still plays a central role, but the business model is not aiming for product sales. Instead, the product stays in ownership of the provider who is responsible for the life cycle of the product. Provider assures the usability of the product along with service. The user makes continuous payment over time.

C. Result-oriented service: in this business model, the client and the provider agree on a result whereby no pre-determined product is involved. The client pays for the result. The focus lays on the client’s needs and the value is mainly delivered through (intangible) service content.

The categories differ from each other in the extent to which the tangible product is involved, in the intangible value belonging to the service level and in the distribution of product ownership (Tukker, 2015). When shifting from product-oriented service to result-oriented service, the ownership shifts as well, from the client to the provider, and the theoretical potential for environmental and economic improvements increases (Meghan O’Brien & Soren Steger, 2015). Due to the reallocation of ownership, the provider becomes responsible for all life cycle phases of a product, which stimulates the provider to enhance the life cycle in order to reduce or minimize the operational costs (Adrodegari et al., 2016).

Operational costs could be reduced through, for example, improved design, product life expansion and improved resource productivity. Therefore, some studies imply that the concept of PSS is suited in the transition towards CE (Bocken et. al, 2016; Michelini et al., 2017). Although a PSS can result in an environmental-economic win-win situation, this is not always the case due to, for example, rebound effect or irresponsible use (Manzini & Vezzoli, 2002; Tukker, 2015). Thus, even though PSS includes some of the CE principles, PSS does not necessarily lead to higher circularity or improved environmental performance.

In summary, PSS is a concept of integrated product and service offerings. There are eight types of PSS that differ in the extent to which the tangible product is involved in the service provision. Although, PSS is often associated with circularity and sustainability, applying one of PSS business models does not necessary lead to higher circularity or improved environmental impacts. Thus, even though there are similarities between PSS and CE, businesses and governmental entities should be aware of potential negative consequences of PSS. Therefore, it is important to analyse the situation from a macroscopic point of view before implementing PSS.

## 4. Infrastructure-as-a-Service in Theory and Practice

To get into the topic and to map what is already known about infrastructure-as-a-service with regard to the environmental performance and circularity, and to identify possible product-service scenarios that can be applied to the case study, literature research and semi-structured interviews were performed. The methodological steps are given in section 4.1 after which the insights from the literature and interviews are summarised in sections 4.2 and 4.3. Subsequently, the first two sub questions are answered in section 4.4.

### 4.1 Methodology

#### 4.1.1 Literature Research

To answer the first sub question, a literature review was performed. A search on “infrastructure-as-a-service” including related synonyms was conducted in Scopus and Google Scholar. The research showed that there was no scientific literature published on how to implement service characteristics in the delivery of infrastructure projects at the time the study was performed. However, the performed interviews indicated the existance of Huizing (2018) which is a master thesis research on infrastructure-as-a-service performed in collaboration with Delft University of Technology and Dura Vermeer, which was found in the educational repository of Delft University of Technology.

#### 4.1.2 Semi-structured interviews

To answer both first and second sub question, semi-structured interviews were performed with scientific expert in the field of infrastructure-as-a-service. Dr. D. F. J. Schraven from Delft University of Technology and the sustainability manager K. Mol from the construction company Dura Vermeer



were interviewed. Semi-structured interview with Dr. D. F. J. Schraven and K. Mol served to learn which PSS possibilities are there regarding infrastructure. The focus points of those interviews were economic feasibility, service contracts, practicability, material and energy utilization, material management, and maintenance. In addition, master student S. Hereijgers was interviewed about his research, in collaboration with Dura Vermeer, on the topic of value determination. Furthermore, contract manager P. Franken and deputy director D. Zwerk from the Directorate-General for Public Works and Water Management (RWS) (Dutch: Rijkswaterstaat) were interviewed because of their experiences with public-private partnership (PPP). An overview of interviewees and their positions is given in Table 1. Prior to the interviews, a lists of questions was prepared (Appendix A). The interviews were conducted in Dutch because all interviewees were Dutch native speakers and for some interviewees English was not working language.

*Table 1. List of interviewees.*

Dr. D. F. J. Schraven	Assistant Professor in Economics of Civil Infrastructures at TU Delft
K. Mol	Sustainability Manager at Dura Vermeer
S. Hereijgers	Graduate Student “De Circulaire Weg”
P. Franken	Project Manager at Movares & Contract Manager at RWS
D. Zwerk	Deputy Director of PPP unit at RWS
A. van der Sluijs	Senior Procurement Advisor and Contract Manager at Servicepunt71
R. van der Scheer	Project Coordinator Road Surfaces at the Municipality of Leiden

## 4.2 Integrated contracts: DBFM & DBFMO

This and the next subchapter summarise the insights from the interviews and from Huizing, 2018. In the two subchapters, the three different product-service contracts in the Dutch infrastructure sector are explained and compared.

Design-Build-Finance & Maintain (DBFM) and Design-Build-Finance-Maintain & Operate (DBFMO) are integrated contracts that are relatively new in the infrastructure sector (Figure 4). In the Netherlands, this contract is applied for the first time by RWS in 2005. In the DBFM contracts, a private party is responsible for design, construction, financing and maintenance, while in DBFMO contracts a private party is also responsible for operation (Lenfernik et al., 2013; Franken, 2021). In comparison to a traditional contract, the contractor is responsible for the object over a longer period. Usually, between 20 and 30 years. The idea behind the reallocation of responsibilities, from the government to a private party, is to assign them to the party that has the required knowledge and expertise (Lenfernik et al., 2013).

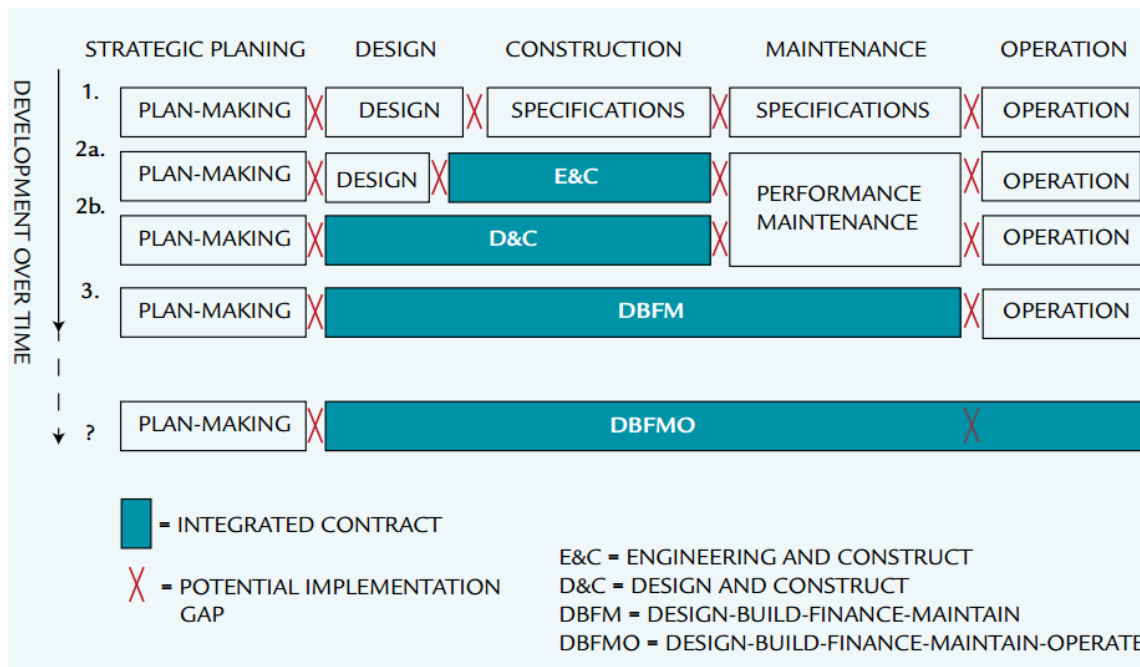


Figure 4. Development of integrated contracts in infrastructure sector  
(Lenferink et al., 2013, as shown in Huizing, 2019).

The integration of different lifecycle phases will lead to efficiency gains due to higher project control (Lenfernik et al., 2013; Zwerk, personal communication, April 7<sup>th</sup>, 2021). In DBFM contracts, changes are less likely to occur because any change will lead to high additional costs. The costs of a change are high because, in those costs, the additional maintenance costs for the whole lifecycle are included. The maintenance costs are not included in a traditional contract. Higher project control and less room for change will make it possible to deliver the project on time and within the budget. However, high additional costs related to a change, hamper innovation. This is a huge disadvantage considering that in a time frame of 20-30 years, which is the contract period, the technological and the environmental performance of used technology will probably be outdated.

Another concept of DBFM contracts that stimulates project delivery on time, is the payment mechanism. Traditionally, a one-off payment takes place, usually at the beginning of the contract which means that the client is the one who invests in the project. In the DBFM contract, the contractor is responsible for the financing and thus the investment, while he receives the first payment after the execution of the infrastructural product. The residual payment is done periodically based on the service provided. If the service is not provided according to the set agreements, the contractor does not receive the full periodical payment. Contractors usually fund the project with a dept from banks and/or private investors which leads to additional pressure to perform within the set agreements to be able to pay back the debt. After the debt is paid off, the contractor is still stimulated to perform well because in this period, usually the last 5 years of the contract, the contractor makes a profit which depends on the service provided.

A DBFM(O) contract is an availability-based contract. The availability can be measured in either physical availability or use. In case of physical availability, agreements are made on how many hours per year a road must be available for use. If a road, for example, has to be 99% of the time available, it means that the residual time is meant for the maintenance. If a contractor spends more time on maintenance as a result of inefficient and/or bad work, he will receive a penalty. The penalties for bad performance or unavailability of the road are defined beforehand. By measuring availability in use, instead of physical availability, Vehicle Lost Hours (VLH) is used as an indicator that indicated the total number of lost travel hours as a result of limited road capacity due to, for example, maintenance.

According to RWS, the DBFM contract is suitable for an infrastructure project of 60 million or more because, at lower prices, the cost advantages are low due to due diligence and high fees. It depends on the project, its position and used materials, whether it is suitable for a DBFM contract or not. For example, asphalt has a higher potential benefit than concrete because concrete is already a quite sustainable material. Therefore, the DBFM contract would be more suitable for asphalt roads because the higher cost and environmental benefits can be obtained there. Furthermore, Zwerk (personal communication, April 7<sup>th</sup>, 2021) claims that DBFM contracts are not suitable for infrastructure projects where big changes are predictable in the future such as infrastructure in the city centre that has a lot of connections with other infrastructure. In addition, DBFM is not the best option in infrastructure projects with complicated technical implications because, even though the responsibilities are reallocated from the government to a private party, public authorities still have to guarantee safety.

A DBFM(O) contract might result in positive environmental outcomes (Lenferink et al., 2013). However, sustainability and circular economy are, by definition, not the aims of DBFM(O) contracts (Franken, 2021). In addition, DBFM & DBFMO contracts could be classified as product-oriented PSS as both product (road) and service (i.e. the availability of road) are delivered by the contractor.

### 4.3 Infrastructure-as-a-service

In contrast to DBFM(O) contracts, product-service contracts do aim for improved environmental performance and increased circularity. Within product-service contracts, functional procurement, instead of technical specification, plays a central role. In contrast to other types of contract in the infrastructure sector, in product-service contracts the duration of contract is decoupled from the technical lifespan of the procured product. Furthermore, product-service contracts include the end-of-life phase of materials in the project life cycle, which is usually not the case in the other types of contracts.

In product-service contracts, the functional unit of the service is determined prior to the project. The functional unit can be the availability of the road, a certain Environmental Cost Indicator (ECI) or a percentage secondary material. The provider/contractor agrees with the client on the delivery of a

service where the provider is free to decide how to provide this service. Therefore, in contrast to DBFM contracts, product-service contracts foster innovation and entrepreneurship, which shows the most potential for economic and environmental benefits but is also associated with high risks. After it is decided which service (functional unit) will be procured, the costs related to the delivery of this service are estimated. The client pays this periodic service fee throughout the contract period. At the beginning and the end of the contract, the value of the asset will be determined. If the asset has a higher value at the end of the contract, the client has to pay the difference because the asset will be transferred back to him in a better state than when it was given to the contractor and the contractor must share the knowledge regarding the product with the client or a new contractor.

In contrast to the DBFM contracts, product-service contracts follow a lease construction in which the responsibility of the contractor does not lie in the provision of service only, but also in the responsibly handling of infrastructure object that the contractor gets in his ownership. In product-service contracts, the client stays the legal owner of the infrastructure asset while the contractor becomes the beneficial owner of the asset which means that the contractor is responsible for all lifecycle stages of the object throughout the contract period. If the contractor does not behave responsibly towards the asset, he will not make a profit and the client might terminate the contract earlier. Early contract termination will lead to a loss of investment that is, such as in the case of a DBFM contract, done by the contractor.

In Table 2, an overview is given of gained insights on economic aspects, circularity and environmental potential of DBFM(O) and product-service contract. The interview transcripts can be found in Appendix B.

*Table 2. Insights from the interviews regarding economic aspects, circularity and environmental potential of DBFM(O) and product-service.*

	<b>DBFM(O)</b>	<b>Infrastructure-as-a-service</b>
<b>Contract type</b>	Long term maintenance agreement.	Leasing construction.
<b>Functional unit of service</b>	Availability.	One or a combination of the following examples: availability, accessibility, safety, a certain ECI and/or % secondary material.
<b>Ownership</b>	Ownership remains with the client.	The contractor becomes the beneficial owner, which means that the contractor has contractual responsibilities during the contract period (Huizing, 2018). The client remains the legal owner and he is visible to third parties as the owner at the land register.
<b>Economic aspects</b>	Pre-investment is done by the contractor.	Pre-investment is done by the contractor.

	<p>First milestone payments are done after the execution of the infrastructure project.</p> <p>The client pays the residual payment periodically based on the availability/service provided for which fixed price agreements are made. If the road is less available than agreed the contractor gets a penalty fee.</p> <p>DBFM(O) contracts show potential for cost savings due to higher project control and less room for changes, after the commencement of the contract. However, it is not known yet if DBFM(O) contracts lead to a reduction in the total cost of ownership in the practice because all Dutch DBFM(O) projects are still running.</p>	<p>Costs related to the desired service delivery/functional unit are estimated at the beginning of the contract. The client pays this periodic service fee throughout the contract period. Furthermore, the (residual) value of the product is taken into account. The value of the object is determined at the beginning and the end of the project. The client pays the difference if the value of the product is higher at the end of the contract than at the beginning of the contract. If the contractor does not handle responsibly the product, the client can terminate the contract earlier.</p> <p>Even though, value determination is still under study, it is conceivable to set a maximum value, for which the client has to pay, and a minimum value at which the client can terminate the contract, to financially protect both actors.</p>
<b>Circularity</b>	<p>DBFM(O) contracts strive for cost savings which can be achieved by increased efficiency due to reallocation of responsibilities. A high efficiency could lead to a higher circularity. However, circularity is not one of the highest priorities within DBFM(O) contracts (Franken, 2021).</p> <p>To earn back the investments, DBFM(O) should last for at least 20-25 years. Therefore, DBFM(O) contracts focus on the extension of the contract period rather than the product's lifetime.</p>	<p>Within product-service contracts, the following three strategies might be used to increase the circularity: i) extension of product's lifetime by using durable materials and/or rejuvenation agents and by frequent small maintenances, ii) use of non-toxic or less toxic materials and iii) design for disassembly in order to receive a higher residual value for the materials.</p> <p>According to K. Mol, all materials can be reused for 100%. However, in general, a lot of materials are nowadays downgraded.</p>
<b>Environmental potential</b>	<p>By definition, DBFM(O) contracts do not aim for improved environmental performance. However, DBFM(O) contract might result in positive environmental outcomes (Lenferink et al., 2013), but they might have also negative effects due to, for example, outdated technology as a result of limited room for innovation.</p> <p>In DBFM(O) projects no renewable energy sources are used because of their intermittency, which forms a risk for the provision of service (Franken, 2021). Furthermore, at this moment, there are not many electric construction machines in the Netherlands (Van Nielen, personal communication, 2021).</p>	<p>The strategies used to increase circularity could lead to improved environmental outcomes. However, there is no environmental assessment of product-service contracts performed yet.</p> <p>Dura Vermeer did not consider using renewable energy because it is usually not profitable. However, the use of renewable energy could be a strategy to increase ECI if ECI is part of the procured functional unit.</p>

From the interviews, it became evident that product-service contracts do not entail standard agreements and practices regarding the provision of service, scope, design, maintenance practices and end-of-life options. The contract mainly depends on agreements made between the client and the contractor. In road-as-a-service contracts, different models are possible. A client can procure only a certain part of a road as service or he can procure a road in its entirety. In its pilots, Dura Vermeer provides only the road surface as a service, because a bigger scope makes the whole system even more complex.

Although, different agreements are possible in infrastructure-as-a-service contracts, to support CE in infrastructure projects and to successfully implement PSS characteristics in project delivery methods, certain general conditional state of affairs and changes are required that are given by Huizing, 2018 (Figure 5). Several of required changes are already discussed in the previous paragraphs.

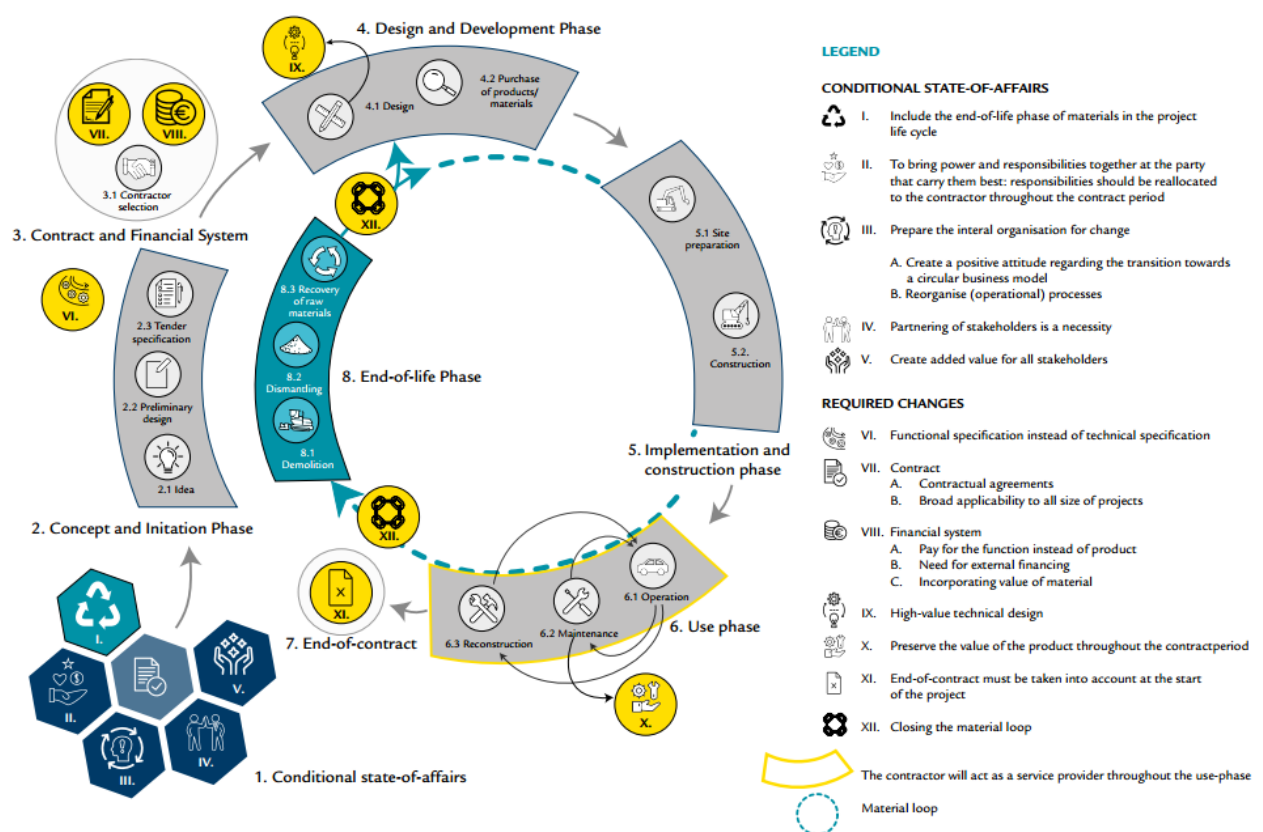


Figure 5. Infrastructure-as-a-service, as shown in Huizing (2018).

From this interview the civil servants at the municipality of Leiden it became clear that the two interviewed experts were not familiar with the DMBF(O) contracts nor the infrastructure-as-a-service. The reason why the municipality of Leiden did not implement DBFM(O) contracts was that they lacked required knowledge and were used to and were comfortable with the practices that they perform for years. Both reasons were identified in Huizing (2018) as two barriers for a change. After the results from Huizing (2018) and the interviews were presented to the civil servants at the municipality of Leiden, the following questions/concerns arose:

- 1. Is the distinction between legal and beneficial ownership feasible in the practice?*
- 2. How can influences from the surroundings be considered? / How to deal with building plans, traffic diversions, underground infrastructure etc.*
- 3. Improved environmental performance, higher circularity and cost savings can be also achieved in the traditional way. In that case, what are the reasons for a client to choose for infrastructure-as-a-service contracts?*
- 4. Besides that the contractor is driven by the profit, how can the contractor act for the benefit of the city if he is not involved in the city and does not have knowledge of it.*
- 5. How to deal with additional work burdens related to having several infrastructure-as-a-service projects running with different contractors?*

The first and the last concerns were also mentioned in Huizing (2018). Huizing (2018) concluded that the reallocation of responsibilities could be best organised through a contractual clause. However, contractually recording responsibilities forms a challenge since it must be ensured that all responsibilities are covered. From Huizing (2018), it is not clear if there is a possibility to split ownership in legal ownership and economic ownership considering that they are described as one type of ownership in the law. The concern regarding an additional burden on contract management as result of big diversity in contracts with different contractors was also mentioned by other municipalities in the interviews performed by Huizing (2018). No specific solution to this problem is given besides that a reorganisation of operational processes is necessary and therefore it is one of the conditional state-of-affairs. The other concerns, question 2, 3 and 4, were not addressed by Huizing (2018) nor the experts from TU Delft and Dura Vermeer. From this in can be concluded that more research is needed on the implementation of PSS in infrastructure projects before it can be implemented in the practice. In particular, there is more research needed from the perspective of client.

#### 4.4 Chapter summary and conclusion

The results of literature research and semi-structured interviews showed that no scientific research is performed on the environmental performance and circularity of infrastructure-as-a-service at the time that this study was performed. The concept of infrastructure-as-a-service is relatively new. As far as known, Huizing (2018) provides the only scientific research that provides a theoretical framework for the implementation of PSS in infrastructure projects. However, Huizing (2018) does not provide any quantitative assessment of infrastructure-as-a-service. At the time that this study was performed, another master student from Delft University of Technology was working on the topic of value determination of infrastructure objects in collaboration with Dura Vermeer but this research did not provide any

environmental assessment or the quantification of circularity of infrastructure-as-a-service. The results from the interviews showed that the infrastructure-as-a-service pilots of Dura Vermeer were in the initial stage. Therefore, quantitative results on their environmental performance and circularity were not available at the moment this master research was performed. The first results of the running pilots of Dura Vermeer can be expected at the end of this year, which is approximately four months after this master thesis research was defended.

In addition, the existing literature and interviews showed that product-service contracts do not entail standard agreements and practices regarding the provision of service, scope, design, maintenance practices and end-of-life options. The contract mainly depends on agreements made between the client and the contractor thus different scenarios are possible. However, according to the sustainability manager of Dura Vermeer, there are three strategies that might be used within product-service contracts to increase the circularity: i) extension of product's lifetime, ii) use of non-toxic or less toxic materials and iii) design for disassembly in order to receive a higher residual value for the materials. The latter refers to the reusability of the materials due to quality preservation.

## 5. Modelling Product-Service Systems through Life Cycle

### Assessment

LCA is a methodology for assessing environmental impacts of products at all lifecycle stages. To learn how LCAs for PSS are being performed and how to define a functional unit (FU), a literature research was performed. Even though LCA and PSS are well studied concepts on their own, the scientific literature on the combination of the two concepts is still emerging. Following the methodology given in section 5.1, three scientific articles were found that discuss environmental assessment of PSS. The insights from the articles are given in section 5.2 after which the third sub question is answered in section 5.3.

#### 5.1 Methodology

A search on “environmental quantification of PSS” including related synonyms, such as “PSS and LCA” and “modelling product-service system LCA”, was conducted in Scopus and Google Scholar. The relevance of the scientific papers was determined by their titles and abstracts. The articles were selected if they discussed challenges related to LCA of PSS or if they provided any guidelines. Other relevant scientific papers were found by snowballing. The results of the literature research were included in the background information.



## 5.2 Guidelines to assess PSS through LCA

The search on “environmental quantification of PSS” and the related synonyms led to three scientific articles that discuss the environmental assessment of PSS: Kjaer et al., 2016, Dal Lago et al. (2017) and Kjaer et al. (2018). In Kjaer et al. (2016), three different study scopes are distinguished that can be applied when evaluating the environmental performance of PSS:

1. PSS optimisation: evaluating different design options within the PSS itself by identifying the hotspots.
2. PSS comparison: comparing PSS to a predefined alternative with a similar functional outcome.
3. PSS consequences: system-level assessment that focus on assessing all relevant alternatives within the contextual system that have been influenced by the introduction of PSS.

In addition, Kjaer et al. (2016) identify three main challenges that arise when using LCA to evaluate environmental performance of PSS are i) identifying and defining the reference system, ii) defining the functional unit and iii) setting system boundaries.

The challenges related to the identification of reference system arise from the fact that LCAs are often done ex-ante, before implementation, when it is still unknown how the markets will change after the introduction of PSS. Thus, assumptions have to be made regarding behavioural changes of the consumers and other contextual factors such as technology development, government legislations and socio-cultural context.

When performing LCA, the general challenge regarding the definition of functional unit (FU) is to neither define it too broad nor too narrow. When modelling PSS through LCA, the challenge is to ensure that all relevant intangible elements are captured in one measurable FU. This is a challenge because PSS combines tangible and intangible elements. Therefore, a combination of sub-functions is often delivered that cannot be separated while sometimes those functions are not provided by the reference system.

When setting the system boundary, the challenge is to determine which processes to include and which to exclude; how to ensure a sufficient level of completeness and how to avoid leaving out potentially important contributing processes. In the case of PSS, it is vital to include products and services upon the use phase because a large share of the environmental impacts is not produced at the actual site of activity but during manufacturing (Kjaer et al., 2016).

The way to overcome the three main challenges depends on the study scope. In Figure 6, the recommendations per study scope, suggested by Kjaer et al. (2016), are given for each identified type of challenge.

Study scope	Reference system	Function unit	System boundaries
PSS optimization	The reference system is the existing PSS.	Can be defined as the function of the PSS.	All contributing flows including processes in the background system should be included in the assessment in order to identify all relevant hotspots and ensure completeness in boundary selection.
PSS comparison	The reference system is the comparable alternative(s).	Equivalence between compared systems needs to be ensured in terms of functionality (including specifying sub-functions) and quality. Discrepancies in perceived value should be listed and evaluated in regards to potential rebound effects.	Same as "PSS optimization," however concerns about level of completeness expand to also cover the compared systems.
PSS consequences	The reference system is the baseline situation without the PSS.	Same as PSS comparison, together with a broader definition of the FU that allows inclusion of all relevant substitutes as well as behavioural changes and changes in other affected systems.	Same as "PSS comparison".

*Figure 6. Recommendations to overcome the three main challenges when performing environmental assessment of PSS as presented in Kjaer et al. (2016).*

One year after Kjaer et al. (2016) published their paper, Dal Lago et al. (2017) provided a first set of guidelines for the environmental assessment of PSS. In addition to the three challenges that were identified by Kjaer et al. (2016) (reference system, FU and system boundary), Dal Lago et al. (2017) identified three other challenges: scope, service-related inventory and end condition. The main challenge of the scope definition is that rebound effects may occur after the PSS is introduced. Those effects are difficult to determine and therefore comparison between PSS and a traditionally sold product is difficult. Furthermore, unpredicted rebound effects and other indirect effects make it difficult to provide an inventory of needed materials, components and software that are used to provide the service. Lastly, Dal Lago et al. (2017) argue that PSS leads to so called impact transfer due to the need for ICT technologies that usually rely on nanomaterials and therefore increase the impact on the raw material depletion impact category.

A year after Dal Lago et al. (2017) provided the first set of guidelines, Kjaer et al. (2018) proposed another set of guidelines, which consist of six instead of eight steps. The guidelines of Kjaer et al. (2018) were considered as more clear and user-friendly because Kjaer et al. (2018) provide a more elaborate explanation of each step and they gives different examples. Therefore, the guidelines of Kjaer et al. (2018) were followed in this master research. The six steps and the corresponding sub-steps and LCA phases are shown in Figure 7.

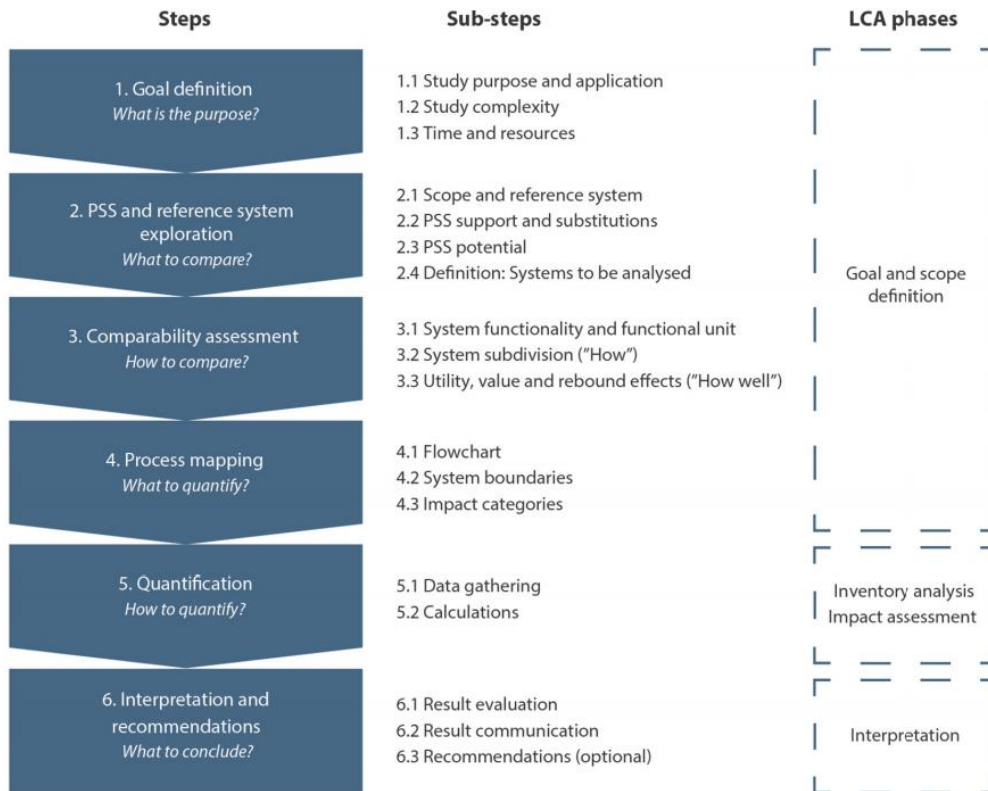


Figure 7. Guidelines on performing environmental assessment on PSS as proposed by Kjaer et al. (2018, p. 669).

In *Step 1*, the aim of the study, intended audience, the study complexity, time and available resources are defined. Subsequently, in *Step 2*, the scope of the study is decided by making a choice between: PSS consequences, PSS comparison and PSS optimisation. Furthermore, the relevant product system that is substituted by PSS, also called reference system, is identified based on the support that the PSS is providing: activity support, product support and platform support. When PSS is replacing or supporting an activity on behalf of the consumer, the reference system is the activity without the PSS support. When a product is offered as a service or supported through life cycle services, such as maintenance, repair and take-back service, the reference system is the product system without the PSS support. Lastly, platform support includes product and services that are offered on a platform for users. The reference system is the situation without PSS that includes all relevant substituted product systems. An example of platform support is car-sharing system and the reference system includes all other transport means such as private car, taxi, public transportation, biking etc. In *Step 3*, the FU is determined using the criteria defined by Kjaer et al. (2018), among which the quantity, duration and, if relevant, location of the functional outcome. Furthermore, Kjaer et al. (2018) stated that it is important not to lock the FU onto a parameter that might change as a consequence of PSS introduction, such as user behaviour. *Step 5* corresponds to the ISO 14044 guidelines on life cycle inventory and life cycle impact assessment. Finally, *Step 6* should highlight three main aspects that are avoided impacts, induced impacts and rebound effects.

## 5.3 Chapter summary and conclusion

In summary, the literature research showed that there are two studies that provide a set of guidelines to overcome the challenges when modelling PSS through LCA: Dal Lago et al. (2017) and Kjaer et al. (2018). The three challenges that were identified by both studies are the definition of FU, the identification and definition of the reference system and the determination of system boundaries. The guidelines of Kjaer et al. (2018) were found to be more elaborate and clear. Therefore those guidelines were used in the further research. According to the guidelines of Kjaer et al. (2018), FU should be determined by including the quantity, duration and, if relevant, location of the functional outcome. Furthermore, Kjaer et al. (2018) indicates that it is important not to lock the FU onto a parameter that might change with the introduction of PSS.

## 6. Life Cycle Assessment

In order to determine whether implementation of a PSS in the municipal procuring process of a brick-paved slow traffic road leads to improved environmental performance, Life Cycle Analysis (LCA) tool has been chosen because it is a useful tool in addressing the environmental impacts of products at all stages in their life cycle (Guinée et al., 2002). The concept and methodological steps of LCA are defined in ISO 14040 standards which were performed by following the guide provided in Guinée et al. (2002). To overcome the challenges related to the modelling of PSS through LCA, the steps proposed by Kjaer et al. (2017) were additionally performed to the standard LCA methodology. The discussion of those steps is given in Appendix D.

### 6.1 Goal & Scope Definition

#### 6.1.1 Goal definition

The goal of this LCA study is to compare a traditionally procured brick-paved slow traffic road with its as-a-service alternative to examine if possible service contracts lead to a reduction in environmental burden. Since the study is done pre-implementation of product-service road, this LCA study has ex-ante LCA characteristics meaning that several assumptions need to be made. However, the results from this study will provide valuable knowledge at a time when it is easier to influence the PSS design and strategies and to decide whether such procurement is worth the effort, time, and money. The results of this study will be used to add to the literature on the environmental impacts of PSS in the infrastructure sector and to advise the Municipality of Leiden on its procuring decisions. The targeted audiences are commissioners, academic readers, and purchasing advisors. This study does not aim at a comparative assertion disclosed to the public as the accessed product-service alternative is only an indication of a possible scenario.

The study is performed by Ivana Mandić as part of the graduation project for the master Industrial Ecology, joint degree, at the University of Leiden and Delft University of Technology. The

commissioners are Dr. B. Sprecher and Prof. Dr. Ir. C. A. Bakker who also performed a steering role throughout the project together with the supervisor from the municipality of Leiden: M. Sauer MSc. Next to the targeted audience, interested parties could be construction companies, other municipal employees than purchasing advisors, and fellow students. Finally, an expert review will be carried out by the first supervisor Dr. B. Sprecher.

### 6.1.2 Scope definition

This LCA study has been performed in the collaboration with Municipality of Leiden who provided the required data and assistance. When certain data from Municipality of Leiden or its suppliers were missing, Global or European markets from Ecoinvent database 3.4 and average process data from the latest versions of Nationale Milieudatabase (NMD) were used. Even though the latest version of the Ecoinvent database is 3.7, it was not possible to use Ecoinvent 3.7 because the used software, CMLCA, did not support it.

This LCA follows the Environmental Product Declaration (EPD) standard for the sustainability of construction works and services, EN 15804 (European Committee for Standardization, 2013). The framework established in EN 15804 standard consists of four phases: production phase, construction phase, use phase, end-of-life phase and benefits and loads beyond the system boundary (Table 3). This framework shows which processes should be considered per the life cycle phase. Stages A, B and C contribute to the impact of the structure under the study while stage D falls outside of product-service life. The total net impact can be calculated by subtracting the reduction in impacts obtained by the reuse and recycling of materials beyond the road life cycle from the total impact of the road. Even though Stage D is not always included in the LCAs of construction works, this study will account for Stage D because, in the eyes of the author of this master thesis, setting and following strict system boundaries, including geographical boundaries, will lead to conservative and incomplete results that do not represent the reality considering that the environmental emissions always cross system/geographical boundaries. Thus, economic activities within a certain geographical boundary do have environmental impacts on the surroundings and therefore those impacts should be taken into account. An overview of the included processes in this LCA study is given in Table 3. However, not all elements of the road are taken into the consideration for practical reasons. The focus of this LCA is on the upper layer of road construction that consists of pavers such as bricks and tiles, which is called the paving layer. From the received tender document, the components showed in Table 4 were included in this study. For the sake of illustration, a photo of each component is included in Appendix C.

Table 3. Included lifecycle phases and the corresponding processes (X: included in the study; NI: not included in the study).

ROAD ASSESSMENT INFORMATION														
ROAD LIFE CYCLE INFORMATION														SUPPLEMENTARY INFORMATION BEYOND ROAD LIFE CYCLE
Production phase			Construction phase		Use phase					End-of-life phase				Benefits and loads beyond the system boundary
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Extraction of raw materials	Transport to producer	Production	Transport to construction site*	Construction	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Demolition**	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling Potential
X	X	X	X	NI	X	X	NI	X	NI	X	X	X	X	X

\*Considering that new components were supplied during maintenance (B2) and replacement (B4), the A4 process was included in the study even though the construction process was not.

\*\* In this study, demolition (C1) represents the process of taking apart the road surface during maintenance (B2) and replacement (B4).

The performed LCA study is an attributional LCA as current demands, average processes and behaviours are taken into account because a change in the users behaviour was considered as unlikely since roads are used in the same way for decades. Furthermore, considering that the selected case study is located in the city centrum and that the municipalities are striving for zero emissions, it is assumed that the road will remain a slow traffic road, which means that foot passengers and bicyclist will remain the only users. Furthermore, the data used represents the current state of the technology used in the country. Transport by lorry was assumed to have EURO5 emission class.

### 6.1.3 Function, functional unit, alternatives, reference flow

The quantified function provided by the reference systems product-service system under study is the availability of paving brick slow traffic road surface. The FU is defined as the availability of 11,200 m<sup>2</sup> of paving brick slow traffic road surface for 40 years. The temporal boundary of 40 years was chosen because that is the year when replacement takes place. In this study, four alternatives were compared: the reference system and three product-service scenarios. The alternatives (also referred to as scenarios) are discussed in the next section. The reference flows that belong to the reference system is

‘availability of 11,200 m<sup>2</sup> of traditional paving brick slow traffic road for 40 years’, and the reference flow of the product-service alternatives is ‘availability of 11,200 m<sup>2</sup> of paving brick slow traffic product-service road for 40 years’.

#### 6.1.4 Scenarios

As concluded from the interviews, product-service contracts do not provide standard procedures regarding the provision of service, scope, design, maintenance practices and end-of-life options. However, to set a scenario for ex-ante LCA of product-oriented PSS, the two environmental strategies were considered that were mentioned in both the interviews and in the literature:

1. Extending the useful lifetime of the product
2. Reducing waste and optimizing end-of-life treatment

One of the mentioned strategies by K. Mol to extend the useful lifetime of a road is to use durable materials. Considering that in the selected case study, relatively durable and sustainable materials were used (Table 4), in contrast to asphalt roads for example, more sustainable alternatives for already used components were not conceivable. Furthermore, K. Mol from Dura Vermeer was not aware of existing more sustainable or circular design possibilities for paving brick roads. Therefore, the scenarios were mainly based on the second environmental strategy and it is assumed that the construction process of all alternatives was the same because the same design and materials were used. For that reason, the construction process was omitted. Another reason for omitting the construction process was the technical constrain of the used software, CMLCA. Even though the scenarios were mainly based on the second environmental strategy, it can be argued that the lifespan extension of products and materials is incorporated in the scenarios through reuse and repurpose.

*Table 4. Composition of the paving layer and the lifetime of each component.\**

Total paved surface = 11.200 m <sup>2</sup>			
<b>Component</b>	<b>Quantity</b>	<b>Unit</b>	<b>Lifetime (years)</b>
Clay brick	8664	m <sup>2</sup>	90
Cobbles	2535	m	100
Natural stone plate	1945	m <sup>2</sup>	100
Joint material	1865	m <sup>2</sup>	25
Edging of clay brick	688	m <sup>2</sup>	90**
Concrete edging	522	m	50
Polymer concrete line gutters	134	m	50
Concrete curbs	38	m	50
Concrete pavers	3	m <sup>2</sup>	50

*\*The reported lifetimes were received from Municipality of Leiden.*

*\*\*Assumed to be 90 years because it is made of clay brick.*

## Scenario 1: Baseline

The first scenario is the scenario that describes the current maintenance practices in the Municipality of Leiden. The major maintenance (B2) is done every 20 years during which 15-20% new material is needed due to losses and breakage. The replacement (B4) of concrete components is done every 40 years seen that their lifetime is 50 years, while components with a longer lifetime are reused. The assessment is performed considering 17.5% material losses, which is the average percentage, or the median, of 15-20%. The maintenance and replacement schema of the baseline scenario is shown in Table 5. Furthermore, it is assumed that 70% of released material is downcycled to granulate and that 30% is reused in another object, except joint material. When accounting for 30% reuse in Stage D, in total 88% of each road components is reused and 12% is recycled.

*Table 5. Scenario 1: Baseline scenario. Current maintenance and replacement scheme of Municipality of Leiden.*

<b>Stage</b>	<b>A5</b>		<b>B2</b>		<b>B4</b>	
<b>Process</b>	<b>Construction</b>	<b>Major maintenance</b>		<b>Replacement</b>		
<b>Timeline</b>	<i>Year 0</i>	<i>Year 20</i>		<i>Year 40</i>		
		New	Reused	New	Reused	
Concrete pavers		17.5%	82.5%	100%	0%	
Concrete curbs		17.5%	82.5%	100%	0%	
Polymer concrete line gutters		17.5%	82.5%	100%	0%	
Concrete edging		17.5%	82.5%	100%	0%	
Joint material		100%	0%	100%	0%	
Natural stone plate		17.5%	82.5%	17.5%	82.5%	
Cobbles		17.5%	82.5%	17.5%	82.5%	
Clay bricks		17.5%	82.5%	17.5%	82.5%	

*Additional information: in Stage D, 70% of released material is downcycled to granulate and 30% is reused.*

## Scenario 2: Product-service

The next scenario is the first product-service scenario that differs only in end-of-life treatment from the baseline scenario. In contrast to the baseline scenario, in which 30% of residual paving material is reused beyond the system boundary and 70% is recycled, in Product-service scenario, it is assumed that 99% of residual paving material is reused or repurposed. The remaining 1% is considered as losses. Thus in Product-service scenario, the end-of-life treatment is optimized and the useful lifetime of the components is extended by assuming that components are reused or repurposed instead of downcycled to granulate because downcycling is one of the two least circular and sustainable end-of-life strategies (Figure 1). The joint material was considered as waste according to the instruction manual of the producer (Geobind b.v., n.d.).



### Scenario 3: Product-service +

The third scenario is product-service+ scenario in which the major maintenance and the replacement also take place after 20 and 40 years, respectively. In contrast to the baseline scenario and the second scenario, the material losses are considered to be 12%, which is the average breaking percentage of clay bricks (CE Delft, 2020). Therefore, 12% was considered as the theoretical minimum. It is assumed that the same percentage applies for concrete components, cobbles and natural stone tiles. Considering that clay bricks, cobbles and natural stone tiles have a lifetime that is longer than 40 years, it is assumed that only broken clay bricks, cobbles and natural stone tiles are replaced during replacement (Table 6). The remaining 88% is reused. In addition, it is assumed that all residual material, from the maintenance and replacement, was repurposed and reused outside the system boundary, such as in the second scenario. Also in this scenario, it is assumed that joint material, Georapid, is disposed of as waste.

Table 6. Scenario 2: Product-service+ scenario.

<i>Stage</i>	<b>A5</b>		<b>B2</b>		<b>B4</b>	
<i>Process</i>	<b>Construction</b>	<b>Major maintenance</b>		<b>Replacement</b>		
<i>Timeline</i>	<i>Year 0</i>	<i>Year 20</i>		<i>Year 40</i>		
		New	Reused	New	Reused	
Concrete pavers		12%	88%	100%	0%	
Concrete curbs		12%	88%	100%	0%	
Polymer concrete line gutters		12%	88%	100%	0%	
Concrete edging		12%	88%	100%	0%	
Joint material		100%	0%	100%	0%	
Natural stone plate		12%	88%	12%	88%	
Cobbles		12%	88%	12%	88%	
Clay bricks		12%	88%	12%	88%	

*Additional information: in Stage D, all released material is for 100% reused.*

### Scenario 4: Product-service++

In the previous scenario, Product-service+ scenario, it was assumed that the concrete components were entirely replaced in Stage B4. However, 12% of each concrete component was replaced by a new one during maintenance, meaning that 12% of the concrete components is in the use for only 20 years at the moment when the replacement is done. Hence, those components are not maximally utilized. Therefore, to increase material utility, the use of a material passport was considered for the product-service++ scenario because in the presence of a material passport the age and the exact location of each component could be tracked down, which will make it possible to reuse the components that are not at the end of their lifetime. By using a material passport in the combination with a quality check, the useful lifetime of the components can be extended and waste can be reduced, which is in the line with the two environmental strategies that are likely to be applied in product-service scenarios. In product-service++ scenario, it was assumed that 88% of the concrete components, instead of 100%, was replaced in Stage B4. The remaining 12% was reused. Thus the

assumption was made that all 12% of the newly applied concrete components during maintenance were in a good condition at the time when the replacement was done. The maintenance and replacement schema of the product-service++ scenario is shown in Table 7.

Table 7. Scenario 3: Product-service++ scenario.

<i>Stage</i>	<b>A5</b>		<b>B2</b>		<b>B4</b>	
<i>Process</i>	<b>Construction</b>	<b>Major maintenance</b>		<b>Replacement</b>		
<i>Timeline</i>	<i>Year 0</i>	<i>Year 20</i>		<i>Year 40</i>		
		New	Reused	New	Reused	
Concrete pavers		12%	88%	88%	12%	
Concrete curbs		12%	88%	88%	12%	
Polymer concrete line gutters		12%	88%	88%	12%	
Concrete edging		12%	88%	88%	12%	
Joint material		100%	0%	100%	0%	
Natural stone plate		12%	88%	12%	88%	
Cobbles		12%	88%	12%	88%	
Clay bricks		12%	88%	12%	88%	

*Additional information: in Stage D, all released material is for 100% reused.*

## 6.2 Inventory Analysis

### 6.2.1 System boundaries

In LCA, there is a distinction between environmental (elementary) and economic flows. Environmental flows are the ones that enter or leave the product system without human intervention while economic flows are flows of products, services and waste managed by humans (Guinée et al., 2002). Direct emissions to air, soil and water are considered as environmental flows. However, for some flows, it is difficult to determine if they are part of the environment or the economic system (Guinée et al., 2002). Examples of such flows are water or (agricultural) soil. In this LCA, water inputs and soil inputs, such as sand, are treated as economic flows because they underwent human interventions prior they use (e.g. purification, transport etc.). Furthermore, waste streams are considered as economic flows because they are treated by humans.

### 6.2.2 Cut-off

This study excludes the layers under the paving layer which are bedding, base, Geo-textile, sub-base and underlying sewer infrastructure. Furthermore, lighting objects and the corresponding cable infrastructure is excluded as well as street furniture (e.g. bicycle clamps, waste bins, benches and road signs), green objects (e.g. plants and trees) and machinery used for the maintenance. In addition, packaging material such as pallets and shrink film are excluded. Those economic inputs were excluded following the cut-off rule due to their relatively small contributions or for the sake of system simplification. An additional reason to exclude lighting objects and street furniture is that they can be considered as separate case studies. In the Netherlands, already a few cases are known of PSS implementation in the procurement of light and street furniture and the corresponding environmental performances.

## 6.2.3 Flowchart

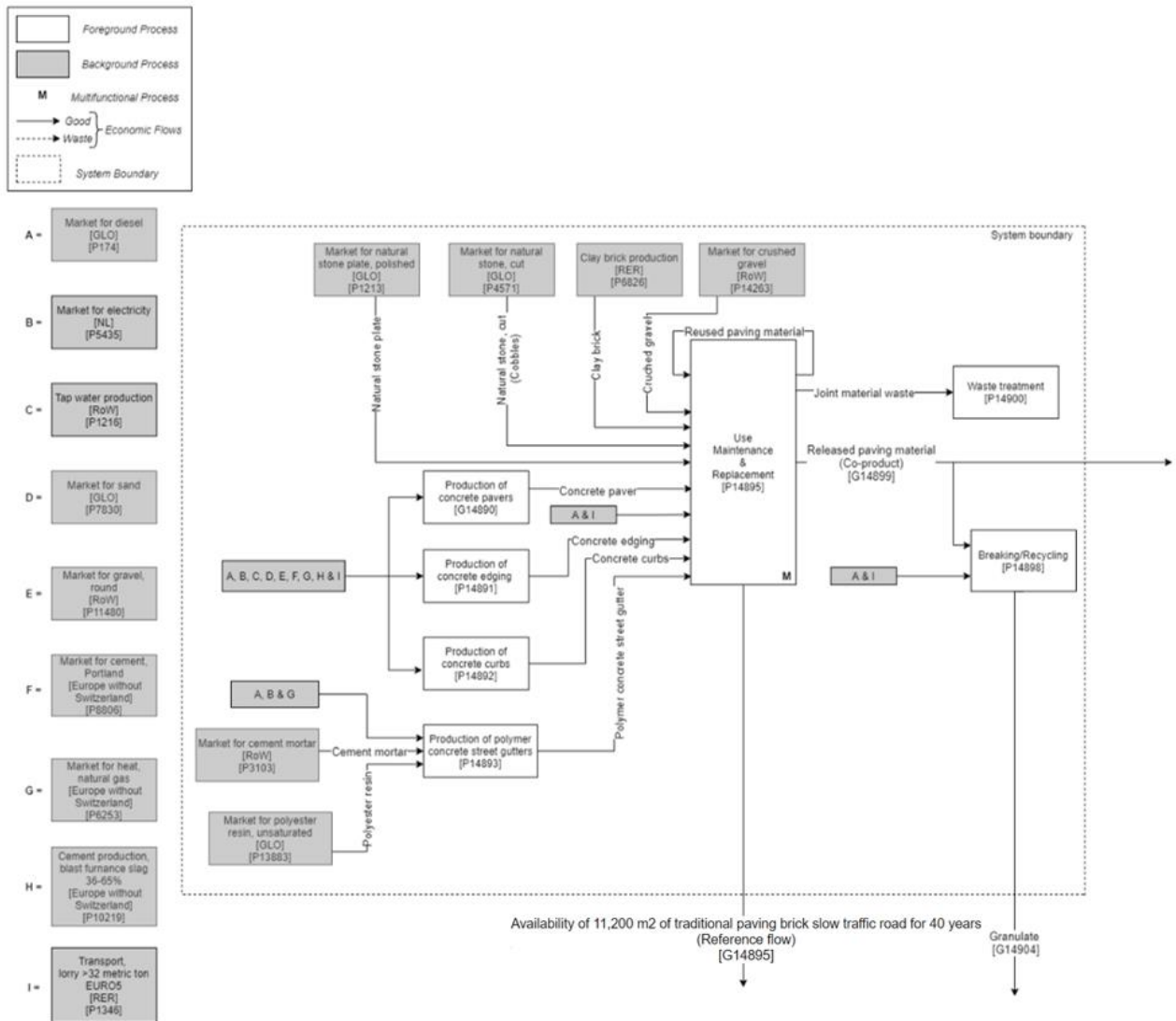


Figure 8. Flowchart of Baseline scenario.

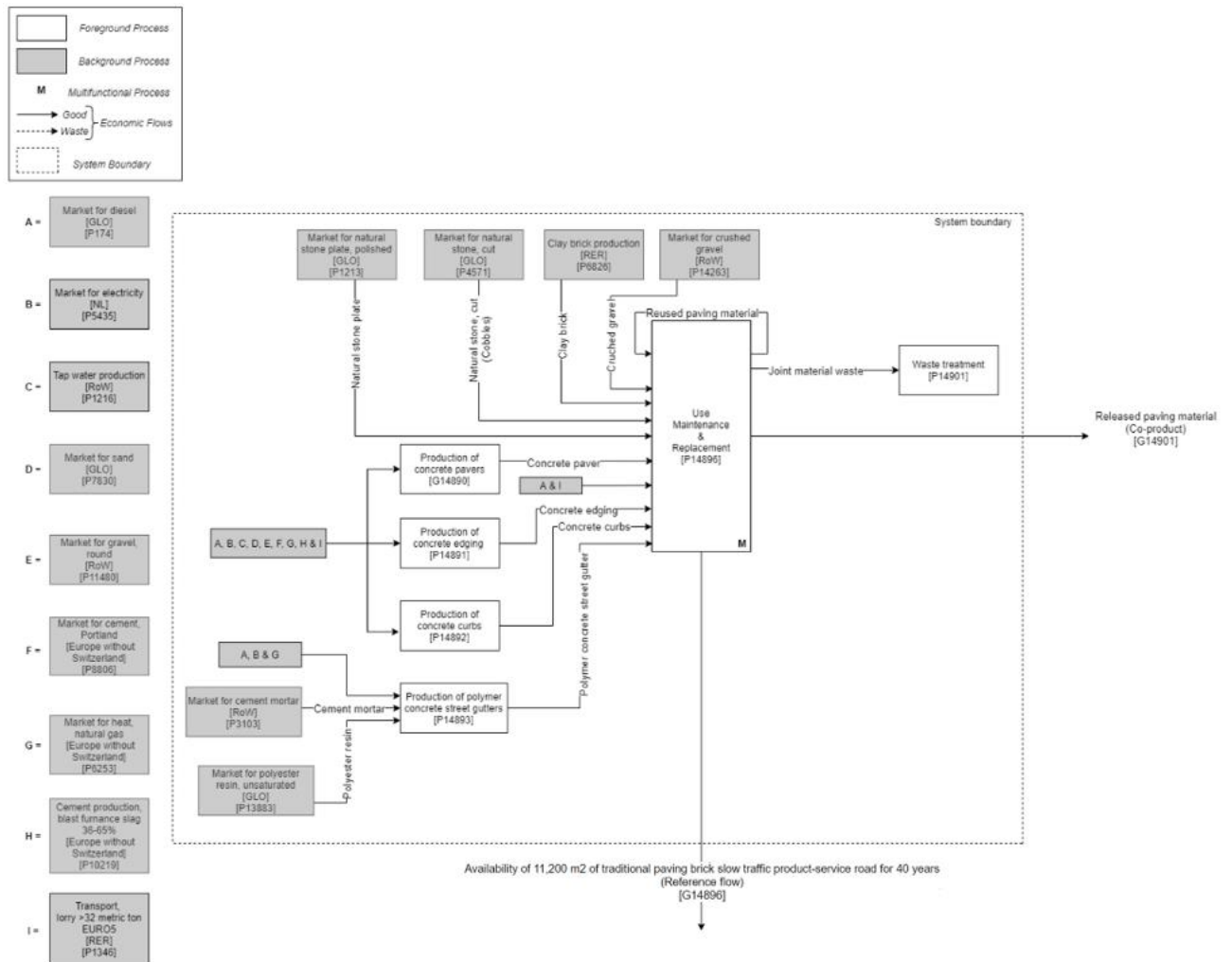


Figure 9. Flowchart of the product-service alternatives.

## 6.2.4 Data collection and relating data to unit processes

The tender document received from the municipality of Leiden served as a starting point for the data collection. The tender document was studied after which different components of the paving layer were listed and sorted into the following groups: clay bricks, joint material, concrete pavers, concrete edging, concrete curbs, cobbles, polymer-concrete street gutters and natural stone pavers. The list of all components including their specifications is included in Appendix G. The total quantity of each group of components was calculated by summing up the quantities of different components that belong to the corresponding group. The common units used in the tender document were meters, square meters or cubic meters. However, for some materials, the units had to be converted to kilograms because background process markets from Ecoinvent 3.4 database had to be used due to lack of local production data. The background markets were used instead of background production processes because markets include transportation and losses. The specifications of components that were needed for the

calculations, such as mass and density, were found on the websites of their suppliers, whose names were provided by Municipality Leiden. When certain specifications were missing, the average component specifications were used because additional documentation that includes this information was not received from the municipality.

### Production phase: A1 Extraction of raw materials, A2 Transport to producer and A3 Production of road components

Background process markets were used for the following components: clay bricks, joint material, cobbles and natural stone pavers. For the concrete components, the production and transport were modelled as foreground processes. The data on the required quantities of sand, grind, cement, water and secondary concrete per the unit of concrete was found in NMD. The used raw data is included in Appendix G. The transport of sand and grind to the producer of concrete components was already included in the background process markets. For the required cement types (I and III A) background production processes were used and therefore the transport to the producer was assumed to be 300 km because most cement used in the Netherlands usually comes from Germany (NMD, 2020). Thus, it was assumed that concrete components were produced in the Netherlands. For the transport of secondary concrete, a distance of 50 km was assumed, given the great availability of this material (NMD, 2020). The transport of each raw material per unit of concrete component is given in tkm in Appendix G. Foreground transport is assumed to be done by lorry (>32 metric ton) with EURO5 emissions. The required energy for the production of m<sup>3</sup> concrete is given in Table 8. The data was found in NDM, which was based on two LCA studies performed in 2011 and 2012. The volume per functional unit of each tile was calculated using the dimensions which were found in the tender document.

*Table 8. Required energy for the production of 1 m<sup>3</sup> concrete.*

<b>Goods</b>	<b>Quantity</b>	<b>Background process</b>	<b>Database</b>
Electricity	20.00 kWh	Electricity, medium voltage_market for electricity, medium voltage, NL	Ecoivent 3.4
Diesel	9.00 MJ	Diesel, burned in building machine_market for diesel, burned in building machine, GLO	Ecoivent 3.4
Heat	31.65 MJ	Heat, district or industrial, natural gas_market for heat, district or industrial, natural gas, Europe without Switzerland	Ecoivent 3.4

### Construction phase: A4 Transport to the construction site

As mentioned before, the background process markets were used for sand, clay bricks, joint material, cobbles and natural stone pavers which means that the transportation of those components was already included in those markets. For the other components, the distances from the suppliers to the construction site were determined by calculating the average of all possible routes that were given in Google Maps. Also here transport by lorry (>32 metric ton) and EURO5 emissions were assumed.

### Use phase: B1 Use, B2 Maintenance, B4 Replacement

The use of slow traffic road (B2) is free of emissions. However, the use *phase* is not emission-free because of maintenance (B2) and replacement (B4) during which diesel construction machines were used to disassemble and assemble the road surface. Diesel consumption in L/h of each machine was found in NMD. In addition, it was assumed that placing 1 m of concrete curbs, line gutters and concrete edging requires the same amount of energy as laying 1 m<sup>2</sup> of concrete pavers. The number of hours needed to lay each component was also found in NMD.

### End-of-life: C1 Demolition, C2 Transport, C3 Waste processing, C4 Waste disposal

As previously mentioned, in this study, the demolition process (C1) is combined with maintenance (B2) and replacement (B4) because during maintenance and replacement the road surface has to be disassembled before new or reused components can be put back in place. For the disassembly of the road surface, during maintenance (B2) and replacement (B4), the same type of wheel loader was used such as for the assembly. However, the amount of time needed for the demolition is less than for the construction. The number of hours needed to remove one unit of each component was found in NMD. The construction company that was the contractor during the reconstruction project of Haarlemmerstraat and Lange Mare stated that all demolished paving was sold and transported to Germany where it was broken down to granulate which is usually used as sub-base under the roads. Since paving was transported to Germany, an average distance of 300 km was assumed. The amount of diesel needed for waste processing (C3), which is the breaking of pavers to granulate, is given in Appendix G. Waste disposal (C4) was modelled by copying and adjusting [P4086] Treatment of inert waste, inert material landfill unit process from Ecoinvent 3.4.

### Benefits and loads beyond the system boundary: D Reuse, Recovery, Recycling

The granulate that is produced in C3 is used as foundation material for roads or as aggregate in concrete production. Considering that the produced granulate consists for the most part of crushed clay bricks, it cannot be considered as concrete granulate. The produced granulate can substitute sand or gravel. In this study, it was assumed that gravel was substituted. The benefits and loads beyond the system boundary were calculated by modelling avoided economic flows and processed in CMLCA.

After which the calculated impacts were subtracted from the previously calculated total impacts of each alternative.

### 6.2.5 Multi-functionality and allocation

As shown in the flowcharts, each alternative has one multi-functional unit process that is *Use, maintenance & replacement*. These unit processes are co-production processes because the outflow of paving material was considered as good and not as waste because the released material was bought up to another company which shredded it to granulate (Sloos & Zoons B.V., personal communication, March 24<sup>th</sup>, 2021). Thus the release paving material had a certain market value and therefore it is not considered as waste because waste is considered as a flow between two processes with an economic value smaller than zero (Guinée et al., 2002).

Considering that the maintenance is required to provide availability of a road on the desired quality and security level, the choice was made to allocate all upstream emissions to the reference flow. The upstream emissions were not allocated to the released paving material because the released paving material was considered as a by-product of maintenance, of which the aim was to provide availability. To allocate the environmental flows to one single economic output, in this case, the reference flow, the standard partitioning was used by entering the 1 (100%) coefficient for each reference flow and 0 (0%) for the released paving material. The economic and physical allocation could not be used because the market prices of both economic outputs were unknown and because the two economic outputs had different units.

### 6.2.6 Results of inventory analysis

The list of inventory analysis results can be found in Appendix G under sheet 'Inventory results'.

## 6.3 Impact Assessment

### 6.3.1 Impact categories, characterization models, category indicators, characterization factors

The performed LCA was a comparative midpoint LCA as it aims for comparison of the alternatives on impact category level. Therefore CML Baseline 2001 family was chosen because it is a midpoint-oriented family, which contains fewer assumptions in comparison with endpoint-oriented families (Bare et al., 2002). In this study, all 10 impact categories of the CML Baseline 2001 family were selected: acidification, climate change, eutrophication, freshwater aquatic ecotoxicity, human toxicity, photochemical oxidation, stratospheric ozone depletion, terrestrial ecotoxicity, abiotic depletion minerals and abiotic depletion fossils.

### 6.3.2 Characterization results

The characterization results per CML impact category of each alternative are given in Appendix G under sheet ‘Characterization results’. The results were compared relative to the baseline scenario. The comparative characterization results are shown in Appendix E. The impacts of each intervention, which was incorporated in the scenarios, on climate change, freshwater aquatic ecotoxicity and stratospheric ozone depletion are shown in Figure 10. The reason why freshwater aquatic ecotoxicity and stratospheric ozone depletion are included in Figure 10 is that these two impact categories were respectively the most and the least affected by the product-service alternatives when compared to the baseline scenario. In addition, the total change in the environmental impacts, relative to the baseline scenario, is given when all three interventions are combined, which corresponds to the product-service++ scenario.

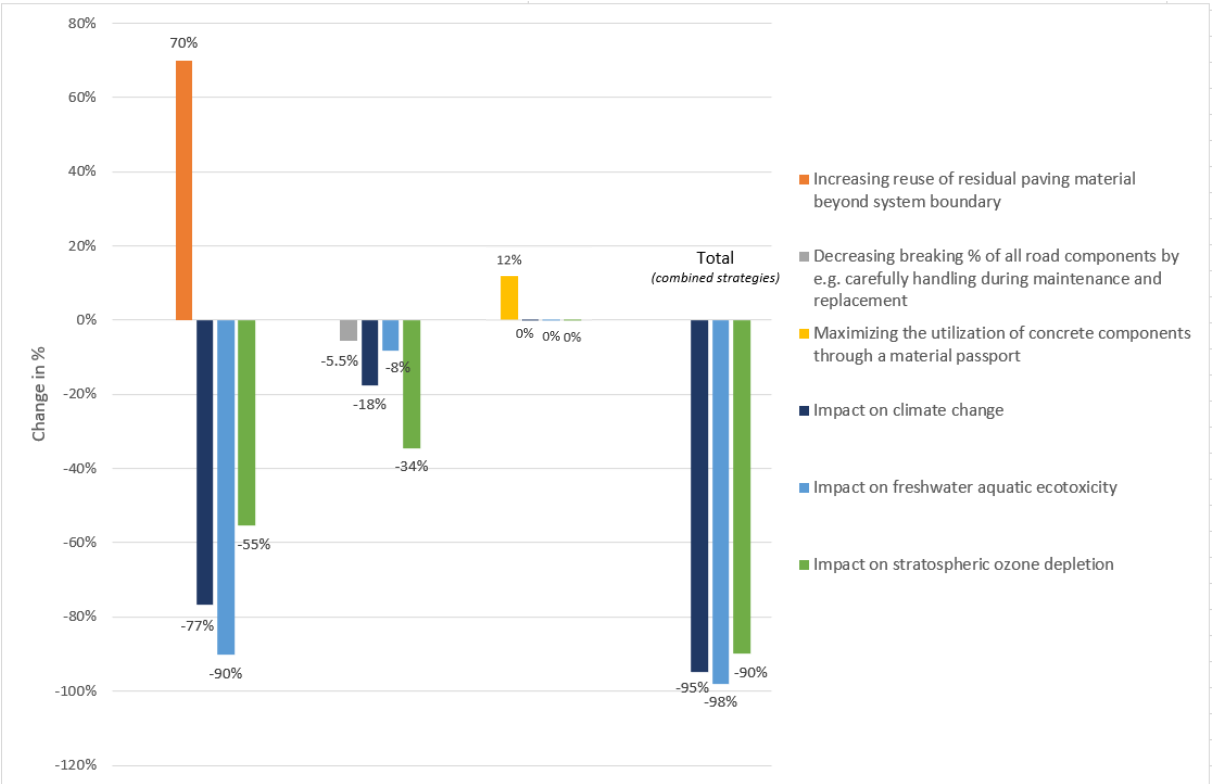


Figure 10. The environmental impacts of the three interventions that were incorporated in the scenarios.

The results show that improving the baseline scenario by reusing and repurposing 70% more residual material beyond system boundary instead of downcycling it will lead to 77% less CO<sub>2</sub>-eq emissions, 90% less freshwater aquatic ecotoxicity and 55% less stratospheric ozone depletion. In the next scenario, which was the product-service+ scenario, the breaking percentage of all road components, except joint material, was decreased by 5.5%, which led to further reduction of CO<sub>2</sub>-eq emissions by 18%, reduced freshwater aquatic ecotoxicity by 8% and reduced stratospheric ozone depletion by 34%. Furthermore, the results showed that increasing utilization of concrete components by 12% by using a



material passport will not lead to significant improvements of environmental impacts. When combining all three initiatives, which was done in the product-service++ scenario, CO<sub>2</sub>-eq emissions can be reduced by 95%, freshwater aquatic ecotoxicity by 98% and stratospheric ozone depletion by 90%, relative to the baseline scenario.

## 6.4 Interpretation

### 6.4.1 Consistency check

The consistency check is performed to determine whether the methods, scenarios, data and assumptions are consistent with the goals and scope of the study (Guinée, 2002).

*Table 11. Consistency check results.*

<b>Check</b>	<b>Baseline</b>	<b>Product-service</b>	<b>Product-service+</b>	<b>Product-service++</b>	<b>Comparison</b>	<b>Action</b>
Data source	Primary and secondary	Primary and secondary	Primary and secondary	Primary and secondary	Consistent	No
Data accuracy	Good	Good	Good	Good	Consistent	No
Data age	2017-2020	2017-2020	2017-2020	2017-2020	Consistent	No
Technology coverage	State-of-the-art	State-of-the-art	State-of-the-art	State-of-the-art	Consistent	No
Time-related coverage	Recent	Recent	Future	Future	Not consistent	No
Geographical coverage	The Netherlands and Germany	The Netherlands and Germany	The Netherlands and Germany	The Netherlands and Germany	Consistent	No

### 6.4.2 Completeness check

This study was checked for false assumptions, model choices and data by M. Sauer and subsequently by Prof. Dr. Ir. C. A. Bakker and Dr. S. Sprecher. The economic flows that were not followed to the system boundary are discussed in Chapter 3 under the title: Cut-off. The study does not include all layers of the road but only the upper layer. For all three alternatives, the same economic flows are excluded.

### 6.4.3 Contribution analysis

The contribution analysis at the level of life cycle stage contributions was performed by modelling stage-by-stage. The distinction was made between three life cycle stages: i) supply of paving material that includes extraction of raw materials, production and transport, ii) use phase that consists of use, maintenance and replacement activities, and iii) end-of-life phase that includes recycling and waste processing. The results of the contribution analysis at the level of the life cycle stage are given in Appendix E. The results show that, for each alternative, the supply of paving material has by far the largest contribution, between 83% and 98%, to all impact categories. From the results, it can be concluded that the contribution of the end-of-life stage, of each alternative, is negligible.

The second contribution analysis was performed using the built-in function of CMLCA by which both processes and elementary flows were not aggregated. By doing so, the results were obtained that show the contribution of processes and the corresponding elementary flows. Subsequently, the

processes and the related elementary flows were manually aggregated into the corresponding end-product to which they are contributing. The results are shown in Figure 11. The results show that in 4 out of 10 impact categories, the major contribution can be attributed to the sum of products that account for less than 1%. However, when considering contribution *per product*, electricity has the largest contribution in 7 out of 10 impact categories: abiotic depletion minerals, terrestrial ecotoxicity, photochemical oxidation, human toxicity, freshwater aquatic ecotoxicity, eutrophication and acidification, which is the case for each alternative. Furthermore, for each alternative, diesel has the largest contribution in 2 out of 10 impact categories: abiotic depletion fossil fuels and stratospheric ozone depletion, while clay brick production has the largest impact on climate change. The biggest difference in the contributions between the two alternatives is observed for acidification and climate change impact categories where the contribution of transport by lorry is significantly decreased with the implementation of the product-service scenario.

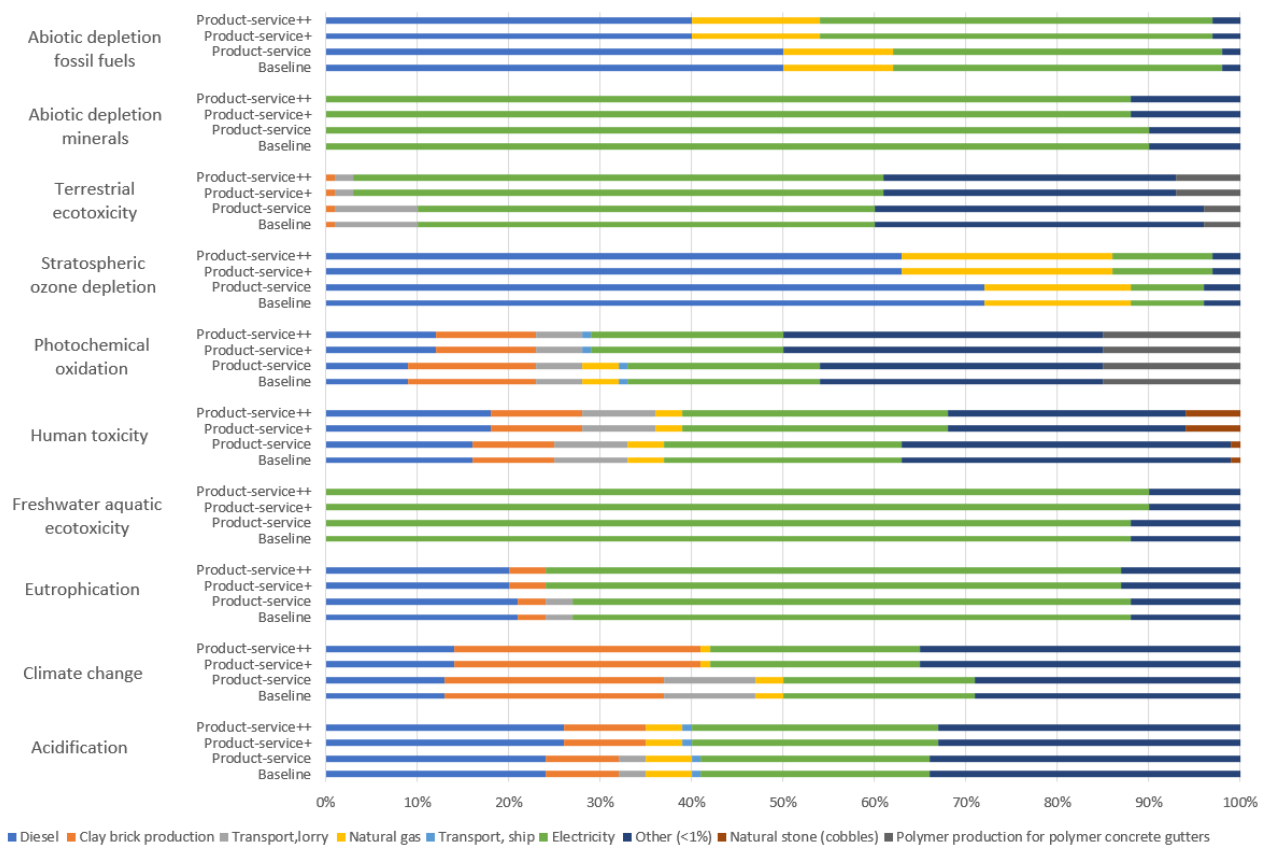


Figure 11. Results of the contribution analysis at the level of product.

## 6.4.4 Sensitivity analysis

### A. Changing family

To assess the robustness of the results, several sensitivity analyses were performed. The first sensitivity analysis was performed by changing CML Baseline 2001 family to PEF ILCD Midpoint. The goal of this sensitivity analysis was to assess the influence of the family choice on the characterization

results. PEF ILCD Midpoint was chosen because it is used to harmonize LCA studies (Openlca.org, 2020). The comparative characterization results of PEF ILCD Midpoint family are shown in Appendix E. When compared to the results of the CML Baseline 2001 family (see Appendix E), the same pattern in the comparative characterization results was observed.

## B. Transition to green electricity

Considering that electricity is the biggest contributor to 7 out of 10 impact categories and diesel to 2 out of 10, a consideration was made to substitute [P2907] *Dutch market for electricity*, [P174] *Diesel, burned in building machine* and [P1346] *Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5* by [P10933] *Electricity production, wind, 1-3MW turbine, offshore [NL]* in all **foreground** processes to assess environmental gains related to renewable energy use. The choice for offshore wind was made because this renewable energy source is predicted to have the biggest share in the electricity mix in 2030 (Urgenda, 2019). The amount of diesel that is used for the production of concrete components and for the recycling of paving material was substituted by electricity by converting the number of MJ of diesel to kWh of electricity. By doing so, the assumption was made that the diesel machines and their electrical alternatives have the same efficiency. This assumption was made because electrical alternatives to the diesel machines that were used in the production processes of concrete component and the recycling process were not available on the market. The opposite was true for electrical alternatives to the diesel building machines that were used during maintenance and replacement. The electricity consumption of those electrical alternatives was found in NMD. Lastly, diesel used for the transportation was substituted by green electricity by copying and adjusting [P1346] *Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5* unit process. In this unit process, the mass of diesel needed to transport 1 tkm was 0.0192 kg which corresponds to 0.02307 L/tkm. By using the calorific value of diesel, the number of MJ needed to transport 1 tkm was calculated and converted to kWh. The diesel input in the copied unit process was deleted and [G10933] *Electricity, high voltage, wind, 1-3MW turbine, offshore [NL]* was added. The corresponding characterization results and the change in results relative to the old scenario are shown in Table 9.

*Table 9. Sensitivity analysis: characterization results and the corresponding changes as result of offshore wind energy use.*

Impact category	OLD	NEW	Unit	Change
Acidification	1.64E3	1.35E3	kg SO2-Eq	-18%
Climate change	4.05E5	3.71E5	kg CO2-Eq	-8%
Eutrophication	5.25E2	4.71E2	kg PO4-Eq	-10%
Freshwater aquatic ecotoxicity	8.22E4	8.47E4	kg 1,4-DCB-Eq	3%
Human toxicity	2.02E5	1.91E5	kg 1,4-DCB-Eq	-5%
Photochemical oxidation	8.33E1	7.36E1	kg ethylene-Eq	-12%
Stratospheric ozone depletion	4.04E-2	2.54E-2	kg CFC-11-Eq	-37%

Terrestrial ecotoxicity	7.95E2	7.59E2	kg 1,4-DCB-Eq	-5%
Abiotic depletion minerals	7.61E0	8.29E0	kg Sb-Eq	-9%
Abiotic depletion fossils	5.38E6	4.24E6	megajoule	-21%

The results show a decrease in environmental impacts of all impact categories except freshwater aquatic ecotoxicity, for which the smallest change was observed (+3%). The biggest change (-37) was observed for the stratospheric ozone depletion impact category. It is remarkable that the change in the results of the climate change impact category is only -8%. The reason for this is that only the foreground processes were adjusted meaning that the major contributions are coming from the used background processes.

## 6.5 Chapter summary and conclusion

In Chapter 6, the LCA structure given in ISO14040 guidelines was followed to assess if product-service alternatives have environmental benefits over a traditionally procured brick-paved slow traffic road. The assessed FU was ‘availability of 11,200 m<sup>2</sup> of paving brick slow traffic road surface for 40 years’ and the focus was on the upper layer of the road that consists of paving material. The product-service scenarios were based on the two environmental strategies found in the literature and mentioned by the sustainability manager of Dura Vermeer: i) extending the useful lifetime of the product and ii) reducing waste and optimizing end-of-life treatment. Taking the two environmental strategies as a starting point, three possible product-service scenarios were set: i) Product-service, ii) Product-service+ and iii) Product-service++. In the first product-service scenario, the baseline scenario was improved by increasing reuse and repurpose of residual paving material by 70%. In contrast to the baseline scenario, in the first product-service scenario, the end-of-life treatment is improved by reusing and repurposing materials instead of recycling them. The first product-service scenario was further optimized by decreasing material losses due to breakage by 5.5%, which resulted in the product-service+ scenario. In the last scenario, Product-service++, the use of a material passport was considered, by which the reuse of concrete components was increased by 12% in Stage B4.

The results show that by reusing all residual material, which is 70% more than what is currently done, will lead to 77% less CO<sub>2</sub>-eq emissions, 90% less freshwater aquatic ecotoxicity and 55% less stratospheric ozone depletion. Decreased demand for new road components due to decreased material losses by 5.5% will lead to the further reduction in CO<sub>2</sub>-eq emissions by 18%, 8% reduction of freshwater aquatic ecotoxicity and 34% reduction of stratospheric ozone depletion. Furthermore, the results showed that maximizing the utilization of concrete components by 12% through the use of a material passport will not lead to significant improvements of environmental impacts.

The results of the contribution analysis at the level of the life cycle stage show that the supply of paving material is a hotspot for all alternatives while the contribution analysis at the level of product

showed that electricity has the biggest contribution to 7 out of 10 impact categories; diesel to 2 out of 10 and clay brick production to 1 out of 10 impact categories.

The first sensitivity analysis showed that the model is not sensitive to changes in the family. In the second sensitivity analysis, the impact of the renewable energy use on the results was assessed by substituting grey electricity, diesel and transport in the foreground processes by offshore wind. The results showed the smallest change (+3%) in the freshwater aquatic ecotoxicity impact category and the largest (-37%) in stratospheric ozone depletion. Therefore, it can be concluded that the electricity mix significantly influences the results, which could be also concluded from the contribution analysis. However, a striking result was observed for the climate change impact category in which the impacts were reduced by only 8%, as a consequence of the transition to green energy, which indicated that the used background processes had a significantly bigger contribution to impact categories than the foreground processes.

## 7. Material Circularity Indicator

As the goal of the National Raw Materials Agreement is to be 50% circular in 2030 and fully circular in 2050, circularity has become one of the selection criterion in municipal procuring processes. Keeping this in the mind, one of the goals of this study was to determine whether a PSS contract leads to a higher circularity. Therefore, the Material Circularity Indicator (MCI) proposed by Ellen MacArthur Foundation (n.d.) was used to compare the circularity of the alternatives. The MCI is based on the following four principles: using feedstock from reused or recycled sources, reusing components or recycling materials after the use of the product, keeping products in use longer, and making more intensive use of products. In contrast to LCA, whose aim is to derive the environmental impacts throughout the life cycle of a product for different scenarios, the MCI measures the extent to which linear flow has been minimized and restorative flow maximized for its component materials, and how long and intensively it is used compared to a similar product (Ellen MacArthur Foundation, n.d.). The explanation of the methodology is given in the next section.

### 7.1 Methodology

To calculate the MCI of each road component, MCI Product-Level Dynamic Modelling Tool was used that was downloaded from the website of Ellen MacArthur Foundation. In Appendix F, parameters are given that were inserted in the modelling tool for each component of the corresponding product. After the MCI of each component was calculated, Company Level Aggregator Tool was download from the same website page and used to calculate the MCI of the whole road. MCI, the level of circularity was measured in the range from 0 to 1.

## 7.2 Material Circularity Indicator Results

The results of the calculation of MCI on the component level are presented in Table 10. Considering that the maximum score is 1, which corresponds to a fully circular product, the baseline scenario is 55%, product-service and product-service+ scenarios are 63% circular and the product-service++ is 66% circular.

Table 10. MCIs.

	<b>Baseline</b>	<b>Product-service</b>	<b>Product-service+</b>	<b>Product-service++</b>
<b>Component</b>	<b>MCI</b>	<b>MCI</b>	<b>MCI</b>	<b>MCI</b>
Concrete paver	0.61	0.68	0.68	0.71
Concrete curb	0.60	0.67	0.67	0.70
Clay brick	0.55	0.63	0.63	0.66
Polymer concrete line gutter	0.55	0.63	0.63	0.66
Concrete edging	0.60	0.67	0.67	0.70
Cobbles	0.55	0.63	0.63	0.66
Joint material	0	0	0	0
Natural stone plate	0.55	0.63	0.63	0.66
<b>MCI road</b>	<b>0.55</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>	<b>0.66</b>

## 7.3 Chapter summary and conclusion

In Chapter 7, the Material Circularity Indicator (MCI) of Ellen MacArthur Foundation was used to calculate and compare the circularity of the alternatives. The results showed that if 70% more residual material is reused instead of recycled, it will lead to an increase in the circularity by 8%. By reusing 70% more of each residual road component, the total reuse percentage of each road component will increase by 12% because 70% of 17.5% will be reused instead of recycled. Thus, in other words, by increasing reuse of each component by 12%, the circularity of the road will increase by 8%. Furthermore, the MCI results show that the further improvement of the product-service scenario by decreasing material losses due to breakage by 5.5% will not lead to a significant increase in the circularity. This is because the functional unit of the components will increase by 0.03 while only one decimal numbers can be input into the tool. The last intervention, which was the maximization of the utility of concrete components only, led to a further increase in the circularity by 3%.

## 8. Discussion

### 8.1 Discussion of the results

The goal of this study was to examine whether the concept of PSS leads to an improvement in environmental performance and a higher circularity when it is implemented in the municipal procurement of a paving brick road. The reason why a paving brick road was selected as the case study is that clay bricks and concrete were identified as two of the three biggest material flows within the building and civil engineering sector of the Municipality of Leiden, which was the focus area of this study. The assessed road composition and the corresponding quantities are representative of a 11200 m<sup>2</sup> paved road in the city centre of the Municipality of Leiden. Therefore, the FU was set as “availability of 11,200 m<sup>2</sup> of paving brick slow traffic road surface for 40 years”. In this study, four alternatives were presented and discussed: the reference system and three product-service alternatives: product-service, product-service+ and product-service++ scenarios. The reference system or baseline scenario was the one that represents the current situation in the Municipality of Leiden. By taking the baseline scenario as a starting point, and by applying the environmental strategies mentioned both in the literature and by the sustainability manager of Dura Vermeer, the product-service scenarios were made by respectively applying the identified improvement points: i) reusing and repurposing residual paving material instead of recycling it, ii) decreasing demand for new material by decreasing the breaking percentage of components and iii) maximizing the utility of concrete components through means of a material passport.

The obtained LCA results showed that the product-service alternatives have significant environmental benefits over the reference system. The improvement of end-of-life treatment, by increasing the reuse of residual material to 100% and decreasing recycling to 0%, resulted as the most effective intervention in reducing the CO<sub>2</sub>-eq emissions. The decrease in environmental pressures, as the consequence of less recycling and more reuse, is in the line with the framework of Potting et al. (2017) (Figure 2) that argues that downgrading of materials is one of the two least environmentally friendly options. The results related to the first initiative, the product-service scenario, can be explained by the results of the contribution analysis at the level of the life cycle stage that showed that the supply of paving material, which entails extraction of raw materials, production and transport, is the hotspot for all alternatives. The supply of paving material accounts for more than 88% of the total impact, which indicates the importance of component reuse because it will lead to decreased demand for new components and raw materials. In addition, the results showed that the end-of-life stage, wherein recycling and waste treatment are included, has a negligible impact compared to the other two life cycle stages. Thus, the environmental gains related to the reuse of road components are mainly due to decreased demand for primary materials and components and not because of reduced end-of-life

activities. By reusing road components, the polluting upstream activities related to the supply of paving material, can be halted. Therefore, it is important that governments and other procuring entities take the end-of-life stage of materials into account from the start of the project by including the end-of-life criteria in the contracts. End-of-life criteria could be for instance the minimum required percentage of material that has to be reused at the end of its functional unit. For example, when concrete pavers are replaced in a road after 40 years, the residual concrete pavers could be reused in another structure for which e.g. less strict aesthetic requirements apply. In order to be able to reuse components in the same or another infrastructure, it is necessary to keep the quality of components as high as possible through, for example, more frequent small maintenance. More frequent small maintenance could lead to higher operational costs and energy use in the use phase. However, the corresponding additional operational costs and energy use are expected to be of lower magnitude than the costs and energy use related to the procurement and supply of new components considering that the supply of paving material contributes more than 88% to the life cycle impacts. To be able to reuse components, both in the same or another infrastructure, municipalities should have storage facilities. Considering the positive environmental impacts of reuse and potential economic benefits related to decreased demand for new material, municipalities should consider investing in storage in case that they do not have such. However, further environmental and economic savings could be obtained by rethinking the design in such a way that less material is needed. In that case, also smaller storage would be needed.

The second most effective initiative was to reduce the material losses due to breakage by 5.5%. Thus the environmental gains related to less material breakage are mainly due to decreased demand for primary materials and components. Considering that the breaking percentage in the Municipality of Leiden is between 15% and 20% while the average breaking percentage of clay bricks is reported to be 12% (CE Delft, 2020), there is room for improvement. The breaking percentage of the road components could be decreased by, for instance, frequent small maintenance, the procurement of higher quality paving material or by handling the components more carefully during maintenance, replacement, and transport.

Further optimization of the use of concrete components, through the implementation of a material passport, did not appear to result in significant improvement of the environmental impacts even though the reuse of road components will also lead to decreased demand for new components and therefore decreased upstream activities. The reason why the last initiative did not lead to environmental improvements is that concrete components are just a small fraction of the assessed road composition. Therefore, using a material passport will be more effective if it results in the improved utility of main components, which are, in this case, clay brick, cobbles and natural stone plates. Nevertheless, this study does not assess environmental impacts related to the improved utility of clay brick, cobbles and natural stone plates, as a consequence of material passport use, because this study assumes that their minimum breaking percentage is 12%.



When all the above-discussed strategies are combined into one scenario, the product-service++ scenario, the environmental impacts can be decreased by a minimum of 90% and a maximum of 98%. The environmental impacts could be further decreased if renewable energy is used instead of grey electricity and diesel, considering the contribution analysis at the level of *product* showed that electricity has the biggest contribution to 7 out of 10 impact categories and diesel to 2 out of 10. The reason why electricity has the largest contribution to the majority of impact categories can be explained by the fact that the world's electricity generation in 2017 consisted of 65.8% fossil fuels, 16.8% hydroelectric sources, 10.4% nuclear energy, 4.7% wind energy, 1.9% solar energy and the rest of geothermal sources (GlobalPetrolPrices.Com, n.d.). In addition, the Dutch energy mix from 2017, which was used in the foreground processes, consisted of 41.1% natural gas, 38.6% petroleum and petroleum products, 12.1% coal and 8.2% from other sources among which renewables (CBS, 2018). However, the share of renewables has increased over the last four years by 19% (Our World in Data, 2020), meaning that the contribution of electricity to the life cycle impacts is probably less than in 2017, but because it was not possible to use the latest Ecoinvent data due to the technical constraints of CMLCA, it is unknown what is the contribution of electricity to life cycle impacts in 2021. However, by using the data from 2017, the impact of renewable energy use on the results was assessed by substituting grey electricity, diesel and transport by offshore wind in the foreground processes. The substitution was only done in the foreground processes because changing background processes is not permitted. The results showed the smallest change (+3%) in freshwater aquatic ecotoxicity impact category and the largest (-37%) in stratospheric ozone depletion. Freshwater aquatic ecotoxicity was the only impact category for which the change was positive. This result could be explained by increased demand for mined resources such as lithium, copper, cobalt, graphite and rare earth metals. Even though the second sensitivity analysis showed that the model is sensitive to the changes in electricity mix and diesel consumption, the substitution of grey electricity and diesel by offshore wind energy in the foreground processes led to only an 8% decrease in CO<sub>2</sub>-eq emissions. This result indicated that the used background processes (see Figure 8 & 9) had a significantly bigger contribution to impact categories than the foreground processes. Therefore, it would be more effective to use renewable energy for the supply of paving material (extraction of raw materials, production and transport) than in the use phase. In addition, several interviewees indicated that investing in PV installations or wind turbines to use renewable energy in the construction and use phase is not economically profitable. Moreover, the two renewable energy sources pose a risk to the provision of the functional unit of service because of their intermittency.

Next to electricity and diesel, clay brick production contributed to 1 out of 10 impact categories while it is considered to be one of the most sustainable road components (KNB, 2019). The result that clay brick production is the third most contributing product can be explained by the fact that the assessed road mostly consists of clay bricks.

The results of MCI showed that the current traditional road is already 55% circular. However, the circularity can be further increased if the baseline scenario is improved in the ways discussed above. The results showed that circularity can be increased by a maximum of 11% when all three initiatives are combined into one scenario. The initiative that contributes the most to the increase in circularity (+8%) is the optimized end-of-life phase wherein all of the residual material is reused. Considering that circularity can be increased by a maximum of 11% when all three initiatives are applied, by focussing only on the optimization of the use phase and end-of-life phase, the goal to be 100% circular by 2050 will not be achieved in the case of brick-paved slow traffic roads. Therefore, it is also important to increase the percentage of used and reused feedstock in the production of road components in order to further increase circularity. If a supplier uses higher ratios of secondary materials than assumed in this research (see Appendix F), the circularity of all alternatives can be considered to be higher. However, in this research, it was assumed that the same materials were used for all alternatives and that the alternatives do not differ in design. Therefore, the relative differences in circularity are not sensitive to the changes in the percentages of used secondary materials for the production of road components.

## 8.2 Implication for theory and practice

The obtained LCA and MCI results are in the line with the scientific literature that argues that PSS leads to environmental improvement and increased circularity. Even though the results show that, in this case study, there is a positive correlation between PSS and circularity, and PSS and environmental performance, governmental entities should not assume that PSS always leads to positive results. As the scientific literature states, rebound effect and irresponsible use are two possible causes that can lead to negative outcomes (Manzini & Vezzoli, 2002; Tukker, 2015). However, considering the character of the assessed product, no alternative use behaviours were conceivable. Irrespectively of the used type of contract, the road users, civilians, will use the road in the same way as it is done for decades. The possibility that the road will be used by the motorcyclist, car and truck drivers is considered to be unlikely since the assessed road is located in the city centre and considering the goal of the Municipality of Leiden is to be a clean and sustainable city. In addition, the results show that the initiatives do not influence environmental performance and circularity to the same extent. For example, the second initiative, which was decreased the breaking percentage of all road components, appeared to be the second most effective intervention in reducing the environmental impacts. However, this initiative did not lead to a significant increase in circularity.

Even though the results showed positive outcomes, none of the implemented changes to the baseline scenario is by the definition infrastructure-as-a-service. The same changes could be also applied to a traditional contract, which was a less uncertain and risky option than an infrastructure-as-a-service contract considering that the concept of infrastructure-as-a-service was still in its infancy at the time this master thesis was written. The research showed that several issues need to be addressed before

infrastructure-as-a-service can be implemented on a large scale. A few examples of the issues are the separation of economic and legal ownership by law, additional burden in contract management and making sure that all risks are included in the contract that mainly depends on the agreements made between the client and contractor. Furthermore, infrastructure-as-a-service seems to be more applicable to the infrastructure objects that do not have many connections to other infrastructures, such as infrastructural objects located in the countryside, because more surrounding infrastructure means more influences from the surroundings and therefore more uncertainty and risk.

The results of this study contribute to the scientific literature on CE and PSS since this study assess the environmental performance of CE strategies that could be implemented in a product-service contract. In addition, the results might help civil servants to take the right measures to increase circularity and improve the sustainability of brick-paved slow traffic roads as this study show how current paving brick slow traffic roads can be improved and how those improvements influence the environmental performance and the circularity of the road.

### 8.3 Limitations and recommendations for further research

There are some important potential drawbacks associated with the study. Namely, no attempt was made to study the correlation between the infrastructural object of the interest and its surroundings. Therefore, it is unknown how the influences from the surroundings, such as building plans, traffic diversions and underground infrastructure, change the LCA results. Building plans, traffic diversions and underground infrastructure could negatively influence the provision of the functional unit. Due to increased traffic over the road, as a result of traffic diversions, the road would wear and tear faster than expected, meaning that more materials would be needed to provide the same functional unit. Furthermore, changes in buildings plans or the maintenance of the underground infrastructure could lead to increased breaking percentage as a result of disassembly and reassembly of the road of interest. On the other hand, the type of pavers used in the upper street layer could positively or negatively influence the demand for underground sewer infrastructure. For instance, if water-permeable pavers are used, less water pipes would be needed for the sewer infrastructure. Considering that this research focuses only on the upper street layer, LCA should be performed from a systemic point of view to assess how different street layers and different infrastructural objects influence each other and the results. Furthermore, there is a need for a comparative LCA of different road designs and paving materials as this LCA study assumes that the alternatives do not differ in the production and construction phases. By performing such LCA, better insights could be gained on potential improvement points in the upstream activities. Furthermore, there is still more research needed on how to make the distinction between legal and beneficial ownership by law, and how municipalities need to organize their contract management in order to be able to deal with additional burdens related to having several infrastructure-as-a-service projects running with different contractors.

## 9. Conclusion and recommendations for the municipality

This research set out to explore whether possible product-service scenarios of paving brick slow traffic roads lead to decreased environmental pressure and higher circularity, and to what extent. Based on the set scenarios, it can be concluded that product-service alternatives do lead to increased environmental pressure and higher circularity. However, at the time this master thesis was written, it can be concluded that infrastructure-as-a-service is not ready for implementation on the large scale. Infrastructure-as-a-service is in its infancy, and it is still not clear how economic and legal ownership should be separated by law. From the perspective of a client, infrastructure-as-a-service is related to uncertainties and risks as it is difficult to make sure that all risks are included in the contract that mainly depends on the agreements made between the client and contractor. Therefore, before the above-mentioned issues are solved, infrastructure-as-a-service is not recommendable. Instead, municipalities as the owner of an infrastructure should take their responsibility to properly reuse paving material. The results show that the biggest environmental gains and the highest increase in circularity can be achieved when the currently downcycled material is reused or repurposed instead of recycled. Therefore, by accounting for the end-of-life stage from the beginning of the project, substantial improvements in environmental impacts could be obtained without a product-service contract. By reusing paving material, instead of recycling it, the municipality of Leiden could reduce the inflow of clay brick and concrete, which are currently two of the three biggest material flows within the Municipality of Leiden. Considering that the supply of paving material was identified as the hotspot of all alternatives, more environmental gains could be achieved by optimizing the production and transport of road components. Municipalities and other governmental entities could influence the production and transport of required materials by setting more strict minimum requirements regarding MKI of each road component and not only the road itself. Considering that the State is the biggest buyer within an economy, the market will tend to set those minimum requirements.

## 10. References

- Adrodegari, F., Saccani, N., & Kowalkowski, C. (2016). A Framework for PSS Business Models: Formalization and Application. *Procedia CIRP*, *47*, 519–524.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.073>
- Alhola, K., Ryding, S. O., Salmenperä, H., & Busch, N. J. (2019). Exploiting the Potential of Public Procurement: Opportunities for Circular Economy. *Journal of Industrial Ecology*, *23*(1), 96–109. <https://doi.org/10.1111/jiec.12770>
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, *33*(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Catulli, M., & Dodourova, M. (2013). Innovation for a Circular Economy: Exploring the Product Service Systems Concept. *ISPIM Conference Proceedings*, (June), 1–18.
- CE Delft. (2020). *Hergebruik straatbakstenen*.
- Chertow, M. R., Ashton, W. S., & Espinosa, J. C. (2008). Industrial symbiosis in Puerto Rico: Environmentally related agglomeration economies. *Regional Studies*, *42*(10), 1299–1312.  
<https://doi.org/10.1080/00343400701874123>
- Dal Lago, M., Corti, D., & Wellsandt, S. (2017). Reinterpreting the LCA Standard Procedure for PSS. *Procedia CIRP*, *64*, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.017>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). Circular economy. Retrieved on October 7<sup>th</sup> 2020, from:  
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>
- European Commission. (2017). *Public Procurement*. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Retrieved on December 20<sup>th</sup> 2020, from: [https://ec.europa.eu/growth/single-market/public-procurement\\_en](https://ec.europa.eu/growth/single-market/public-procurement_en)
- European Committee for Standardization. (2013). *Sustainability of construction works*. Retrieved on July 4<sup>th</sup> 2021, from:

[https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP\\_PROJECT,FSP\\_ORG\\_ID:40703,481830&cs=1B0F862919A7304F13AE6688330BBA2FF](https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:40703,481830&cs=1B0F862919A7304F13AE6688330BBA2FF)

FinanCE. (2016). *Money Makes the World Go Round*.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757–768.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Geobind b.v. (n.d.). *GeoRapid*. Retrieved on July 15<sup>th</sup> 2021, from:

<https://www.geobind.nl/voegvulling/georapid>

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

GlobalPetrolPrices.Com. (n.d.). Energy mix for electricity generation by country. Retrieved on July 28<sup>th</sup> 2020, from: [https://www.globalpetrolprices.com/energy\\_mix.php](https://www.globalpetrolprices.com/energy_mix.php)

Heiskanen, E., & Jalas, M. (2003). Radical Eco-Efficiency Review of the Debate and Evidence. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, *198*(10), 186–198.

<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.09.014>

Huizing, D. (2019). *Towards Circular Economy by Incorporating product-service system in Infrastructure projects*. Retrieved on May 5<sup>th</sup> 2021, from:

[file:///Users/jalalchahine/Downloads/Thesis\\_Denise\\_Huizing\\_CME\\_\(9\).pdf](file:///Users/jalalchahine/Downloads/Thesis_Denise_Huizing_CME_(9).pdf)

Kjaer, L. L., Pagoropoulos, A., Schmidt, J. H., & McAloone, T. C. (2016). *Challenges When Evaluating Product/Service-Systems through Life Cycle Assessment*. *Journal of Cleaner Production*, *120*, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.048>

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.048>

- Kjaer, L. L., Pigosso, D. C. A., McAloone, T. C., & Birkved, M. (2018). Guidelines for evaluating the environmental performance of Product/Service-Systems through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, *190*, 666–678.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.108>
- KNB. (2019). *Maatschappelijk verantwoord inkopen van bestratingen*.
- Lenferink, S., Tillema, T., & Arts, J. (2013). Towards sustainable infrastructure development through integrated contracts: Experiences with inclusiveness in Dutch infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, *31*(4), 615–627.
- Manzini, E., Vezzoli, C., 2002. Product-service-systems and Sustainability, Opportunities for Sustainable Solutions. Politecnico di Milano, UNEP, Paris.
- Meghan O'Brien, S. F., & Soren Steger, H. W. (2015). Waste Prevention in a “Leasing Society.” *International Journal of Waste Resources*, *05*(01), 1–9.  
<https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000170>
- Mentink, B. (2014). Circular Business Model Innovation. *Delft University of Technology*. Retrieved on March 9<sup>th</sup> 2021, from: [http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:c2554c91-8aaf-4fdd-91b7-4ca08e8ea621/THESIS\\_REPORT\\_FINAL\\_Bas\\_Mentink.pdf](http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:c2554c91-8aaf-4fdd-91b7-4ca08e8ea621/THESIS_REPORT_FINAL_Bas_Mentink.pdf)
- Metabolic. (2021). De milieu-impact van de jaarlijkse 85 miljard euro aan inkoop door alle Nederlandse overheden Een studie die helpt bij prioriteren voor maatschappelijke verantwoord inkopen (MVI). <https://doi.org/10.21945/RIVM-2021-0087>
- Michelini, G., Moraes, R. N., Cunha, R. N., Costa, J. M. H., & Ometto, A. R. (2017). From Linear to Circular Economy: PSS Conducting the Transition. *Procedia CIRP*, *64*, 2–6.  
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.012>
- Ministry of infrastructure and the environment, & Ministry of economic affairs. (2016). Nederland circulair in 2050 - Rijksbreed programma Circulaire Economy. Retrieved on January 8<sup>th</sup> 2021,

from: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/documenten/rapporten/2016/09/14/circulaire-economie>

Mont, O. (2004). Institutionalisation of sustainable consumption patterns based on shared use. *Ecological Economics*, 50(1–2), 135–153. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.03.030>

Openlca.org. (2020). *Product Environmental Footprint (PEF)*. Retrieved on July 10<sup>th</sup> 2020, from: <https://www.openlca.org/project/pef/>

Our World in Data. (2020). Renewable Energy. Retrieved on August 24<sup>th</sup> 2021, from: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>

PIANOo. (n.d.). Public Procurement in the Netherlands. Retrieved on October 10<sup>th</sup> 2020, from: <https://www.pianoo.nl/en/public-procurement-netherlands>

Pigosso, D. C. A., & McAloone, T. C. (2016). Maturity-based approach for the development of environmentally sustainable product/service-systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 15, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.04.003>

Rijksoverheid. (2016). *A Circular Economy in the Netherlands by 2050*.

Tukker, A. (2004). Eight types of product-service system: Eight ways to sustainability? Experiences from suspronet. *Business Strategy and the Environment*, 260, 246–260.

Tukker, Arnold, & Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1552–1556. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.022>

Tukker, Arnold. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy - A review. *Journal of Cleaner Production*, 97, 76–91. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.049>

Urgenda. (2019). *Nederland 100% Duurzame Energie in 2030*.



Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(October 2015), 825–833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>

Witjes, S., & Lozano, R. (2016). Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling*, 112, 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.015>

# Appendix A: Interview Questions

## A.1 Schraven 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Dr. Daan Schraven

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** TU Delft

**Performed on:** March 30th 2021

**Function:** Assistant Professor

## Interview Questions

### Introductory questions

1. Zou u uzelf kort kunnen voorstellen en in het kort vertellen met welk onderzoek u momenteel bezig bent?
  - a. Aan welke Circulaire weg pilots werkt u?
  - b. Wanneer verwacht u de eerste resultaten?

### Service contracts related questions

2. Als we kijken naar Product-Service System kader van Tukker (2004), onder welke van de drie categorieën zal u Circulaire weg of een weg als dienst classificeren en waarom?
3. Hoe wordt bijgehouden of een weg zijn dienst levert op het gewenste kwaliteitsniveau?
  - a. Hoe wordt de prijs van deze dienst bepaald?
  - b. Is het onderhoud van ondergrondse componenten zoals riool, kabels, pijpen meegenomen in de ook meegenomen in het contract of alleen het wegdek?
4. Is het bekend voor welke materiaal- en productsoorten PSS geschikt is? Zo nee: wat denkt u?

### Questions about optimizing environmental performance, and material- and energy utilization

5. Wat zijn de hotspots in de levenscyclus van een traditionele weg?
6. Theoretisch gezien: wat zijn de veelbelovende opties of strategieën om deze negatieve milieu invloeden te minimaliseren?
7. Hoe verschilt het onderhoudsbeleid van een traditionele wege een Circulaire weg?
8. Zijn alle benoemde strategien economisch rendabel?
9. Verwacht u dat het hanteerde business model bij de Circulaire weg een significant invloed zal hebben op alle levenscyclus stadia van een weg?
10. Theoretisch gezien: met hoeveel jaren kan het levensduur van een weg verlengd worden door PSS?
11. Verwacht u dat het gedrag van de gebruikers zal veranderen door de jaren heen door PSS?
12. Welke (andere) uitdagingen zijn er bij wegen als dienst?

### Financial questions

13. What are the financial challenges related to the new business model?
14. How is economic feasibility of a road-as-a-service being determined?

## A.2 Mol 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Karlijn Mol

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** Dura Vermeer

**Performed on:** March 30th 2021

**Function:** Sustainability manager

## Interview Questions

### Introductory questions

1. Zou u uzelf kort kunnen voorstellen en uw functie bij Dura Vermeer?
  - a. Hoe lang bent u werkzaam bij Dura Vermeer?
2. Wat was de drijfveer voor Dura Vermeer om infrastructuur als service aan te bieden?

### Business model related questions

3. Hoe zit jullie business model in elkaar?
  - a. Werken jullie met mijlpaalbetalingen?
4. Bieden jullie alleen het wegdek aan als service of ook de onderdelen die onder de grond zitten zoals kabels, riool etc.?
5. ‘‘Aan het einde van de samenwerking kan de opdrachtgever de weg laten oogsten of de grondstoffen overdragen.’’: op basis van wat wordt deze keuze gemaakt?

### Questions about optimizing environmental performance, and material- and energy utilization

6. Als we kijken naar de traditionele business modellen: hoe circulair zijn/waren de wegen gebouwd?
  - a. Geldt dat voor elk soort verhardingsmaterialen (bv. asfaltverhardingen, betonverhardingen, elementenverhardingen)?
  - b. Hoe circulair is het gebruik van elementenverhardingen? 10
7. Met hoeveel procent verwacht u de circulariteit van de wegen(bouw) te kunnen vergroten met de implementatie van de product-service contract?
  - a. Hoe gaat u deze circulariteit bereiken?
  - b. Zijn deze handelingen economisch rendabel?
  - c. Is deze toename te verwachten voor elk soort verhardingsmateriaal?
8. Hoe verschilt het design van een service-weg t.o.v. een traditionele weg?
9. Hoe verschilt het onderhoud van een service-weg t.o.v. een traditionele weg?
  - a. Hoe monitoren jullie of een weg onderhoud nodig heeft?

b. Hoe vaak hebben langzaam verkeer wegen onderhoud nodig? Wordt hierbij alles vervangen of alleen een deel?

10. Gebruiken jullie alternatieve materialen die duurzamer zijn? Zo ja, welke?

11. Wat is de levensduur van een langzaam verkeer weg bestaand uit elementenverhardingen die gebouwd en onderhoud is op een traditionele manier en hetzelfde soort weg gebouwd en onderhoud volgens product-service contract?

13. Welke technieken gebruiken jullie om levensduur van een weg te verlengen?

14. Gebruiken jullie groene energie voor de aanleg en onderhoud van de infrastructuur?

15. Waren er problemen met het verkrijgen van een voorfinanciering?

16. Waren er (andere) uitdagingen gerelateerd aan een weg-as-a-service?

## A.3 Franken 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Peter Franken

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** Movares and RWS

**Performed on:** March 30th 202

**Function:** Project Manager at Movares and contract manager at RWS

-

## Interview Questions

### Introductory questions

1. Kunt u wat kort vertellen over uzelf en over uw twee functies?

a. Hoelang werkt u met DBFM contracten?

2. Aan welke andere DBFM contracten/projecten heeft u gewerkt?

### Questions about optimizing environmental performance, and material- and energy utilization

3. Als wij de traditionele business modellen vergelijken met DBFM wat voor de verschillen zien we in:

a. Ontwerp (Welke ontwerp strategieën worden er gebruikt om materiaalgebruik te verlagen en/of circulariteit te verhogen?)

b. Circulariteit (Leiden DBFM(O) contracten tot een hogere circulariteit; met hoeveel % gemiddeld?)

c. Beheer

d. Onderhoud (Welke verschillen zijn er in het onderhoudsbeleid? Bv.: frequentie; oppervlak; wat wordt gedaan met de materialen die hierbij vrijkomen etc.)

e. Levensduur (Moet hoeveel jaar wordt het levensduur gemiddeld verlengd?)

f. Materiaalgebruik (Worden er vaak alternatieve materialen gebruikt die meer duurzaam zijn?)

g. Energiegebruik (Wordt er gebruik gemaakt van duurzame energie bij het onderhoud/beheer?)

4. Wat gebeurt er met de materialen aan het einde van de levensduur van een weg?
  - a. Wie is verantwoordelijk hiervoor?

### Other questions

Onderhoud is een Nederlands woord voor maintenance en beheer voor operation.

5. Wat is het verschil tussen onderhoud en beheer?
6. Wat is een mijlpaalbetaling?

## A.4 Zwerk 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Danny Zwerk

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** Dura Vermeer

**Performed on:** April 7th 2021

**Function:** Deputy director PPP unit at RWS

## Interview Questions

### Introductory questions

1. Zou u uzelf kort kunnen voorstellen en uw functie bij Rijkswaterstaat?
  - a. Hoe lang bent u werkzaam daar?
  - b. Hoe lang werkt u met DBFM contracten?

### Financial questions

2. Welke financiële prikkels zijn er voor de gemeenten om met DBFM contracten te werken?
3. Hoe zal total cost of ownership beïnvloed worden of veranderen door een DBFM contract?
4. Bij DBFM contracten wordt voorfinanciering uitsluitend gedaan door de opdrachtnemers. Waarom financieert de overheid niets voor terwijl de overheid zowel juridische als economische eigenaar blijft van een infrastructuur?
5. Betaalt de overheid deze kosten uiteindelijk terug?
6. Hadden de opdrachtnemers in het verleden moeite met het verkrijgen van een vreemd vermogen dat nodig was voor de voorfinanciering?
7. Hoe worden risico's bij zo een project bepaald?
8. Wat zijn de meest voorkomende risico's bij DBFM contracten?
9. Hoe wordt met deze risico's omgegaan/ hoe worden risico's verdeeld?
10. Welke eisen stellen banken en institutionele beleggers aan opdrachtnemers bij het verstrekken van vreemd vermogen?
11. Voor infrastructuurprojecten is het drempelbedrag 60 miljoen euro. Bij lagere bedragen wegen de efficiënciewinsten over het algemeen niet op tegen de transactiekosten.

a. Waarom is dit zo?

b. Welke transactiekosten worden hiermee bedoeld?

12. Stel voor dat een andere weg afgesloten is waardoor meer voertuigen over DBFM weg moeten omrijden. Hierdoor slijt deze weg sneller en heeft daardoor sneller een onderhoud nodig. Wordt hiermee rekening gehouden bij zulke contracten?

13. Wordt het financiële plaatje aangepast als functie van weg verandert?

14. Bent u bekend met het concept van product-dienst combinaties en het verschil tussen product-dienst combinaties en DBFM contracten?

15. Aan de hand van uw ervaringen/expertisen verwacht u dat dit verschil een verschil zou uitmaken bij het verkrijgen van vreemd vermogen bij banken en institutionele beleggers?

## Appendix B: Interview Transcripts

### C.1 Schraven 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Dr. Daan Schraven

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** TU Delft

**Performed on:** March 30th 2021

**Function:** Assistant Professor

**Ivana:** Zou u uzelf kort kunnen voorstellen en in het kort vertellen met welk onderzoek u momenteel bezig bent?

**Daan:** Ja. Mijn naam is Daan Schraven ik ben assistent professor op het faculteit van Civiele Techniek en Geowetenschappen van Technische Universiteit Delft. Ik ben daar een beetje vreemd eend erbij want ik ben een bedrijfseconoom. Ik ben geen ingenieur, maar ik mag wel in de snoepwinkel van allerlei circulaire...ja... technische oplossingen of innovaties, tegenaan bemoeien en daaraan bijvoorbeeld de economische implicaties onderzoeken of hoe dat infrasysteem, zeg maar, ook economisch beïnvloed. Dus ik heb ik mijn carrier pad waar jonge stadleden een beetje te doen hebben...moet je een onderzoeklijn uitzetten. Ik heb zeg maar ontwikkeld om te gaan kijken naar circulaire transitie en dan met name niet circulair als op zichzelf staand maar dan circulaire economie. Dus ook de economie component van circulaire economie. Hoe dat in bouw en met name in de infrabouw dat kan worden...ja...gehaald en dan de ambities die ze daarin hebben. Ik doe daar projecten in waaronder de Circulaire weg. Hmm... daar ben ik bij gevraagd door Dura Vermeer om daar te evalueren hoe zij dat in die pilots gaan inzetten dus hoe komen zijn tot product-dienst combinaties dat is Nederlands voor product-service systems. Dus dat taxeren eigenlijk...euh...aan de hand van een model en dan eigenlijk ook te volgen hoe zij afspraken maken met opdrachtgevers over circulaire inzetten of inzetten van oplossingen die circulair zijn...euh...bij het overdracht van een object dat in die pilots dan as a service wordt aangeboden want het is soort van een business model. Sociale innovatie die zij dus uitvoeren. De vraag is dan, de propositie die wij onderzoeken is eigenlijk: Klopt het dat het meer doen van as a service werkbanden in infra projecten leiden tot hogere circulariteit? Dus dat is eigenlijk wat wij onderzoeken. We staan, wat dat betreft aan het begin van het onderzoek. De pilots zijn al bezig. En omdat wij zeg maar een evaluerende studie doen, zijn we wat later want ze moeten eerst van de grond komen en dan gaan wij bekijken. Daar hebben wij een model voor opgesteld. Ik heb ook daar nu een onderzoek op mogen werven die gaat 1 april starten dus dat is deze week ook. Zij gaan eerst inlezen op de materie die

ik heb opgesteld en dan gaan zij starten. Dus daar staan wij nu. Dus daar ben ik nu mee bezig, daar geef ik leiding aan dat onderzoek.

**Ivana:** En werk jij aan alle pilots van Dura Vermeer?

**Daan:** Ikzelf niet direct. Het is de bedoeling dat die onderzoeken die ik heb aangesteld daar echt...eeh...zeg maar...eeh...met de boots in de klei gaat staan... maar ik heb wel meegedacht aan de voorkant van wat moet de studie inhouden; hoe gaan we dat doen; wat vragen we dan van de partijen en dan ook eerste beschouwing van die pilots. Die heb ik ook gedaan. Dus...eeeh...in die zin ben ik daar een beetje indirect bij betrokken.

**Ivana:** Wanneer verwacht u de eerste resultaten want jullie zitten pas in het begin van het onderzoek?

**Daan:** Ja. Nou ja de resultaten moeten aanzicht het eind van dit jaar worden uitgeschreven in een rapport. Dus vrij snel verwachten wij de finale resultaten al want het is een evaluatie onderzoek en wij beginnen eigenlijk al in mei met data verzameling. Eh.. en we zullen deelresultaten te delen hebben met de betrokkenen in de eerste instantie. Om te kijken of dat klopt. Dat beeld dat we ophalen. Eh... en wij zullen zeker ook hier en daar wat dingen delen van platform Circulaire Bouweconomie want wij hebben afspraken over gemaakt met het Rijkswaterstaat die ons ook steunt in dit onderzoek.

**Ivana:** Dus ik ben een beetje te vroeg eigenlijk?

**Daan:** Eh, ja maar dat zei ik ook in de mail maar je wilde heel graag met me spreken. Vandaar heb ik de tijd even genomen.

**Ivana:** Als we kijken naar Tukker model van Product-Service System, onder welke van de drie categorieën zal je Circulaire weg of een weg als dienst classificeren en waarom? Ik heb een idee maar ben benieuwd wat jij ervan vindt.

**Daan:** Ja, daar hebben wij eigenlijk al een onderzoek naar gedaan via een afstudeerder. Dat is inmiddels al 2 jaar terug. Ik weet niet of je haar werk kent maar zij heet Denise Huizing. Zij heeft toen al het voortraject onderzocht...volgens mij was toen Overijssel aan boord... eh... en daar kwamen wij tot inzicht dat Dura graag heeft dat de *result-oriented*; dat de traditionele manier van dingen doen eerder gezien kan worden als *product-oriented* en ik denk dat het realistische wijs gaat uitkomen op *use-oriented*. Dat is mijn taxatie maar ik moet meteen erbij zeggen ik gebruik een andere taxonomie van product-dienst combinaties dan Arnold Tukker uit 2004 want inmiddels zijn er wat verfijningen aangebracht in het theoretische denken van product-dienst combinaties. Zeker ook in *large structure* zoals infrastructuur dus die hanteer ik nu inmiddels als een realistische weergave hoe die dienst combinaties uiteen te zetten.

**Ivana:** Hoe heet die taxonomie?

**Daan:** Ostaeyen 2013

**Ivana:** Ik heb het eerst ook onder *use-oriented* geclassificeerd en toen heb ik ook grijze literatuur gelezen ik merk dat ze daar inderdaad willen dat het *result-oriented* product-dienst is maar het zit er naar mij mening een beetje tussenin. Ik ben wel benieuw naar die andere taxonomie.

**Daan:** Bekijk het maar

**Ivana:** Dura Vermeer levert service van een weg in vorm van beschikbaarheid en veiligheid. Hoe wordt dat eigenlijk gemeten of en wanneer een weg beschikbaar is op de gewenste kwaliteitsniveau?

**Daan:** Ja goede vraag. Kijk, de beschikbaarheid...we weten niet vanuit de onderzoek maar we weten uit ervaringen van Rijkswaterstaat dat beschikbaarheid betekent dat de weg altijd toegankelijk moet zijn dus het wordt gemeten aan de hand van...eh...ja...je kan het in het gebruik meten maar je kan het ook in het fysiek beschikbaar zijn meten. Dus stel een aannemer heeft wat schuren in de weg te dichten en

ze zetten de hele weg af. De tijd die het duurt om dat gat te dichten en alles weer weg te halen zodat ze er weer overheen kunnen rijden gedeeld door het totaal aantal uren dat die weg eigenlijk hoort te zijn in de theorie is een indicator van beschikbaarheid. Dat gaat puur om fysieke beschikbaarheid. En bij gebruik kijk je naar effecten van. Daar zou je kunnen hebben over voertuigverliesuren in het Engels is dat *Lost Vehicle Hours* (LVH) en wat dat betekent is eigenlijk wat is de gemiddelde snelheid die een auto over die weg rijdt (één auto) en in hoeverre is ie vertraagd door bijvoorbeeld dat de weg is afgezet over de lengte dat de snelheid ook verminderd wordt en dat maal het aantal auto's dat doorgaans over die weg gaat. Dan heb je zeg maar een *approximation* van het aantal uren dat alle auto's op die weg gaan in totaliteit langer onderweg zijn als gevolg van het onderhoud. Dus dat is een andere manier om te meten.

**Ivana:** Hoe wordt daar eigenlijk een prijs aan verbonden?

**Daan:** Eh...Ten eerste prijs voor wie? Kijk als jij...dat heeft te maken met de contracten dat jij doet maar dan hebben we het niet over een as a service contract dan hebben we het over bijvoorbeeld de hangbare wijze DBFM contract. Als je daar een beetje op ingelezen bent dan weer je dat DBFM contract een langere termijn contract is waarin ook de M voor *maintain* zit dus de verantwoordelijkheid voor een langere periode die weg beschikbaar te houden en ook in een goede staat, de technische condities die van zo een weg verwacht worden. Als je daar iets over wilt horen van mij dat moet je zo direct vragen. Anders vergeet ik het. Prijs die binnen zo een DBFM contract wordt gegeven is een boete die ze opleggen. Dus als er een afspraak wordt gemaakt langs een van deze metrieke die ik eerder zei van hij moet 99% beschikbaar zijn uitgedrukt in uren per jaar, moet ie beschikbaar zijn die weg. Als zij daar overheen gaat met onderhoudsmaatregelen die ze doen en dat valt ook buiten de afgesproken interventiemomenten dan is dat een reden voor RWS bijvoorbeeld om te zeggen je krijgt per verloren uur een boete opgelegd als aannemer. Dat noemen ze dat statiekorting. Eigenlijk betalen ze dan voor... hebben ze een vast bedrag afgesproken bij het voldoen aan de presentie van de beschikbaarheid. Normaal gesproken betalen wij jou, ik zeg maar wat, 100.000 per maand misschien heel erg veel maar stel. Voor ieder uur dat jij langer die weg afsluit dan wat ik verwacht qua presentatie van jou dan reduceer ik die 100.000 per maand met zeg maar 5.000. Dus dan heb je korting op presentie. Dat is eigenlijk cashflow dat in de mindering wordt gebracht bij de aannemer.

**Ivana:** Ik heb over DBFM contracten gelezen en ik toevallig vandaag een interview met iemand van RWS maar ik dacht eigenlijk dat DBFM hetzelfde is als product-dienst contract. Dus het is niet hetzelfde?

**Daan:** Nee, nee want dan zouden we deze nieuwe weg niet hoeven te innoveren. Het grote verschil is eigenlijk dat een product-dienst combinatie dat Dura Vermeer aan het onderzoeken is meer gaat over een lease constructie. Dus hoe verschilt dat van een lange termijn afspraak? Kijk, een DBFM is een *availability based* contract dus de beschikbaarheid in het Nederlands. Er worden vaste prijsafspraken gemaakt voor die presentatie, het beschikbaar hebben van die weg. En er wordt een boete of een bonussysteem toegepast op het naleven van de presentatie die ze dan afspraken MAAR de eigenaarschap blijft bij RWS zowel de juridisch als economisch. Dus het is niet meer dan lange termijn dienstverlening die wordt dan afgesproken. Waarbij veel verantwoordelijkheid wordt gevraagd bij het doen van die dienst door middel van presentatiedruk die de klant op de levering zet en dat ook controleert. In een as a service constructie dus in een lease constructie daar heb je meer een afspraak met een aannemer zoals jij als je gaat werken straks met een auto lease bedrijf zal maken als je een auto gaat leasen. Wat betekent dat, je spreekt met hun af dat jij die auto in eigenaarschap krijgt dus het is jouw bezit maar jij betaalt de lease maatschappij voor de duur dat jij auto in eigenaarschap hebt. Je gaat er wel zorgvuldig mee om want als jij een schrabbetje eraan veroorzaakt door tegen een lantaarnpaal aan te rijden, bijvoorbeeld, dan brengen ze dat in korting op jou. Dus de verantwoordelijkheid ligt niet alleen in dienstverlening erbij maar ook in verantwoordelijk omgaan als eigenaar van. In een as service constructie zoals zij experimenteren bij Dura met pilots is dit dus aan de hand. Dus een stuk infra wordt daadwerkelijk eigendom van Dura. Daar betalen ze een bepaalde som aan de voorkant daarnaast is het in hun beheer.



Zij leveren de dienst zoals dat DBFM doet maar het gaat verder dan dat want dat is een eigendom dus zij hebben ook eigenlijk ontwerprijheden met wat ze ermee willen doen. Waar wel aan het eind van het project het wordt teruggekocht door de overheid. Waar het nu om draait is wat spreek je nu met elkaar af over hoe je waarde gaat berekenen bij die overdracht aan het einde van de lease, zeg maar. Dus daar zit een heel belangrijke pressing question waarvoor we ook aandacht hebben in het onderzoek wat betreft financiële implicaties: hoe waardeer je dan die weg en hoe maak je afspraken daarover met elkaar.

**Ivana:** Dus als ik het goed begrijp het grootste verschil is het eigendom want bij DBFM blijft RWS in het eigendom van een weg of een ander infrastructuur en bij product-dienst service contract blijf de aannemer eigenaar.

**Daan:** Je moet hier wel zorgvuldig zijn met wat je beschouw als eigenaar. Sowieso kan je hier de achtergrond van die gedachtes vinden in het werk van Denise Huizing. Die heeft naar juridische teksten. Er is een scheiding te maken in juridisch eigenaarschap en economische eigenaarschap en het juridisch eigenaarschap dat blijft altijd bij de publieke entiteit die die weg in zijn beheers regime heeft zitten, maar het economisch eigenaarschap dus weer, zeg maar de *fruits of labour* kan claimen van wat er aan de goede dingen gebeuren op die weg, die daar ligt. Dat kan wel gescheiden worden van juridisch eigenaarschap en dat is dus ook wat de split is en die dus overgedragen wordt aan de aannemer.

**Ivana:** Was Denise Huizing is een TU Delft student?

**Daan:** Ja, zij was een master student van de master Bouw management en Engineering. Zij heeft dus in opdracht van mij en Karlijn Mol destijds deze studie gedaan naar de haalbaarheid van product-dienst combinaties op de infra projecten.

**Ivana:** Dus ik kan haar scriptie wel vinden in de database?

**Daan:** Ja, je kan haar scriptie vinden in de database, ja. Het is voor ons eigenlijk het startpunt van dit hele project.

**Ivana:** Ik was benieuwd: worden onderdelen onder de grond, zoals kabels, riool en pijpen, ook meegenomen in zo een contract?

**Daan:** Nou dat is het mooie daarvan. Dat is allemaal scope definitie van wat draag je over. De hele verregaande model en zullen het hele systeem pakken en hebben een hele duidelijke grenslijnen, maar het kan ook op de onderdelen. Dat kan ook op onderdelen. Product-dienst combinatie voorschrijft helemaal niet welke bandbreedte van het systeem onder zo een contract moet vallen. Dus dan zijn wel allerlei negatieve gevolgen te bedenken als je het heel versnipperd doet, maar misschien is het wel de werkwijze. Sommige partijen hebben in een eerder verkenning die ik heb gedaan, bij hun aangegeven dat dat niet is wat hun zou tegenhouden. Dus ja daar zijn meerdere modellen op los te laten, zou ik zeggen. Maar dat maakt het ook dat het wetenschappelijk onderzoek nodig heeft om goed te kunnen duiden wat denkbaar is en wat verstandig is; wat niet; wat zorgt voor hogere circulariteit en waar, en waar kun je beter wegblijven.

**Ivana:** Is het al bekend voor welke materialen/product soort PSS geschikt is?

**Daan:** Ehm, nou ja, dat is dus echt in het hart van mijn onderzoek, dus antwoord is wat jij waarschijnlijk ook al weet.

**Ivana:** Oké, jammer. Wat zijn hotspots van levenscyclus van een traditionele aanbesteed.

**Daan:** Die vraag snap ik niet. Kan je die even anders stellen of toelichten?

**Ivana:** Oké, dus welke fases van een levenscyclus van een weg zijn de meest vervuילend als we kijken naar milieu effecten.

**Daan:** Die het meest vervuילend zijn...

**Ivana:** Welke processen binnen een levenscyclus van een weg, bijvoorbeeld het gebruik of en het einde van het levensduur.

**Daan:** De bouw van de weg is, denk ik, *by far* in een kort tijdsbestek de meest invasieve CO2 vervuilende stuk waar je aan kan denken, maar natuurlijk ook voor langere termijn, hoe je de weg ontwerpt en hoe gebruik daarop wordt gestimuleerd of niet, maakt ook een groot deel uit, maar veel meer op langere termijn. Dat is meer een impact die misschien per geval of per dag misschien minder CO2 uitstoot zou veroorzaken. Maar omdat het een langere periode tot rust betreft, want zo een interventie gebeurt één keer, heel heftig en dan is het voor tien jaar klaar. Maar die tien jaar, als het systeem zo is ingericht op een bepaalde vervuilende wijze, kan tien jaar lang opgeteld toch ook heel erg dichtbij die hele heftige interventie komen. Dus dat is per bouwproces heel erg afhankelijk van wat de aannemer gebruikt aan materieel en dergelijke en hoe het wordt ontworpen. Dus er is geen waarde te pinnen op een bepaald soort weg. Het is wel heel erg afhankelijk van wat de technologie is die daarin gaat en bij de *lock-in* en wat de keuzes zijn aan materieel en materiaalgebruik tijdens het bouw.

**Ivana:** En wat is het grootste verschil in onderhoud van een traditionele weg en een weg as service?

**Daan:** Die zit denk ik, met name in de rigiditeit van de planning. Dat is waar ik nu in de eerste instantie aan moet denken. Bij een DBFM maar als we dat als traditioneel zouden beschouwen, want daar zet je hem denk ik wel impliciet een beetje tegen af, dan is dat wel een verantwoordelijkheid van aannemer en zijn maar ook hem zelf plannen. Maar zij moeten wel nog steeds zorgen dat zij binnen die afspraken zitten, van de prestatie. Bij een as a services is het maar de vraag of die prestaties onderdeel zijn van het contract. Dat kan, dat kan onder andere dingen gaan. Dus daar is planning misschien toch vrij er voor de aannemer om te doen, want tenslotte is het een interventie op zijn eigen eigendom. Hij moet weer de gebruiker verwittigen van hé momenteel, net als je telefoon gebruikt... je hebt een abonnement, ja, de dienst is even tussen de twee en drie uur 's nachts niet beschikbaar, want we moeten updates doen. Zoiets heb je dan, zeg maar, maar dan voor je werk. Dus dat is het. Dat is één van de grootste verschillen die ik nu zo zou kunnen noemen op de snelle sprong.

**Ivana:** In het geval van product as a service, betaalt de opdrachtnemer geen boete als de weg onderhoud wordt omdat de weg dan niet beschikbaar is?

**Daan:** Nou wat ik, wat ik net al probeerde te zeggen, het hangt af van dat soort afspraken dat worden gemaakt. Een as a services contract dicteert nog niet wat voor soort afspraken er in de afrekening zitten. Als het klopt dat net als in een DBFM prestaties ook in de afrekening zitten, dan is het dan is het gelijk. Dus dan zijn vergelijkbare afspraken gemaakt, consequenties qua hoe ze al dan niet betaald worden. Maar het kan ook gaan over een dat je een abonnement afsprekt met de overheid. Dat kan ook of uurtje factuurtje hé. Dat is het een *input-based as a service*. Dus je kan er ook heel erg specificeren ook de technische oplossing die al van tevoren is dichtgetimmerd met de opdrachtgever. Het kan ook zijn dat de opdrachtgever puur en alleen een bepaalde ontastbare functieomschrijving wil nageleefd zien en dat de technische invulling daarvan compleet vrij is voor de aannemer. Die vrijheid is niet aanwezig bij een DBFM.

**Ivana:** Hoe houdt een aannemer bij of een werk onderhoud nodig heeft en wanneer?

**Daan:** Hoe houdt een aannemer bij of die onderhoud of nodig heeft en wanneer? Ik denk dat in eerste instantie de aannemer daar ja op zijn eigen systeem en nog steeds daar zal leunen, want technisch zal er denk ik qua nodig interventies niet heel veel veranderen. Tenzij ze een hele inventief...eh...een nieuwe soort materialen gebruiken waarvan ze de faal mechanismes niet goed kennen. Dan zullen ze daar omwille van pilot ding natuurlijk heel erg zorgvuldig naar kijken. Kijk en dat is natuurlijk wel eerder denkbaar binnen een eigen servicecontract dat men gaat experimenteren met nieuwe soort materialen om die duurzaamheid te willen stimuleren, duurzamere goederen te willen gebruiken en implementeren. Dus dat zal, zeg maar bij nieuwe keuzes, zorgvuldiger betrokkenheid en meer overwegingen en meer aandacht bij het maken van die overwegingen in zich hebben. Een voorbeeld is één van die pilots die

wat verder is daar kun je aardig zien wat daar zeg maar anders gebeurt. De provincie Noord Brabant is onderdeel van de Circulaire weg pilot of van het programma. Zij hebben in licht armaturen geïnvesteerd, licht amateurs die eigendom zijn van Dura Vermeer nu op dit moment op een bepaalde provinciale weg in Noord Brabant. En wat zij hebben gedaan is een nieuw soort software die nog niet zo heel vaak was toegepast gebruikt om te kijken of de lichtintensiteit geoptimaliseerd kan worden naar wanneer daadwerkelijk gebruik wordt gemaakt van die weg. Dus denk aan de traditionele situatie, daarin zou bijvoorbeeld de provincie Noord Brabant hebben gezegd: wij willen dat de verlichting op die weg altijd aanwezig is, altijd die sterkte heeft en wij willen dat jij aantoonbaar maakt dat die lichtintensiteit altijd zo is. Dat kan een prestatie afspraak zijn. Bij een as a services constructie kunnen ze dat niet meer echt eisen. Dan is het meer van die weg moet aan een bepaalde functies voldoen. En een functiebeschrijving staat vaak los van de technische invulling van die functie. Dus het is meer in het effect wat je hoopt dat bereikt wordt en de invulling daarvan is vrij voor de aannemer. Dus wat ze daar hebben gedaan is: lichtarmaturen met nieuwe software waarin ze hebben ontdekt dat de lichtintensiteit met tien procent omlaag kan. En eigenlijk voor de automobilist weinig te kort gaat doen voor de zichtbaarheid op de weg, maar qua CO2 reductie of energie verlaging een enorm effect heeft, want het gaat meteen over tien procent minder energieverbruik van 150 lichtarmaturen. Dus dat was het voorbeeldje van innovatie. Ik weet niet precies op welke vraag ik daarmee antwoord gaf, maar daar moest ik aan denken.

**Ivana:** Ja, ik probeer in kaart te brengen of er in vergelijking met de traditionele weg bij product-service extra technologieën nodig zijn voor het controleren van kwaliteit dat geleverd wordt.

**Daan:** Wat je dus ziet is dat de grote impact die er eigenlijk op dat front gebeurt, dat voorheen in DBFM de overheid toch wel nog een belangrijke functie speelt in werkprestaties die er nageleefd moeten worden en dus ook, zeg maar in de *driver's seat* zit om te bepalen hoe dat gemonitord wordt. Bij de service constructie, zoals ik nu zie ontstaan bij die pilots, is dat veel meer op gelijkwaardige basis. Ze maken samen beslissingen over hoe dat gemeten gaat worden, want de overheid als klant zijnde kan niet inschatten welke technologie er worden... erin wordt geïnvesteerd. Ze willen wel vinger aan de pols houden, ze blijven in gesprek, maar ze mogen niet beslissen. Dus zij zijn eigenlijk meer een soort coach en de aannemer is in de *driver's seat* nou. Die heeft ook de keuzevrijheid om innovaties te gaan toepassen; neemt die keuzes ook; constateert wanneer ze denken we willen graag de opinie van de opdrachtgever hebben maar met nieuwe technologie komt ook een nieuwe noodzaak om misschien die functie van die technologie te gaan meten of misschien is die technologie wel om iets te meten. Dat kan ook natuurlijk, dus het verschuift als het ware hoe dat die monitoring plaatsvindt en de basis is wederzijds vertrouwen.

**Ivana:** Betekent dat dat product-service is meer flexibel? Kun je na het sluiten van het contract, door de jaren heen, nieuwe technologie of nu nieuwe manieren introduceren om die service te verbeteren als aannemer?

**Daan:** Eén van de dingen die mij aantrek aan het concept, maar dat is hypothetisch zeg ik meteen bij, maar wel gebaseerd op een aantal enkele observaties, incidentele observaties in de pilot die wat verder zijn, is dat het ondernemerschap helpt verruimen. Vergroot de ruimte om als ondernemer, en niet als aannemer van ik doe wat je zegt, maar meer als ondernemer te ageren en ook kansen te pakken als je ziet omdat het je eigen investering is eigenlijk, die je doet. Dus ja, dat is voor mij een hele grote kwinkslag in die pilot.

**Ivana:** Welke strategie gebruikt een ondernemer zoals Dura Vermeer om circulariteit en/of duurzaamheid van zo een weg te vergroten?

**Daan:** Welke strategie? Ja, dat hangt ervan af wat je bedoelt, op welk niveau strategie, want ja, dat zijn heel veel nieuwe ballonnetjes die ze proberen. Het is een poging om iets anders te gaan doen. Of bedoel je dan weer meer wat daarachter zit?

**Ivana:** Bijvoorbeeld: je hebt genoemd dat een mogelijkheid is om meer duurzame materialen te gebruiken. Dat dat ook een strategie kan zijn want dan verlaag je milieu impact...

**Daan:** Of bedoel je met strategie de echte strategieën?

**Ivana:** Ja

**Daan:** Want daar kan ik me wat bij voorstellen?

**Daan:** Het borduurt verder op mijn aanname of mijn hypothetisch denken, dat doordat er meer ondernemersruimte ontstaat, bij de aannemer ontstaat er wat meer bewust zijn van de mogelijkheden om circulaire maatregelen te treffen op het gebied van hergebruik van dingen; op het gebied van toepassen van recycling op dingen of materialen anders te kiezen dan ze doorgaans zouden doen. En omdat het gelijkwaardig speelveld is, is de deling in de risico's van een nieuwe keuze ook gelijk. Dus hè, waar een innovatie in een DBFM contract wanneer je een innovatie zou toepassen, eerst langs een hoop goedkeuringstrajecten moet bij een opdrachtgever, is dat nu meer op gelijke voet. Wij willen dit gaan doen en wij contacteren jullie, opdrachtgever om te kijken van goh wat denken jullie daarvan? Maar uiteindelijk ligt de keuze nu bij de aannemer om het te gaan doen of niet, want het is hun eigendom. Het enige waar zij door kunnen worden geblokkeerd door de overheid is wanneer de juridische eigendomsrechten geschonden worden want dan blijft zoiets als publieke verantwoordelijkheid...die zal blijven bij de overheid. De overheid blijft de publieke partij en die heeft bijvoorbeeld veiligheid te garanderen en zodra er een rechtszaak plaats gaat vinden, dan is de overheid degene die op het bankje moet gaan staan. Snap je, om maatregelen te treffen, dus ook al zou er contractueel worden afgesproken om juridisch eigenaarschap aan een aannemer te geven, waar wat volgens mij wettelijk heel lastig is, zo niet onmogelijk is, maar ik ben geen jurist, dus hou me daar niet op vast. Zelfs dan zal een aannemer zichzelf in een rechtszaak, mocht er iets gebeuren, los wrikken van het feit van ja, maar dat is uiteindelijk de beslissing van een overheid om mij die vrijheid te geven. Dus ja, juridische component ervan maakt dat er toch nog wel een hiërarchisch verschil is bij de wet, maar op economische gronden en investeringsbeslissingen worden het meer gelijkwaardig.

**Ivana:** Tegenwoordig is het recyclen van bepaalde materialen/producten duren dan het maken van deze producten/materiaal. Kampen opdrachtnemers met dit probleem?

**Daan:** Verwacht dat aannemers problemen zullen tegenkomen bij het maken van...hmm..hergebruik...?

**Ivana:** Nee, wat ik eigenlijk bedoelde is: zijn deze strategieën die benoemd zijn altijd economisch rendabel?

**Daan:** Oké, dat is interessant wat je daar vraagt. Je hebt een nauwe definitie van economische haalbaarheid en je hebt een bredere definitie van economische haalbaarheid. Als je de nauwere bekijkt dan heb je het puur over de kosten versus de opbrengsten en de balans daartussen. Dan zou ik zeggen dat circulaire maatregelen zeker in den beginne duurder zijn, want het vergt vaak ook uitzoekwerk hè, het onderzoek; hoe bepaalde materialen in een bepaalde nieuwe toepassing zich gedragen. Dus denk bijvoorbeeld aan een soort mengsel voor asfalt als dat over een weg wordt gelegd en het zou duurzamer zijn. Wat is dan daadwerkelijk duurzaamheid van dat recept en presenteert het net zo goed als het traditionele asfaltering of verharding met betrekking tot scheurvorming en zwakheid of stroefheid dus dat soort dingen moeten allemaal in hetzelfde malletje passen. Dus dat zal bij onbekende materialen of materialen waarvan wij het nog niet weten hoe ze zich in de buitenwereld daadwerkelijk gedragen. Dan zal dat weer bij die pilots op gemonitord worden of op gemeten. Door de aannemer zelf ook. Dus dat wordt duurder dan. Als je het in een bredere context beschouwd, economische haalbaarheid, dan zit je ook met bijvoorbeeld de milieu impact en de sociale impact die keuzes hebben, dan zie je, denk ik, een balans ontstaan. Dat het, ja, het wordt duurder, maar het geeft ook positievere baarde op die niet monetaire aspecten. Dat denken zie je langzaam nu verschuiven, wat zo een dienst combinatie zo een as

a service combinatie aantrekkelijker maakt doordat de banken steeds ontvankelijker worden voor dat idee. En ik als het economisch smul daarvan.

**Ivana:** Hiervoor heb ik eerder onderzoek gedaan naar een product as a service, maar dan bij de bedrijven die gewoon producten leveren zoals wasmachine of koptelefoons. Daar was de grootste uitdaging om de voorfinanciering te verkrijgen van de banken omdat de banken bedrijven met zo een businessmodel vaak zien als een grote risico. Ik vroeg me af, het geval van Dura Vermeer hoe zij zo een project voorfinancieren want zo ver ik het begreep, moet Dur Vermeer eigen geld investeren voordat zij dat geld terugkrijgen van de opdrachtgever.

**Daan:** Ja, daarom zie je dat pilot nog niet op hele grote megaprojecten gebeuren, maar op vrij kleine, relatief onschuldige objecten zoals een fietsbrug ergens midden in een wijk. Daar zijn die risico's nog te managen voor de aannemer, binnen de financiële mogelijkheden die zij zelf hebben. En dat is denk ik, ook een antwoord op die vraag. Risico's zijn echt en hoe groter het woord, hoe groter de risico's worden en hoe meer naar de banken wordt gekeken voor de financiële middelen, hoe meer banken betrokken raken bij dat vraagstuk hoe stringenter zij ook eisen zullen opleggen aan hoe er wordt omgegaan met risico's maar daar zijn we nog niet, denk ik. We hebben wel banken aan de boord in onze pilot. We hebben een promotionele bank en en daadwerkelijk financieel gedreven banken als ABN AMRO en de NWB. Die promotionele bank, die is al eerder overstag gaan voor geven van financiële middelen, omdat zij, zeg maar ja, in de business zijn om maatschappelijk verantwoord ondernemen te stimuleren. Dus dat is wel een beetje verkapte subsidiestroom aan financiering, want zij stellen daar wel leningen voor, maar die zijn heel galant. Als wordt ik daar niet zo warm van hé, want dat geeft voor mij nog niet een beeld van dat bij opschaalbaarheid dat nog mogelijk is. Daarvoor moet je echt richting ABN AMRO gaan. Maar wat ik daar nog wel hoor is dat de basis waarop het vertrouwen rust, dat terugbetaling van leningen kan worden gedaan bij de huidige voorstelbare businessmodellen die het resultaat zullen zijn van deze soort van as a service afspraken, die zien zij er nog niet. Dus dat is denk ik ook onderdeel van het onderzoek in die zin, waar dat vertrouwen vandaan komen binnen die afspraken? Waar kan je garanties inbouwen? Waar moet dat vandaan komen? Ehm mijn suggestie zal zijn dat toch wel bij de overheid ligt, want die is uiteindelijk ook klant en dat zal dan zitten in die terugkoopsom denk ik. Een bepaalde garantie van een niveau.

**Ivana:** Ja, uit mijn vorig onderzoek bleek ook dat accounting die wij nu tegenwoordig hebben loodrecht staat op de principes van circulaire economie want...

**Daan:** Ja, ben ik met je eens. Dat is ook één van de dingen waar ik me steeds tegen...ja...Ik ben een bedrijfseconoom dus financiën, *insurances* en accounting zij dingen waar ik naar kijk. Waarde word gewoon lineair vastgelegd in de accountancy vandaag, punt.

**Ivana:** Ja, en onderzoeken jullie dat ook binnen jullie pilots en hoe zie jij een verandering hierin ontstaan?

**Daan:** In accounting bedoel je?

**Ivana:** Ja want het lijkt mij lastig om verder te gaan met zulke product-service businessmodellen als accounting die wij tegenwoordig kennen daar niet op gepast is.

**Daan:** In veranderd, ja. Ik denk dat accounting hier te maken heeft met ook meenemen in de waarde schatting, wat toekomstige bestemmingen van materialen voor een waarde hebben. Dingen die je in de boeken hebt staan, die af dankt, dat die ook waarde hebben. Kijk nu, wat maakt accountancy nou lineair? Het is schrijven alles af naar nul, waar we met een circulaire economie juist zeggen dat waarde behouden blijven. Dus wat is dan nog steeds die waarde die in de boeken moet? Er zullen dan andere afschrijvingsregeltjes moeten komen en wellicht moeten we het helemaal niet over het afschrijven hebben. Dus dat is eigenlijk wat er moet gaan veranderen en dat heeft grote implicaties. Dat heeft grote implicaties.

**Ivana:** En hoe bepalen jullie de waarde aan het einde van de levensduur van zo een weg?

**Daan:** Heb ik een afstudeerder op lopen op dit moment, dus daar kan ik je geen concreet antwoord op geven.

**Ivana:** En is het mogelijk haar spreken?

**Daan:** Hem. Hm ja. Ik zou zeggen waarom niet? Zijn naam is Sjef Hereijgers. Hij werkt vanuit de TU Delft voor het programma en hij naar de restwaardebepaling van die projecten en hij heeft al die waarderingsmethodieken bekeken en is aan het afpellen, zeg maar, welke de meeste logisch zijn. Dus hij heeft ook heel erg goed beeld van dat palet.

**Ivana:** En ik heb nog een theoretische vraag: is het theoretisch bekend met hoeveel jaren levensduur van zo een weg verlengd kan worden wanneer er product-service daarop toegepast is?

**Daan:** Sorry, ik wordt een beetje afgeleid, want mijn volgende afspraak begint te piepen dat ie wilt dat ik kom.

**Ivana:** Oke het is ook de laatste vraag. Is het theoretisch gezien bekend met hoeveel jaren levensduur van een weg verlengd kan worden als gevolg van product-dienst combinaties?

**Daan:** Mag ik de vraag weder stellen? Wat verwacht je dat het antwoord gaat worden?

**Ivana:** Dat het niet bekend is.

**Daan:** Haha, ja. Denk dat dat het juist is. Haha.

**Ivana:** Ik denk altijd niet geschoten is nooit raak dus vandaar dat ik het vraag. Naja, dan kunnen we het interview afsluiten gezien jij naar de volgende afspraak moet. Hartstikke bedankt hiervoor.

**Daan:** Ik hoop dat het je helpt.

**Ivana:** Ja, ik heb nu nieuwe inzichten verkregen maar daardoor ben ik nog meer in de war...

**Daan:** Haha

**Ivana:** Maar ik denk dat ik het moet laten bezinken. Vind je het goed als ik later nog meer vragen heb dat ik die via mail stuur? Sta je daarvoor open om die te beantwoorden?

**Daan:** Het als je het kernachtig kan houden en als je het in één pakket kan sturen.

**Ivana:** Ja, ja, natuurlijk. Ik ga alles in één keer sturen na alle interviews en wanneer alle materialen en literatuur bestudeerd is. Voor nu heb ik genoeg en ik kan hiermee verder. Nogmaals hartstikke bedankt.

**Daan:** Heel veel succes.

**Ivana:** Dank je wel.

**Daan:** En doe de groetjes aan Benjamin.

**Ivana:** Ja zal ik doen. Hij heeft verteld dat jullie elkaar kennen.

**Daan:** Ja. Dag.

**Ivana:** Dag

## C.2 Mol 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Karlijn Mol

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** Dura Vermeer

**Performed on:** March 30th 2021

**Function:** Sustainability manager

**Ivana:** Zou u uzelf kort kunnen voorstellen en uw functie bij Dura Vermeer?

**Karlijn:** Ik ben Karlijn Mol en ik ben verantwoordelijk voor duurzaamheid bij Dura Vermeer infra

**Ivana:** Hoe lang bent u werkzaam bij Dura Vermeer?

**Karlijn:** 3 jaar

**Ivana:** Hoe lang werk je de Circulaire wegen

**Karlijn:** 3 jaar

**Ivana:** Wat was de drijfveer voor Dura Vermeer om infrastructuur als service aan te bieden?

**Karlijn:** Heel veel technische innovaties, maar we zien eigenlijk heel weinig innovaties op het gebied van samenwerkingsvormen of business modellen dus dat was een kant van het verhaald. Wij zochten eigenlijk naar een manier om eigenlijk via een business model innovatie meer technische innovaties te krijgen. En het tweede was dat op dat moment precies het periode was dat Signify best wel groot werd met Philips op Schiphol. Dus toen dachten wij: hey dat is eigenlijk een hele interessante.

**Ivana:** Dus eigenlijk was het voor jullie een kans om mee te doen met de nieuwe innovaties in de markt?

**Karlijn:** Ja

**Ivana:** Hoe zit jullie business model in elkaar? Hoe monitoren jullie beschikbaarheid van een weg en hoe wordt koppelen jullie een economische waarde van de beschikbaarheid van een weg?

**Karlijn:** Je bouwt een programma van eisen en daarin stel je de eisen van de dienst dus de functionele eisen maak je. Vervolgens ga je berekenen wat zal het kosten om die dienst, zeg maar, beschikbaar te houden. De dienst kan alleen beschikbaar zijn maar een dienst kan ook zijn: ik wil het beschikbaar hebben tegen een bepaalde MKI of ik wil over een weg gaan en het moet ook deze verlichting hebben of je zegt het moet met name bestaan uit de secundaire bouwmaterialen dus je kan eigenlijk in het programma van eisen verschillende eisen stellen met wat voor een dienst je eigenlijk wilt afnemen. En vervolgens ga je ook nog aan het begin en het einde van de contracten bepalen wat de waarde is van de asset en het verschil daarvan reken je af aan het einde van het contract. Dat is de kern van business model.

**Ivana:** Ik weet dat bij zulke projecten bedrijven grote voorfinancieringen moeten doen. Betekent dat dat jullie een voorfinanciering doen en wanneer een weg klaar ligt, de gemeente of de overheid per maand een bedrag betaalt voor het gebruik daarvan?

**Karlijn:** Dan kan.

**Ivana:** Of werken jullie met mijlpaalbetalingen?

*(Karlijn kende het begrip mijlpaalbetalingen niet wel het principe ervan nadat het uitgelegd werd)*

**Karlijn:** Je kan daar verschillende varianten in maken het heeft geen invloed op de business model behalve dat de opdrachtgever goedkoper kan dan de opdrachtnemer. Dus je moet daar gezamenlijk een business vorm vinden. Dus er zijn verschillende varianten in mogelijk, in hoeverre je je als opdrachtnemer voorfinanciert of niet. Daarbij, is het ook zo dat je regelmatig...kan je natuurlijk ook

zeggen joh ik neem een weg over maar dan hoeft niet op dat moment wat eraan te gebeuren. Dat kan ook.

**Ivana:** dus eigenlijk is het heel flexibel. Het hangt er van af wat afgesproken wordt.

**Karlijn:** Ja, ja.

**Ivana:** Als we kijken naar de traditionele business modellen: hoe circulair zijn/waren de wegen gebouwd?

**Karlijn:** Dat verschilt enorm per weg, maar waar je naar kijkt is aan ene kant wat stop je erin... je hebt verschillende lagen in de weg: onderlaag, tussenlaag, deklaag. Afhankelijk van die laag heb je weer verschillende niveaus van hoeveel hergebruikt materiaal stop je erin. Dan heb je hoelang gaat die weg mee zonder dat je er iets aan hoeft te doen en dan is het aan het einde wat doe je weer met de materialen die vrijkomen. Naar mate die uit meer secundair materiaal bestaat, langer mee gaat en naar mate ie meer herbruikbaar is het natuurlijk meer circulair.

**Ivana:** mijn casus bestaat uit elementenverhardingen omdat deze een van de grootste materiaalstromen zijn binnen de gemeente Leiden. Wat is gemiddeld levensduur van een langzaam verkeer weg bestaand uit elementenverhardingen?

**Karlijn:** Dat weet ik niet. Sorry. Ik zal daar gewoon met een aanname werken van 10 jaar.

**Ivana:** Met hoeveel procent verwacht u de circulariteit van de wegen(bouw) te kunnen vergroten met de implementatie van de product-service contract?

**Karlijn:** Dat weet ik niet. Dat ligt aan de randvoorwaarden en het hangt af of het gaat over een tijdelijke weg of een bestaande weg. Ook van wat voor een scoop heb je, dus gaat het over een weg of een brug. Wat is de normale levensduur ervan? En wat zijn additionele eisen. Je zegt eigenlijk, het is een servies aan zich. Het feit dat de dienst centraal staat plus de waardering in de restwaarde inbouwt dat leidt tot een bepaalde circulariteit en die circulariteit bestaat uit drie elementen: één is prikkel om die weg zo lang mogelijk mee te laten gaan; twee is toxiciteit dus je krijgt een prikkel om zuivere materialen toe te passen die zijn beter herbruikbaar en drie is demontabiliteit dus je krijgt een prikkel om beter herbruikbaar te maken. Maar dat is alleen stukje restwaarde. Daar bovenop kan je eisen gaan stellen op het gebied van MKI of input van je materialen. Het totale pakken maakt het dat het meer circulair is.

**Ivana:** Welke technieken gebruiken jullie om levensduur van een weg te verlengen?

**Karlijn:** Dat kan van alles zijn. Het kan beter onderhoud zijn. Dus vaker klein onderhoud plegen. Dat kan verjongingsmiddelen zijn. Dat kan dikkere weglaat zijn of een andere type bitumen. Dus het kan van alles zijn.

**Ivana:** Hoe verschilt het onderhoud van een service-weg t.o.v. een traditionele weg? Ik begreep van RWS dat zij bij DBFM liever één groot onderhoud doen dan meer kleinere. Doen jullie dat ook en hoe bepalen jullie of een onderhoud nodig is?

**Karlijn:** Ja dus. Om op die laatste een antwoord te geven, wij weten dat ook nog niet want het zit nog in de ontwikkeling. Het verschil is dat bij DBFM heb je na 20 jaar nog steeds geen grote prikkel om die waarde heel hoog te hebben, dus het is overdragen of niet. Dat doe je hier wel. Het kan best zijn dat je hier na 19 jaar aan het einde...stel voor ik heb contract van 20 jaar...dan kan dat je alsnog een groot onderhoud moet plegen omdat je dan betere weg oplevert. Dat kan. Dus wij weten nog niet hoe wij onderhoud anders kunnen doen dan traditioneel. Wat is verwacht is wel dat we het vaker gaan doen en dan kleiner, maar dat is een aanname.

**Ivana:** Nemen jullie in jullie contracten de onderdelen die onder de grond zitten zoals kabels, riool etc. of alleen het wegdek?



**Karlijn:** Het kan allebei, maar in de pilot die nu lopen hebben wij dat niet gedaan omdat het vaak nog ingewikkelder maakt.

**Ivana:** Hebben jullie in die pilots duurzame materialen?

**Karlijn:** Wij zijn nog bezig dus we hebben dat nog niet gedaan behalve bij verlichting. Daar zijn LED lichten bij gebruikt i.v.p. gewone lampen. Dus daar zijn in die zin duurzamere producten gebruikt maar dat is ook logisch want daar zijn wij verantwoordelijk voor de energie dus dan ga je daar van zelf LED gebruiken.

**Ivana:** Heeft of is Dura Vermeer van plan om groene energie te gebruiken van de aanleg en onderhoud van service-wegen?

**Karlijn:** Dat kan. Je kan er voor kiezen. Op het moment dat je MKI meeneemt in je service vergoeding dan is logischer om te doen. Als je dat niet erin bouwt dan is het financieel ook niet aantrekkelijk om dat te doen. Laat ik het zo zeggen. Je kan het nog steeds doen maar het is financieel minder aantrekkelijk.

**Ivana:** Tegenwoordig is recyclen van bepaalde materialen en/of producten duurder dan het maken van deze. Is dit ook een kwestie voor Dura Vermeer? Zo ja: voor welke materialen is dat het geval?

**Karlijn:** Het is wel zo dat wij voor asfalt dat vrijkomt hele lage prijs krijgen dus daarom zeggen we ook dat de waarde van de weg niet alleen kan bestaan uit de materialen maar ook moet bestaan uit de kwaliteit want anders is de prijs van de waarde zo klein ten opzichte van de totale project prijs dat niemand echt een ander gedrag gaat vertonen.

**Ivana:** ‘Aan het einde van de samenwerking kan de opdrachtgever de weg laten oogsten of de grondstoffen overdragen.’: op basis van wat wordt deze keuze gemaakt?

**Karlijn:** We kunnen in principe alles hergebruiken voor 100 % maar heel vaak is downgraden dus dat wij het als fundering onder de grond stoppen. We verwachten ook dat we meer verschillende lagen van de weg meer uit elkaar gaan halen en dan een hogere restwaarde voor krijgen.

**Ivana:** Bij de casus die ik aan het onderzoeken ben zij alle elementenverhardingen gedowngraded terwijl levensduur van elementenverhardingen meer dan 100 jaar is. Waarom worden materialen gedowngraded als ze toch nog hergebruikt moeten worden? Ik neem aan dat hergebruik goedkoper is dan recycling?

**Karlijn:** Dat ligt heel erg aan je logistiek. Ben je in staat die klinkers eruit te halen en dan weer te vervoeren dus de kosten van logistiek en recycling proces zullen daarmee te maken hebben. En dat hangt weer heel erg van het project af en type baksteen.

**Ivana:** In het geval van wegen bestaand uit elementenverhardingen, zijn er design mogelijkheden die het uithalen van zo een weg het makkelijker maken?

**Karlijn:** Hele terechte vraag, maar ik weet het niet. Ik kan mij voorstellen dat als je de klinker groter maakt het makkelijker zal zijn, ik zeg maar wat, want dan heb je er minder van. Nee ik weet het niet maar ik vind het een hele goede vraag. Ik denk dat het een interessante vraag is om te kijken of het relevant is voor de wegverhardingen. En ook in hoeverre heb je invloed op de kwaliteit van de wegverharding en op de herbruikbaarheid.

**Ivana:** Dat waren eigenlijk alle vragen die ik had.

**Karlijn:** Ik kan je ook niet meer antwoorden geven want het is voor ons allemaal een zoektocht. Wat je ziet is dat je kan kijken naar de invalshoek van wat voor type infrastructurele asset heb je zoals wegverharding of een brug of een.. wij zijn met ProRail in het gesprek over treinhuisjes, asfaltwegen... Je kan van alles doen. Dus dat heeft een invloed. Bijvoorbeeld ook wat is de doorlooptijd van bermbord, bijvoorbeeld, die elk paar jaar vervangen wordt dus dat is heel anders dan een brug die daar 100 jaar

ligt. Dus dat zijn allemaal dingen die invloed gaan hebben op de mate waarin dit model interessant is of niet.

*Hierna is het interview afgesloten.*

### C.3 Franken 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Peter Franken

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** Movares and RWS

**Performed on:** March 30th 202

**Function:** Project Manager at Movares and contract manager at RWS

**Peter:** Ik zal even toelichten wat mijn rol is in de projecten, om teleurstellingen te voorkomen. Jij bent natuurlijk aan de voorkant van de projecten bezig om te bepalen of en zo ja hoe de projecten aan besteed moeten worden. Mijn rol in DBFM is met name in de exploitatie en realisatie van uitvoeren en begeleiden van dat soort projecten. Voorafgaand aan die DBFM contracten zijn er dus van meerwaardetoetsen geweest, op basis waarvan men besloten heeft dat dit een DBFM contract moet gaan worden. Daarmee ben ik zelf niet bij betrokken geweest, dus dat is eigenlijk een klein beetje waar jij naar opzoek bent, in de afweging wanneer ga je nou een DBFM contract kiezen of een normale aanbestedingen procedure. Ik kan je alleen meegeven hoe het dan gaat in een DBFM contract, hoe die uitvoering begeleiding loopt en misschien dat dan een aantal vragen van jouw beantwoord worden. Dat soort meerwaardetoetsen, maar dan moet je bij Rijkswaterstaat, de kennis pool PPS zijn, die maken die afwegingen aan de voorkant. Er is een hele belangrijke afweging eigenlijk dat alle projecten van zo en meer dan 60 miljoen is, dan gaan ze pas kijken of het mogelijke een DBFM contract zou kunnen worden, dat moet vervolgens nog worden afgewogen of dat een meerwaarde heeft dan het traditionele contract. Dus dat is eigenlijk het belangrijkste deel dat ik je mee wil geven. Mijn focus zit zeg maar op een gebied die misschien niet helemaal aansluit op jouw directe onderzoeksvraag, maar misschien dat we daar een richting aan kunnen geven.

**Ivana:** Ik denk dat uw een paar vragen kan beantwoorden omdat ik mij focus op beide dingen. Aan ene kant wilt gemeente bij welke projecten ze zo iets moeten implementeren, maar aan de andere kant wil ik als onderzoeker weten wat voor milieu effecten heeft zo iets. Dus ik wil levenscyclus analyse uitvoeren en daarvoor moet ik weten hoe zo'n uitvoering van zo'n project werkt. Maar zover ik begreep, u bent werkzaam bij Movares en bij Rijkswaterstaat?

**Peter:** Ik ben gedeveerd vanuit Movares naar Rijkswaterstaat.

**Ivana:** Kunt uw deze functie kort even toelichten?

**Peter:** Wat ik net zei, ik ben contract manager in zowel realisatie fase als exploitatie en daarmee zorg je voor contractbeheersing van het project. Dus alles wat binnen de verantwoordelijkheden valt van de opdrachtnemer, moeten wij vaststellen of de opdrachtnemer daaraan voldoet. Wij moeten ook uiteraard onze eigen verplichtingen nakomen richting de opdrachtnemer. Dus het is de belangrijkste binnen de DBFM contracten dat tijdens de realisatie dat hij aan alle eisen voldoet en de belangrijkste is eigenlijk nog dat na het eind van de realisatie of hij dan aan alle contractverplichtingen voldoende heeft ingevuld. Hij krijgt daar certificaten voor en dit is een vrij belangrijke tussenstap in het DBFM. Je kan zeggen hij is verantwoordelijk voor de hele levensduur van het project. Het is van belang dat wij die fase van ontwerpen en realisatie goed afsluiten en dat het goed gedocumenteerd is. Omdat 26 jaar later je niet meer kan kijken van, he, er ontbreekt nog een aantoning in de realisatie. Dus in de realisatie fase is het nog een strakke begeleiding van de opdrachtnemer. In de exploitatie is het met name het borgen van het leveren van de beschikbaarheid die wij gevraagd hebben. Met name de aantoning van die

beschikbaarheid gedurende het levensduur is voor ons van belang, zeker voor Rijkswaterstaat. Wat je ziet dat het een enorm grote financiële stroom in de exploitatie gaat lopen, omdat ie alles voor gefinancierd heeft tijdens de realisatie. Maar dat betekent wel dat er grote bedragen aan tegemoet staan die betaald worden en die worden onderbouwd met de beschikbaarheid van de weg. Daarmee ligt eigenlijk een onevenredige druk op de kwaliteit van de aantoning, omdat men vanuit Rijkswaterstaat altijd zo bekijken als er zoveel betaald wordt dan moet er goed gecontroleerd worden of die rechtmatig worden betaald. Die geleverde beschikbaarheidstoets is vrij zwaar, om die grote aanbetaling te kunnen onderbouwen. En dat is natuurlijk wat wij gedurende die tijd doen. Wij doen dat middels systeem contactbeheersing en daarmee toetsen we of die opdrachtnemer aan zijn verplichtingen voldoet.

**Ivana:** Hoelang werkt u aan de DBFM contracten

**Peter:** Ik werk al meer dan 10 jaar, ongeveer 14 jaar.

**Ivana:** Ik heb gezien dat onderhoud is een Nederlandse woord voor maintenance en beheer is een Nederlandse woord voor *operation*. Wat is eigenlijk het verschil tussen onderhoud en beheer.

**Peter:** Onderhoud is het in stand houden van objecten die daarin zitten en beheer dan ben je eigenaar en bedienaar van het object. In de meeste Nederlandse contracten is het DBFM en niet DBFMO. O staat voor *operation* en betekent dat de opdrachtnemer die dit doet die beheert en bedient de object niet maar voert alles uit om de beschikbaarheid te garanderen. Hij heeft een volledige onderhoudsverplichting met als doel om beschikbaarheid te leveren. Wij stellen niet eisen aan manier van onderhoud, maar wij stellen eigen aan beschikbaarheid en daar hoort een onderhoudscomponent bij en die mag je in principe naar believen invullen met de doelstelling om het aan ons te kunnen aantonen.

**Ivana:** Als we kijken naar de traditionele business modellen en DBFM(O), wat voor verschillen zien we het ontwerp van een infrastructuur en vooral dan bij de wegen?

**Peter:** Hmm ja...grote verschillen in het ontwerp zie je niet heel erg. Er wordt wel naar gekeken hoe het later onderhoud moet worden. Je mag ook aannemen dat in consortium dat een belangrijk aspect is. De eerste jaren van DBFM merk je dat eigenlijk de ontwerpers niet meer rekening hielden met het onderhoud aspect als normaal bij de traditionele contracten omdat dat zeg maar in de aard van het beestje zit die daar zitten. Je ziet ook dat de opdrachtnemer in het aantal verschillende deelprojecten werken eigenlijk en iedereen heeft zijn eigen verantwoordelijkheid. In de loop der tijd, zie je dat dat verbetert he wat ook de doelstelling is van DBFM: houd rekening met onderhoudbaarheid van de weg en met name heeft dat te maken met de bereikbaarheid van de bepaalde delen en natuurlijk het grote onderhoud dat erin zit. Wat je nu ziet is dat juist in de onderhoudsfase veel meer levensverlengend onderhoud wordt uitgevoerd dan dat het traditioneel werd gedaan. Men neemt zeg maar eerder nieuwe technieken over om met name onderhoud te kunnen uitstellen waardoor je natuurlijk een kans ziet om in zo een hele levenscyclus waarin je twee keer groot onderhoud moet uitvoeren één grote onderhoud te verwijderen en dat levert voor zo een opdrachtnemer een enorme winst op of in ieder geval een groot deel van zijn onkosten wordt weggehaald. Dat zie je met name in het ontwerp van wegen gebeuren.

**Ivana:** Maar eigenlijk ook in het onderhoud, want onderhoud neemt af?

**Peter:** Ja, want ze investeren meer aan de voorkant om die onderhoudsaspect zeg maar zo veel mogelijk terug te schroeven. Dat doen ze steeds meer.

**Ivana:** Wordt bij een groot onderhoud de hele weg vervangen of alleen een deel daarvan?

**Peter:** Nou, dat ligt aan de levenscyclus van de verschillende onderdelen die op de weg zitten. Er zijn veel installatieonderdelen die veel eerder een onderhoud nodig hebben. Met groot onderhoud bedoelen we met name zeg maar grote asfaltvernieuwingen die er zijn waarbij toplagen worden vernieuwd. Dat noemen wij echt een groot onderhoud en ook als je installaties moet vernieuwen. Je kan veel installaties onderhouden maar op den duur moet je die onderdelen vernieuwen. En die vernieuwing dat is wat een

opdrachtnemer probeert zo veel mogelijk uit te stellen. Hij zal ook heel veel zaken in reserve onderdelen opslaan omdat ie weet dat bepaalde onderdelen straks niet meer leverbaar zijn. Hij probeert het groot onderhoud te verlengen door zeg maar tussentijdsonderhoud en reserves te vergroten waardoor hij dat kan regelen. De praktijk leert wel dat met name in de installatietechnieken, voor zo ver die aanwezig zijn op de weg, dat daar ontwikkelingen in techniek zo snel gaan dat ondernemer vaak verplicht is om totale systemen te vernieuwen omdat die niet meer beschikbaar zijn op de markt. Als voorbeeld noem ik maar eventjes een hele simpele, dat is LED verlichting. We willen allemaal heel graag vanwege de energieverbruik dat we overgaan naar LED verlichting, maar je ziet dat als hij begint met de traditionele verlichting hij vrij snel verplicht is over te gaan naar LED omdat hele installaties niet meer te vergelijken zijn. Dus bij storingen is hij niet meer in staat de beschikbaarheid van verlichting te garanderen en dan zal ie in één keer over moeten naar volledige vervanging. Dus hij komt daarmee meestal wel beetje in de knel omdat hij niet meer in staat is zijn eigen onderhoudscyclus te volmaken omdat technieken sneller gaan en verkrijgbaarheid van onderdelen harder achteruitgaat dan dat hij zou verwachten.

**Ivana:** Is er wel ruimte voor zulke vervangingen in DBFM contracten?

**Peter:** Ja, de ruimte is er zeker want het heeft te maken met een verplichting voor beschikbaarheid. DBFM contracten die, laten we zeggen, genereren het groot onderhoud want hij moet die verplichting blijven nakomen en als je dat niet meer kan door onderhoud dan moet ie wel grote vervangingen doen. Wat je vaak wel hoort is dat innovaties binnen DBFM een probleem zijn. Dat is niet altijd zo maar heeft wel te maken met het feit dat je die zelfde beschikbaarheid moet blijven leveren en dat is nog al lastig om dat aan te kunnen tonen, dat die beschikbaarheid door innovaties geleverd kan worden. Die aantoning is nog wel een dingetje want het kan zijn dat een nieuwe systeem heel vaker uitvalt dan oorspronkelijke systeem. Dan heb je veel mindere beschikbaarheid gecreëerd.

**Ivana:** Ik wilde ook vragen in het geval dat je zo een vervanging moet doen, dan zou een weg minder beschikbaar zijn, krijgt een aannemer strafpunten in dat geval?

**Peter:** Daar zit een enorme ontwikkeling in. Elk DBFM contract heeft...daar zit een nieuw element in. De oorspronkelijke contracten waren redelijk strak daarin, zeg maar, die gaven er weinig ruimte. Je moet een object moeten kunnen onderhouden zonder dat dat leidt tot beschikbaarheidscorrectie of boetepunten. Maak je meer onderhoud dan voorzien in het contract dan krijg je boetepunten of beschikbaarheidscorrectie waardoor maandelijkse betalingen minder zijn. Het is dus wel aan de opdrachtgever om te bepalen of dat wordt toegepast. Als het echt een beschikbaarheid betreft ja dan is dat niet wat contractueel afgesproken is en leidt dat inderdaad tot verminderde betalingen, maar dat zal ook het geval zijn als een installatie uitvalt. Je zou een hele goede afweging moeten maken van extra investeringen voor die vervanging versus beschikbaarheidscorrectie die hij krijgt als het niet voldoet. Op het moment dat je gaat hebben over vervangingen ten behoeve van misschien wel verminderde energieverbruik, dan kan je natuurlijk aan de voorkant wel afspraken ga maken hoe je dat wel gaat organiseren. Een contract biedt altijd de ruimte om een afspraak te maken en als er een innovatieve oplossing wordt geboden. Dan kan er zijn dat je met de opdrachtgever de afspraken maakt over het vernieuwen van zo een oplossing om die ook te delen en dat daar verder geen kortingen op geleverd zouden worden. Dus die ruimte bieden DBFM contracten wel, maar je moet wel zelf die optie openen.

**Ivana:** Is er een spraken van toenemende circulariteit geobserveerd bij DBFM projecten?

**Peter:** Hmm, kijk, primair probeert men zo effectief mogelijk te werken. Daar wordt wel over nagedacht over dat soort circulaire zaken. Men wordt ook door nieuwe richtlijnen daar een beetje naar toe gedwongen. Hmm, het zit in de systemen maar het heeft niet zeg maar, hoe noem je het? De hoogste prioriteit, het circulair denken. Het wordt wel gevraagd en er wordt wel aandacht aan besteed, maar het is niet zo dat DBFM contract dat automatisch genereert, dergelijke zaken. Ze kunnen wel die initiatieven ontwikkelen.

**Ivana:** Wat was het primair doel van een DBFM contract?

**Peter:** Vanuit de overheid bedoel je?

**Ivana:** Ja.

**Peter:** Vanuit de overheid, had het natuurlijk mee te maken dat het op deze manier grotere projecten konden worden gerealiseerd ondanks het feit dat op dat moment weinig financiën voor waren. Tweede is dan uiteindelijk in de totale levenscyclus de contracten goedkoper zouden zijn omdat de opdrachtnemers dat effectiever konden inzetten vanuit het ontwerp richting de *life cycle* kosten, maar daarvoor moeten die contracten een flink lange levensduur hebben of doorlooptijd om bepaalde investeringen te kunnen terugverdienen door ondernemers. Die zien daar best mogelijkheden toe om bepaalde investeringen terug te verdienen maar dan moet het inderdaad wel 25-30 jaar door. Dat was de doelstelling. Wat je wel ziet is dat de omvang van projecten moet vrij groot zijn, wilt een ondernemer daar effectief zijn onderhoud kunnen inplannen en met name bij wegen zie je dat de schadeafhandelingen bepalen toch een groot deel van zijn inspanningen op het werk. Om dat effectief te kunnen doen, heeft ie eigenlijk een grotere areaal nodig dan alleen areaal dat in DBFM contract zit. Daar zit je ook samenwerkingsverbanden ontstaan met partijen die dat doen. Alleen er zit daar een heel gevoelig punt, schadeherstelling heeft weer te maken met de beschikbaarheid. Dus daar worden wel hoge eisen aan gesteld en partijen die dat doen hebben niet altijd die verplichting of die behoeftes achter zich als het na herstellen niet goed genoeg is. Daar wringt het, dat andere partijen vaak niet in staat worden gesteld om herstel te plegen omdat zij niet verantwoordelijk zijn voor de gevolgen. En daarom wilt een ondernemer dan zelf doen en tegen iets hogere kosten om risico te vermijden voor beschikbaarheidscorrecties als reparaties niet goed zijn. Dat is eigenlijk een neveneffect dat niet direct in je contract wordt meegenomen en in meerwaarde toetsen, maar het is wel een praktisch element, zeker bij wegen wordt veel schade gereden. Het is een heel belangrijk onderdeel van dagelijks partij op de weg omdat ie heel veel tijd en energie insteekt.

**Ivana:** Hebben DBFM contracten tot een langere levensduur van wegen geleid?

**Peter:** Het leidt niet per definitie tot langere levensduur. Het leidt wel tot een aantal punten: uitgesteld groot onderhoud omdat men een aantal voorzieningen treft die de onderhoudscyclus verlengen. De totale levensduur van een weg neemt iets toe omdat men levensduur verlengende oplossingen toepast. Als je als opdrachtgever die zelf niet toepast dan krijg je uiteindelijk een weg die je vrij snel moet vervangen. Dus bij oplevering moet je van uitgaan dat dat het moment is dat eigenlijk ook weer een groot onderhoudsperiode aanzit. Dat zal een opdrachtnemer zo naar toesturen dat hij binnen de beschikbaarheidseisen blijft maar dat hij daarna bij de overname van het project op korte termijn weer een grote onderhoudsfase aanbreekt.

**Ivana:** Wat zijn de technologieën die uitstel van grote onderhoud mogelijk maken?

**Peter:** Ja dat is een ... Ik ben het in de termen even kwijt want ik ben al een paar jaar uit, maar dat is toepassen van een soort levensduur verlengende...Ja hoe noem je dat? Dat spuiten ze erover heen. Dat heeft een naam hoor. En daarmee wordt de veroudering van de bitumen in het asfalt opgegeven waardoor de kans op het losbreken van stenen afneemt waardoor bepaalde schadebeelden in het asfalt niet zullen optreden niet normaal gesproken wel zouden optreden op de korte termijn. Ze kunnen schadebeelden daarmee uitstellen en daarmee het levensduur van het asfalt te verlengen. Er zijn nieuwe technieken die Rijkswaterstaat nog niet dorst toe te passen omdat ze nog niet aantoonbaar hadden geleid tot de gewenste resultaten. Dat doen ondernemers wel vrij snel want die zien dat wel zitten. En het heeft een hele andere effect op je financiën he. Dat betekent dus dat je later het groot onderhoud moet plegen en je ziet het ook Rijkswaterstaat gaat ook vanuit na zo veel jaar wordt het weer vervangen en na zo veel jaar wordt dat vervangen. Op deze manier ga je dus voorfinancieringen doen en die zijn er dan op dat moment niet om die grote investeringen uit te kunnen stellen. Ondernemers kunnen makkelijker investeringen wijzigen terwijl grote overheidsinstellingen hebben vaker moeite omdat om dat op grote

schaal te veranderen want die moeten dan jaren van te voren aangeven wat de financiële stromen zullen zijn. Ondernemers zijn dus flexibeler om dit soort zaken toe te passen.

**Ivana:** Hoe wordt gemonitord of een weg een groot onderhoud nodig heeft of wordt dat gepland aan de hand van eerdere ervaringen?

**Peter:** Daar zijn bepaalde meetmethodieken die daarvoor worden toegepast. Het zijn bepaalde methodieken met daarbij behorende criteria wanneer het niet meer voldoet en wanneer het wel voldoet zijn ook de wijzen waarop je beschikbaarheid ook aantoonst en als ie over bepaalde normen heen gaat dan is het niet meer beschikbaar. Wat je wel ziet dat de ondernemen probeert die methoden ook te verbeteren zodat ie eerder op de hoogte is van de mogelijk aankomende schadebeelden zodat hij die kan voorkomen. Ze zijn ook bezig met het ontwikkelen van software dat wanneer de auto's over weg heen rijden, dat soort schade kan worden vastgesteld waardoor zij eerder op de hoogte zijn van de ontwikkelingen en ze ook kunnen zien dat op een bepaalde locatie er al iets begint te ontstaan zodat misschien wel een kleine vervanging een hele grote vervanging een hele grotere vervanging over een grotere lengte kunnen voorkomen. Daarmee proberen ze ook meer eenduidigheid te krijgen in de afkeurcriteria want op een aantal zaken, zeker op asfalt zie je dat er schadebeelden zijn die vanuit ervaringen en inzichten bepaalt of er sprake is van een bepaald schade. Dat kan je natuurlijk veel beter als je daar computermodellen op loslaat en daar probeert een eenduidige criteria voor te vinden want vaak zie je dat het ene jaar een bepaald deel van asfalt goed is en andere wat slechter en het jaar daarop zie je dat dat gedeelte goed is en andere helemaal wordt afgekeurd. En dat gene dat slecht is dat is niet een beetje slecht dus dan denk je hoe kan dat nou. Dat betekent toch dat er heel veel interpretatie verschil in zit. Dus daar proberen ze betere meetmethodes te ontwikkelen en daar investeren ze ook in want dat levert hem weer geld op.

**Ivana:** Wordt er gebruik gemaakt van duurzame energie bij het onderhoud, beheer en/of aanleg tijdens DBFM projecten van Rijkswaterstaat?

**Peter:** Hmm. Daar is bij de Coen tunnel geen gebruik gemaakt van de duurzame energie. Er is wel een poging gewaagd om dat te doen met de zonnepanelen, maar dan stuit je vaak op bezwaren vanuit de omgeving. Dan moet je vergunning krijgen vanuit de gemeente. In dat specifieke geval, kon dat maar voor een bepaald aantal jaren gebeuren want was woningbouw voorzien, ja dat betekent die investering verplaatsen want die zonnepanelen waren onvoldoende om daarvoor in te zetten. Duurzame energie moet ook geen invloed hebben op de beschikbaarheid want aanwezigheid van energie is van een groot belang dus kan wel van een gedeelte afhangen maar vaak zijn dat meer terug leveringen dan dat het direct wordt toegepast op het object omdat de leveringszekerheid van de energie is een van de belangrijkste pijlers van de beschikbaarheid van heel veel installaties en die willen ze niet afhankelijk maken van, zeg maar, het uitvallen van energie bronnen. Dit wordt tot nu toe niet gedaan. In Rotterdam is nu een project door de Groene boog en A16 en daar zijn ze in tunnels bezig om met laag spanning alle installaties uit te voeren. Dat is eigenlijk een redelijk nieuwe techniek waardoor energieverbruik enorm afneemt, omdat je geen hoogspanning meer gebruikt maar laagspanning. Daarmee worden enorme energiereducties toegepast.

**Ivana:** Wat gebeurt er met de materialen aan het einde van de levensduur van een weg?

**Peter:** Ja daar hebben wij geen direct zicht op. Dat is eigenlijk ook wat jij net bedoelde met levenscyclus en of er circulair wordt gewerkt. Ja dat wordt daar waar nodig en waar kan, wordt dat hergebruikt maar dat is voor zo ver ik in kan zien, niet meer dan reguliere contracten of reguliere onderhoudsactiviteiten die plaats vinden. Dus daar ziet men geen extra ontwikkeling. Dat dat duurzamer wordt.

**Ivana:** Wie is verantwoordelijk voor de materialen waaruit een weg bestaat aan het einde van zijn levensduur bij DBFM contracten?

**Peter:** Eerlijk gezegd, zou ik je dat nu niet durven te vertellen. Als ik heel eerlijk ben. Hoe dat geregeld is, want over de levensduur van een weg zou je verwachten dat dat Rijkswaterstaat is, die verantwoordelijk is. Rijkswaterstaat blijft ook de eigenaar van de wegen en infrastructuur en die is ook eindverantwoordelijk voor dat deel. Met eisen in contract wordt geprobeerd dat soort circulaire zaken op te nemen en die zijn ook in DBFM contracten opgenomen maar zoals de stand van de zaken op dat moment was. Als je daar verhoogde circulaire processen in wilt hebben, dan zou je die aan de opdrachtnemer moeten opdragen.

**Ivana:** Ik heb nog één vraag, dus wij zijn eerder klaar dan gedacht.

**Peter:** Dat geeft niet.

**Ivana:** Ik heb gelezen over mijlpaalbetaling, maar ik begreep niet zo goed wat dat is.

**Peter:** Oke. Dat is eigenlijk. Hoe moet je dat uitleggen. Er zijn twee redenen dat die er zijn. Dat zijn eenmalige betalingen op bepaalde momenten in het project met twee doelstellingen: het is een financiële afweging om te zorgen dat de investeringen en uiteindelijk de betalingen in de loop van het jaar...je zoet zeg maar een vergrote aflossing aan de voorkant van het project waardoor je afbetaling in de rest wat lager wordt. Dus je doet toch wat kleinere investeringen richting de ondernemer daardoor worden de financiële kosten worden wat lager. Dus dat is het financieel idee daarvan; aan de andere kant is het een incentive voor de ondernemer om op bepaalde momenten van het project zaken af te ronden. Daarmee bedenk dat als hij 100 miljoen krijgt bij beschikbaarheid en hij krijgt een keertje 20 miljoen voor hij documentatie op de orde heeft voor de exploitatiefase begint, dan zijn dat financiële injecties die van belang zijn en de drive om die te halen en zo snel mogelijk om die niet te vertragen. Hierdoor wordt de haalbaarheid van het project in de tijd gestimuleerd. Dus daarmee krijg je een verhoogde kwaliteit en je krijg een grotere druk op het halen van de mijlpalen. En het halen van die mijlpalen gaat vaak zo ver dat het contract zegt je mag uiterlijk op dat moment moet die fase afgerond zijn en krijg je die eenmalige betaling en voor alles wat eerder is, krijg je die eenmalige betaling eerder. Als je die mijlpaal eerder haalt, dan krijg je ook eerder uitbetaald.

**Ivana:** Dus eigenlijk is het een manier om opdrachtnemer te stimuleren om goede dienst te leveren.

**Peter:** Ja en dienst betekent aan ene kant de kwaliteit levering en aantoning en aan de andere kant het halen van mijlpalen in de tijd en de planning. Dat heeft als voordeel dat je financiering wat naar beneden gaat door die eenmalige betaling. Dat zijn mijlpaalbetalingen. Die zijn meestal op twee momenten: beschikbaarheidsdatum dus het moment dat een object gebruikt kan worden waardoor die in exploitatiefase gaat. En het andere moment is voltooiingsdatum. Dat is het moment dat ie eigenlijk alle administratieve zaken en aantoningen heeft afgerond. Dat zijn de twee grote mijlpaalbetalingen. Voor de rest wordt er gedurende de realisatie vaak een bepaald percentage van de beschikbaarheidsvergoeding die hij elk kwartaal krijgt, die krijgt hij ook vergoed als een soort betaling voor soms al de zaken als onderhoud en soms als een kleine financiële vergoeding, Later gaat dat naar 100 % toe, dan krijgt ie over 25 of 30 jaar aantal miljoenen per kwartaal betaald gedeeltelijk voor het onderhoud en voor het grootste deel als aflossing van zijn leningen.

**Ivana:** Bedankt. Dit was dus mijn laatste vraag. Hartstikke bedankt voor uw hulp. Ik ben benieuwd of zulke contracten vaker zullen worden toegepast.

**Peter:** Het is heel veel toegepast. Ook een beetje, vanuit Rijkswaterstaat, door de financiële situatie. Ook door het feit dat daarmee ook efficiënter kon worden gewerkt. Kijk, elk voordeel heeft zijn nadeel. Je krijg natuurlijk een enorme lappendeken met delen waar ondernemers verantwoordelijk voor zijn. Zoals ik net aangaf, schadeherstel heeft daar ook effect op. Het heeft ook organisatorisch vaak wat problemen. Ze worden wel steeds verbeterd natuurlijk. Ik zit nu op een andere DBFM contract dat is de zeesluis in IJmuiden die is ook op die manier gebouwd. Daar zie je dat ondernemers grote risico's nemen bij de bouw. Dat kan natuurlijk tot de grote tegenvallers leiden bij ondernemers, maar grootste kunst is

om risicoverdeling binnen die contracten te houden bij de partijen die dat kunnen managen. In het begin was die risicoverdeling te veel in de richting van opdrachtnemer en in nieuwere contracten wordt dat toch beter verdeeld waardoor ondernemers in staat zijn om die risico's ook daadwerkelijk te dragen want vaak zijn die zo groot dat als ze optreden de ondernemers onderuit gaan en failliet gaan. Dat kan nooit de bedoeling zijn van dit soort contracten.

**Ivana:** Als iemand wie Industriële Ecologie studeert vind ik interessant om te horen dat er andere redenen dan duurzaamheid waren om met zulke contracten te beginnen. Bij Rijkswaterstaat was dat om werkdruk te verlagen en uit financiële redenen.

**Peter:** Ja deze zijn niet uit circulaire achtergronden ontstaan. Het is wel zo dat je vaak zaken in één hand heeft waardoor een partij beter in staat is om een aantal van dat soort elementen in te kunnen voeren en daar ruimte voor te geven want die ruimte heeft ie ook als een opdrachtnemer. En als hij dat niet doet dan moet je als opdrachtgever vaker wat meer aansturen. Het zijn wel vaak langdurende projecten waardoor de stand van zaken van 10 jaar geleden en straks van 20 en 30 jaar geleden. Ja die contracten blijven wel als ze waren dus wil je dit soort elementen toevoegen dan moet je dit soort wijzigingen in contract invoeren. Dat kan wel. Het is niet zo dat die contracten dat niet toestaan alleen dat heeft wel financiële gevolgen. Je moet dan betalen. Dat kan, is niet erg als we dat vinden.

**Ivana:** Ziet u dat wel binnenkort gebeuren vanuit Rijkswaterstaat?

**Peter:** Ja dat is wel onvermijdelijk. Je ziet daar een verbetering in zeker als het gaat om energie verbruik. Het is alleen hoe tactisch steek je dat in. Als je het niet ziet gebeuren of er zijn geen incentives in het contract, dan moet je dat doen. Ik heb bij Coen tunnel ervoor gekozen om te zeggen nou ja over 2 jaar zijn die spullen toch niet meer verkrijgbaar en moet hij de hele boel te vervangen. Ik ga hem nu geen opdracht geven om dat nu te vervangen want dat gebeurt straks in het regulier onderhoud, vervanging, worden al nieuwe technieken toegepast. Dus vaak is de markt die stuurt dit soort verbeteringen ook aan, dit hoeft je niet altijd op te leggen. Als de markt het niet meer levert en het moet op die nieuw manier, dan gaan dit soort contracten daarmee. Dus je kan het aan de voorkant van de keten veranderen en dan rolt de keten erna van zelf uit, maar als er geen ontwikkelingen zijn dan moet je die afdwingen. Het is vaak de vraag waar die incentive vandaan komt voor die circulaire economie. Aan de voorkant omdat je de bepaalde zaken niet meer gebruikt of aan de achterkant omdat je de noodzaak ziet.

**Ivana:** Oke.

**Peter:** Ja?

**Ivana:** Dat was het dan.

**Peter:** Succes verder en ik hoor wel wanneer je klaar bent.

**Ivana:** Ja. Hartstikke bedankt en een fijne dag.

**Peter:** Dag

## C.4 Zwerk 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Subject:** Danny Zwerk

**Performed by:** Ivana Mandić

**Organisation:** Dura Vermeer

**Performed on:** April 7th 2021

**Function:** Deputy director PPP unit at RWS

**Ivana:** Zou u uzelf kort kunnen voorstellen en uw functie bij Rijkswaterstaat?

**Danny:** Mijn naam is Danny Zwerk. Ik ben coördinerend adviseur bij het inkoopcentrum GWW, bij de directie grote projecten en onderhoud. Binnen die club zit ik in een clustertje dat we inkoopinformatie



team noemen. Wij zijn heel erg mee bezig met data en project overstijgende analyses maken, kijken welke inkoopinstrumenten of contractenvormen; beter werken onder de verschillende omstandigheden en welke ook niet zodat we over de volle breedte van de inkoopportefeuille van Rijkswaterstaat de goede dingen kunnen doen. Ik ben hier een beetje ingerold nadat we het PPS, DBFM programma van Rijkswaterstaat zo een beetje ten einde liep. Denk een jaar of 10 of 12 jaar geleden ben ik bij Rijkswaterstaat gaan werken bij PPS kennispoel. Dat was een speciale, nieuw opgerichte afdeling waar we DBFM programma van Rijkswaterstaat een vorm gingen geven. Door het kabinet waren er toen stuk of 20 grote projecten aangewezen bij Rijkswaterstaat om via DBFM aan te besteden, maar dat programma heeft niet echt een opvolging gekregen. Toen kwam ik er een beetje zonder werk te zitten en rolde ik weer meer in hoe presenteert DBFM eigenlijk nou ten opzichte van traditionele contractenvormen. Hiervoor heb ik gewerkt bij het Centraal Planbureau en het Ministerie van Financiën. Ik ben een econoom van huize uit. Ik heb bij de Financiën miljoenennota geschreven. Ik zat heel erg dicht bij budgettaire besluitvormingen in het kabinet. Daar na een jaar of 10 had ik een mooi rijtje van miljoenennota naast elkaar hebben staan maarja dat is wat anders dan...dat is papieren geld he. Bij de Financiën werd ik secretaris van de commissie-Ruding die het kabinet aanbevelingen gaf om DBFM te starten en vanuit die commissie ik in aanraking met Rijkswaterstaat en die PPS kennispoel en heb ik de overstap gemaakt. Dus ik weet van allebei een beetje. Van de overheidsfinanciën; hoe de begrotingscycli werken tot aan de uitvoering door, door Rijkswaterstaat in de concrete projecten.

**Ivana:** Als ik goed begreep ben u 12 jaar werkzaam geweest met DBFM contracten?

**Danny:** Ja. Doe maar 12 jaar.

**Ivana:** Ik vond interessant om te horen dat die projecten geen vervolg hebben gekregen. Wat was de reden daarvoor?

**Danny:** Verschillende redenen. Rijkswaterstaat en het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat hebben sowieso geen grote projecten meer op de markt. Wij hebben heel veel problemen met stikstofproblematiek. Eigenlijk ligt het hele programma even op pauze. Dat is één algemene reden. Een specifieke reden was dat wij zijn achter gekomen dat hele grote complexe projecten zoals die enorme sluis die we in IJmuiden zijn aan het bouwen of project van 1,5 miljard tussen Maasvlakte en Vaanplein met Botlegbrug ertussen. Heel veel unieke infrastructuur dat we met DBFM als Rijkswaterstaat te veel op de afstand zitten. Het heeft voordelen he want aannemer is vrij in ontwerp en heeft ruimte om te optimaliseren maar je laat ook wat uit je vingers glijpen als publieke opdrachtgever. Daarvan hebben wij bedacht bij het eerste volgende project dat op stapel stond, het was de ring Utrecht. Daar zit nogal een ingewikkelde tunnelbak met folie die als je die tijdens het bouw lek prikt dan overstroomt de hele provincie Utrecht ongeveer. Daarvan zeggen we: daarbij willen we gewoon bovenop zitten, ook in het ontwerpen, maar DBFM contract leent zich daar niet goed voor. Dus we hebben die...volgens mij had ik hem ook toegestuurd vorige week. Evaluatie van 15 jaar DBFM bij Rijkswaterstaat. Daar komt zo iets uit als bij projecten tussen 100 en 400 miljoen met niet al te ingewikkelde technische opgaven, daar is DBFM prima voor en dat willen we in de toekomst ook blijven doen. Alleen zijn er op dit moment geen projecten in de planning die dat profiel hebben. Dus het is niet einde van DBFM bij Rijkswaterstaat maar gewoon even een tijdelijke dip waarbij wij ons bewust van zijn van het gegeven dat zowel bij ons als bij marktpartijen nog nu mensen rond lopen de kennis hebben om dat te doen, maar als we nog 3 jaar wachten, dan gaan die allemaal wat anders gaan doen. Dan kunnen we weer bij vooraf aan beginnen. Dat zal zonde zijn dus dat is op dit moment binnen Rijkswaterstaat, binnen de Rijksoverheid het onderwerp van het gesprek van hoe moeten we hiermee verder.

**Ivana:** En wat zijn eigenlijk financiële prikkels voor een gemeente om voor de overheid om te werken met DBFM contracten?

**Danny:** Dan ga ik even terug naar die rapport van commissie-Ruding, die kan je ook op het internet terugvinden die heet: Op de juiste weg en op het goede spoor. Die zijn met hun analyse begonnen bij

het rapport van professor Van Berg die heeft onderzocht dat wereldwijd infrastructuurprojecten altijd duurder uitpakken dan vergroot en altijd langer duren dan gepland. Het idee was dat als je extra waakhond, in de vorm van banken introduceert bij projectstructurering, dat er meer druk komt op de beheersing van je planning en je kosten. Wat de overheid heel goed in is, is plan maken; dat gaan uitvoeren; tijdens uitvoering denken: ja, maar ja wij hadden eigenlijk dat ook gewild en weet je wat we doen dat er ook nog bij en dit vinden we ook wel mooi. En dan begin je een deel van een proces weer opnieuw en soms zijn dat ook fundamentele ontwerpenveranderingen die leiden dat zo een project langer gaat duren en duurder wordt. Als je externe financiers hebt in je project en je gaat ze vertellen van: nou, eigenlijk...we hebben geld geleend voor een brug maar we willen eigenlijk een tunnel dus mogen we nog 2 miljoen extra lenen, want die tunnel is duurder. Dan zegt zo een bank: ja dacht het niet. Ik ga er van uit dat ik op die dag mijn geld terugkrijg. Dat jij je lening gaat aflossen en dat gaat niet gebeuren als nog langer bezig bent. Dat doen wij dus niet. Dus het heeft veel meer scoopstabiliteit in het project. Dat is één en twee doordat die projecten een langere looptijd hebben waarin een partij die iets ontwerpt en verbouwt ook verantwoordelijk is voor het onderhoud ervan. Dan worden er veel betere levenscyclus kostenanalyses gemaakt. Twee lievelingsvoorbeelden die ik daarbij heb is dat als je schoonmakers mee laat maken met het architect dan krijg je een heel ander ontwerp. Dat is één en twee is dat je in je huis houtenkozijnen kan doen. Hartstikke mooi maar je bent wel onder 5 jaar duizenden euro's kwijt aan het schilderen. Je kan ook kunststof kozijnen ook doen die in aanschaf misschien wat duurder zijn maar in onderhoud bijna niets kosten. Traditioneel werd bij de overheidsinvesteringen alleen maar gekeken naar aanlegkosten en onderhoud dat zien we wel. Dus bij traditionele contractvormen alleen maar aanleg en geen onderhoud mee wegen. Een tweede punt, dat heb ik nog niet benoemd maar dat moet ik even toevoegen, ook de hoeveelheid meerwerk is minder bij die DBFM contracten. Daar zit niet alleen tijdens de bouw maar ook tijdens de exploitatiefase, je gaat als opdrachtgever even heel goed nadenken of je een bepaalde wijziging wel wilt en of het je wel waard is. Mooi voorbeeld hier: de minister van financiën, die erg pro-DBFM was, had ook een gebouw met DBFM op de markt gezet. De nieuwe minister van financiën zag zijn kamer: oh mooie kamer, maar ik wil hier eigenlijk een spiegel hebben. Secretaresse of bode loopt even naar Hema of Blokker en hang hier een spiegeltje voor me op...errr NEE rood *sign* bij de gebouwbeheerder DAT kan zomaar niet want we hebben een contract. Wij doen hier faciliteiten. Een spiegeltje ophangen, natuurlijk kan dat maar dan reken we ook alvast de kosten voor 30 jaar schoonmaken van dat spiegeltje. Daar kwam een voorgesteld factuurtje van enkele duizenden euro's i.p.v. twee tientjes voor Hema. He, maar wacht even DAT willen we niet, dus die spiegel die kwam er niet. Terwijl in een traditionele aanbesteding: ja doe maar dat kan wel.

**Ivana:** Ja die vraag kreeg ik eigenlijk ook vanuit de gemeente. Zij vroegen: ja wat gebeurt er eigenlijk als wij van bijvoorbeeld van een langzaam verkeer weg naar een snel verkeer weg willen maken binnen zo een contract? Maar dat kan dus niet...?

**Danny:** Nou dit moeten we precies formuleren. Het kan wel. Alles kan, maar je krijgt wel een prijskaartje bij. Wat wij bij Rijkswaterstaat nu ook doen bij de afweging of wij een nieuw project in DBFM gaan doen of traditioneel aanbesteden is wij kijken heel erg naar de omgeving waarin we die infrastructuur moeten neerleggen en verwachten we in de aankomende 15 of 20 dat er nog grote wijzigingen in komen zoals een grote afslag of nieuw spoorviaducten, noem maar op. Of dat we denken er liggen nu spitsstroken maar er zullen over 10 of 15 jaar als we naar verkeersprognoses kijken zijn die spitsstroken daar niet meer voldoende en moeten we opwaarderen tot voorwaardig rijstroken. Als dat op een plek is met zachte boden dan gaat dat erg veel geld kosten. Dat zijn dan te grote en te dure wijzigingen om in zo een DBFM contract met een vaste aannemer, om het aan die op te dragen, kan je niet meer in concurrentie doen maar moet je bij die partij neer leggen, daarvan zeggen we ja het contract is best flexibel voor wijzigingen maar zulke grote wijzigingen die willen we niet toevoegen aan zo een langjarig contract. Kunnen we beter, als we dat nu al zien aankomen, niet kiezen voor zo een contractvorm. Dus als je bijvoorbeeld naar de gemeente Leiden kijkt, binnen stedelijk, nou daar gaat van alles en nog wat gebeuren, maar zo een weiland-route-tunnel die had best in DBFM gekund want die leg je eenmaal aan op dat tracé, daar zit een aansluiting op A4 en eentje op A44. Nou die blijft er

wel liggen voor 30 jaar. Toen was provincie Zuid Holland...was de trekkende partij, die hadden andere argumenten om niet voor DBFM te kiezen. Dat is een DBM contract geworden. Dus je moet echt kijken naar wat voor een type project is het.

**Ivana:** Oke. Betekent dat dat de *total cost of ownership* voor de gemeentes of overheden lager uitkomen?

**Danny:** Daar zijn wij reuze benieuwd naar. Wij denken van wel want...

**Ivana:** Zoals ik het hoor...zoals u dat zojuist verteld hebt, lijkt het mij dat de totale kosten lager uit zouden moeten komen.

**Danny:** Ja

**Ivana:** Juist omdat je efficiënter mee bezig bent en minder ruimte hebt voor de hele grote aanpassingen.

**Danny:** Ja. In theorie en de eerste blik op de praktijk lijkt het zo te zijn maar je weet het pas zeker als je volledige looptijd van zo een contract doorlopen hebt en dat kunnen we bij Rijkswaterstaat nog niet bevestigen omdat al die projecten nu nog in de exploitatiefase zitten en we weten nog niet wat er gebeurt bij oplevering. Ergens volgend jaar loopt onze eerste DBFM contract in Friesland loopt dan af en dan zullen we dit soort evaluaties gaan opstellen.

**Ivana:** Is de reden waarom de overheid geen voorfinancieringen doet juist de reden die je zojuist noemde dat het geld lenen van banken en investeerders meer druk legt op de aannemers?

Het mechanisme is zo dat Rijsoverheid heeft meerjarenprogramma infrastructuur, het MERT. Gegeven de budgetten die overheid heeft voor infrastructuur wordt geprioriteerd welke projecten nemen we op in de planning en welke projecten moeten nog even wachten. Op het moment dat dat budget voor 90% beschikbaar is, dan krijgt Rijkswaterstaat groen licht om aanbesteding op de markt te zetten; gaan we een partij contracteren en op het moment dat zo een contract gesloten is, dan worden budgetten in de begroting, die worden als het ware geconverteerd; wij leveren ons aanleg budget wat geraamd was op traditioneel bouwritme. Dat leveren we in bij de minister van financiën. We leveren ook een budget voor 20-25 jaar onderhoud, leveren we ook in bij de minister van financiën en vervolgens krijgen we van hem een reeks beschikbaarheidsvergoedingen terug. Voor een periode van 25-30 jaar en die beschikbaarheidsvergoedingen gaan we pas aan de aannemer betalen op het moment dat de infrastructuur beschikbaar is. Dus die betaalritme van de overheid naar de aannemer is bij DBFM heel anders dan bij de traditionele contracten. Daarbij betalen we per maand/per kwartaal voor voortgang. Bij traditioneel kan best dat je 80% van de kosten betaald hebt, maar vervolgens de tunnel niet open gaat en de wegverbruiker heeft er niets aan. Bij DBFM betalen we pas als beschikbaarheid gerealiseerd is en dat is echt een knetter goede prikkel om op tijd te opleveren. Ook hier speelt de druk van private financiers een rol want zij maken een afspraak met de aannemer: wij lenen jou geld zodat je mensen met materieel aan het werk kunt zetten om de infrastructuur te bouwen. Op het moment dat je klaar bent met bouwen, ga je geld ontvangen van de overheid en daarmee los je die lening af. Dus bij een contract van, laten we zeggen 30 jaar, is zo een aannemer 25 jaar bezig om die lening af te lossen en in de laatste 5 jaar pakt ie z'n winst. Als die niet goed presenteert dan krijgt ie niet de volledige beschikbaarheidsvergoeding. Daar horen presentatiekortingen of beschikbaarheidskortingen op toegepast. Dus zo een aannemer is alles aan gelegen om goed te presenteren want dan kan ie zijn lening bij de bank aflossen. Banken die geld willen zien zijn heel vervelend. Die zijn veel strenger op kwaliteit en presentaties dan wij als overheid zijn. Al ons contractmanager praat met een manager van aannemer dan is het toch van: ja we hebben alle begrip. Natuurlijk en we moeten nog met elkaar door. Ik wil dat jij mij aardig vindt. Dan ben je wat coulanter.

**Ivana:** Ja. Dat was eigenlijk ook een van mijn vragen. Hoe moeilijk of makkelijk was het voor de aannemers aan vreemd vermogen/voorfinanciering te komen want ik kan me voorstellen dat bij zulke

projecten risico's wat groter zijn? Daarom vroeg ik mij af of ze zo een lening makkelijk krijgen en hoe worden de risico's bepaald?

**Danny:** Ja, ze krijgen hun leningen relatief gemakkelijk omdat de bank ziet dat de overheid garant staat voor de betaling. Rijkswaterstaat, rijks vastgoedbedrijf zijn dermate solide partijen dat een bank denkt als die aannemer maar goed presenteert dat geld dat krijgt ie wel en die lening die wordt wel afgelost. Tweede reden was dat ook de Europese investeringsbank meefinanciert. Bij PPS projecten hebben we tussen 30% en 50% of in ieder geval een deel van de lening voor hun rekening genomen. Dat maakt het ook veel makkelijker voor andere financiers om mee in het bootje te stappen. Zij denken dan: ooh als EIB mee doet dan hebben die vast wel gecontroleerd of dit project goed in elkaar zit. Dan durven wij ook. We hebben wel problemen gehad tijdens de kredietrisico met financiering. Voor de kredietcrisis was het gerust zo dat een bank kwam die een lening van een miljard afsloot en die vervolgens door verpakte en wegzette bij 19 andere banken voor een stukje van 50 miljoen, maar tijdens die crisis was er geen enkele bank die voor een miljard durfde dus toen zaten we te wachten totdat 19-20 banken 50 miljoen gaven. Dat was wel even een complicatie. Al met al denk ik het belangrijkste argument: de overheid is solide betaler.

**Ivana:** Wat zijn andere meest voorkomende risico's bij DBFM contracten?

**Danny:** Risico's voor wie?

**Ivana:** Voor zowel opdrachtnemer als opdrachtgever.

**Danny:** En ten opzichte van wat?

**Ivana:** Laten we de traditionele manier van aanbesteding nemen als referentie.

**Danny:** De manier op die ik naar risico's kijk is meer welke risico's zijn er bij de uitvoering van een project. Bijvoorbeeld bij die sluis in IJmuiden wisten we dat in het water nog explosieven laten uit de Tweede Wereldoorlog, maar wij hadden geen idee waar ze lagen en hoeveel het waren. Nou dat is nogal een risico voor je projectuitvoering. In de dialoog ga je met elkaar in gesprek, markt en overheid, over hoe gaan we om met deze risico. Nou markt zegt als ik twee bommen tegenkom dan kan ik die wel voor je opruimen maar als het 100 blijken te zijn dan kan ik niet in mijn risico reservering opnemen binnen het budget dat jij beschikbaar stelt. Nou dat wordt er afgesproken: oke, als jij 100 bommen tegenkomt dan kan jij bij ons een extra rekening indienen. Of we hebben ook een standaard clause in het contract zitten voor schade door aardbevingen bijvoorbeeld. Dan wordt er gezegd: je moet zodanig solide bouwen dat je een aardbeving tot, weet ik veel, 2 of 2,5 op de schaal van Richter kunt doorstaan, maar mocht er onverhoopt voorkomen dat we een aardbeving op 6 of 7 op de schaal van Richter krijgen, dan ja daar kan je niet opbouwen want dat zal geel duur worden. Als dat gebeurt dan neemt de overheid die risico, maar ik denk aan jouw vraag te horen dat je meer zoekt naar voor- en nadelen van DBFM.

**Ivana:** Ja, ik kan het ook anders formuleren. Ik ben vooral benieuwd of DBFM contracten algemene risico's met zicht meebrengen dus algemene risico's die voor elk project zullen gelden.

**Danny:** Ja. Hm. De kwaliteit van je mensen, de kwaliteit van je inkopers, van je contractmanagers. DBFM is ingewikkelder. Je moet meer dingen in samenhang bezien over een langere looptijd. Dat is een andere tak van sport. Dus de risico is dat je zowel aan de overheidskant als de marktkant die expertise niet hebt. Bij Rijkswaterstaat, het zijn toch de grote bouwbedrijven die inschrijven op onze DBFM contracten. Een bouwbedrijf uit MKB een bouwer die 25 man personeel heeft of 100 man personeel, die is helemaal niet toegerust om dit te doen.

**Ivana:** En dat is een van de uitdagingen die jullie hebben over een paar jaar omdat er dan niet genoeg mensen zijn die hierover kennis hebben.

**Danny:** Ja. Ja.

**Ivana:** Heeft Rijsoverheid daar een oplossing voor? Geven jullie trainingen in dit of iets dergelijks?

**Danny:** Zeker toen we begonnen met die pijnlijke van 20 projecten. Toen hebben we allemaal interne cursussen opgesteld, simulatie spellen, standaardcontracten, we hadden een pool van specialisten die van project naar project vloog om daar te helpen. Was echt een internopleidingsprogramma voor voortijdelijkheid van projecten. Een juniormedewerker die assistent contractmanager was op het ene project dat had doorlopen, die was dan contractmanager bij een volgend project dus op die manier werd ervoor gezorgd dat de kennis werd opgebouwd en verspreid binnen de organisatie en dat hebben we nu nog maar, niet meer zo zeer gericht op de aanbesteding en op de bouwfase van die contracten maar op de exploitatiefase. Ook 20 jaar na contracttekening is dat contract nog steeds geldig. Als wij dan al 6de of 7de contractmanager versleten hebben die moet wel weten wat oorspronkelijke afspraken waren en in welke geest die zijn opgesteld. Dat is niet eenvoudig.

**Ivana:** Nee dat lijkt mij ook niet. Ik heb het volgende gelezen op jullie site: Voor infrastructuurprojecten is het drempelbedrag 60 miljoen euro. Bij lagere bedragen wegen de efficiëntiewinsten over het algemeen niet op tegen de transactiekosten. Waarom is dit zo en elke transactiekosten worden hiermee bedoeld?

**Danny:** Hmm. De kosten van de banken want je betaalt niet alleen maar rente over een lening maar ook vrij hoge rentes en vergoedingen en *due diligence* onderzoeken. Dat zijn geen kleine bedragen.

**Ivana:** Dus met andere woorden: de winst voor de opdrachtnemer is kleiner bij de kleinere bedragen vanwege deze transactiekosten?

**Danny:** Ja, als algemene vuistregel kan je dat doen. Er zijn situaties denkbaar dat, op het moment dat je echt goed gaat nadenken over je scoop in de combinatie met je ontwerp en onderhoud, dat je een oplossing verzint die over de totale looptijd zo veel goedkoper is dan als je niet over nagedacht hebt over de onderhoud. Dan kan het best zijn dat je efficiëntievoordeel of je scoopvoordeel groter is. Bij Rijkswaterstaat is veel levenscyclusoptimalisatie te behalen op asfalt. Als je wat duurzamer asfalt neerlegt die ook langzamer meegaat en hoef je over een periode van 20 jaar maar 2 x een onderhoud te plegen in plaats van 4x, dan heb je een enorm kostenvoordeel, trouwens ook een milieuvoordeel, maar we hebben ook wegen waar een betonnen bak doorheen gaat. Op beton heb je veel minder onderhoud, groot onderhoud, klein onderhoud dus daar is dat potentieel voordeel veel minder groot. Moet je echt van project tot project bekijken, maar we hebben wel, dat komt ook van die commissie-Ruding trouwens, na consultaties met marktpartijen en banken gedaan...algemeen beeld onder 60 miljoen hoef je het niet te doen.

**Ivana:** Zojuist zei je dat DBFM contracten geschikt zijn voor wegen bijvoorbeeld of een andere infrastructuur dat het minst aantal verbindingen heeft met andere infrastructuren, toch wil ik het vragen: stel voor dat een andere weg afgesloten is waardoor meer voertuigen over DBFM weg moeten omrijden. Hierdoor slijt deze weg sneller en heeft daardoor sneller een onderhoud nodig. Wordt hiermee rekening gehouden bij zulke contracten?

**Danny:** Ja en ik zal je even vertellen waar dat vandaan komt. Dat komt bij een experiment met schaduwtool in de Wijkertunnel. Daar ergens begin jaren 90 of zo is een tolconstructie begonnen waarbij marktpartijen met banken die Wijkertunnel gebouwd hebben en die overheid die betaalde niet op de voortgang maar die zou gedurende, weet ik veel 25-30 jaar lang, een vast bedrag per passerend voertuig betaalde. Daar zij prognoses gemaakt over vervoersbewegingen en vervolgens bleek er meer dan 10x zo veel verkeer door die tunnel te gaan. De overheid moest ook meer dan 10x zo veel betalen dan als ze gedacht hadden. Eens en nooit meer. Bij de voorbereiding van DBFM aanbestedingen maken we verkeersprognoses, we spreken ook met die aannemers af hoeveel verkeer we verwachten dat er overheen gaat ook hoeveel vrachtwagens dat zijn en hoe zwaar die vrachtwagens zijn. Bij snelweg tussen Maasvlakte en Rotterdam, A15, daar rijden nu meer en zwaardere vrachtwagens dan we bij aanleg gedacht hadden dus daar speelt het ook dat de aannemer zegt ja die vrachtwagens rijden mijn asfalt aan

gort. En nou komt het hoe dit werkt in DBFM, je gaat gezamenlijk in overleg kijken hoe je tot een oplossing kunt komen. Het is niet zo, als je goede verstandhouding hebt, dat de overheid dan de hoofdprijs moet betalen en héél veel extra aan de reparatiewerkzaamheden. maar in zijn algemeenheid, als zo een infrastructuur sneller slijt door de omstandigheden die niet de schuld zijn van de aannemer, dan is fair dat je als opdrachtgever een aanvullende vergoeding beschikbaar stelt. Als die weg sluit omdat die aannemer hem niet goed heeft aangelegd, dan heb je bij DBFM juist een veel betere mechanisme met die boetes en kortingen om het hem te laten repareren zonder dat het de overheid veel geld kost. Dit heeft echt twee kanten. Vanuit die studie en het rapport van commissie-Ruding zaten we heel erg op het voorkomen van zulke kosten dus de belastingbetaler beschermen, maar in de praktijk zie je dat er ook weer situaties denkbaar zijn of voorkomen waarbij zo een aannemer echt wel aanvullende hulp van de overheid nodig heeft om te voorkomen dat ie failliet gaat. Als wij heel veel boetes toe gaan passen, we willen dat ie goed gaat presenteert daarom zit er een financiële prikkel bij maar wij willen niet dat ie failliet gaat want dan hebben wij van welke aannemer gaat ons dan helpen om onderhoud te doen.

**Ivana:** Bent je bekend met het concept van product-dienst combinaties waarmee Dura Vermeer bezig is en het verschil tussen product-dienst combinaties en DBFM contracten?

**Danny:** Ik kan me er wat bij voorstellen. Bijvoorbeeld in Frankrijk, daar zegt de overheid: nou hier heb je een strook van een kilometer breed en 100 km lang. Kijk maar waar je het tracé plant je mag poortjes neerzetten en de opbrengst is van jou. Succes ermee. Dat gaat in Nederland niet werken want iedere minister van infrastructuur of financiën of kabinet die zegt we gaan tolwegen introduceren die graaft zijn eigen graf. Dat kan niet in Nederland dus wij doen het met beschikbaarheidsvergoedingen. Bij de gebouwen kom je er ook redelijk in de buurt met bewaking en schoonmaak en het restaurant wordt meegecontracteert daar is de dienstverlening door DBFMO consortium wat groter dan bij wegen en sluisen programma doen, maar het is wat anders dan product-dienst. Dura Vermeer voorbeeld ken ik overigens niet.

**Ivana:** Ja product-dienst combinaties waarmee Dura Vermeer is begonnen dat lijkt heel erg op DBFM maar een groot verschil is dat bij product-dienst combinaties de opdrachtgever minder te zeggen heeft omdat de ondernemer economische eigenaar is van de weg bijvoorbeeld. En zo te horen is dat niet wat jullie binnen Rijkswaterstaat willen want jullie zeggen dat jullie al bij DBFM contracten te weinig invloed hebben op bepaalde projecten. Wat er omgaat is dat bij product-services combinaties, dat is iets wat je kan vergelijken met bijvoorbeeld en telefoon abonnement, ondernemer zegt: oke nu is de tijd voor onderhoud, meestal doen zij het onderhoud 's nachts zodat de weg niet afgesloten is door de dag en dan zeggen ze vannacht om 3 uur 's nachts gaan wij het onderhoud doen dus dan is de weg niet beschikbaar. Er is ook een mogelijkheid om een bepaald MKI te eisen voor een weg i.p.v. beschikbaarheid. Dus ik vroeg mij af, of zo een model die in dit opzicht verschilt van DBFM, bepaalde financiële voor- of nadelen met zich meebrengt? Is dat op dit moment nu te bedenken?

*\*Lange stilte\**

**Danny:** Vind ik lastig maar tijdens het praten kom ik vast wel op iets. Wat je benoemd, het onderhoud tijdens de nacht daar zijn wij zelf, traditioneel niet zo erg goed in, maar bij DBFM schrijven we het voor. Tijdens het onderhoud de weg is dus niet beschikbaar dus dan zou de aannemer een korting krijgen, want niet beschikbaar. Dus in het contract zijn tijdvensters afgesproken die ie mag inzetten om boetevrij af te sluiten en onderhoud te doen. Ik heb ... gezien van verkeerscentrales over de tweede Coen tunnel waarbij het aantal afsluitingen voor het onderhoud en reparaties en schilderen en lampjes vervangen, dat was voor de invoering van DBFM contracten was het 80% overdag en 20% 's nachts ook al zeiden wij dat 's nachts minder hinder oplevert en na het invoering van DBFM contract waar we met financiële prikkels hadden ingeregeld switchte die verhouding naar 20% overdag en 80% 's nachts en die 20% overdag zijn dan nog ook ongevallen wat moet. Dus dit is een kwaliteitselement wat we ook binnen ook traditionele contracten, binnen DBFM contracten gevat hebben. Ik denk dat Rijkswaterstaat, wij zijn DE wegbeheerder van de Rijkswegennet, gaat niet gebeuren dat we een stuk van onze areaal uit de handen

geven. Zeggenschap geven aan de aannemers. Ook bij DBFM contracten is het bijvoorbeeld zo dat als er een ongeluk gebeurd is dan moet aannemer melden aan onze verkeerscentralen van: hej joh er is een ongeluk, ik ga hier wat repareren, kunnen jullie een rood kruis via de signalering neerzetten? Ons wegbeheerder, onze wegcentrale, die houdt die verantwoordelijkheid, dus niet alleen de eigendom van de weg maar ook de hele verkeersmanagement zoals wij dat noemen bij Rijkswaterstaat. Ik denk niet dat die jongens en meisjes zo ver zijn om hiermee te gaan experimenteren om dit aan aannemers te geven. Dat wordt echt gezien als onze *core business*.

**Ivana:** Ja zij zijn ook net begonnen. Zij hebben nog geen resultaten maar verwachten die eind dit jaar. Ze hebben een paar pilots lopen met een paar gemeentes en provincies. Het zijn wel wat kleinere pilots bijvoorbeeld een weg of een berm of...

**Danny:** Ja weet je dat bij een gemeente...naja bij gemeente Leiden is dat wat lastiger want die is groot. Ik woon zelf in de gemeente Alphen aan de Rijn hier vlakbij nou wij hebben een gemiddelde gemeente, best wel een groot oppervlakte...zou ik ook in de eigen hand houden, maar er zijn ook natuurlijk ook hele kleine gemeentes die daar dan personeel voor in diensten hebben die de helft van de tijd niets zitten te doen want die liggen toch prima bij. Als je als aannemer voor elkaar krijgt dat je 10 gemeenten die een beetje naast elkaar liggen kunt ontzorgen door hen een aanbod te doen van ik doe dit voor jou, dan kan dat heel aantrekkelijk zijn want dan kan die gemeente die formatieruimte inzetten op ,weet ik veel, op de jeugdzorg of andere dingen waar ze te korten op hebben. Maar een grote gemeente die een grotere areaal heeft, meer wegen... Dan zijn we er. Dat heeft met schaalvoordelen te maken.

**Ivana:** Ja dat is heel interessant dat je dat zegt en zeker iets wat ik moet meenemen in mijn rapport. Ik zie nu dat we nog 3 minuten hebben en het was eigenlijk mijn laatste vraag.

**Danny:** Ja ik wilde net zeggen, ik vind niet erg om een beetje uit te lopen.

**Ivana:** Nee, we komen precies op tijd uit. Ik moet zeggen ik vond het een hele interessante interview. Ik heb veel nieuwe inzichten verkregen dus ontzettend bedankt hiervoor.

**Danny:** Graag gedaan altijd leuk om over je werk te praten met mensen die er wat over willen weten. Mocht je tijdens het werk of vervolg vragen hebben, stel ze gerust of een tweede afspraak inplannen of zet ze op de mail dan probeer ik ze schriftelijk te beantwoorden. En als je straks je rapport klaar hebt, ben ik ook benieuwd naar, misschien kan ik meelesen. Als er iets extern gepubliceerd wordt, dus buiten je universiteitsomgeving om over de Rijkswaterstaat dan wil ik van te voren graag even meelesen.

**Ivana:** Ja als het zo ver komt laat ik dat op tijd weten.

**Danny:** Leuk. Nog een laatste ding. Die vraag heb je me niet gesteld maar die advies wil ik je wel meegeven. Bij het Ministerie van Financiën is, denk ik 10 jaar geleden of zo, een grootschalig actie geweest om te proberen gemeenten en provincies DBFM toe te laten passen. Gemeenten mochten hun projecten aanmelden als pilots bij het ministerie van Financiën die dan allerlei onderzoekskosten voor hun rekening zouden nemen om het richting DBFM te bewegen. Je zou kunnen kijken of je daar ook iemand zou kunnen interviewen als je een beetje die hoek op gaat in je onderzoek. Dan zou ik een contactpersoon voor je hebben en je kan kijken of je die stukken kunt terugvinden. Dat liep via het IPO en VNG. Dan heb je dezelfde materie door de bril van lokale overheden gekeken. Dat is wat anders dan Rijkswaterstaat.

**Ivana:** Ja dat is een goed advies. Ik eerst uitwerken wat ik tot nu toe heb en dan kijk ik met de gemeente of er nog ontbrekende informatie is die we moeten invullen.

**Danny:** Prima. Wees welkom. Heel veel succes en een fijne dag verder. Tot ziens.

**Ivana:** Tot ziens. Daag.

## C.5 Van der Scheer 2021

**Type of interview:** Semi-structured

**Performed by:** Ivana Mandić

**Performed on:** May 3rd 2021

Not recorded

**Subject:** Remon van der Scheer

**Organisation:** Municipality of Leiden

**Function:** Project Coordinator Road Surfaces

## Appendix C: Description of road components

Clay brick (Dutch: straatbaksteen)



*Photo from: stonebase.nl*

Cobbles (Dutch: (graniet) keien)



*Photo from: stonebase.nl*



Natural stone plate (Dutch: natuursteen tegel)



*Photo from: vdh-vd.nl*

Joint material (Dutch: voegvulling)



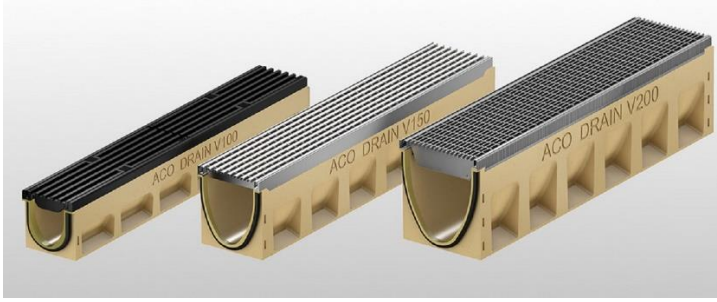
*Photo from: georapid.nl*

Edging (Dutch: opsluitbanden)



*Photo from: betondingen.nl*

Line gutters (Dutch: lijngoten)



*Photo from: aco.nl*

### Curbs (Dutch: trottoirbanden)



*Photo from: struykverwoinfra.nl*

### Concrete pavers (Dutch: betontegels)



*Photo from: hilfra.be*

## Appendix D: Additional LCA steps from Kjaer et al. (2018)

Step 1.1 until 1.3: Chapter

Step 2.1: The reference system, traditionally procured road, is a predefined alternative which is a non-PSS option. Therefore the scope of this LCA study is PSS comparison.

Step 2.2: The PSS support is ‘‘product support’’ PSS because when a road is offered as a service, it is supported through the life cycle services such as maintenance, which can influence the resource consumption during use as well as the lifetime of the product. Thus, this LCA identifies how PSS affects the life cycle of the reference system through ‘‘product support’’ PSS.

Step 2.3: The potential of PSS to reduce environmental impacts comes indirectly from the shifted product ownership from the procurer to the contractor. When the road is in the ownership of the contractor, the contractor is responsible for the used materials and the maintenance of the road. By the maintenance, the lifetime of the road is extended which leads to reduced material demand because there is no need for a new road. Furthermore, it is in contractor’s interest to optimise material utilization in order to reduce the production and maintenance costs.

Step 2.4: The systems to be analysed are the traditional road (reference system) and possible PSS scenarios where the road is provided as a service.

Step 3.1: See Chapter 3.3

Step 3.2: The systems are subdivided into all activities over the product life cycle: extraction and transport of raw materials, production and transport of road components, construction, use and maintenance, demolition, transport of demolition material, waste treatment, and material recovery.

Step 3.3: Examples of important consumption factors to consider are: money, time, access, and value creation. Implementation of PSS could lead to cost savings due to shift in ownership. When the provider stays in the ownership of the product he will strive to improve material and energy utilization in order to reduce its cost and increase its profit. Furthermore, the client is no longer responsible for the investment. Instead of paying a large amount at the beginning of the project for the product itself, the client is paying a continuous payment over time for the function instead of the product. Due to a need for external investments an external pressure on the contractors will be put by investors to finish the construction/project on time. Furthermore, as the revenue scheme shows the contractor does not make profit during the first x years, so it is in his interest to avoid delay in execution of the project. In contrast to the current state of art, Dura Vermeer aims for the maintenance during the night when there is less to no traffic which could lead to higher availability of the road. However, the client is dependent on the maintenance schedules of the provider and doesn’t have an influence on those. In contrast to traditional business model, in PaaS models the client can buy back the materials/road at the end of its life cycle because the value of those materials keeps preserved.

Step 4.1 to 6.3: See Chapter 3.3

# Appendix E: LCA results

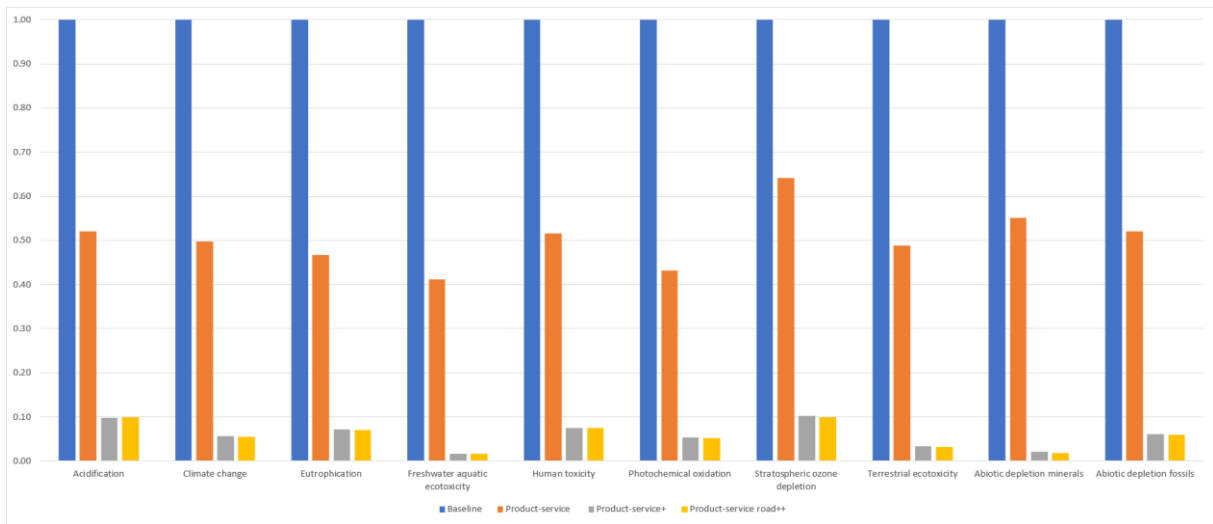


Figure E1. Comparative characterization results, CML Baseline 2001.

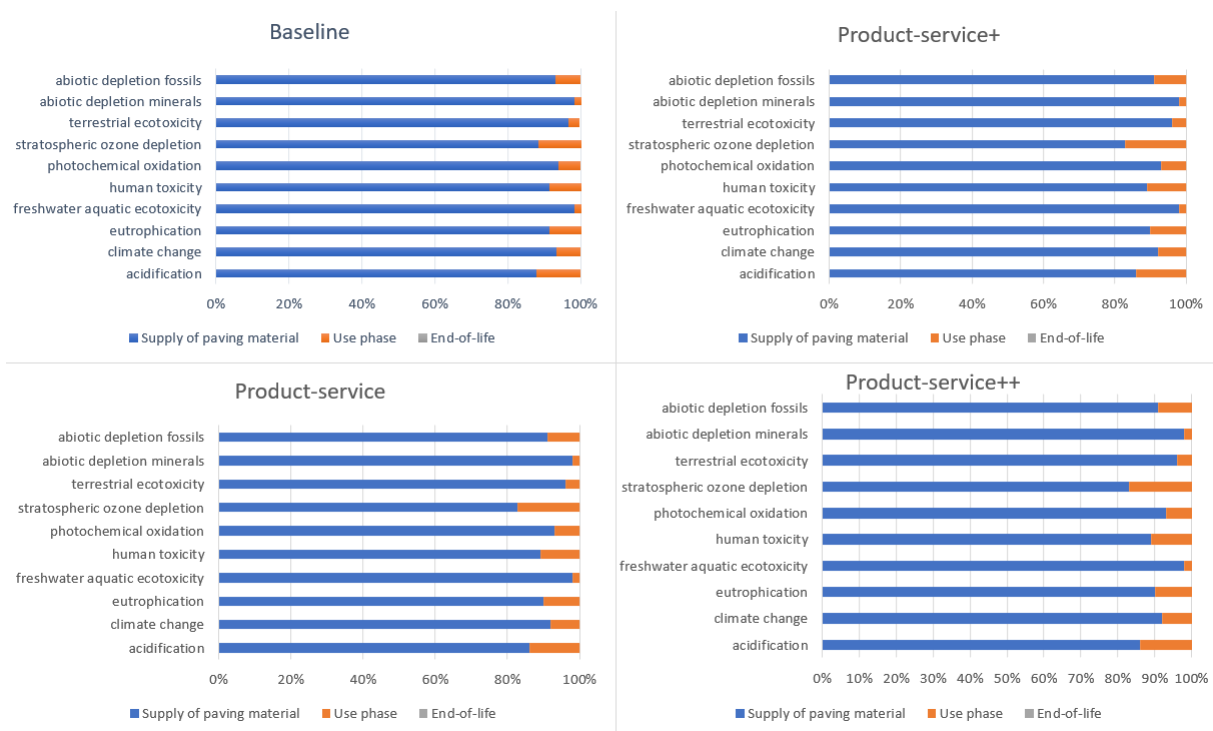


Figure E2. Results of the contribution analysis at the level of life cycle stage.

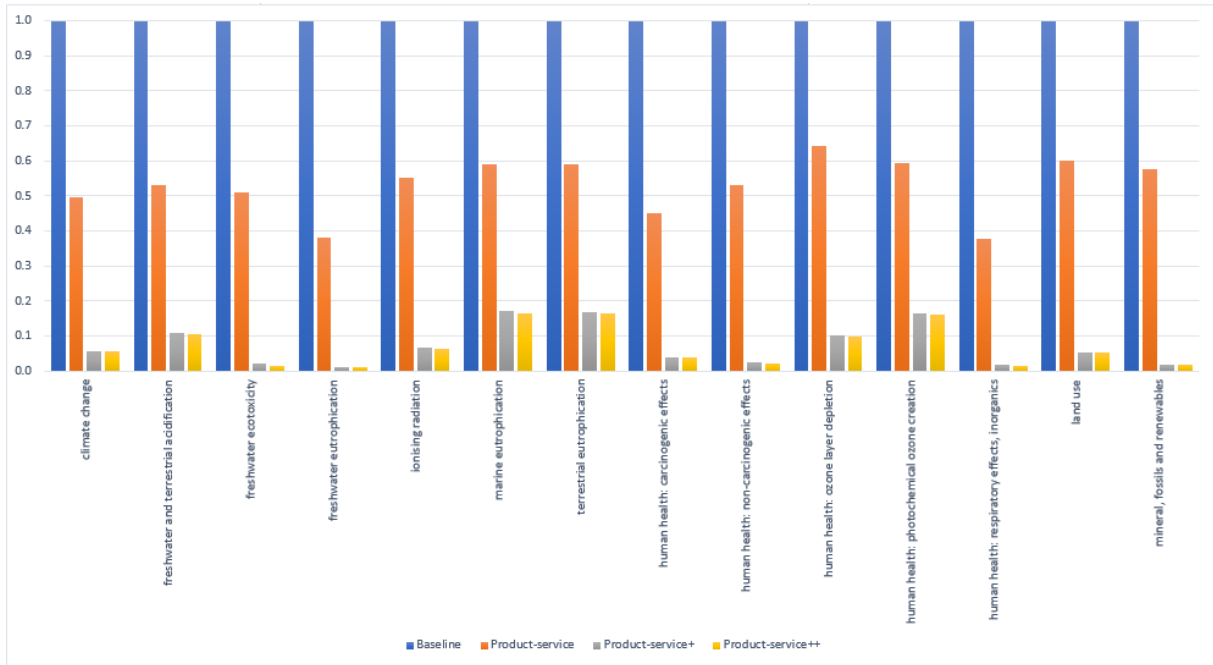


Figure E3. Sensitivity analysis: comparative characterization results of PEF ILCD Midpoint family.

## Appendix F: MCI calculations & data input

### 1. Concrete pavers

• material input / m<sup>2</sup>:

Sand (kg)	Gravel (kg)	Bottom ash (kg)	concrete granulate (kg)	CEM I (kg)	CEM IIIA (kg)	Water (kg)	Total (kg)
44.0	36.00	4.00	6.00	6.53	8.77	7.00	112

• Secondary materials (recycled):

- Bottom ash
- concrete granulate
- 5% of CEM I
- 40% of CEM IIIA

$$\% \text{ recycled feedstock} = \frac{(4 + 6 + 0.05 \cdot 6.53 + 0.4 \cdot 8.77)}{112} \cdot 100\%$$

$$= 14\%$$

### 2. Concrete edging

• material input / m

Sand (kg)	Gravel (kg)	Bottom ash (kg)	concrete granulate (kg)	CEM I (kg)	CEM IIIA (kg)	Water (kg)	Total (kg)
17.6	14.4	1.6	2.4	2.6	3.5	5.3	47.4

$$\% \text{ recycled feedstock} = \frac{(1.6 + 2.4 + 0.05 \cdot 2.6 + 0.4 \cdot 3.5)}{47.4} \cdot 100\%$$

$$= 12\%$$

### 3. Concrete curbs

• material input / m

Sand (kg)	Gravel (kg)	Bottom ash (kg)	concrete granulate (kg)	CEM I (kg)	CEM IIIA (kg)	Water (kg)	Total (kg)
33	27	3	4.5	4.9	6.6	5.3	84.3

$$\% \text{ recycled feedstock} = \frac{(3 + 4.5 + 0.05 \cdot 4.9 + 0.4 \cdot 6.6)}{84.3} \cdot 100\% = 12\%$$

#### 4. Polymer concrete street gutter

CEM I (kg)	Lime (kg)	Sand (kg)	Polyester resin (kg)	Total (kg)
4.9	4.9	29.4	5.35	45

• Secondary material = 5% of CEM I

$$\% \text{ recycled feedstock} = \frac{0.05 \cdot 4.9}{45} \cdot 100\% = 0.5\% \approx 1\%$$

Figure F1. Calculation of  $F_R$  fraction recycled feedstock.

#### 1. Baseline

82.5% reused

17.5% residual material from which 30% is reused and 70% is recycled, so

$$C_U = 82.5\% + 0.3 \cdot 17.5\% \approx 88\%$$

$$C_R = 17.5\% \cdot 0.7 \approx 12\%$$

#### 2. Product-service

$$C_U = 82.5\% + 17.5\% \cdot 0.99 \approx 100\%$$

$$C_R = 0\%$$

#### 3. Product-service +

$$C_U = 88\% + 12\% \cdot 0.99 \approx 100\%$$

$$C_R = 0\%$$

#### 4. Product-service ++

$$C_U = 100\%$$

$$C_R = 100\%$$

Figure F2. Calculations of  $C_U$  and  $C_R$ .

• Functional unit calculations

1. Baseline (industrial average)

$$FU = \frac{82.5\% \cdot 40 \text{ years} + 17.5\% \cdot 20 \text{ years}}{100\%} = 36.5 \text{ years}$$

2. Product-service

$$FU = \frac{82.5\% \cdot 40 \text{ years} + 17.5\% \cdot 20 \text{ years}}{100\%} = 36.5 \text{ years}$$

$$36.5 / 36.5 = 1.0$$

3. Product-service+

$$FU = \frac{88\% \cdot 40 \text{ years} + 12\% \cdot 20 \text{ years}}{100\%} = 37.6 \text{ years}$$

$$37.6 / 36.5 = 1.03 \approx 1.0$$

4. Product-service++

$$FU = \frac{100\% \cdot 40 \text{ years}}{100\%} = 40 \text{ years}$$

$$40 / 36.5 = 1.1$$

• Lifespan calculations

1 Baseline (industrial average)

$$17.5\% \cdot 0.3 = 5.25\% \Rightarrow 50 \text{ years}$$

$$17.5\% \cdot 0.7 = 12.25\% \Rightarrow 20 \text{ years}$$

$$82.5\% \cdot 0.3 = 24.75\% \Rightarrow 50 \text{ years}$$

$$82.5\% \cdot 0.7 = 57.75\% \Rightarrow 40 \text{ years}$$

(50% reused  
70% recycled)

$$\frac{5.25 \cdot 50 + 12.25 \cdot 20 + 24.75 \cdot 50 + 57.75 \cdot 40}{100} = 41 \text{ years}$$

2. Product-service

$$100\% \text{ is reused so } \frac{100 \cdot 50}{100} = 50$$

$$50 / 41 = 1.2$$

3. Product-service+

$$50 / 41 = 1.2$$

4. Product-service++

$$50 / 41 = 1.2$$

Figure F3. Calculations of functional unit and lifespan. The baseline scenario was taken as the industry average.



Table F1. Data input: Baseline

Component	F <sub>u</sub>	F <sub>R</sub>	E <sub>F</sub>	C <sub>u</sub>	C <sub>R</sub>	E <sub>c</sub>	Functional unit	Lifespan
Concrete pavers	0%	14%	99%	88%	12%	99%	1.0	1.0
Concrete curbs	0%	12%	99%	88%	12%	99%	1.0	1.0
Clay bricks	0%	0%	n/a	88%	12%	99%	1.0	1.0
Polymer concrete line gutters	0%	1%	99%	88%	12%	99%	1.0	1.0
Concrete edging	0%	12%	99%	88%	12%	99%	1.0	1.0
Cobbles	0%	0%	n/a	88%	12%	99%	1.0	1.0
Joint material	0%	0%	99%	0%	0%	n/a	1.0	1.0
Natural stone plate	0%	0%	n/a	88%	12%	99%	1.0	1.0
Parameter	Description							
F <sub>u</sub>	Fraction of reused feedstock							
F <sub>R</sub>	Fraction of recycled feedstock							
E <sub>F</sub>	Efficiency of the recycling process used to produce the recycled feedstock							
C <sub>u</sub>	Fraction of the mass of the products that is being reused							
C <sub>R</sub>	Fraction of the mass being collected for the recycling							
E <sub>c</sub>	Efficiency of the recycling process used for recycling the product at the end of its use phase							
Functional unit	Measure of product's use							
Lifespan	The total amount of time a product is in use, including potential reuse of the whole product							

Table F2. Data input: Product-service

Component	F <sub>u</sub>	F <sub>R</sub>	E <sub>F</sub>	C <sub>u</sub>	C <sub>R</sub>	E <sub>c</sub>	Functional unit	Lifespan
Concrete pavers	0%	14%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Concrete curbs	0%	12%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Clay bricks	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Polymer concrete line gutters	0%	1%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Concrete edging	0%	12%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Cobbles	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Joint material	0%	0%	99%	0%	0%	n/a	1.0	1.2
Natural stone plate	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Parameter	Description							
F <sub>u</sub>	Fraction of reused feedstock							
F <sub>R</sub>	Fraction of recycled feedstock							

$E_F$	Efficiency of the recycling process used to produce the recycled feedstock
$C_u$	Fraction of the mass of the products that is being reused
$C_R$	Fraction of the mass being collected for the recycling
$E_c$	Efficiency of the recycling process used for recycling the product at the end of its use phase
Functional unit	Measure of product's use
Lifespan	The total amount of time a product is in use, including potential reuse of the whole product

Table F3. Data input: Product-service+

Component	$F_u$	$F_R$	$E_F$	$C_u$	$C_R$	$E_c$	Functional unit	Lifespan
Concrete pavers	0%	14%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Concrete curbs	0%	12%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Clay bricks	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Polymer concrete line gutters	0%	1%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Concrete edging	0%	12%	99%	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Cobbles	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Joint material	0%	0%	99%	0%	0%	n/a	1.0	1.2
Natural stone plate	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.0	1.2
Parameter	Description							
$F_u$	Fraction of reused feedstock							
$F_R$	Fraction of recycled feedstock							
$E_F$	Efficiency of the recycling process used to produce the recycled feedstock							
$C_u$	Fraction of the mass of the products that is being reused							
$C_R$	Fraction of the mass being collected for the recycling							
$E_c$	Efficiency of the recycling process used for recycling the product at the end of its use phase							
Functional unit	Measure of product's use							
Lifespan	The total amount of time a product is in use, including potential reuse of the whole product							

Table A4. Data input: Product-service++

Component	$F_u$	$F_R$	$E_F$	$C_u$	$C_R$	$E_c$	Functional unit	Lifespan
Concrete pavers	0%	14%	99%	100%	0%	n/a	1.1	1.2
Concrete curbs	0%	12%	99%	100%	0%	n/a	1.1	1.2
Clay bricks	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.1	1.2
Polymer concrete line gutters	0%	1%	99%	100%	0%	n/a	1.1	1.2
Concrete edging	0%	12%	99%	100%	0%	n/a	1.1	1.2

Cobbles	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.1	1.2
Joint material	0%	0%	99%	0%	0%	n/a	1.1	1.2
Natural stone plate	0%	0%	n/a	100%	0%	n/a	1.1	1.2
Parameter	Description							
$F_u$	Fraction of reused feedstock							
$F_R$	Fraction of recycled feedstock							
$E_F$	Efficiency of the recycling process used to produce the recycled feedstock							
$C_u$	Fraction of the mass of the products that is being reused							
$C_R$	Fraction of the mass being collected for the recycling							
$E_c$	Efficiency of the recycling process used for recycling the product at the end of its use phase							
Functional unit	Measure of product's use							
Lifespan	The total amount of time a product is in use, including potential reuse of the whole product							

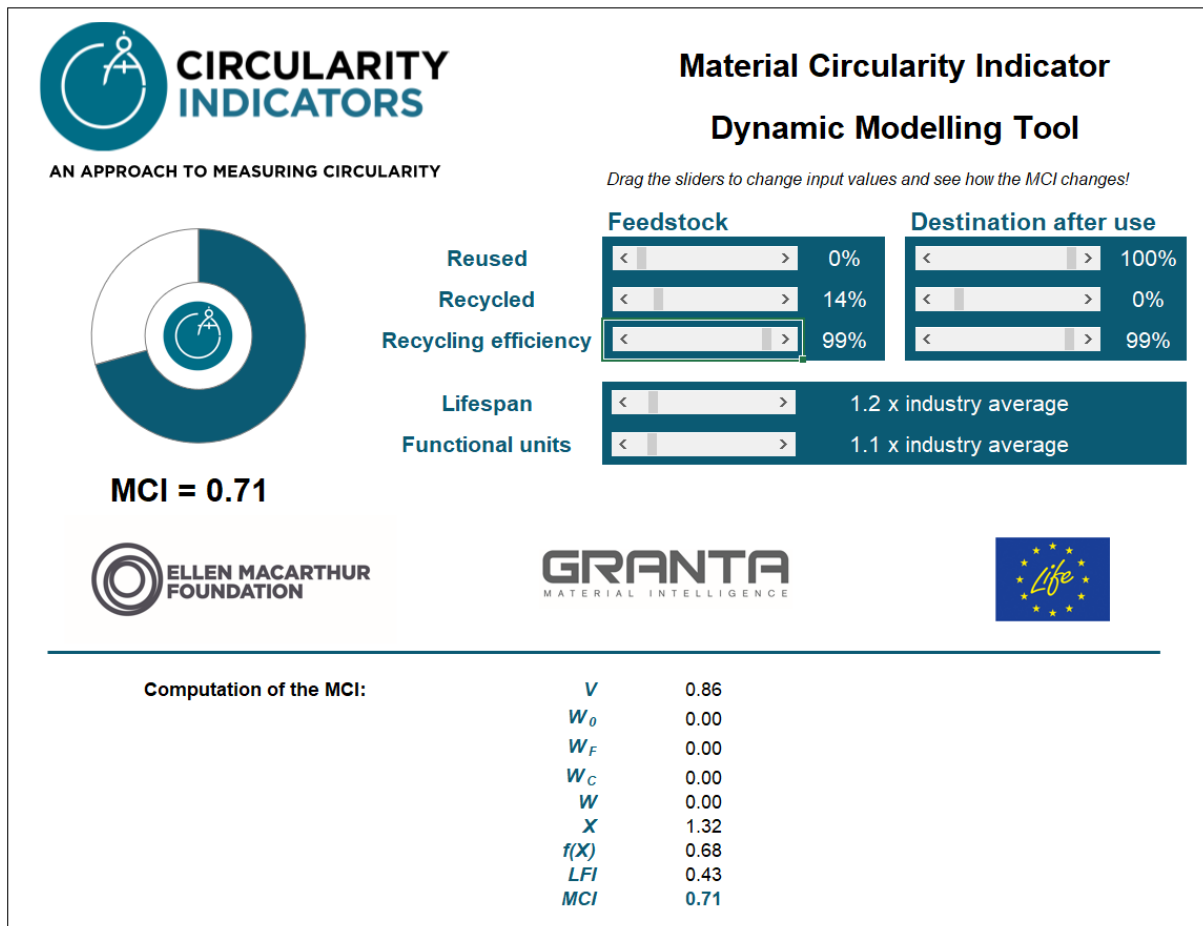


Figure F4. Example of data input in MCI Product-Level Dynamic Modelling Tool. The presented calculations are for the concrete pavers of the product-service++ alternative.

### Company Level Aggregator Tool

*This spreadsheet can be used to aggregate a set of reference product data together using a selected normalising factor. First select the normalising factor from the drop down box. Next enter data for each reference product. If there are more than 20 reference products, insert more rows in the table. Click the 'Add Labels' button to add labels to the points on the chart.*

Select normalising factor:

No.	Name of product range	Total product mass of product range	MCI of ref. product
1	Concrete pavers	351	0.71
2	Concrete curbs	3,214	0.70
3	Clay bricks	1,607,989	0.66
4	Polymer concrete line gutters	5,970	0.66
5	Concrete edging	23,490	0.70
6	Cobbles	60,840	0.66
7	Joint material	2,238	0.00
8	Natural stone plates	521,130	0.66
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
<b>Total product mass</b>		<b>2,225,222</b>	
<b>Combined Material Circularity Indicator</b>			<b>0.66</b>

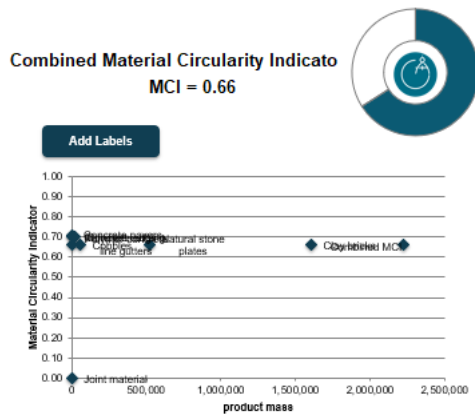


Figure F4. Example of data input in Company Level Aggregator Tool. The presented calculations are of the product-service++ alternative.

Appendix G: Excel file (data & results)

Appendix H: CMLCA file