



**Integrated Bridge Maintenance  
Evaluation of a pilot project and future  
perspectives**

**Hans-Åke Mattsson**





**KTH Architecture and  
the Built Environment**

# **Integrated Bridge Maintenance**

Evaluation of a pilot project and future perspectives

HANS-ÅKE MATTSSON

Doctoral Thesis in Civil and Architectural Engineering 2008  
Division of Structural Design and Bridges

TRITA-BKN. Bulletin 95, 2008  
ISSN 1103-4270  
ISRN KTH/BKN/B--95--SE

CDU:T16

Submitted with due permission of the Royal Institute of Technology (KTH) for public examination for the degree of Doctor of Technology in Civil and Architectural Engineering, Division of Structural Design and Bridges.

Tuesday 9 December 2008, KTH, Lindstedtsv 26, room F3

Faculty opponent:	Professor Jan Bröchner
Supervisor:	Professor Håkan Sundquist
Co-supervisor:	Professor Johan Silfwerbrand
Co-supervisor:	Professor Hans Lind

© Hans-Åke Mattsson

Cover photo: Bridge C97 in Uppsala County was built 1887. The new superstructure is from 1993. The old railings have been recycled after surface treatment.

## PREFACE

This study on integrated bridge maintenance started on 17 Feb, 2003 thanks to funding by the Swedish Road Administration (SRA), the Development Fund of the Swedish Construction Industry (SBUF), SRA Production and KTH. SRA is the owner of the public national highway network including bridges. SBUF aims to promote development in the building process to create more businesslike conditions for contractors enabling them to make use of research and conduct development work. CDU, the Centre for research and education in operation and maintenance coordinated and the Royal Institute of Technology (KTH) supervised the project, within its Division of Structural Design and Bridges 2003-2008.

Supervisor for this project has been Professor Håkan Sundquist, Division of Structural Design and Bridges. I'm grateful for our fruitful discussions over the years and his endless support.

I would also like to thank my co-supervisors Professor Johan Silfwerbrand, CBI/KTH and Professor Hans Lind, KTH for their valuable advice and guidance.

A reference group has followed the project and the members have been (besides the supervisor and the two co-supervisors);

- Håkan Westerlund, CDU (from 1 Mar, 2005)
- Hans Cedermark, CDU (17 Feb, 2003 – 1 Mar, 2005)
- Lennart Lindblad, SRA HQ (from 17 Feb, 2003)
- Susanne Troive, SRA HQ (17 Feb, 2003 – 1 Dec, 2004)
- Hans Bohman, SRA HQ (from 1 Dec, 2004)
- Kjell Jansson, SRA region Mälardalen (17 Feb, 2003 – 1 Dec, 2004)
- George Chamoun, SRA region Mälardalen (from 17 Feb, 2003)
- Sven-Erik Hallberg, SRA Production HQ (17 Feb, 2003 – 21 Sep, 2005)
- Fredrick Lekarp, SRA Production HQ (from 21 Sep, 2005)
- Dan Flycht, SRA Production Uppsala (from 21 Sep, 2005)
- Per Westberg, Skanska, SBUF representative (from 17 Feb, 2003)
- Thomas Krekula, NCC, SBUF representative (from 17 Feb, 2003)

Many thanks to the members of the reference group for their interest and willingness to share their expertise knowledge in our meetings.

Finally I want to thank everybody that has contributed to my pleasant time at KTH during my PhD studies.

Stockholm, November 2008

*Hans-Åke Mattsson*



## **ABSTRACT**

The trend in many countries is to outsource maintenance with competitive tendering. The design of the tender is then a crucial issue. A new type of tendering contract, called "Integrated Bridge Maintenance", was introduced in one experimental area in Sweden. In this case the preventive bridge maintenance is separated from the standard road maintenance contract. The ideas behind these changes are that the new approach can increase efficiency through a combination of increased specialization, economies of scale and through giving the private contractor a greater degree of freedom concerning exactly what to do and exactly when to do it. A pilot project has been running since 2004 for all bridges in Uppsala County with about 400 bridges and since 2007 for all bridges in Örebro County with about 700 bridges.

The experiences and lessons from this pilot project are presented in this thesis together with guidelines on how to procure Integrated Bridge Maintenance in the future. An important feature of the contract was that it contained a combination of specific measures that the contractor should carry out and properties of the bridges that the contractor was responsible to maintain. This created a balance between predictability and flexibility for the contractor. The contractor could make long term planning for the work. The client was satisfied because of increased competence and a low price. The latter can partly be explained by the possibility for the specialised bridge crew to receive additional work from other clients. As information about old bridges always is incomplete a partnering structure needs to be built into the contract. Experience has also shown that a conscious policy to maintain long run competition is important. The general conclusion is that the project was seen as successful and as creating more "value for money".

To manage a bridge stock optimally from a life cycle perspective is a very complex task, since the conditions for the individual bridge can vary greatly from place to place which the answers from the research questions indicate. Besides following-up and evaluating the Integrated Bridge Maintenance projects a number of research questions have been studied.

Is Integrated Bridge Maintenance a successful method to increase the effectiveness and to increase the standard in bridge maintenance alternatively increasing the service life for the bridge stock at an optimal cost, i.e., will IBM lead to lower LCC? It is difficult to answer this question with exact numbers after so short time, but so far the opinion is that the effectiveness has increased.

How can a bridge stock develop over a long time e.g. 15 years? Based on historical data one can calculate, for instance, new construction rate, demolition rate and average age for the bridge stock. This information could together with different future scenarios be a basis for different bridge management strategies for the actual bridge stock.

What is the real service life for a bridge? Survival analysis for the different types of bridges in the actual bridge stock will give a good estimate of the different expected service life.

Why and at which age are bridges demolished? Two main reasons were found in this study: deterioration process of the bridge had gone too far and/or load bearing capacity was too low, and road were rerouted.

What is the real service life for a bridge edge beam, one of the most often repaired element of Swedish bridges? Survival analysis of edge beams located on different types of roads will give a good estimate of the different expected service life.

How should a long-term contract for bridge maintenance and specially Integrated Bridge Maintenance be procured? The bridge manager should have a good understanding of the answers on the research questions above when the tender documents are to be prepared for the actual bridge stock. Thereafter the area that the contract should cover could be chosen, a good balance between properties and measures, defining the working cycle for properties, a flexible partnering structure in the contract and a suitable length of the contract (x years) inclusive an option (+ y years) and finally good incentives in the contract.

To sum up, the main purpose with the doctoral project has been reached. A model for procurement of bridge maintenance has been developed; see the projects in Uppsala and Örebro. The contractor has developed more effective methods for bridge maintenance. The doctoral project has been a step closer to the end goal of reducing the society's costs for bridge maintenance in the future. The bridges should be functional to the lowest possible cost during its expected service life (LCC). The doctoral project has also contributed with new knowledge in the area of bridge maintenance, the actual development of a bridge stock over time, real service life for road bridges in Sweden and survival analysis.

**Keywords:** bridge management, bridge maintenance, real service life, partnering



## DENOMINATIONS AND ABBREVIATIONS

Below is a list for the English extended summary.

ATB	Allmän teknisk beskrivning (General Technical Regulations)
BaTMan	Bridge and Tunnel Management System (SRA's BMS since 2004)
BMS	Bridge Management System
CC	Condition Class (results from bridge inspections)
GPD	Grundpaket Drift ( "Basic operating and maintenance package")
IBM	Integrated Bridge Maintenance is a contract containing properties and measures
LCC	Life-Cycle Cost
LCV	Lack of Capital Value (SRA's condition quantifier)
Measures	Specified measures and repair actions for structures or structural members
Properties	Annual maintenance and operation of the bridges according to the demands in ATB Brounderhåll (General Technical Regulations for Bridge Maintenance)
SRA	Swedish Road Administration
SRA-P	SRA-Production (contractor). SRA-P is a division of SRA
TLK	Technical life span class
VMN	SRA region Mälardalen (client)

Below is a list for the Swedish summary.

ATB	Allmän teknisk beskrivning
BaTMan	Bridge and Tunnel Management System (Vägverkets datasystem från 2004)
BK	Brist på kapitalvärde (anger det relativa värdet av en konstruktions skada)
Egenskaper	Årligt underhåll av broarna enligt ATB Brounderhåll
GPD	Grundpaket Drift (drift och skötsel på det statliga vägnätet)
IB	Integrerat brounderhåll är ett kontrakt som kombinerar egenskaper och åtgärder
LCC	Life-Cycle Cost (livscykelkostnad)
TK	Tillståndsklass (ett mått på en konstruktions tillstånd)
TLK	Teknisk livslängds klass
VMN	Vägverket region Mälardalen (beställare)

VP	Vägverket Produktion (utsedd entreprenör)
Åtgärder	Utpekade broreparationer

# CONTENTS

<b>PREFACE</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>DENOMINATIONS AND ABBREVIATIONS</b>	<b>xiii</b>
<b>CONTENT OF THE THESIS</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
1.1 General.....	3
1.2 Background to the present project.....	5
1.3 Purpose of the study.....	7
1.4 Research questions .....	8
1.5 Methods used in this study.....	9
1.6 Limitations .....	10
1.7 Structure of the thesis .....	11
<b>2. THE CONCEPT OF INTEGRATED BRIDGE MAINTENANCE</b> .....	<b>13</b>
2.1 Functional requirements for roads and bridges .....	13
2.2 The ideas behind Integrated Bridge Maintenance .....	16
<b>3. APPLICATION OF INTEGRATED BRIDGE MAINTENANCE</b> .....	<b>19</b>
3.1 Introduction.....	19
3.2 Uppsala County 2004-2007 .....	19
3.3 Option for Uppsala County 2007-2010.....	33
3.4 Örebro County 2007-2010 .....	34
3.5 Comparison between Uppsala and Örebro projects .....	39
3.6 Contractors' view on tender documents .....	40
3.7 Experiences and lessons learned from the projects.....	43
<b>4. A BRIDGE STOCK'S DEVELOPMENT</b> .....	<b>49</b>
4.1 Introduction.....	49
4.2 Number of bridges and bridge deck area in VMN.....	49

4.3	Types of bridges in VMN .....	50
4.4	Age and types of demolished bridges.....	55
4.5	Reasons for demolition.....	56
4.6	Average age of the bridge stock .....	57
4.7	Costs for the bridge stock .....	59
4.8	Inspections and Lack of Capital Value.....	61
4.9	Comparisons .....	63
4.10	Conclusions.....	65
<b>5.</b>	<b>REAL SERVICE LIFE OF ROAD BRIDGES.....</b>	<b>67</b>
5.1	Introduction .....	67
5.2	Number of demolished bridges.....	67
5.3	Age at demolition .....	67
5.4	Technical life span in SRA's regulations .....	68
5.5	Survival analysis .....	68
5.6	Survival analysis of bridges.....	69
5.7	Comparison of technical and real life spans .....	71
5.8	Discussion.....	72
<b>6.</b>	<b>REAL SERVICE LIFE OF EDGE BEAMS.....</b>	<b>73</b>
6.1	Introduction .....	73
6.2	Replacement and minor repair of edge beams.....	73
6.3	Location of replaced edge beams.....	74
6.4	Survival analysis of replaced edge beams .....	75
6.5	Costs for replacement and minor repair of edge beams.....	76
<b>7.</b>	<b>EXPERIENCES FROM OTHER SECTORS .....</b>	<b>79</b>
7.1	Introduction .....	79
7.2	Background to the contract .....	79
7.3	Tender documents and offer .....	80
7.4	Start of the contract .....	80
7.5	Yearly planning .....	80

7.6	Follow-up during the contract period.....	81
7.7	Cost division in relation to maintenance work.....	81
7.8	Common goals in the project.....	81
7.9	End of the contract .....	81
7.10	New procurement after the end of the contract.....	81
7.11	Experiences from the contract's first five years .....	82
7.12	Comments .....	82
<b>8.</b>	<b>PROCUREMENT OF INTEGRATED BRIDGE MAINTENANCE.....</b>	<b>83</b>
8.1	General guidelines.....	83
8.2	Suggestion for procurement of IBM in the whole VMN.....	85
<b>9.</b>	<b>CONCLUDING DISCUSSION.....</b>	<b>89</b>
9.1	Discussion.....	89
9.2	Further research .....	91
	<b>REFERENCES.....</b>	<b>93</b>
	<b>SWEDISH SUMMARY – SAMMANFATTNING.....</b>	<b>99</b>

<b>PAPER 1</b>	Procurement of bridge management based on functional requirements.
<b>PAPER 2</b>	Bridge demolition and construction rates: inspection data-based indicators.
<b>PAPER 3</b>	The real service life and repair methods of steel pipe culverts in Sweden.
<b>PAPER 4</b>	Degradation, repair methods and real service life of Soil Steel Composite bridges in Sweden.
<b>PAPER 5</b>	The real service life of road bridges.
<b>PAPER 6</b>	The real service life and repair costs for bridge edge beams.
<b>PAPER 7</b>	Experiences from procurement of Integrated Bridge Maintenance in Sweden.

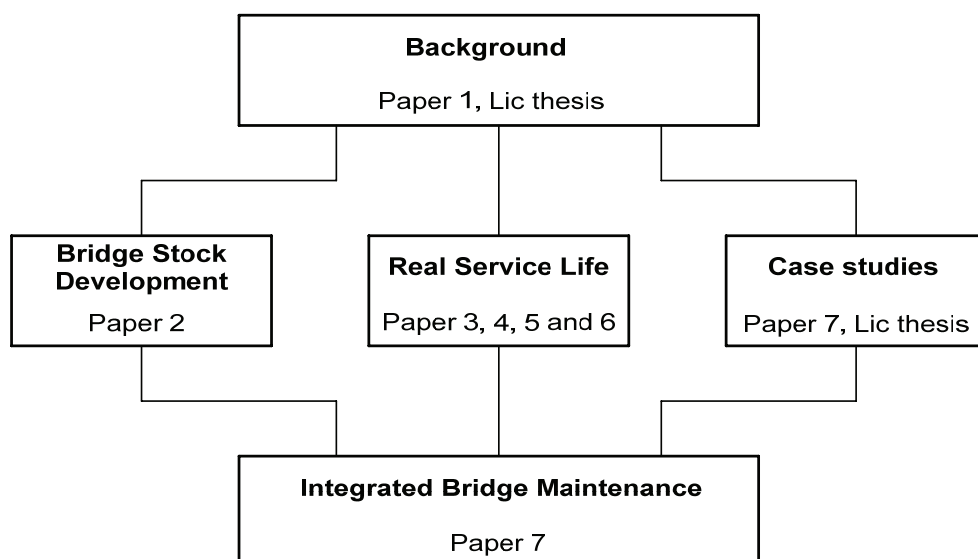


# CONTENT OF THE THESIS

This thesis is based on the work contained in the following papers and conference articles:

1. Sundquist H, Mattsson H-Å and James G. **Procurement of bridge management based on functional requirements.** Proceedings of the Second International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS, Kyoto, Japan, 2004, pp. 185-186.
2. Mattsson H-Å, Sundquist H and Stenbeck T. **Bridge demolition and construction rates: inspection data-based indicators.** Bridge Structures, Vol. 4, Issue 1, March 2008, pp. 33-47.
3. Mattsson H-Å, Sundquist H. **The real service life and repair methods of steel pipe culverts in Sweden.** Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Buried Flexible Steel Structures, Rydzyna, Poland, 2007, pp.185-193.
4. Mattsson H-Å, Sundquist H. **Degradation, repair methods and real service life of Soil Steel Composite bridges in Sweden.** Proceedings of IABMAS' 08, Seoul, Korea, 2008, p. 429.
5. Mattsson H-Å, Sundquist H. **The real service life of road bridges.** ICE Bridge Engineering, Vol. 169, Issue BE4, 2007, pp. 173-179.
6. Mattsson H-Å, Sundquist H. and Silfwerbrand J. **The real service life and repair costs for bridge edge beams.** International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 13, No. 4, 2007, pp. 215-228.
7. Mattsson H-Å, Lind H. **Experiences from procurement of Integrated Bridge Maintenance in Sweden.** Accepted by European Journal of Transport and Infrastructure Research in September 2008.

The relations between the papers are illustrated in **Figure 1.0**.



**Figure 1.0.** Interrelations between appended papers.

The papers were written in collaboration with co-authors. The contribution and responsibility taken is specified below:

The author of this thesis has in general drawn up the proposals for the methodology, performed the information gathering process, worked out the analysis and conclusions and written all or the major parts in the papers. The co-authors have contributed with the choice of subject and their view and comments on methodology, analysis, conclusions and text. In Paper 1 Professor Sundquist has over elaborated and complemented the text and in Paper 7 Professor Lind has complemented with economical theories.



# 1. INTRODUCTION

## 1.1 General

It is important for a country to have a good infrastructure and bridges constitute an important part of it. The infrastructure, both investments and maintenance, is to a great extent paid for by the tax-payers. This means that the economical burden on taxpayers to preserve the infrastructure is heavy. It is therefore very important that the management of bridges and other infrastructures is efficient. Bridges can be owned and managed both of juridical and private persons.

The major owners of bridges in Sweden are the Swedish Road Administration (SRA) with some 15 500 national road bridges, Banverket (The Swedish Rail Administration) with some 4 000 bridges and municipalities (about 10 000 bridges) of which, for instance, Stockholm town owns about 900 bridges.

A bridge is a manmade structure which purpose normally is to carry traffic over or around an obstacle made of man or nature. In Sweden, since 1998, is a bridge defined as a structure with the longest span exceeding 2.0 m. The bridges are inspected according to a schedule (see Section 4.8.1) and the inspector will assess a Condition Class (CC) for the bridge's structural members (see **Table 2.1**). **Table 1.1** shows how many of the bridges owned by SRA, Banverket and Stockholm town that have a Condition Class 3 (as of Nov 2008). With CC 3 means that the inspector has noted shortcomings of the designed function at the time of inspection.

**Table 1.1** Number of bridges (B) having a CC 3 sorted by functional classification of the actual structural member. **Note:** one or more of a bridge's structural member could have a CC 3. Source: BaTMan.

Bridge owner No of bridges	Const- ancy	Load carrying	Traffic safety	Other	TOT	TOT/No of bridges
<b>SRA</b> 15 500	834 B	385 B 609 CC 3	395 B 457 CC 3	155 B	<b>1 769 B</b> <b>2 200 CC 3?</b>	<b>11 %</b> <b>14 %?</b>
<b>Banverket</b> 4 000	232 B	402 B 624 CC 3	174 B 210 CC 3	246 B	<b>1 054 B</b> <b>1 400 CC 3?</b>	<b>26 %</b> <b>35 %?</b>
<b>Stockholm town, 900</b>	89 B	103 B 291 CC 3	37 B 41 CC 3	22 B	<b>251 B</b> <b>450 CC 3?</b>	<b>28 %</b> <b>50 %?</b>

The share of bridges with a CC 3 for the different bridge owners is rough calculated, but the Table gives a clear indication that more means are needed for bridge maintenance activities. In average 14 % of SRA's bridges, 35 % of Banverket's bridges and 50 % of Stockholm town's bridges is estimated to have one structural member with a classification of CC 3. In other words, the decision-makers should be aware of the situation and set aside more funds for bridge maintenance in coming budgets.

This thesis deals primarily with national road bridges owned by SRA which consisted, in the spring of 2008, of about 15 500 bridges (**Figure 1.1**) with a total bridge area of about 4.3 km<sup>2</sup>

(Figure 1.2). But the findings, presented in this thesis, could in general be applied by other bridge managers as well.

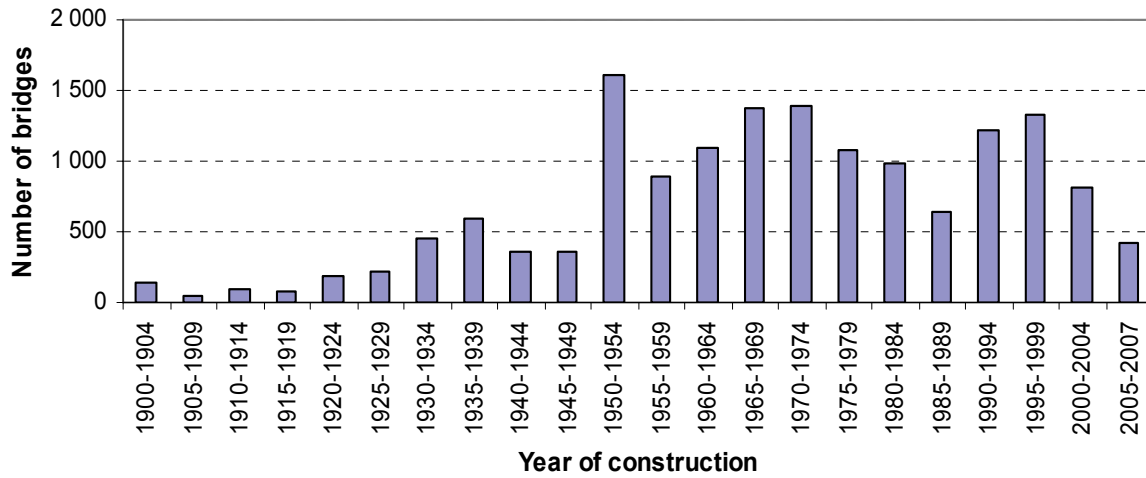


Figure 1.1. SRA’s bridges constructed during 1900-2007 sorted by year of construction.

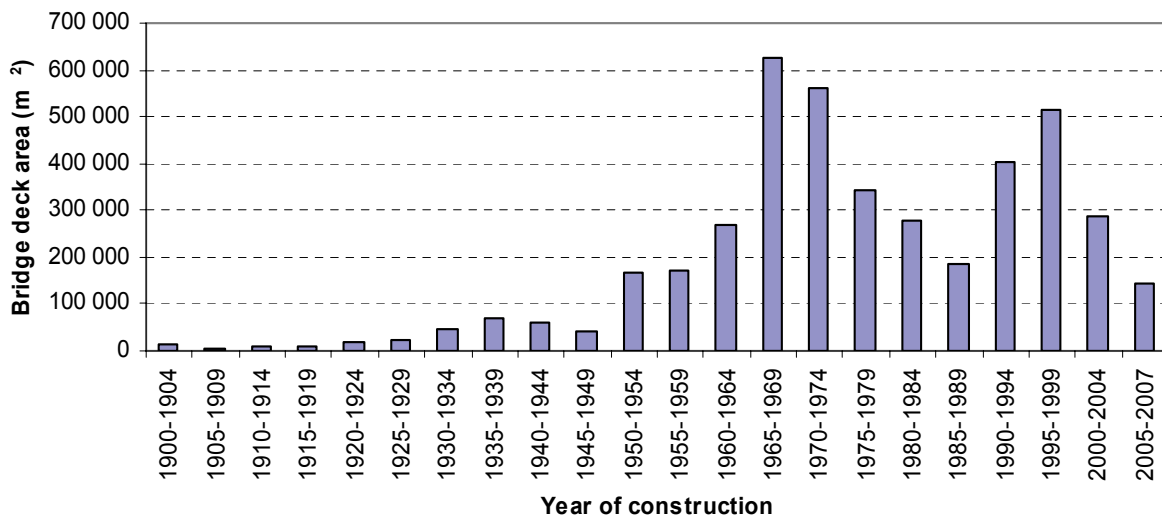
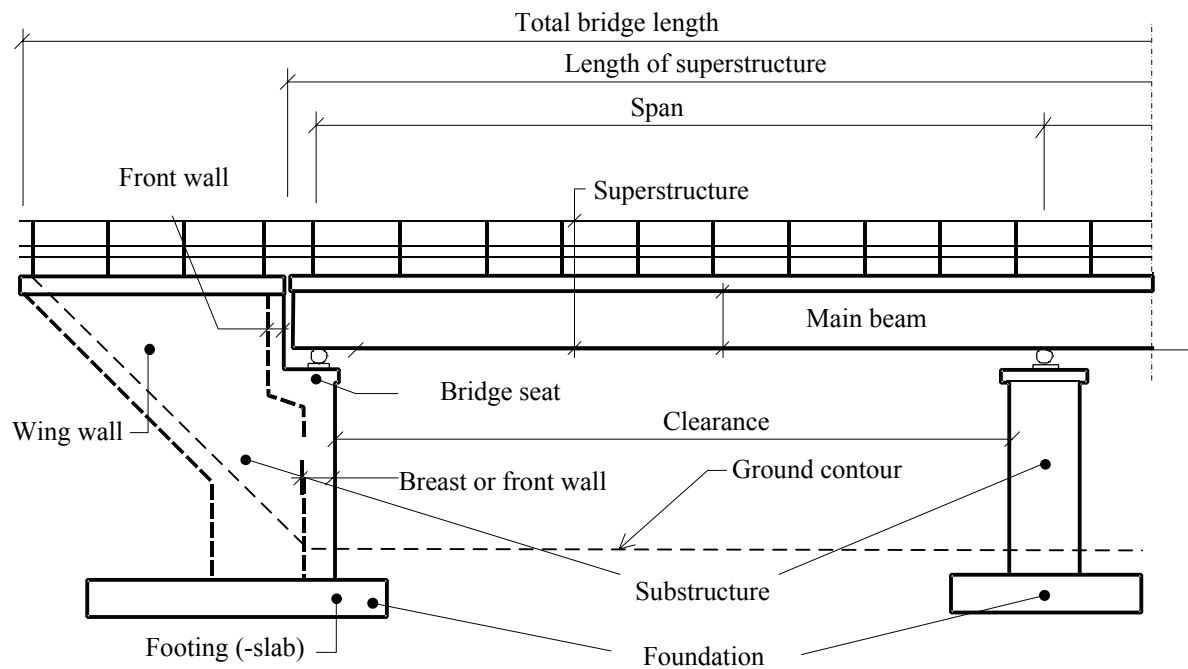


Figure 1.2. Bridge deck area for SRA’s bridges constructed during 1900-2007 sorted by year of construction.

It is common to sort bridges by the material of the primary load bearing system. In Sweden the most common material used is concrete and then steel and stone follows.

Bridges can also be sorted into different types of bridges e.g. beam and slab bridges, beam and slab frame bridges, suspension bridges, cable-stayed bridges, truss bridges, bascule bridges, box girder bridges, slab bridges, slab frame bridges, arch bridges, swing bridges, culverts and earth filled arch bridges.

A bridge is also divided into superstructure, substructure and foundation, see Figure 1.3. The superstructure will carry loads from the traffic. The substructure will transit the loads down to the foundation, which will be on some kind of solid ground.



**Figure 1.3.** Superstructure, substructure and foundation for a bridge.

It is a complex task to manage a large bridge stock and therefore a bridge management system (BMS) is a must for the effective planning and procurement of new bridges and for the maintenance of the existing bridge stock. SRA has since the mid 1970s used a computerized BMS. The latest update of SRA's BMS is called Bridge and Tunnel Management system (BaTMan), which was introduced in 2004. BaTMan supports the management of a bridge structure during its whole lifecycle, from the design phase to the demolishing stage. BaTMan is an Internet based system, which means that users all the time have updated information online about the actual bridges (<https://batman.vv.se/>). This system is comparable to the systems discussed in e.g. Liu & Itoh (2001).

## 1.2 Background to the present project

Routine road and bridge maintenance was carried out in-house by SRA until 1992. That year SRA started to go from in-house production to outsourcing the maintenance by competitive tendering. The main reason for this reform was the intention to cut public expenditures for operating the road net by exposing this activity to market forces, *Österberg (2003)*.

During the period before 1992 SRA had a bridge maintenance crew in each county (Sweden is divided into 21 counties) that carried out all bridge maintenance and minor repair for the national bridges. Each crew consisted typically of a bridge-engineer and 3-6 workers, and it was a way to keep the bridge maintenance competence, see **Table 1.2**.

**Table 1.2** After 1992 the activities of the bridge maintenance crew was outsourced. Properties and measures are described in chapter Denominations and Abbreviations on page vii.

Bridge activity	SRA before 1992	SRA after 1992
Inspection	Bridge engineer + Bridge maintenance crew	Bridge manager + consultant
Properties (Annual maintenance and operation)	Bridge maintenance crew	GPD contractor
Minor measures	Bridge maintenance crew	Contractor
Major measures	Bridge maintenance crew/Contractor	Contractor

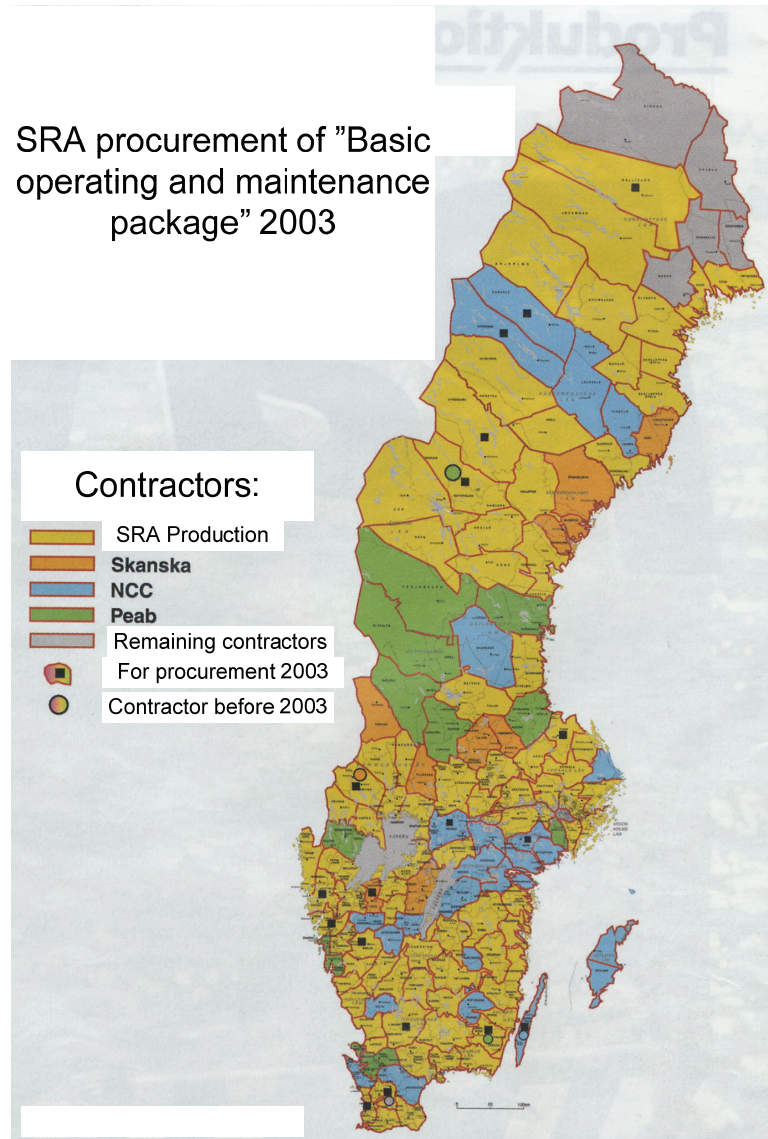
After 1992 SRA divided Sweden into 7 regions and about 130 small districts. SRA procures district-wise a routine maintenance package deal, called "Basic operating and maintenance package", ("Grundpaket Drift" in Swedish, GPD). A county consists typically of 3-6 small districts, which means that there theoretically could be 3-6 different contractors in the county. Examples of routine road maintenance are clearing off snow, gritting, salting during the winter season, acute repairs of the road surface such as filling potholes, washing away the salt from the bridges after the winter season, etc. The length of a routine maintenance contract is normally 5-6 years. About 1/5 of the districts is then procured annually, see **Figure 1.4**. The planned maintenance, such as maintenance of pavements, which is outside the package deals, has been contracted by competitive tendering for a longer period of time.

This introduction of the "Basic operating and maintenance package-GPD" meant that there were no longer any specialized groups working with bridges. In this package road maintenance is the big part while preventive bridge maintenance just counts for some 2-3 % of the contract value. The main focus in GPD is on winter related issue and road surface conditions, *Liljegren (2003)*. Because the volume of routine bridge maintenance is so small, it was observed that it was difficult for the contractor to keep a specialized bridge crew on a continuous basis in a district.

This has led to a concern that maybe the competence in the area of bridge maintenance has been falling. SRA and some contractors therefore suggested that it could be a good idea for SRA to procure bridge maintenance separately in one or two counties for a longer period time, e.g. seven to ten years. The old bridge maintenance crew could be a model for this, *Silfverbrand (2002)*.

At the same time there was an increasing interest in moving towards contracts based on functional demands and in 2004 the SRA started the experiment with what is here called Integrated Bridge Maintenance. The idea was to procure bridge maintenance separately for a larger area than the one covered in the ordinary GPD. An important part of the new model was also that the contract should be more of a contract with functional demands. Instead of stipulating exactly what a contractor should do, the contract should regulate the characteristics that the bridges should have, in this case the properties. It is then up to the contractor to decide what measures should be taken in order to make sure that the bridges actually had these characteristics.

This experiment is part of a broader set of experiments with contracting forms carried out by SRA, e.g. using new contract forms to stimulate innovation (see *Stenbeck 2007b*) and using partnering contracts (see *Nyström 2007*).



**Figure 1.4.** SRA procurement of "Basic operation and maintenance package" 2003, På Väg nr 4, *Vägverket Produktion SRA-P (2003)*.

### 1.3 Purpose of the study

The Swedish Road Administration (SRA) has outsourced maintenance of bridges together with road maintenance since the early 1990s. A few years ago they wanted to experiment with a new way of procuring bridge maintenance (called Integrated Bridge Maintenance, or IBM for short) that differed from earlier procurements in the following respects:

1. Preventive bridge maintenance is outsourced separately from road maintenance and is procured together with a package of bridge repairs.

2. All bridges in a large region are included in the contract.
3. The contract should cover a longer time period.
4. Part of the contract was a "performance" contract that specified the characteristics (functional demands) that the bridge should have, and not what the contractor was supposed to do.

The ideas behind these changes are presented in Section 2.2 but major hypotheses behind the experiment is that the new approach can increase efficiency through a combination of increased specialization (item 1 above), economies of scale (2 and 3) and through giving the private contractor a greater degree of freedom concerning exactly what to do and exactly when to do it (items 3 and 4 above).

The purpose was also to increase the knowledge in the bridge maintenance area, both in detail and in general, and therefore a number of research questions related to that have been formulated during the study, see below.

## **1.4 Research questions**

Besides following-up and analyse the ongoing projects on Integrated Bridge Maintenance in Uppsala County and Örebro County the following six research questions have been formulated:

- 1) Is Integrated Bridge Maintenance a successful method to increase the effectiveness and to increase the standard in bridge maintenance alternatively increasing the service life for the bridge stock at an optimal cost? Will IBM lead to lower LCC?
- 2) How can a bridge stock develop over a long time e.g. 15 years? It is important to have an idea about this when it comes to estimating the need and cost for bridge maintenance. Is it possible to create and develop key figures such as new construction rate, demolition rate, the average age of the bridge deck area and so on?
- 3) What is the real service life for a bridge? It is important to have an understanding about the expected service life of a bridge when it comes to estimating the needed Life Cycle Costs (LCC). How well does the real service life fit with the expected service life in SRA's regulations?
- 4) At which age and why are bridges demolished? Knowing this makes it easier to plan suitable bridge maintenance for a bridge during its service life.
- 5) What is the real service life for a bridge edge beam? Since the edge beam is one of the most damaged bridge elements it is of great interest for a bridge manager to know the expected service life.
- 6) How should a long-term contract for bridge maintenance and specially Integrated Bridge Maintenance be procured? A contract should look after the society's interest of effective bridge maintenance and at the same time give a contractor the possibility to carry out the scoop of work in the contract with a profit. The contract should also be easy to calculate, which should give many tenders.

## 1.5 Methods used in this study

### 1.5.1 Overview of methods

The methods used in this study have in general been:

- i. Qualitative: literature study, interviews, meetings, follow-up, participating in seminars, own inspections and observations (partly quantitative)
- ii. Quantitative: collecting and working with a large amount of data particularly drawn from SRA's database BaTMan.

**Table 1.3** shows the relationship between research questions, general methods used and concerned papers.

**Table 1.3.** The relationship between research questions, general methods used and concerned papers.

Research Question (RQ)	General method	Concerned paper
Background	Qualitative	Paper 1
RQ 1	Qualitative	Extended summary
RQ 2	Quantitative	Paper 2
RQ 3	Quantitative	Papers 2, 3, 4, 5
RQ 4	Quantitative	Papers 2, 5
RQ 5	Quantitative	Paper 6
RQ 6	Mainly qualitative but partly quantitative	Paper 7

### 1.5.2 The quantitative studies

The information for these studies has mainly been gathered from SRA's bridge management system BaTMan. When missing or unclear information has been noticed in the database, interviews of responsible person have been performed to fill in the gaps, e.g. bridge engineers.

### 1.5.3 Methods used for evaluation

Evaluations can be designed in a number of ways, and the method used here, to evaluate the Integrated Bridge Maintenance, is a standard case-study method with an implicit before-after comparison.

From a methodological perspective the ideal method could have been a quasi-experimental study, where similar areas that still used the old contract type are used as a control group. *Nyström (2007)* discusses this and other methods in the context of evaluating partnering contracts. In the end, however, two factors motivated the choice of a standard case-study approach. First, it was not easy to find a good "control group", partly because the change concerned several different dimensions. Secondly there was a resource constraint and this made a more costly quasi-experimental study problematic.

An important aspect that reduced the problems in the standard case-study approach is that all persons involved on both the client and contractor side had experience from working with the old model, and therefore could compare the new and the old model. As the introduction of Integrated Bridge Maintenance is a rather "technical" innovation without any obvious ideological aspects, there are no reasons to believe that participants were biased in any special direction.

The research project was initiated at the same time as the experiment and it was therefore possible to collect data during the entire process from procurement to the actual carrying out of the contract. All possible data sources were used and the most important items were interviews with both client and contractors during the whole process, and various documents including evaluations and inspections from the client and external experts. The data sources are described more in detail when the data are presented. A reference group with participants from the SRA, several of the main contractors in Sweden and the Royal Institute of Technology also followed the project and gave comments during the whole process.

Performed interviews have been both structured and informal. Interviews with contractors that have participated in information meetings or have requested tender documents have been structured and the rest of the interviews have been informal. Examples of meetings are 11 reference group meetings in the doctoral project, a number of meetings between representatives from SRA and KTH, and some 30 meetings on the construction sites.

## **1.6 Limitations**

This thesis deals with three areas within bridge maintenance:

- Follow-up and evaluation of the application of IBM in Uppsala County and Örebro County. The first two years of the Uppsala project, containing about 400 bridges, were presented and evaluated in the licentiate thesis (*Mattsson 2006*). In this thesis the Uppsala project 2004-2007 is presented together with the first part of the Uppsala project 2007-2010. The first part of the Örebro project 2007-2010, containing about 700 bridges, is also presented but it is too early for a more systematic evaluation of the Örebro project.
- Analysis of a bridge stock's development, containing about 1 800 bridges, during 15 years in SRA's region Mälardalen (VMN). It is assumed that these are representative indicators for the bridge stock as a whole.
- The real service life for some common types of bridges in Sweden has been obtained. For slab frame bridges and steel beam bridges the study has been carried out in VMN. For culverts in Sweden the focus has been on culverts of corrugated steel in connection with water and on land, respectively. There are other bridge types but the study covers the most important types.

Movable bridges have not been a part of the projects neither in Uppsala County nor in Örebro County.

The author has not found anything on procurement of bridge maintenance based on functional requirements for an actual bridge stock in the literature, to the best knowledge of the author after literature searching. In general there is very little published about procurement of bridge maintenance.



nance. However, the author has noted a recent trend on how to implement theoretical models into practical use (see for e.g. *Kaneuji et al., 2008* and *Tervo, 2007*).

## **1.7 Structure of the thesis**

The thesis is divided into nine chapters. In the first Chapter an introduction to the subject including research questions is presented. In the next Chapter the concept of Integrated Bridge Maintenance (IBM) is presented. Chapter three present application and experiences of IBM in the ongoing projects in Uppsala County and Örebro County. Chapter four describes how a bridge stock may develop over 15 years. The real service life for road bridges and edge beams are presented in Chapters five and six, respectively. Experiences from a long-term maintenance contract in another sector are presented in Chapter seven. Suggestion how to procure a long term maintenance contract for a bridge stock is presented in Chapter eight and concluding discussion and suggestions on further research can be found in the last Chapter.



## 2. THE CONCEPT OF INTEGRATED BRIDGE MAINTENANCE

### 2.1 Functional requirements for roads and bridges

The most complicated part of a bridge maintenance contract based on functional requirements is to define, follow-up and control the quality of the performed maintenance. Basically the aim of all maintenance of the road infrastructure should be based on the demands from the customer using and by tax on fuel, road-tolls or likewise paying for this. In Sweden no such direct link exists at the moment between maintenance and the above mentioned taxes. There are two essential reasons for performing bridge maintenance according to *Purvis, 1999*:

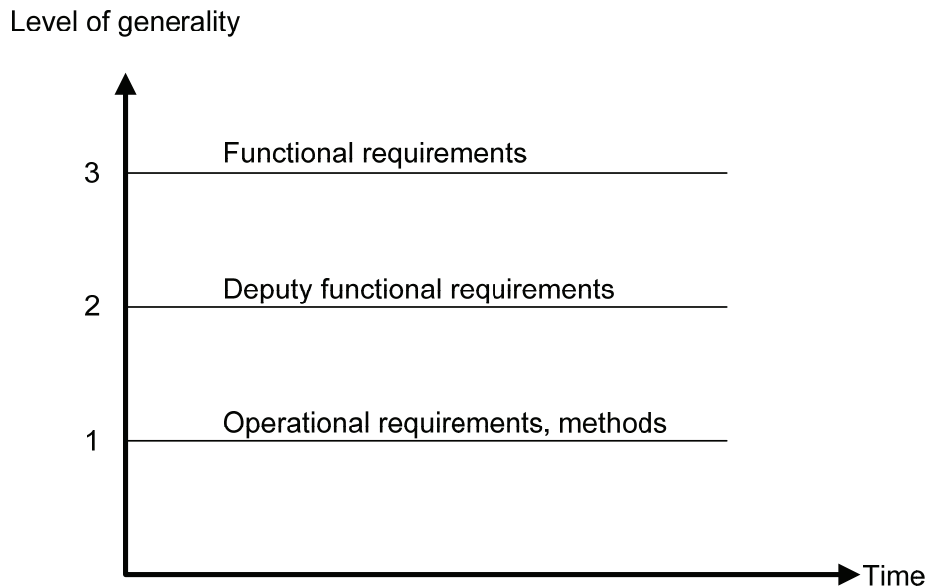
- 1) To ensure the safety of the travelling public and
- 2) To preserve the original investment in the structure – an investment that would be much greater at today's replacement cost and even more in the future.

So far it has not been possible to couple the demands from the public to technical demands on the bridges with the exception from cases where a whole bridge or road system is contracted out by some sort of Build Operate and Transfer (BOT) contract. Procurement based on functional demands has earlier been tested for infrastructure projects in Sweden, (see e.g. *Olsson 1993*), but has never been tested for bridge maintenance.

There are many possible options when defining functional requirement e.g. for the maintenance of bridges. We would like to define at least three levels, see **Figure 2.1**:

- Functional requirements based on how well the bridges fulfil the demands by the customers e.g. the drivers using the bridge.
- Deputy functional requirements where the functional demands are described in measurable manners such as corrosion amounts and amount of weathered concrete. The actions used for maintenance and repair should however be chosen by the contractor.
- Operational requirements where the amount of work and the methods are described in detail.

An example on how functional requirements have been transformed into deputy functional requirements in an actual contract is the bridges located on the Norrortsleden project, which is described in the following subsections.



**Figure 2.1.** The figure depicts three principal different levels of functional requirements.

### 2.1.1 The Norrortsleden project

An interesting project that illustrates basic principles relevant for Integrated Bridge Maintenance is the on-going the Norrortsleden project (construction period 2004-2008 + maintenance 15 years), which is located in the northern part of Stockholm. In this project SRA is testing a new model for constructing and operating a 7 km long road (*SRA 2004c*). The new project model involves SRA assigning complete projects to the supplier, with comprehensive responsibility for design, construction and operation and maintenance.

The new model means that the contract is procured according to certain stated condition and requirements regarding the road's performance and future operation and maintenance. Functional requirements are stipulated regarding the road and accompanying facilities, as well as installations. The supplier then has the freedom to select technical solutions and methods within the framework of these requirements.

The supplier receives a long assignment of about 20 years, in which the construction period is 3-4 years and maintenance and operation is about 15 years. This enables the supplier to balance the investment and new construction costs against the expected maintenance costs. This should encourage cost-effective and quality optimized solutions.

### 2.1.2 Bridges located on Norrortsleden

For the eight bridges that are located on Norrortsleden SRA's different standards generally apply. But a supplier is always entitled to deviate from the standards if he can demonstrate that an alternative selected by the supplier is just as effective.

A suggestion on how to procure new construction of bridges based on functional requirements was presented by *Nilsson (1995)*. Up to now, to the best knowledge of the author, no bridge in Sweden has been procured and built based on functional requirements.

The bridges located on Norrortsleden have been procured and built according to “Bro 2002” (SRA 2002a) with a technical life span of 80 years (TLK 80). To ensure the technical life the bridges should be inspected and maintained during 15 years according to “BRO Handbok för broinspektion” (SRA 1993a), “BRO Mätning Bedömning av broars tillstånd” (SRA 1993b) and “SAFE BRO koder för inspektion” (SRA 2002c). The required maintenance should be carried out according to the demands in “Brounderhåll 2002” (SRA 2002b).

After this operation and maintenance period of 15 years, the bridges should be handed over from the contractor to SRA. According to the contract the remaining service life of the road bridges should be 65 years ( $80 - 15 = 65$ ). The question is how to ensure and verify this remaining service life?

A remaining service life of 65 years is the functional demands for the bridges. Since this is very difficult to verify, there have been a number of the deputy functional requirements in the contract which states that during inspections a certain number of shortcomings could be accepted as an indication of the bridge’s status. A Condition Class 1 (CC 1), see **Table 2.1**, is accepted for all structural members and two of the following structural members may have a CC 2: slope and embankment end, wing walls and retaining walls, waterproofing, surfacing, railing, expansion joints and drainage system.

The results of the bridge inspections in Sweden are reported in two ways, a functional classification (Condition Classes) and an economical classification. The Condition Classes, see **Table 2.1**, can be an integer number 0, 1, 2 or 3, dependant on how serious the damage at the time of inspection is and its impact on traffic safety. For more details see Section 4.8.1.

**Table 2.1.** Condition Classes (CC) for Swedish bridges, SRA (1993b).

Condition Classes (CC)	The inspector’s judgement
CC 0	Shortcomings of designed function beyond 10 years
CC 1	Shortcomings of designed function expected within 10 years
CC 2	Shortcomings of designed function expected within 3 years
CC 3	Shortcomings of designed function at the time of inspection

If one analyze the accepted levels in the deputy functional requirements in the contract:

- Best case is no shortcomings noted (only CC 0).
- Worst case is two structural members having CC 2 and the rest CC 1. That means, according to the table above, that the bridge maybe needs to be repaired within the next 3-10 years.

In conclusion, it does not matter what the inspection results show as long as the results are between the best and worst accepted levels, and that these result’s mean that a remaining service life of 65 years has been indirectly proved.

This example shows clearly the problem to state the exact status of a slowly degradation process and how this process affects the remaining service life, but for the next contract one should consider if worst case is, say, two structural members having CC 1 and the rest CC 0.

## 2.2 The ideas behind Integrated Bridge Maintenance

When the "Basic operating and maintenance package - GPD" was successively introduced during the early 1990s, it also meant that the number of specialized groups working with bridge maintenances was successively reduced. In this GPD-package road maintenance is the major part while preventive bridge maintenance just counts for some 2-3 % of the contract value, according to actual GPD contracts in Uppsala County. Because the volume of routine bridge maintenance is so small, it was observed that it was difficult for the contractor to keep a specialized bridge crew on a continuous basis.

This has led to a concern that maybe the competence in the area of bridge maintenance has been falling. SRA and some contractors therefore suggested that it could be a good idea for SRA to procure bridge maintenance separately in a larger area than the one covered in the GPD and for a longer time, e.g. bridges in one or two counties for seven to ten years. The old bridge maintenance crew could be a model for this, *Silfwerbrand (2002)*. Experiences from procurement of preventive bridge maintenance in Denmark could also be used as a model.

### 2.2.1 Preventive bridge maintenance in Denmark

How preventive bridge maintenance is managed in Denmark with the bridge management system DANBRO is described by *Henriksen (2000)*. The aim of preventive bridge maintenance is to maintain the required level of traffic safety at all times, and to compensate for the effects of weather and traffic on the structures so that serious and costly damage is avoided. This consists of minor repairs that are frequently needed and can be carried out with the aid of simple tools on the basis of standard instructions e.g. minor repairs on concrete, patches of paintwork, replacement of bitumen joints, sweeping and hosing. Works can be executed either on account or on the basis of a Bill of Quantities, both for both types, a precise allocation of the work together with supplementary remarks contributes to a good system. The developments in Denmark between 1987 and 1999 are shown in **Table 2.2**.

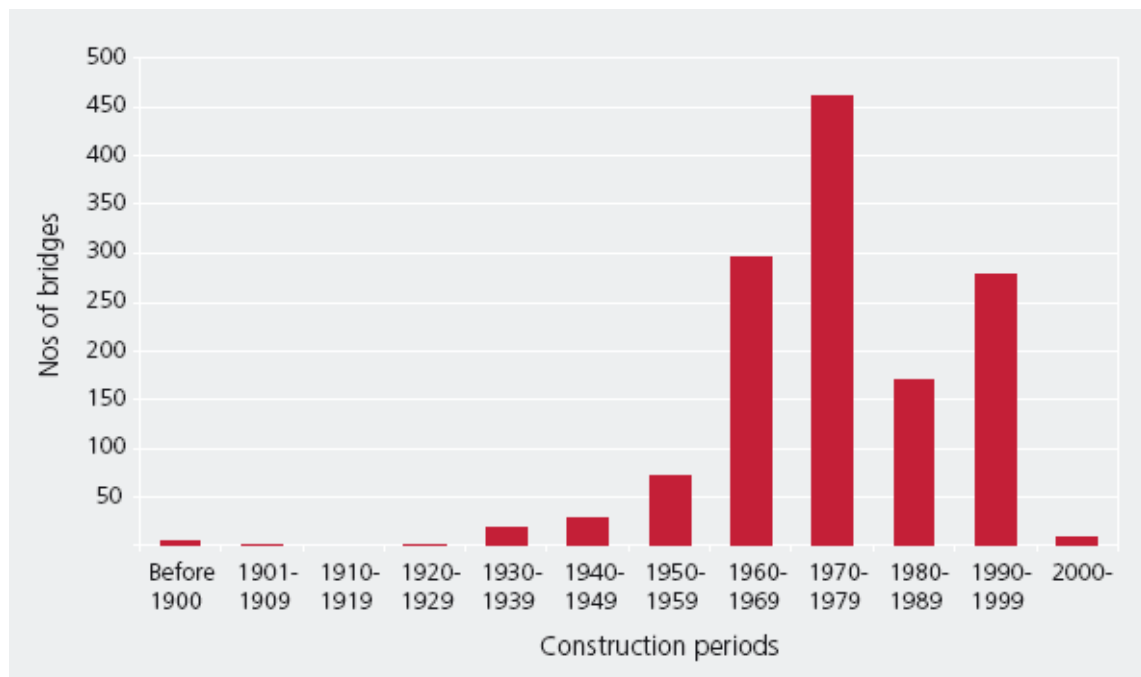
**Table 2.2.** Developments in Denmark 1987-1999, after *Henriksen (2000)*.

1987-1997	1997-1999
No tender	Tender covering several years
Work in connection with ad hoc inspection	90 % of the work ordered at the start of the year
Poor documentation of work executed	Check on the budget
No external contractors	Possibility of priority-ranking and work planning

In "The State Road Network" *Danish Road Directorate, 2001* one can read following. "192 million crowns were used on maintenance and repair work on structures 2000. This is approximately 80 % of the amount which the Danish Road Directorate assessed necessary to achieve the normal condition over time. The backlog of repairs on structures has not risen further during 2000 compared to 1999; this is calculated to be 500 million crowns". Structures include: maintenance and repair of both small and large bridges and tunnels, noise barriers and signs. In 2000 there were some 1 340 bridges located on trunk roads in Denmark, see **Figure 2.2**.

Further one can read “Standard bridges can be attributed a number of standard parameters, each of which are awarded an annual inspection grade in a scale of 0-5, where 0 is perfect and 5 is worthless. If a parameter is awarded a grade of 2-5, it is in need of repair. In 2000 a total of 1 830 parameters were assessed to be in a condition requiring repair, which is an increase of 4 % in comparison to 1999. The repair and maintenance requirements of bridges and structures increase markedly after about 25 years. About 58 % of the total area of bridges was older than 25 years in 2000”.

To meet the above it has become common for the Danish Road Directorate to use consultants (see for e.g. [www.ramboll.com](http://www.ramboll.com) and [www.cowi.com](http://www.cowi.com)) for bridge management activities such as preparation of maintenance plans including short and long term budgets, invitations for tenders, management of maintenance contracts and so on.



**Figure 2.2.** Some 1 340 bridges on trunk roads in Denmark sorted by year of construction. Source: *Danish Road Directorate, 2001.*

### 2.2.2 Creating the Integrated Bridge Maintenance concept

In the early 2000s there was an increasing interest in moving towards contracts based on functional requirements and in 2004 the SRA started the experiment with what here is called Integrated Bridge Maintenance. The idea was to procure both preventive bridge maintenance and repairs of bridges for a larger area than the one covered in the ordinary GPD. An important part of the new model was also that the contract should be more of a performance contract based on functional requirements. Instead of stipulating exactly what a contractor should do, the contract should regulate the properties that the bridges should have, and the contractor can decide what measures should be taken in order to make sure that the bridges actually had these characteristics. This freedom for the contractor to choose method can stimulate innovations (see *Bröchner, 2006*).

SRA wishes to procure bridge maintenance on long term contract based on functional requirements such as safe traffic passage, a satisfactory load bearing capacity and an optimal bridge management strategy over the life span of the bridge.

Since the above functional requirements are hard to measure and verify on a yearly basis, with a reasonable amount of money and efforts, deputy functional requirements is used instead.

In this project the requirements in Brouderhäll 2002 (*SRA 2002b*) have been used as deputy functional requirements in order to verify that the bridge is in a good condition.

By creating a long term contract that consists both of preventive bridge maintenance based on deputy functional requirements and a package of bridge repairs, the hypothesis was that both the bridge owner and the contractor could benefit from the new type of procurement and a win-win situation would be created.

The bridge owner could gain by e.g.:

- Increasing the interest of contractors to submit a tender for a long term contract (more contractors that submit a tender).
- Making bridge maintenance an activity of its own (and not a part of road maintenance), which would increase competence.
- Having a competent organisation ready if something unexpected should happen.
- Benefitting from serial procurement (procure e.g. x repairs in one procurement compare to one repair in x procurements).
- Having more time for long term planning of the bridge stock (e.g. LCC analyses).

The contractor could gain by e.g.:

- Having a guaranteed business volume for a long term.
- Having the possibility to plan and perform the work when it is suitable during the year.
- Having the possibility to build a competent bridge maintenance group and invest in specialised equipment which can reduce the costs.
- Having the possibility to submit tenders for bridge maintenance to nearby clients.
- Making the bridge maintenance work more interesting (analysis and calculations), which would improve the recruitment.



## 3. APPLICATION OF INTEGRATED BRIDGE MAINTENANCE

### 3.1 Introduction

This Chapter is a summary of the projects: Uppsala County 2004-2007, the start of Uppsala County 2007-2010 and the start of Örebro County 2007-2010. This Chapter also reflects Paper 7.

The old bridge maintenance crew has been a model for Integrated Bridge Maintenance (IBM), see **Table 3.1**. An import part of the IBM concept is the yearly inspections during the autumns.

**Table 3.1.** The old bridge maintenance crew has been a model for Integrated Bridge Maintenance.

Bridge activity	SRA before 1992	SRA after 1992	Integrated Bridge Maintenance (IBM)
<b>Inspection</b>	Bridge engineer + bridge maintenance crew	Bridge manager + consultant	Bridge manager + consultant Yearly general inspection IBM
<b>Properties</b>	Bridge maintenance crew	GPD contractor	IBM contractor
<b>Minor measures</b>	Bridge maintenance crew	Contractor	IBM contractor
<b>Major measures</b>	Bridge maintenance crew/Contractor	Contractor	IBM contractor/Contractor

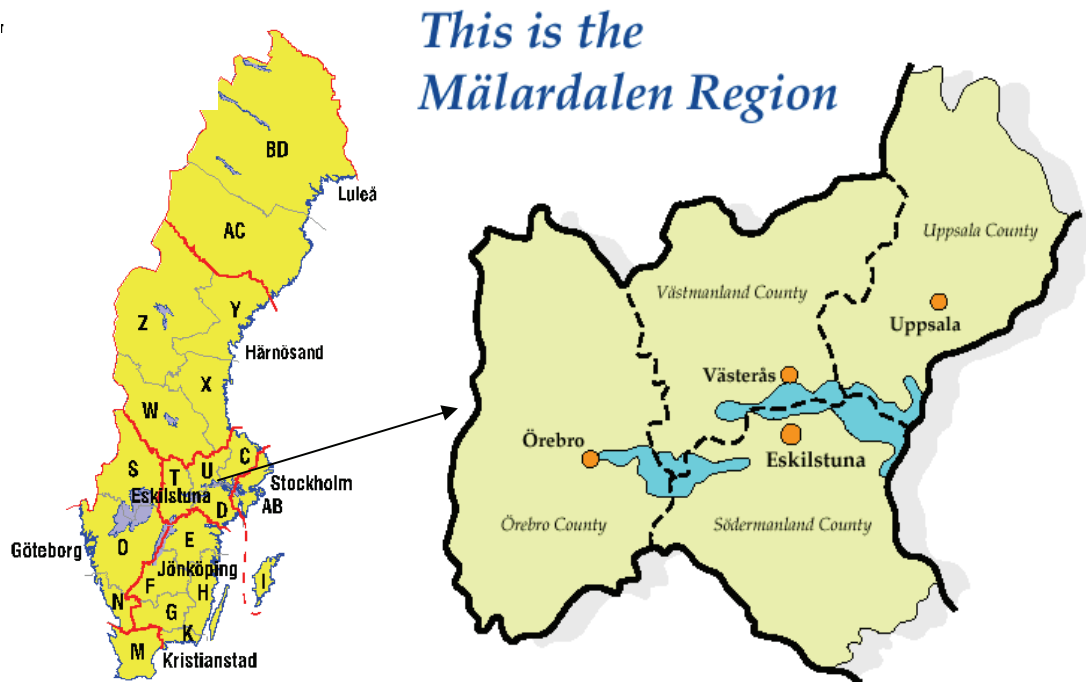
### 3.2 Uppsala County 2004-2007

#### 3.2.1 Choice of region

SRA has, as mentioned above, divided Sweden in seven main regions. About 1 850 bridges is located in SRA's Mälardalen Region (VMN), see **Figure 3.1**. SRA had decided that the project should be carried out somewhere in this area, *Sundquist et al. (2004)*. The VMN region contains some large and smaller cities but not the largest ones (Stockholm, Göteborg) and it could be considered as a rather typical region both for Sweden and the northern part of Europe, regarding type of landscape and climate.

#### 3.2.2 Choice of area

VMN consists of four counties; Uppsala County, Södermanland County, Västmanland County and Örebro County. Each county is divided into 3-4 smaller districts, which means that there are a total of 15 districts in VMN. During the spring of 2003 a working group analysed a number of possible areas and the time remaining in various GPD-contracts. Since this is the first project of its kind in Sweden the owner (SRA) did not wanted to let this pilot project be too large.



**Figure 3.1.** The figure to the left shows SRA's seven Regions in Sweden. The figure to the right shows SRA's Mälardalen Region (VMN). The regional office is located in Eskilstuna. Source VMN.

The working group found that procuring Integrated Bridge Maintenance for a county was a suitable area for the pilot project. Since a large part of Uppsala County should be tendered for GPD during the spring of 2004 it was decided that the pilot project would be in Uppsala County. Uppsala County is situated some 20 km to 200 km north of Stockholm and contains about 400 bridges. It was also decided that the contract period would be three years and with an option for three more years, *Mattsson (2006)*. This rather short period also reflected the uncertainties in SRA concerning whether the new model would work well or not.

Uppsala County consists of four districts; Uppsala district, Enköping district, Tierp district and Östhammar district. In order to create a contract for bridge maintenance in Uppsala County it was necessary to buy out the yearly routine bridge maintenance from the GPD-contractors in Enköping district, Tierp district and Östhammar district, see **Table 3.2**. This was done by SRA during the winter of 2003.

**Table 3.2.** End of GPD contracts for the four districts in Uppsala County.

District	End of GPD contract + (option)
Uppsala	31 Aug, 2003 + (31 Aug, 2004)
Östhammar	31 Aug, 2005 + (31 Aug, 2006)
Enköping	31 Aug, 2006 + (31 Aug, 2007)
Tierp	31 Aug, 2008 + (31 Aug, 2009)

The tender documents were presented in March 2004. The tender process during the spring of 2004 is shown in **Table 3.3**. In addition to advertisement in tender journals a small seminar was held at the Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI) in Stockholm. The major reason for this seminar was to present the basic ideas behind the contract for a number of invited consultants and contractors. A meeting was also held in Eskilstuna somewhat later to clarify questions from potential contractors that now had had time to look closer at the tendering documents.

**Table 3.3.** Schedule for the tender process.

Date	Activity
29 Feb, 2004	Tender documents were presented for potential contractors on a small seminar.
15 Mar, 2004	Tender documents were available for potential contractors.
25 Mar, 2004	Meeting for potential contractors at SRA region office in Eskilstuna.
29 Apr, 2004	Potential contractors should have submitted their offer to SRA. The contractor that had submitted the lowest offer will win the contract.
1 Jun, 2004	SRA signs the contract with the selected contractor.
1 Sep, 2004	Start of the contract.

### 3.2.3 Scoop of work in the contract

It was decided that the bridge maintenance contract should consist of two parts. The first part was more performance oriented and stipulated a number of **properties** that the bridges in the area should have. These properties lead to a yearly maintenance of the bridges according to the demands in the General Technical Regulations for Bridge Maintenance, ("ATB Brounderhäll" in Swedish), *SRA 2002b*. The aim of this bridge maintenance is to prevent or delay the deterioration processes in order to maintain the function and prolong the bridge's expected service life. A series of technical requirements are defined for properties e.g. absence of de-icing agents and vegetation, cleanliness, intact railing fixings, open drainage systems and limited crack widths. The properties are summarized in **Table 3.4**.

Before the contract period started the bridges were inspected together by SRA and the contractor, in order to verify that the bridges had these properties when the contract period started. Otherwise SRA should take action to restore these characteristics.

The second part of the contract specified a number of specific **measures** that the contractor should carry out on the bridges that SRA judged to need improvements in one or more respects. This was the type of measures that SRA traditionally had used to procure. In **Table 3.5** there are some examples of what these measures were.

**Table 3.4.** Summary of technical requirements for preventive maintenance in Sweden.  
After *Silfwerbrand (2007)*.

<b>Structural member</b>	<b>Defect or detail</b>	<b>Requirement</b>
<b>Slope and embankment end</b>	Scour	Not deeper than 0.2 m
	Settlement	Not reduce height > 10 %
	Vegetation	Not higher than 1 m above the ground level
<b>Earth slope and embankment end</b>	Facing	Intact to at least 95 %
<b>Bridge deck of timber</b>		Plank must not be loose. No nails protrude more than 2 mm
<b>Edge beam</b>	Railing fixing	No concrete damage deeper than 20 mm
<b>Wear layer</b>	Cracks	No cracks with crack width > 3 mm in asphalt wear layers, > 1 mm in bituminous mastics, > 0.5 mm in concrete wear layers
	Wrong level	The top surface of the wear layer shall be above the top surface of expansion joints, edge protections, gulley etc
	Unevenness	Unevenness > 20 mm must not occur 6 m before or after the bridge
	Joint sealant	Has to be connected to surfacing, edge beams etc to at least 95 %
<b>Railing</b>	Deformation	Railing posts must not have deformation > 100 mm
	Fixing	Screw joint shall be intact. Fixing to base plates shall be intact.
	Splicing	Screw joint shall be intact
	Level	In their connection less than 20 mm both vertically and laterally
	Protection ability	Safety netting and splash guard protection > 95 % protection
<b>Expansion joint</b>	Anchorage	Intact to at least 90 %
	Sealing	Free from leakage
<b>Drainage system</b>	(Through) flow	Flow area > 80 %
	Fixing	Intact to > 80 %
<b>Entire bridge</b>	Contamination	Clean to at least 95 % for every structural member
	De-icing agents	Clean to at least 95 % for edge beams, railings, bearings etc
	Vegetation	The near surroundings shall be free from vegetation > 1 m
	Drainage	Bridges above water shall be free from collections of floating objects

**Table 3.5.** Examples of planned measures during the contract period.

<b>Some examples of planned measures in Uppsala County</b>
Replacement of edge beam
Installment of new parapets on stone posts
Strengthening of the superstructure
Increase of the concrete cover with 20 mm on roof and wing walls
Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert
Replacement of steel culvert
Replacement of waterproofing, surfacing, parapets etc

To summarize the actual contract:

- The contractor should perform bridge maintenance for all 400 bridges, with a total bridge deck area of about 105 000 m<sup>2</sup>, in Uppsala County. The actual bridge stock is shown in **Figure 3.2**, **Figure 3.3** and **Figure 3.4**.
- The contract was for three years (1 Sep, 2004 – 31 Aug, 2007) with an option for three more years (1 Sep, 2007 – 31 Aug, 2010).
- **Properties.** The bridges were deemed to be in satisfactory condition if the contractor verified that they met the requirements for properties in SRA's regulations once a year.
- **Measures.** Repair of 25 bridges during the first three years of the contract. If the option for three more years will be used, then there will be some additional bridge repairs.
- The contract also stipulated that the contractor was expected to contribute in this research project.
- The offer should be in SEK, fixed price. There would be no index-linked adjustment for the first year, thereafter yearly adjustments of the prices for a 12 months period.

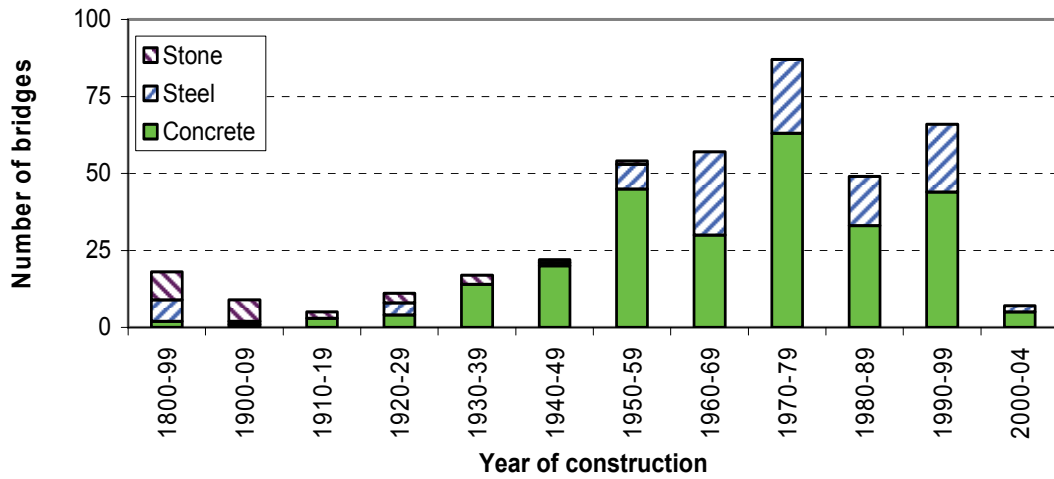


Figure 3.2. The 400 bridges in Uppsala County sorted by year of construction and by material of the primary load-bearing structure.

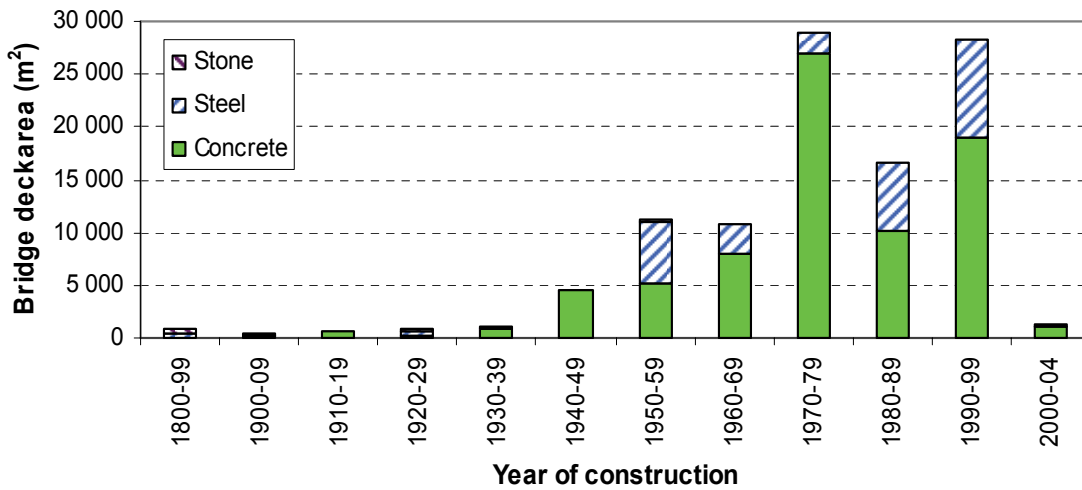


Figure 3.3. The 105 000 m<sup>2</sup> bridge deck area in Uppsala County sorted by year of construction and by material of the primary load-bearing structure.

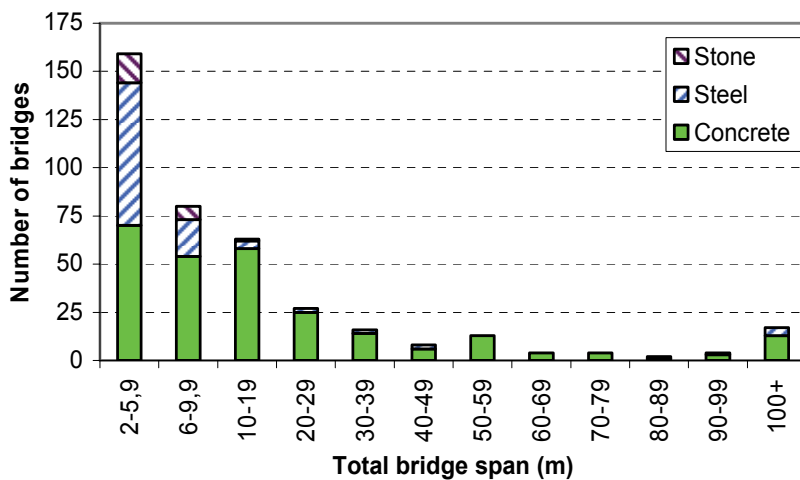


Figure 3.4. The 400 bridges in Uppsala County sorted by total bridge span and by material of the primary load-bearing structure.

### 3.2.4 Submitted tenders and selected contractors

There were six contractors that requested the tender documents, but only three of them submitted an offer to SRA for the project's first three years. All six companies that requested the documents were interviewed. The firms that did not put in an offer said that they thought that it was difficult to calculate the tender, especially the part concerning fulfilment of properties. They said that it was difficult to estimate the amount of work needed and to assess the risk associated to this work. Since this is a low-margin business a small contractor normally has little room for error on the wrong side in the tender. All of them, however, thought that a multiyear bridge maintenance contract was an interesting idea and that it seems to be a good deal both for the owner and for the contractor. Large companies tend to want large contracts and longer time periods.

In **Table 3.6** the offers made, divided into offers for the measures and the yearly offer for maintaining the properties of the bridges in million SEK (1 million SEK is about 100 000 €), are presented.

**Table 3.6.** Potential contractors submitting offer to VMN (in million SEK).

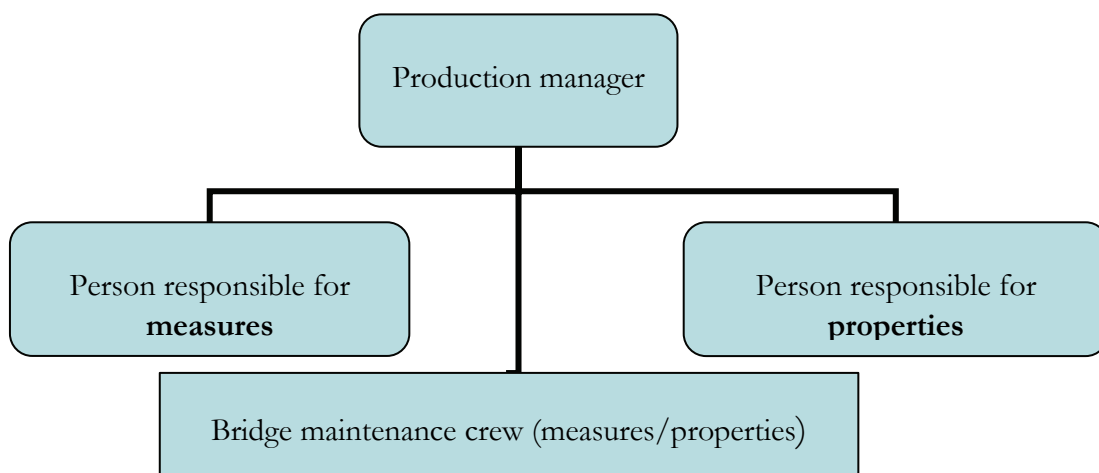
Contractor	Measures	Properties (yearly)
SRA Production	19.0	1.1
Company X	20.6	2.8
Company Y	25.8	2.4

It should however be noted that the offers actually consisted of a price list for the components that build up the measures, but in order to compare the bids the total cost was calculated given an assumed set of quantities.

The interviewed representatives for SRA were a little disappointed over the fact that only three contractors had submitted their offer. SRA had expected the number of offers to be at least four to five. All of the three contractors that have submitted offer deemed to have met the standards of a contractor set by VMN. SRA Production (SRA-P), which is an independent part of SRA that now (Oct 2008) is about to be privatised, was the lowest bidder and therefore it was contracted by VMN for this project. SRA-P made the lowest bid for both measures and properties, but in percentage terms their bid for the properties were especially low. VMN judged that this part of the bid could not possibly cover the costs, but that is of course the contractor's problem.

### 3.2.5 The contractor's project organisation

For this project the contractor SRA-P had chosen to have a person responsible for measures and one person responsible for properties. These two persons supervised both the bridge maintenance crew that consisted of 6-7 workers and subcontractors, see **Figure 3.5**.



**Figure 3.5.** The selected contractor's project organisation.

### 3.2.6 Planning of measures and properties 2004-2007

According to the contract SRA-P should repair 25 bridges during a three-year period. During the autumn of 2004 SRA-P chose to divide these repairs in three more or less equal parts regarding number of bridges and costs: nine bridges during 2005 with a budget of 6.5 MSEK (**Table 3.7**), eight bridges during 2006 with a budget of 6.3 MSEK (**Table 3.8**) and eight bridges during 2007 with a budget of 6.2 MSEK (**Table 3.9**).

**Table 3.7.** Planned measures 2005

Bridge	Planned measures to be carried out during 2005	Offer (kSEK)
C185	Replacement of edge beam, waterproofing, surfacing etc	580
C187	Installment of new parapets on stone posts	640
C497	Replacement of edge beam, railings etc	840
C648	Strengthening of the superstructure	920
C657	Replacement of edge beam, waterproofing, surfacing etc	740
C660	Replacement of waterproofing, surfacing, parapets etc	550
C667	Strengthening of the superstructure	870
C682	Increase of the concrete cover with 20 mm on roof and wing walls	520
C687	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	840

**Σ 6 500 kSEK**



**Table 3.8.** Planned measures 2006

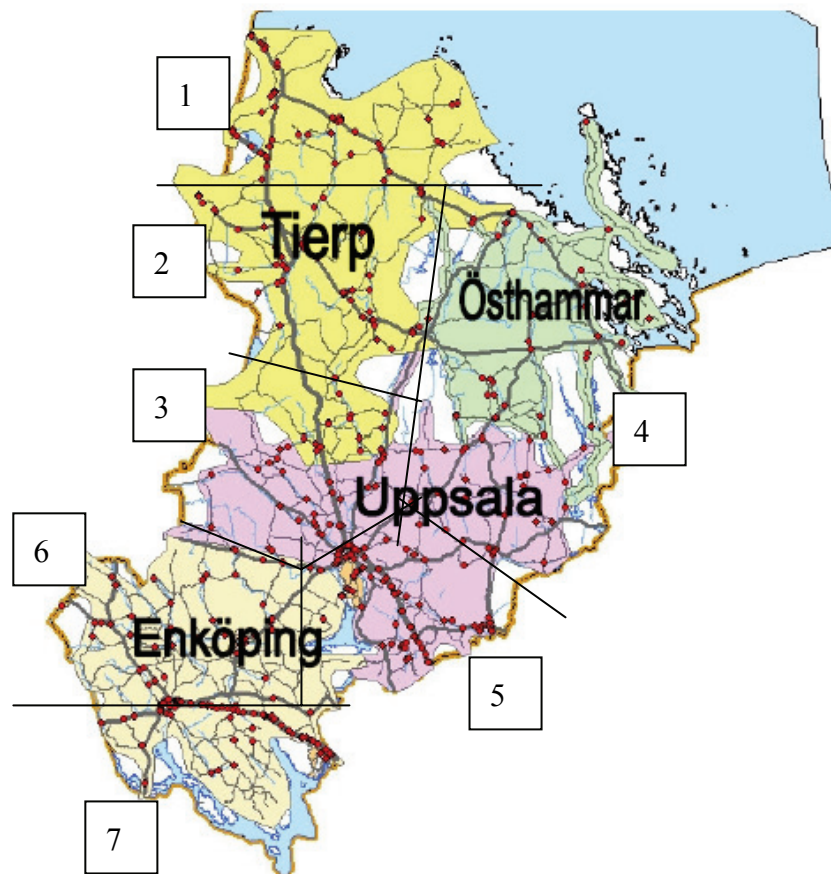
<b>Bridge</b>	<b>Planned measures to be carried out during 2006</b>	<b>Offer (kSEK)</b>
C172	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	780
C246	Replacement of edge beam, waterproofing, surfacing etc	690
C292	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	560
C346	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	580
C464	Replacement of edge beam, waterproofing, surfacing etc	1 340
C668	Replacement of steel culvert	1 360
C670	Replacement of waterproofing, surfacing, parapets etc	460
C677	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	570

**Σ 6 340 kSEK****Table 3.9.** Planned measures 2007

<b>Bridge</b>	<b>Planned measures to be carried out during 2007</b>	<b>Offer (kSEK)</b>
C063	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	780
C073	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	990
C118	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	570
C143	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	920
C153	Application of 30 mm shotcrete inside steel culvert	760
C419	Repair of parapet post fixings etc	230
C472	Replacement of edge beam, waterproofing, surfacing etc	820
C692	Replacement of steel culvert	1 080

**Σ 6 150 kSEK**

For the work with the properties the contractor chose to divide Uppsala County into seven smaller work areas, see **Figure 3.6**. Bridges should be inspected visually at least once a year and discovered shortcomings regarding properties should be rectified. The contractor thought that it was helpful for him with these small informal areas when planning the inspections and work to be carried out.



**Figure 3.6** Uppsala County divided into seven small areas by the contractor. The four districts Tierp, Östhammar, Uppsala and Enköping are also shown.

### 3.2.7 Performed measures 2005-2007

During 2005 seven of the nine planned measures were carried out according to the plan, three measures were delayed (C660, C682 and C687) and one measure (C677) was moved from 2006 to 2005, see **Table 3.10**. The reason for these postponements was the fact that two of the bridges (C185 and C657) were in a worse condition than described in the tender documents. This was discovered when the contractor started with the work of removing the old edge beams from these two old bridges that were constructed during the 1930s. It was then decided to remove the old superstructures, and not just the edge beams, for these two bridges and build a new superstructure on the old foundations. The repair costs for these two bridges were much higher than budgeted. During the late summer of 2005 a steel culvert (C679) that was not included in the contract suddenly broke down and it was necessary to replace it quickly. Since VMN already had a contractor for bridge maintenance in Uppsala County it was agreed that SRA-P should carry out the replacement of the steel culvert at a cost of about 2.1 million SEK.

The parties showed great flexibility when unexpected circumstances or events turned up during the first year of the contract period. As VMN had to keep the budget they needed to postpone some measures when one measure became more expensive than expected.

During 2006 eleven measures were carried out, see **Table 3.11**. Of the eight planned measures for 2006 six were carried out according to the plan. Two measures (C682 and C687) that were

delayed from 2005 and three measures (C118, C153 and C419) that were planned for 2007 were carried out and one measure (C668) was deleted. The major reasons for the increased costs for some bridges compared to the offer were that it was decided to carry out more work on the bridge than it was stated in the tender documents. Once more the parties acted in a flexible way given new circumstances.

During 2007 five measures were carried out, see **Table 3.12**. Of the eight planned measures for 2007 four were carried out according to the plan. One measure (C660) that was delayed from 2005 was carried out and one measure (C692) was deleted. The reason for the big differences in costs compared to the offer for one of the bridges (C073) was due to the fact that the bridge was in a worse condition than described in the tender documents and that much more measures were carried out.

The planned measures for two bridges (C668 and C692) were not carried out during the project's first three years. Instead it was decided that these two bridges would be under supervision until further notice. One can say that the bridge (C679) that was carried out outside the project, replaced the planned measures for these two bridges. To summarise, all measures were more or less carried out according to the tender documents for the projects first three years, but there were a number of changes in the timing and the details of the measures taken, see **Table 3.13**. The signed contract was treated more as a starting point for discussion than as a binding document that should be followed exactly.

**Table 3.10.** Performed measures 2005

<b>Bridge</b>	<b>Measures carried out</b>	<b>Offer (kSEK)</b>	<b>Costs (kSEK)</b>	<b>Difference (kSEK)</b>
C185	Yes (Apr-Jun)	580	1 665	1 085
C187	Yes (May-Jun)	640	490	-150
C497	Yes (Apr-Jun)	840	993	153
C648	Yes (Sep-Nov)	920	961	41
C657	Yes (Apr-Jun)	740	1 421	681
C660	No, delayed	-	-	-
C667	Yes (Nov-Dec)	870	920	50
C682	No, delayed	-	-	-
C687	No, delayed	-	-	-
C677	Yes (Aug-Sep)	570	577	7
<b>TOTAL</b>		<b>5 160</b>	<b>7 027</b>	<b>1 867</b>

**Table 3.11.** Performed measures 2006

<b>Bridge</b>	<b>Measures carried out</b>	<b>Offer (kSEK)</b>	<b>Costs (kSEK)</b>	<b>Difference (kSEK)</b>
C172	Yes (Jun)	780	718	-62
C246	Yes (Apr-Jun)	690	1 020	330
C292	Yes (Aug-Sep)	560	588	28
C346	Yes (Aug)	580	568	-12
C464	Yes (Apr-Aug)	1 340	1 331	-9
C668	No, deleted	-	-	-
C670	Yes (Apr-Jun)	460	745	285
C682	Yes (Oct-Nov)	520	786	266
C687	Yes (Jul)	840	936	96
C118	Yes (May)	570	578	8
C153	Yes (Sep)	760	795	35
C419	Yes (Sep-Oct)	230	189	-41
<b>TOTAL</b>		<b>7 330</b>	<b>8 254</b>	<b>924</b>

**Table 3.12.** Performed measures 2007

<b>Bridge</b>	<b>Measures carried out</b>	<b>Offer (kSEK)</b>	<b>Costs (kSEK)</b>	<b>Difference (kSEK)</b>
C063	Yes (Oct-Nov)	780	888	108
C073	Yes (Jun-Sep)	990	2 407	1 417
C143	Yes (Sep-Oct)	920	838	-82
C472	Yes (Apr-Aug)	820	1 198	378
C692	No, deleted	-	-	-
C660	Yes (Nov)	550	370	-180
<b>TOTAL</b>		<b>4 060</b>	<b>5 701</b>	<b>1 641</b>

**Table 3.13.** Planned and performed measures 2005-2007

<b>Year</b>	<b>Planned</b>	<b>Budget (MSEK)</b>	<b>Performed</b>	<b>Costs (MSEK)</b>
2005	9 bridges	6.5	7 + 1 bridges	7.0 + 2.1
2006	9 bridges	6.3	11 bridges	8.3
2007	8 bridges	6.2	5 bridges	5.7
<b>TOTAL</b>	<b>25 bridges</b>	<b>19.0</b>	<b>23 + 1 bridges</b>	<b>21.0 + 2.1</b>

### 3.2.8 Contracted properties 2004-2007

During May – Sep 2005 the contractor inspected all bridges and 186 shortcomings in properties were noted and rectified and recorded in SRA’s BaTMan. An inspector hired by VMN also inspected all bridges and 283 shortcomings in properties were noted and recorded in BaTMan, *Haim (2005)*. The difference in detected defects is large, but the inspection results are not sufficiently detailed to conclude if SRA-P detected all SRA’s observed defects. **Table 3.14** shows the most common types of defects detected by SRA-P and SRA and **Table 3.15** shows the defects sorted by structural members. It is also worth noting that if a shortcoming is noted for, say, vegetation it could be one or more places around the bridge that need to be rectified since the exact location of the shortcomings is not noted.

**Table 3.14.** The most common types of defects detected by SRA-P and SRA during 2005.

<b>Defect</b>	<b>SRA-P</b>	<b>SRA</b>
Vegetation	92	82
Settlement	43	30
Wear	24	18
Scour	13	68
Weathering	5	12
Cracks	1	41
Other	8	32
<b>TOTAL</b>	<b>186</b>	<b>283</b>

**Table 3.15.** The most common types of defects detected by SRA-P and SRA during 2005 sorted by structural member.

<b>Structural member</b>	<b>SRA-P</b>	<b>SRA</b>
Slope and embankment end	99	137
Slope	43	23
Wear layer	24	18
Edge beam	4	15
Earth slope	3	5
Surfacing	1	41
Other	12	44
<b>TOTAL</b>	<b>186</b>	<b>283</b>

Some possible explanations for the difference are that the inspections were made at different dates, the inspectors had different experience and that the inspectors may have different tolerance levels. SRA-P’s comments were that SRA had pointed out some small scours in slopes and embankment ends and some small cracks in the surfacing. This is shortcomings according to

ATB Brounderhäll 2002, but SRA-P deemed that these shortcomings are insignificant and have very little to do with the function of a bridge. According to SRA-P all major shortcomings were detected and rectified.

*Phares et al. (2001)* and *Graybeal et al. (2001)* have described that different inspectors seldom notes the same shortcomings during inspections. The experience from the Uppsala project has been that the contractor “sees too little” and that the client notes shortcomings more or less according to ATB Brounderhäll. In the Uppsala project the parties have agreed to make settlements based on the contractors inspections and noted shortcomings that later have been rectified.

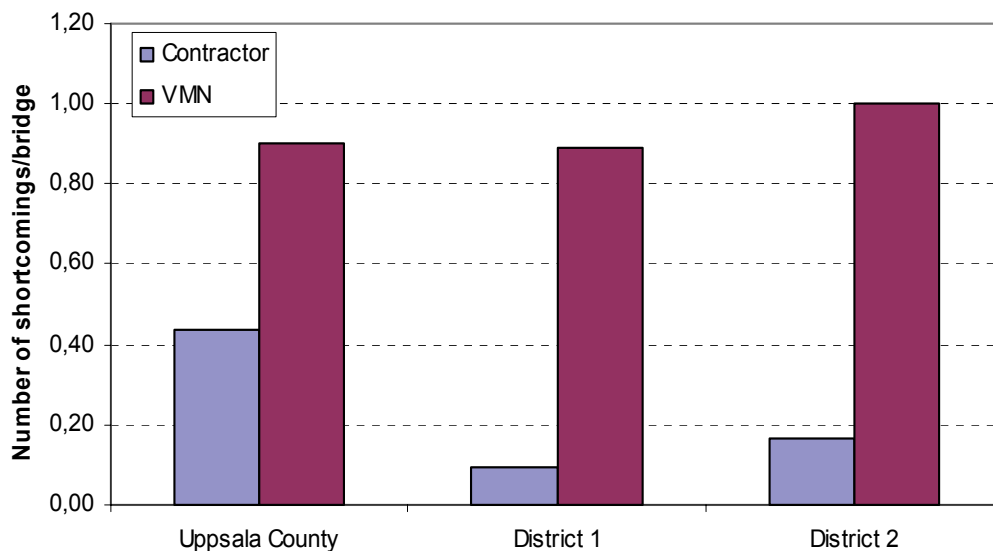
A later investigation made by *Johansson (2008)* confirmed that the client (VMN) had noted more shortcomings in the properties than the contractor (SRA-P) during the period 2005-2007, see **Table 3.16**. The client has in average noted twice as many shortcomings (1459) in the properties compared with the contractor (709). In order to try to find out if this was an acceptable result or not, the number and type of shortcomings found by the client and the contractor in areas with Integrated Bridge Maintenance (Uppsala County) were compared with noted shortcomings in nearby districts where bridge maintenance were part of GPD (District 1 and District 2). In **Figure 3.7** it can be seen that the client found a larger number of faults in all areas, in average about 1 noted shortcomings/bridge, but that that the difference was smaller in the area with Integrated Bridge Maintenance.

The smaller disagreement in Uppsala County was explained by the fact that Integrated Bridge Maintenance led to more regular inspections by both parties and therefore their views tended to converge. The largest disagreement in absolute numbers concerned vegetation, and the smallest disagreement concerned settlement in slopes and embankment ends.

The study also indicates the low interest for the preventive bridge maintenance activities in the GPD package.

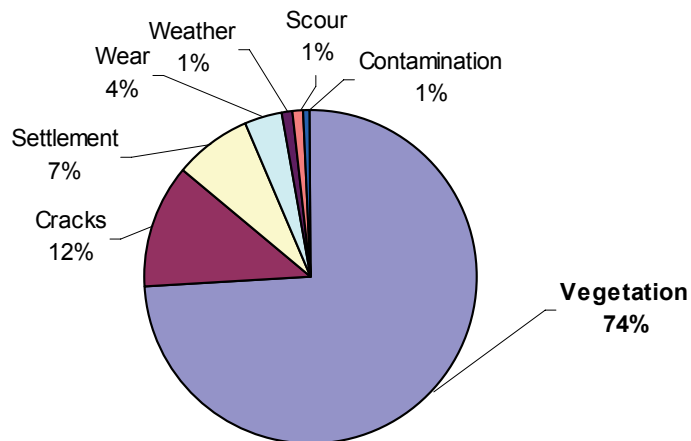
**Table 3.16.** The most common types of defects detected by SRA-P and SRA during 2005-2007.

<b>Defect</b>	<b>SRA-P</b>	<b>SRA-P</b>	<b>SRA</b>	<b>SRA</b>
Vegetation	290	41 %	503	35 %
Cracks	99	14 %	204	14 %
Scour	92	13 %	195	13 %
Settlement	92	13 %	91	6 %
Wear	60	8 %	76	5 %
Loose	23	3 %	124	9 %
Weathering	25	4 %	64	4 %
Contamination	18	3 %	144	10 %
Other	10	1 %	58	4 %
<b>TOTAL</b>	<b>709</b>	<b>100 %</b>	<b>1459</b>	<b>100 %</b>



**Figure 3.7.** Number of shortcomings in properties found by the client (VMN) and the contractors in Uppsala County and two nearby districts.

SRA has inspected before, together with and after the contractor (SRA-P) during the Uppsala project. During inspections after the contractor SRA has noted about 0.2 shortcomings/bridge and the most common noted shortcoming has been vegetation (74 %), see **Figure 3.8**. 0.2 shortcomings/bridge has been considered as an acceptable limit, by the client and contractor together, since shortcomings in the properties could evolve during the year, e.g. for vegetation a contractor could see no shortcoming in May and SRA could note a shortcoming in August.



**Figure 3.8.** SRA have noted about 0.2 shortcomings/bridge after the contractor in Uppsala County and the most common shortcoming has been vegetation (74 %).

### 3.3 Option for Uppsala County 2007-2010

Both the owner (VMN) and the contractor (SRA-P) choose to use the option for three more years 1 Sep, 2007 - 31 Aug, 2010. VMN was satisfied with that bridge maintenance had been an activity of its own, and also the increased attention on properties compared to the GPD. VMN

also stressed the good relationship that had evolved in this project between owner, contractor and VMN's inspector. There had been flexibility concerning what measures that should be carried out and adjustments could be made when new information had arisen and both parties had appreciated this.

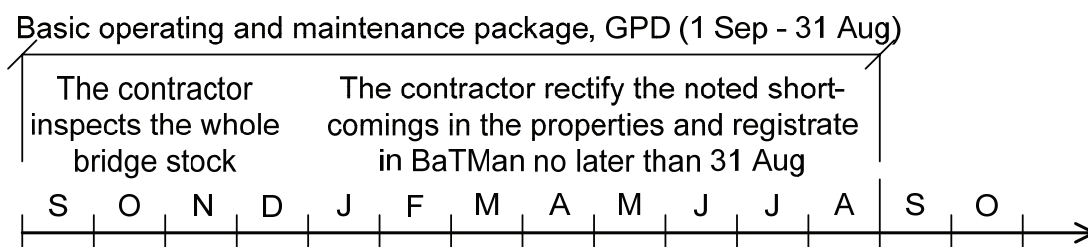
SRA-P is of the opinion that they now have a firm ground to build upon when carrying out the work. A great advantage is that SRA-P can plan the work and that the guaranteed work volume makes it possible to have long term contracts with qualified and skilled workers.

Furthermore SRA-P has now the same business volume outside as inside the project. SRA-P explains this with that their special knowledge in bridge maintenance is in great demand by other bridge owners, e.g. municipalities. This side-effect of getting the contract is perhaps one explanation for why they were submitting such a low bid, especially for maintaining the properties.

VMN and SRA-P have agreed on a list containing 13 measures to be carried out during the new contract period 1 Sep, 2007 – 31 Aug, 2010. The measures in the list are of the same types and in the same cost range as in the projects first three years, see **Table 3.5** above.

For the properties a new round of inspections was carried out between 1 Sep and 31 Dec, 2007. The contractor should also rectify the shortcomings that were detected at the end of the first contract period during the autumn of 2007.

During the contract's first three years a working cycle for properties have been developed, see **Figure 3.9**. It consists of three parts; inspection of bridges during the autumn, analysis of the noted shortcomings from the inspections, planning the rectifying work during the winter and executing the actual work during spring and summer.



**Figure 3.9.** The working cycle for properties is adjusted to fit the "Basic operating and maintenance" year, that is inspection during the autumn, planning during the winter and rectifying noted shortcomings in properties during the next years spring/summer.

### 3.4 Örebro County 2007-2010

#### 3.4.1 SRA decided to procure IBM for Örebro County

Since SRA was satisfied with the results from the contract in Uppsala County it was decided to continue and procure the same type of Integrated Bridge Maintenance for Örebro County. Örebro County consists of five districts and is situated in the western part of VMN, see **Figure 3.1**. In order to create a contract for bridge maintenance in the whole of Örebro County it was necessary to buy out the yearly routine bridge maintenance from the contractors that were in



charge of the "Basic operating and maintenance package" GPD, see **Table 3.17**. This was done by SRA during the spring of 2007.

**Table 3.17.** End of GPD contracts for the five districts in Örebro County.

<b>District</b>	<b>End of GPD contract + (option)</b>
Vingåker	31 Aug, 2006 + (31 Aug, 2007)
Örebro	31 Aug, 2008 + (31 Aug, 2009)
Arboga	31 Aug, 2009 + (31 Aug, 2010)
Nora	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)
Askersund	31 Aug, 2011 + (31 Aug, 2012)

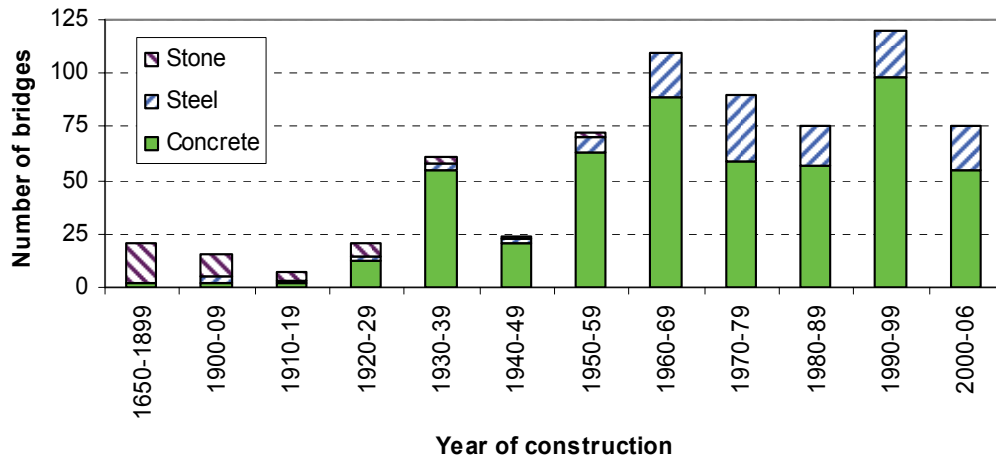
### 3.4.2 Scoop of work in the contract

It was decided that the bridge maintenance contract should be similar to the Uppsala contract and consist of two parts; **properties** and **measures**. Properties are, as described above, yearly maintenance of the bridges according to the demands in ATB Brounderhåll (General Technical Regulations for Bridge Maintenance, *SR4 2006*). Measures are the specified tasks that should be carried out for a number of structures or structural members that SRA has prioritised.

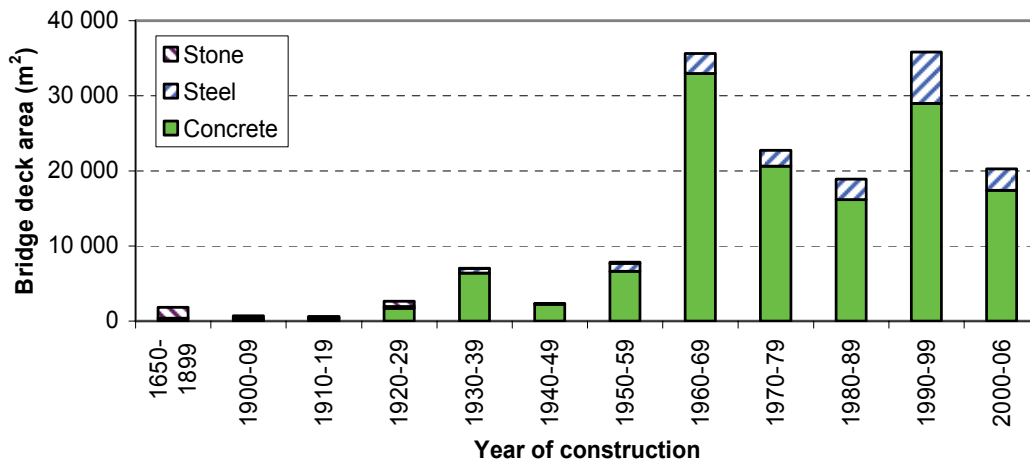
To summarise the actual contract:

- The contractor should perform bridge maintenance for all 700 bridges, with a total bridge deck area of about 155 000 m<sup>2</sup>, in Örebro County. The actual bridge stock is shown in **Figure 3.10**, **Figure 3.11** and **Figure 3.12**.
- The contract was three years (1 Sep, 2007 – 31 Aug, 2010) with an option for one more year (1 Sep, 2010 – 31 Aug, 2011).
- **Properties.** The bridges should be deemed to be in a satisfactory condition if the contractor verified that they met the requirements for properties in SRA's regulations once a year.
- **Measures.** The contract included repair of 40 bridges during the contract's first three years with an option for 7 more repairs during the possible 4<sup>th</sup> year.
- It was also stipulated that there should be increased cooperation between contractor and client according to what is called "FIA step 1", which is a simplified form of partnering, (for more information about FIA step 1 see <http://www.fiasverige.se>).
- The offer from the client should be in SEK, fixed price, with no index-linked adjustment during the first year, thereafter yearly adjustments.

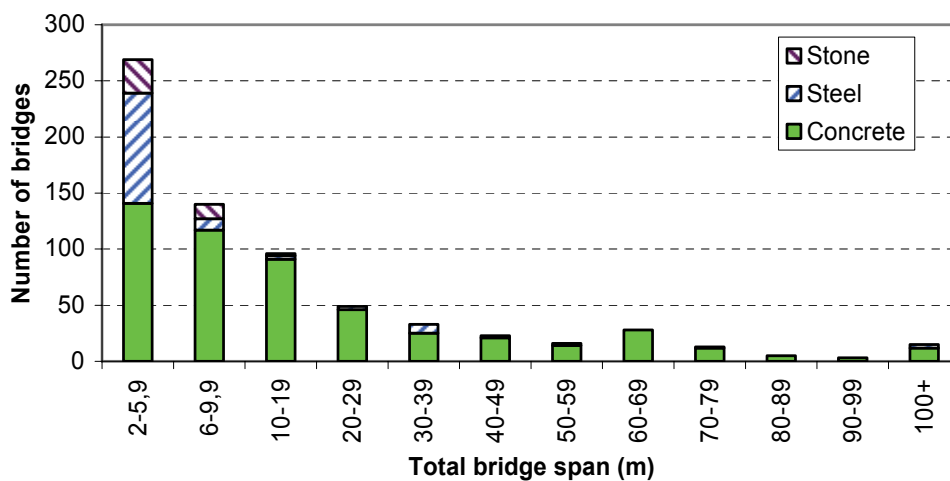
This is the same type of procurement as was used in the Uppsala project, see Section 3.2.3.



**Figure 3.10.** The 700 bridges in Örebro County sorted by year of construction and by material of the primary load-bearing structure.



**Figure 3.11.** The 155 000 m<sup>2</sup> bridge deck area in Örebro County sorted by year of construction and by material of the primary load-bearing structure.



**Figure 3.12.** The 700 bridges in Uppsala County sorted by total bridge span and by material of the primary load-bearing structure.

### 3.4.3 The tender process and selected offer

The tender documents were presented for potential contractors at a small seminar in the second half of March 2007, and the tender documents were available in the middle of April. The offers should be submitted before the first of May 2007. The tender process during the spring of 2007 is shown in **Table 3.18**.

**Table 3.18.** Schedule for the tender process.

Date	Activity
21 Mar, 2007	Tender documents were presented for potential contractors on a small seminar.
16 Apr, 2007	Tender documents were available for potential contractors.
29 Apr, 2004	Potential contractors should have submitted their offer to SRA. The contractor that had submitted the lowest offer will win the contract.
18 Jul, 2007	SRA signs the contract with the selected contractor.
1 Sep, 2007	Start of the contract.

There were four contractors that requested the tender documents, but only three of them submitted an offer to SRA for the projects four years, see **Table 3.19**. The contractors that have submitted tenders for the Örebro package were the same that have submitted an offer for the Uppsala project. All of the three contractors that had submitted offer were deemed to have met the general standards of a contractor set by VMN. SRA Production (SRA-P) was the lowest bidder and therefore they were contracted by VMN for this project.

**Table 3.19.** Potential contractors submitted offer to VMN (in million SEK).

Contractor	Measures	Properties	Total
SRA-P	59.6	12.3	71.9
Company Y	67.0	5.5	72.5
Company X	66.5	7.3	73.8

All four contractors were interviewed and the answers were very similar to the ones presented in Section 3.2. There were a generally positive attitude, but smaller contractors worried about how to calculate the cost for keeping the properties at the required level.

From **Table 3.19** one can see that the total of the submitted offers were very close in price. Company Y and Company X had more or less submitted the same price for measures and properties. SRA-P prices were some 7 MSEK lower on measures and some 6 MSEK higher on properties compared to Company Y and Company X. SRA-P had been internally criticized for their low priced properties in the Uppsala project. In the Uppsala project it was the SRA-P division Operation that was responsible both for properties and measures. This means that the losses on properties could be compensated with profits on measures. The Örebro offer was cooperation between SRA-P Operation and SRA-P Construction. SRA-P Operation considered the offer on properties in Örebro to be more realistic than the prices on properties in the Uppsala project. It is unclear why SRA production had such a low bid on the measures, and given

the large differences in the bids for properties and measures it is rather strange that the final bids were so close.

### 3.4.4 Inspection at the start of the contract

At the start of the contract (during the autumn of 2007) SRA-P made a inspection of the properties, see **Table 3.20**. The most common shortcoming in the properties that SRA-P noted was vegetation (42 %). One can also observe that SRA-P noted in average about 1 shortcoming/bridge after the old contractor (Company Z) in Örebro and Vingåker district, but only noted half of that number in their old district Nora or less as SRA-P taking over their old districts Arboga and Askersund in their existing conditions. This is also an argument to introduce Integrated Bridge Maintenance in more parts of Sweden. The advantage is that the new contractor should perform a more in-depth inspection after the old contractor at the start of the contract in order to note all possible shortcomings in the properties. The old contractor should rectify all noted shortcomings that could be considered as old (e.g. more than 3-6 months old).

**Table 3.20.** SRA-P's inspection of properties in Örebro County at the start of the contract.

Structural member (defect)\District	Company Z		SRA-P		Ö+V+N (%)
	Örebro	Vingåker	Nora		
Wear layer (cracks)	23	14	17	54	16
Entire bridge (vegetation)	71	9	18	98	29
Embankment end (settlement)	8	2	6	16	5
Wear layer (wear)	21	10	10	41	12
Slope and embankment end (vegetation)	1	32	12	45	13
Slope and embankment end (scour)	10	7	12	29	9
Other	20	20	15	55	16
<b>SUM shortcomings</b>	<b>154</b>	<b>94</b>	<b>90</b>	<b>338</b>	<b>100</b>
Number of bridges	234	65	167	466	
<b>Shortcomings/bridge</b>	<b>0.66</b>	<b>1.45</b>	<b>0.54</b>	<b>0.73</b>	

### 3.4.5 Planning of measures and properties 2007-2010

VMN and SRA-P have agreed on a detailed list containing measures to be carried out during 2008, 2009 and 2010.

Inspections of properties are to be carried out between 1 Sep and 31 Dec, 2007 and the SRA-P should rectify detected shortcomings between 1 Jan and 31 Aug, 2008. This is in line with the working cycle for properties that have been developed in the Uppsala project; inspection of bridges during the autumn, analysis of the noted shortcomings from the inspections, planning the rectifying work during the winter, and execution of the actual work during spring and summer.

### 3.5 Comparison between Uppsala and Örebro projects

Some key figures for properties and measures have been obtained from the tender documents; see **Table 3.21** and **Table 3.22**. In order to compare the tenders Uppsala prices have been adjusted upwards from 2004 to 2007 year's prices based on a special construction index (E84 group 251 Bridgework concrete). This means that the tender prices for properties increase with a factor 1.09 in the Uppsala project. The tender prices for measures need, in addition to the factor 1.09, to be increased with a factor 3/2 since only 2/3 of the measures were procured inside the project. After these adjustments in Uppsala tender prices from 2004 the scope of work both in the Uppsala project and Örebro project is similar and the costs could be compared.

**Table 3.21.** Key figures for properties.

Project	Bridges	Bridge deck area	Properties (yearly)	SEK/bridge	SEK/m <sup>2</sup>
Uppsala	400 No.	105 000 m <sup>2</sup>	1.1 MSEK	2 900	11
Örebro	700 No.	155 000 m <sup>2</sup>	3.1 MSEK	4 400	20

**Table 3.22.** Key figures for measures.

Project	Bridges	Bridge deck area	Measures (yearly)	SEK/bridge	SEK/m <sup>2</sup>
Uppsala	400 No.	105 000 m <sup>2</sup>	10.3 MSEK	25 900	98
Örebro	700 No.	155 000 m <sup>2</sup>	14.9 MSEK	21 300	96

The above calculated key figures can be used to estimate the yearly costs for properties and measures for VMN's whole bridge stock which is about 1 900 bridges with a bridge deck area of 500 000 m<sup>2</sup>, see **Table 3.23**. From the table one can see that the cost for properties is some 6-9 MSEK/year and the cost for measures is about 45-49 MSEK/year which results in a yearly cost of about 51-58 MSEK for all bridges in the VMN region. This can be seen as a normal level for bridge maintenance.

**Table 3.23.** Estimates for VMN's whole bridge stock based on SRA-P's winning tender bids in the Uppsala and Örebro project.

VMN	Properties (Uppsala)	Properties (Örebro)	Measures (Uppsala)	Measures (Örebro)
1 900 bridges	5.6 MSEK	8.4 MSEK	49.2 MSEK	40.5 MSEK
500 000 m <sup>2</sup>	5.5 MSEK	10.0 MSEK	49.0 MSEK	48.1 MSEK

The relation between bridge maintenance costs and new bridge construction costs in Sweden during 1988-1992 was 0.7 %, according to *Stenbeck (2007b)*. The relation 0.7 % was considered as a low number in an international perspective. If one assumes that the cost to construct a new bridge is 15-20 kSEK/m<sup>2</sup> then the yearly maintenance cost could be estimated to 500 000 m<sup>2</sup> · 15-20 kSEK/m<sup>2</sup> · 0.7 % = 53-70 MSEK/year. This cost is in line with the estimates based on key figures obtained from the Uppsala project and the Örebro project.

## 3.6 Contractors' view on tender documents

All contractors that have requested tender documents or have been participated in information meetings for the Uppsala project (six contractors) or the Örebro project (six contractors) have been interviewed, that are SRA-P, NCC, DAB, Peab, Skanska, Veidekke, E-schakt and Grus & Betong. These companies are the major players in the field of bridge maintenance in Sweden. Interviews for the Uppsala project were performed during Nov 2004 (*see Mattsson, 2006*) and for the Örebro project during Aug 2007. The results from the interviews are shown below.

### 3.6.1 Interviews for the Uppsala project

The tender documents for the Uppsala project were available for potential contractors 15 Mar, 2004. In addition to advertisement in tender journals a small seminar was held 29 Feb, 2004 at the Swedish Cement and Concrete Research Institute (CBI) in Stockholm to present the basic ideas behind the contract for a number of invited consultants and contractors. A meeting was also held 25 Mar, 2004 at VMN's head office in Eskilstuna somewhat later to clarify questions from potential contractors that now had had time to look closer at the tendering documents. **Table 3.24** shows if the contractor participates in the meetings at CBI and in Eskilstuna, and if a tender was submitted. From the Table one can see that almost all of the contractors that showed interest in the meetings also submitted a tender.

**Table 3.24.** Potential contractor that have participated in information meetings held at CBI and in Eskilstuna and if a tender was submitted for the Uppsala project.

Contractor	Participate CBI	Participate Eskiltuna	Requested tender documents	Submitted tender
DAB	No	Yes	Yes	Yes
NCC	Yes	Yes	Yes	Yes
SRA-P	Yes	Yes	Yes	Yes
E-schakt	No	No	Yes	No
GBA	No	No	Yes	No
Skanska	No	Yes	Yes	No

What the potential contractor thought about the Integrated Bridge Maintenance concept is presented in **Table 3.25**, and a package of measures that should be carried out and properties that should be maintained (see **Table 3.26**), and about the profitability (see **Table 3.27**).

**Table 3.25.** Potential contractors view on the Integrated Bridge Maintenance concept.

<b>Contractor</b>	<b>The Integrated Bridge Maintenance concept for Uppsala County</b>
DAB	It is good with much freedom when it comes to planning of the work.
NCC	A bridge maintenance package is an interesting idea.
SRA-P	A bridge maintenance package is an interesting idea.
E-schakt	Feel dubious if the bridge maintenance package is too large.
GBA	It is good with much freedom when it comes to planning of the work.
Skanska	A good first step to increase the effectiveness in the bridge maintenance area.

**Table 3.26.** Potential contractors view on measures and properties.

<b>Contractor</b>	<b>25 Measures for the first three years</b>	<b>Annual Properties</b>
DAB	The package is good, but 6-7 MSEK/year is too little, it should be at least 10 MSEK/year.	Little experiences.
NCC	It is good with a package.	Have experiences from GPD.
SRA-P	It is good with a package.	Have experiences from GPD.
E-schakt	It is good with small packages.	No experiences.
GBA	It is good with a package.	Little experiences.
Skanska	It is good with a package.	Have experiences from GPD.

**Table 3.27.** Potential contractors view on possible profitability.

<b>Contractor</b>	<b>The possibility of a profitable bridge maintenance business</b>
DAB	It seems possible to earn a profit on this kind of package.
NCC	It is hard to compete with SRA-P on tenders for bridge repairs only.
SRA-P	A bridge maintenance package can increase the profitability.
E-schakt	Packages on an annual basis are to prefer.
GBA	Assumes that contractors make good earnings on annual contracts.
Skanska	It should be possible to make this kind of packages profitable.

### 3.6.2 Interviews for the Örebro project

For the Örebro project the tender documents were available for potential contractors 16 Apr, 2007. A small seminar was held 21 Mar, 2007 at VMN's head office in Eskilstuna, in addition to advertisement in tender journals. **Table 3.28** shows if the contractor participates in the meeting in Eskilstuna, and if a tender was submitted. All most all of the contractors that have requested tender documents did later submit a tender.

**Table 3.28.** Potential contractor that have participated in information meeting held in Eskilstuna and if a tender was submitted for the Örebro project.

Contractor	Participate Eskilstuna	Requested tender documents	Submitted tender
NCC	Yes	Yes	Yes
SRA-P	Yes	Yes	Yes
DAB	No	Yes	Yes
Peab	Yes	Yes	No
Skanska	Yes	No	No
Veidekke	Yes	No	No

What the potential contractor thought about the Integrated Bridge Maintenance concept is presented in **Table 3.29** and general comments after SRA-P had been won the contract are presented in **Table 3.30**.

**Table 3.29.** Potential contractors view on the Integrated Bridge Maintenance concept.

Contractor	The Integrated Bridge Maintenance (IBM) concept for Örebro County
NCC	The concept is good. Maybe 41 measures is too much, 25-30 is more suitable
SRA-P	Like this concept and have good experiences from the Uppsala project.
DAB	Reasonable amount of work for the measures (10-15 MSEK/year). It is important to have work all year round for our personnel.
Peab	The business volume should be enough for the contractor, which wins the contract, to be able to build a competent bridge maintenance group.
Skanska	It is a good concept. The task is to estimate the costs for the properties and put together an effective organization.
Veidekke	This is a very good concept. This is a good product for VMN and at the same time good for the contractor from an economical and planning point of view. The contractor needs to coordinate the resources and to be able to do that an annual business volume of 15-20 MSEK seems to be reasonable for an organization.



**Table 3.30.** Potential contractor's comments after SRA-P had been won the contract.

<b>Contractor</b>	<b>Comments on the Örebro tender and on future IBM contracts</b>
NCC	Disappointed for not winning the contract. Want to see more IBM contracts in the future.
SRA-P	Satisfied for winning the contract. Want to see more IBM contracts in the future.
DAB	Disappointed for not winning the contract. Want to see more IBM contracts in the future.
Peab	Had not resources to calculate on the contract. Deemed that there were more interesting objects on the market at the moment and did not want to tie up 1-2 man months of calculation on this contract. However, if the client had paid a compensation of say 100 kSEK to the contractor that have submitted a serious tender but not won the contract, then maybe a tender had been submitted.
Skanska	Was interested of the contract, but had problem with resources both for calculation of the tender and for an organization if the contract had been won. Deemed that there were more interesting objects on the market at the moment. Want to see more IBM contracts in the future.
Veidekke	Wanted to calculate on the tender, but had problem with resources both for calculation of the tender and for an organization if the contract had been won. Deemed that there were more interesting objects on the market at the moment. Want to see more IBM contracts in the future.

### **3.6.3 Summary of the performed interviews**

All of the interviewed contractors thought that a multiyear bridge maintenance contract was an interesting idea, both for the Uppsala project and for the Örebro project, and that it seems to be a good deal both for the owner and for the contractor. Large companies tended to want large contracts and longer time periods. All companies thought that it was easy to calculate the cost for the measures compared with the cost for the properties. The contractors that did not put in an offer said that they thought that it was difficult to calculate the tender, especially the part concerning fulfilment of properties. They said that it was difficult to estimate the amount of work needed and to assess the risk associated to this work. Since this is a low-margin business a small contractor normally has little room for error on the wrong side in the tender. Finally the companies thought that it should be possible to reach a reasonable profit in multi year bridge maintenance contract and wanted to see more of this type of contract in the future.

## **3.7 Experiences and lessons learned from the projects**

The experiences and lessons learned so far in the Uppsala project and Örebro project are presented and discussed below.

### **3.7.1 The size of the area covered by the tender (number of bridges)**

Maintenance of bridges needs special skills and there are a number of fixed establishment costs. This leads to economies of scale where a larger area leads to a lower cost per unit. As always there are countervailing forces and in this case these include transportation costs and that it is important that the team that maintain the bridges has good knowledge of the bridges in the area. A too large area would maybe lead to inefficiencies because of transportation and information problems, and it can also reduce competition in future procurements as there are fewer experienced firms "nearby".

What is the right balance and the optimal area for the tender is still an open question that will need more research when the system has been in use for a longer period and in more areas. The comments from the contractors do however indicate that they think that the areas chosen for the Uppsala project and for the Örebro project are rather close to the optimal size.

### **3.7.2 Performance contracts, combination of properties and specific measures**

The general argument for going in the direction of performance contracts is that it makes it possible for the contractor to choose the techniques used to reach a certain performance goal. At least in a longer perspective it can lead to a higher rate of innovation, as the incentive for the contractor is stronger (see *Stenbeck 2007b*), but this probably takes a longer time than the period evaluated here.

A general problem with performance contracts is to describe the desired performance in measurable terms. In the contracts studied here the strategy has been to describe the properties that the bridges should have, properties that is related to the performance of the bridges.

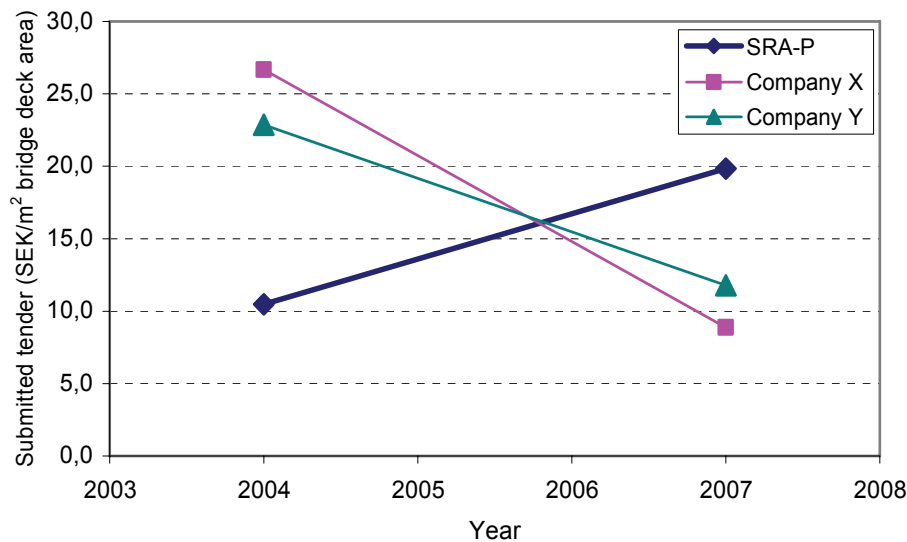
One important feature of a tender is that it should be possible for a contractor to calculate how much it would cost for them to fulfil the contract. If it is easy to calculate the bid, then it would make tendering of interest for a larger group of firms. The easier it is to calculate the bid the more probable it is that the procurement process leads to the tender going to the most efficient contractor and at a low cost for the client.

Performance contracts, or the specific version in this case where the contractor guarantees that a number of properties should be fulfilled, create uncertainty, especially when the contract concerns old bridges. Even if there are inspections when the contract period begins in order to make sure that the objects have the "right" properties, predicting how the properties will develop is difficult for old objects. For these objects there is a lack of information both about details in the construction, the quality of the materials used and in how the objects have been taken care of earlier. A contract that specifies that the contractor should guarantee certain properties is not so risky in a situation where the contractor also built the object, as in e.g. a Build-Operate-Transfer procurement. In this specific case, many of the bridges in the area were rather old.

This uncertainty is increased when, as in this case, it was not completely clear for how long time a certain property was allowed to be below the contracted level. According to the intentions in ATB Brounderhåll (*JRA 2002b*), the bridges should have these properties all the time, but everyone was aware of that this could not literally be the case, as it always takes time to prepare and

carry out certain maintenance measures. From the contractor's point of view, a longer time allowed below the acceptable limit, the lower would the cost be, as then it would be possible to coordinate several measures and reduce transportation costs. **Figure 3.13** shows the submitted tenders for annual preventive bridge maintenance for the Uppsala project (400 bridges with a total bridge deck area of 105 000 m<sup>2</sup>) and the Örebro project (700 bridges with a total bridge deck area of 155 000 m<sup>2</sup>). The figure shows clearly that the different contractors have a different view of how to calculate the needed amount of work (costs) that are required to fulfil the properties for the actual bridges. SRA-P submitted a tender for the Örebro project based on three years experiences from the Uppsala project, while it seems that Company X and Company Y submitted a tender based on SRA-P's tender for the Uppsala project.

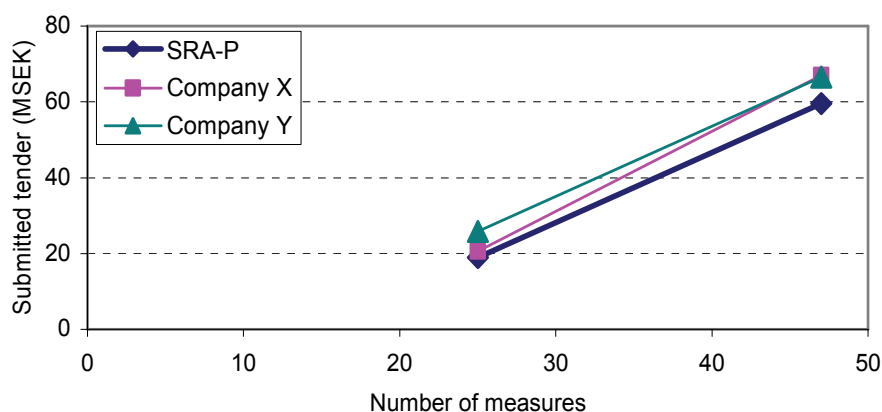
As can be seen from the interviews some contractors took out tender documents but never made a bid for the contract as they judged that the uncertainties about the properties were too big. It is not only properties for bridges that contractors thought are difficult to calculate. In a recent study contractors expressed that it is difficult to calculate how much it would cost to meet functional requirements in GPD packages, and therefore suggested that key figures based on real experiences for the actual districts should be included in future tender documents (see *SRA, 2008*).



**Figure 3.13.** Submitted tenders for annual preventive bridge maintenance (SEK/m<sup>2</sup> bridge deck area) for the Uppsala project (year 2004) and the Örebro project (year 2007). The contractors' view on how to calculate the costs for the properties were very different.

How can this uncertainty be reduced? One way is to make the contract a little more flexible by a more partnering like relation between the parties (see below). Another way that was used in these tenders is to combine procurement of a number of predetermined measures with procurement of a number of properties. **Figure 3.14** shows the submitted tenders for specific measures for the Uppsala project (25 measures) and the Örebro project (47 measures). The figure shows clearly that the different contractors have more or less the same view of how to calculate the needed amount of work (costs) that are required to perform the measures for the actual bridges.

The share of the sum related to the properties was rather low and this was a way of reducing the uncertainty for the contractors, as they could be rather sure to make a certain profit on these measures.



**Figure 3.14.** Number of specific measures and submitted tenders for the Uppsala project (25 measures) and the Örebro project (47 measures). The contractors' view on how to calculate the costs for the measures were more or less the same.

### 3.7.3 The flexibility of the contract

The evaluation of the Uppsala project shows clearly a road authority with a predetermined budget must be able to change the contract in an easy way. For some of the measures included in the original tender, it turned out that assumptions about the state of the objects were mistaken. This made it necessary to make much more costly measures than original planned. In order to keep the budget some other measures had to be postponed, see Section 3.2.7. In the case studied here, the contractor understood the situation of the client and was willing to make the necessary adjustments without any extra compensation. A part of the explanation for this voluntary cooperation by the contractor could be that contractor used to be part of the same organisation as the client. The contractor was also willing to maintain a good relationship with the client, because the contractor was interested to use the option for three more years.

This is, however, a risky situation from the client's point of view as the contractor suddenly might stop to cooperate and demand that everything contracted on should be carried out and that the client would have to pay more than the original amount if the assumptions in the contract was not correct. One way to reduce this risk is to make the contract explicitly into a partnering contract. *Nyström (2007)* argues that partnering contracts could be understood as contracts that include elements of reciprocity and in that way make it easier to renegotiate contracts. Changing circumstances and more detailed information that turns up during the project can change both the value for the client and the cost for the contractor. Low cost for renegotiation related to trust and reciprocity could therefore increase efficiency. In the Uppsala case no explicit partnering clauses or partnering procedures were included, but the parties actually worked in a way that is typical for partnering projects, and that was important for increasing the flexibility of the contract. In the Örebro case a partnering model has been introduced explicitly.

It should be noted that there are possible legal problems with too large renegotiations as other firms may demand that a new tendering round is to be carried out in such a case. So far, this problem has not materialized in reality.

### **3.7.4 Measurability of the properties**

A crucial issue for making it interesting for firms to submit bids is, as mentioned above, to make it possible for the firms to calculate the cost for carrying out the tasks in the tender. One possible cost that the firms must take into account is the costs for conflicts concerning whether the tasks have been fulfilled or not. One aspect of this was mentioned above, and that was unclearness related to for how long periods the bridges were allowed to have a quality that was lower than stated in the contract.

Another possible problem is that there might be disagreement about whether the bridges have the agreed properties at a specific point in time. The number of noted shortcomings in properties in three independent inspections differed considerably, which was shown in Section 3.2.8. This concerned especially whether there were cracks or not (if they affect the bridge or not), and whether there were a need to remove vegetation or not.

This lack of agreement about what is a shortcoming in properties could create large problems and extra costs for both clients and contractors, and it is important to reduce these differences by describing the controversial properties more in detail in the tendering document. Given the good relations between the parties in the case investigated here, there were no major conflicts related to different views about what was a fault or not, but such good relations cannot always be assumed. The consequence of properties that is not described clearly could also be that new actors who are not aware of the vagueness and implicit flexibility either overestimates the cost and do not get the tender, even if they are the most efficient contractor, or underestimates the costs and get the tender even if they are not the most efficient contractor.

### **3.7.5 The problem of long run competition**

A recent report from the Swedish Competition Authority showed that the number of bids in publicly procured projects had been falling over the last years (*Swedish Competition Authority 2007*). An interesting issue is how the client can act in order to counteract this tendency.

The aspects mentioned above about designing the right area, finding the right mix between measures and properties, and increasing the measurability and, hence, the computability of the properties are of course important, as well as providing potential contractors with as much information as possible about the bridges. There are also more direct ways to induce contractors to put in bids, e.g. paying the contractors submitting bids a fee to cover at least part of the cost for submitting a tender. The fee could be differentiated with respect to how close the bid was to the winning bid. Contractors that the clients think are especially interesting could be contacted directly and presented with specific offers if they submit a bid.

If the Integrated Bridge Maintenance concept is introduced in more regions it would also lead to a situation with more contractors having experience of these contracts. Then they might be willing to compete for the contract in a nearby region and in that way the level of competition could increase.

The problem is however not only too little competition. The problem can also be too much competition, and the risk that uninformed contractors put in too low bids and then later create a number of problems, e.g. by being inflexible, in order to earn more money and reduce their

losses. The use of pre-qualification clauses and options to prolong the contract if the contractor has performed well is one way to reduce this risk.

### **3.7.6 Conclusions and recommendations**

The experiment started by SRA in 2004 with "Integrated Bridge Maintenance" has created specialised groups of people working with bridge maintenance and the competitive tendering lead to a low price. Both the client and the contractor have realised more or less all of the possible gains that were suggested in Section 2.2.2 and have thereby created a win-win situation. The bridge manager gets more value for the money when the bridge maintenance has been separated from the GDP-package and has been an activity of its own. The contractor has been able to build competence as a basis for a profitable business.

An important feature of the contract was that it contained a combination of measures that should be carried out and properties of the bridges that the contractor was responsible to maintain. The data and the analyses presented point to the following more specific conclusions and recommendations.

- It is important with a careful choice of the area that a contract should cover. The client has to take into account a number of short run and long run aspects including economies of scale, transportation costs, information problems and competition in the long run.
- The mix of measures and properties: In a longer perspective it might be possible to contract directly on the things that are of importance for the final customers. At least for the foreseeable future contracting on properties for a large number of old bridges will create a lot of uncertainty for the contractor. Including a number of more easily calculable direct measures is a way of reducing the uncertainty for the contractor. In the short run the most important thing is to choose the right properties and make the properties as measurable as possible. It is also important to clarify how long the properties of a specific bridge are allowed to be below the level described in the contract. This should probably be differentiated between bridges and different types of characteristics.
- As the current state of old bridges partly are unknown and that their development is difficult to predict it is important to build in flexibility into the contract. The longer the contract period is, the more likely it is that circumstances might change in such a way that both parties can gain by renegotiating the contract. An explicit partnering structure can reduce the transaction cost for such renegotiations, and would then be an important part of the contract.
- Experience has shown that a conscious policy to maintain long run competition is important in order to get a high "value for money" in the long run. Using Integrated Bridge Maintenance in more areas and explicit incentives for new firms to submit tenders are possible measures.
- Optimal contract length is also worth investigating more in detail, as some contractors have suggested that the gains from Integrated Bridge Maintenance could be higher if the contract was longer.

## 4. A BRIDGE STOCK'S DEVELOPMENT

### 4.1 Introduction

The knowledge about an actual bridge stock's development over several years could help a bridge manager when designing an Integrated Bridge Maintenance contract. This knowledge is also a step forward in the area of long bridge maintenance contracts based on functional requirements.

This Chapter is a summary of Paper 2 and deals with how a bridge stock may develop over time. For every year that passes by the specific bridge will get one year older and at the same time the whole bridge stock could get both older and younger dependant on how much of the old bridges that are demolished and how much new bridges are constructed. This is generally related to that a number of bridges are demolished and replaced with new bridges and new roads are built that requires new bridges. To get a better understanding of these relations the whole bridge stock in VMN has been studied for a 15-years period, 1990–2005. This is a local study but the method is general and could be applied on any bridge stock. This kind of background information increases a bridge manager's knowledge and creates a better basis for future estimates of the needed level and costs for bridge maintenance. The author of this thesis has not found anything published about how a bridge stock could develop over time, based on real data.

In order to make a study of a bridge stock's long term behavior one need to have access to the bridge stock data over several years. It is not easy for researchers to get this usually restricted information. On the other hand, the authorized bridge managers are involved most of the time with the complex task of manage bridges and don't have time for in depth research tasks. That is probably why so little research with real data has taken place and why so many researchers develop models based on very few real data or fictive data, as a better than nothing solution to pursue their research. Indicators calculated from real data will increase bridge manager's knowledge and it will also help ease the communication with people (politicians) that is not so familiar with the complexity of bridge management questions.

Information for this study was gathered from BaTMan during the autumn 2006. For every bridge in VMN, see **Figure 4.1**, it was recorded year of construction, material of the primary load bearing system of the structure, type of bridge, area of the bridge deck and year of demolition for bridges not in use anymore.

### 4.2 Number of bridges and bridge deck area in VMN

At the beginning of 1990 there were 1 587 bridges (339 735 m<sup>2</sup> bridge deck area) and at the end of 2005 there were 1 827 bridges (465 319 m<sup>2</sup>) in VMN, which means that the bridge stock has increased with 240 bridges (125 584 m<sup>2</sup>) during this time. The increase is explained by that 419 new bridges (142 635 m<sup>2</sup> new bridge deck area) were constructed and 179 old bridges (17 051 m<sup>2</sup> old bridge deck area) were demolished. Annual changes in deck areas were calculated. In average 0,3 % of the existing bridge deck area is demolished every year and new bridges is constructed representing 2,3 % of the existing bridge deck area, which means that the total bridge deck area had increased in average 2 % annually during the period 1990– 2005, see **Figure 4.2**.





**Table 4.1.** The five most common types of bridges in VMN and their share of the bridge stock in 2005.

Type of bridge	Material	(No)	(%)	Bridge deck area (m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> /bro)
Beam and slab bridge	concrete	161	8.8	129 629	27.9	805
Slab frame bridge	concrete	811	44.4	109 707	23.6	135
Slab bridge	concrete	213	11.7	90 609	19.5	425
Beam and slab bridge	steel	79	4.3	36 409	7.8	461
Culverts	steel	318	17.4	27 531	5.9	87
Other	n/a	245	13.4	71 434	15.4	292
<b>TOT</b>		<b>1 827</b>	<b>100.0</b>	<b>465 319</b>	<b>100.0</b>	<b>255</b>

#### 4.3.1 Beam and slab bridge, concrete

**Figure 4.3** shows an example of a beam and slab bridge with the beam constructed of concrete. This type of bridge has been built in small sizes since the early 1900 with an increase in numbers and areas since the 1950s. **Figure 4.4** shows the total number of beam and slab bridges (concrete), at the end of 1990 and 2005, respectively, sorted by year of construction. One can see that some bridges constructed 1910-1954 have been demolished during the period 1990-2005.

#### 4.3.2 Slab frame bridge, concrete

Slab frame bridges constructed of concrete (see **Figure 4.5**) are the most common of Sweden's small sized bridges and have been built with an increase in numbers and areas since the 1930s. **Figure 4.6** shows the total number of slab frame bridges (concrete), and that some bridges constructed 1930-1984 have been demolished during the period 1990-2005.

#### 4.3.3 Slab bridge, concrete

Slab bridges constructed of concrete (see **Figure 4.7**) have been built in small sizes since the early 1900 with an increase in numbers and areas since the 1960s. From **Figure 4.8** one can see that some bridges constructed 1920-1959 have been demolished during the period 1990-2005.

#### 4.3.4 Beam and slab bridge, steel

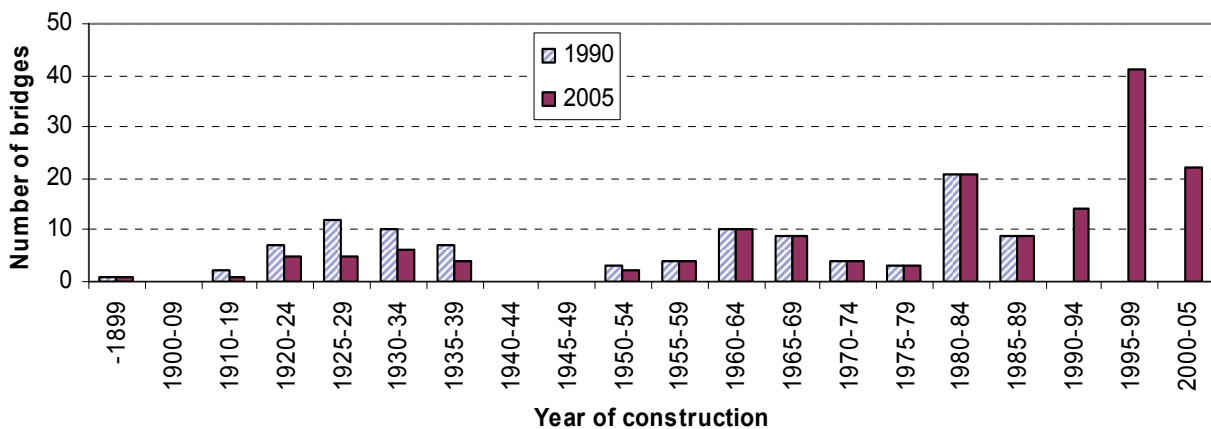
Beam and slab bridges with the beam constructed of steel (see **Figure 4.9**) have been built in small sizes the late 1800s with an increase in numbers and areas since the 1980s. **Figure 4.10** shows the total number of beam and slab bridges (steel), and that some bridges constructed 1900-1959 have been demolished during the period 1990-2005.

### 4.3.5 Culverts, steel

Culverts constructed of corrugated steel (see **Figure 4.11**) have been built with an increase in numbers and areas since the 1950s. **Figure 4.12** shows the total number of culverts (steel), at the end of 1990 and 2005, respectively, sorted by year of construction. One can see that some bridges constructed 1955-1974 have been demolished during the period 1990-2005. The assumed technical life is some 40-50 years for this type of bridge. This should mean that most of the bridges that were built 1950-1969 have more or less reached their technical life of 40 years, and should now in a near future be repaired or demolished and replaced with new bridges (see *Mattsson & Sundquist, 2007*).



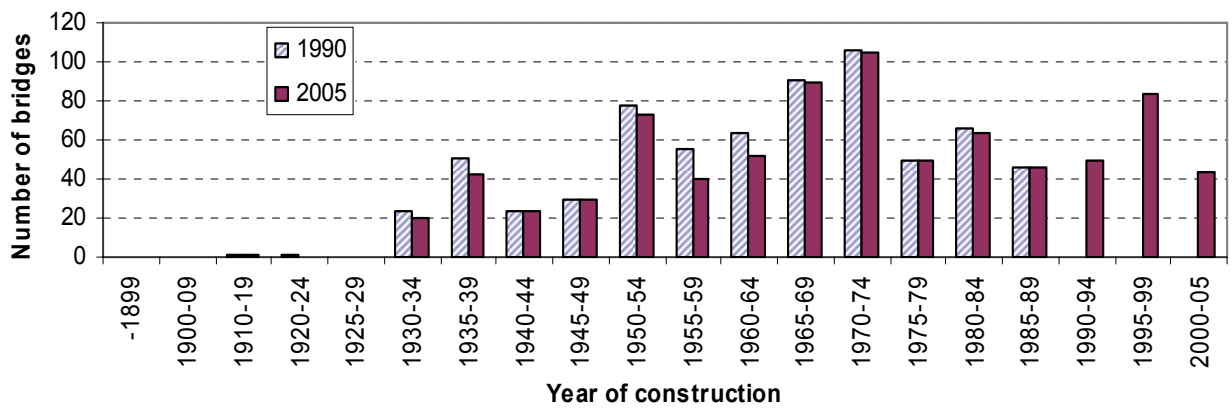
**Figure 4.3.** Bridge C56 in Uppsala County. This beam and slab bridge (concrete) was built 1985 and has a bridge area of 440 m<sup>2</sup>.



**Figure 4.4.** Total number of beam and slab bridges (concrete) in VMN, at the end of 1990 and 2005, respectively, sorted by year of construction.



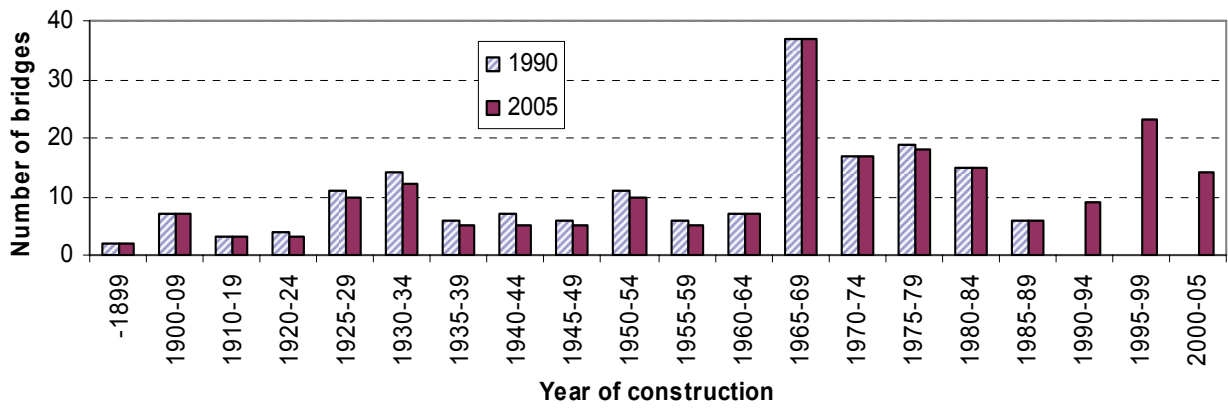
**Figure 4.5.** Bridge C72 in Uppsala County. This slab frame bridge (concrete) was built 1982 and has a bridge area of 92 m<sup>2</sup>.



**Figure 4.6.** Total number of slab frame bridges (concrete) in VMN, at the end of 1990 and 2005, respectively, sorted by year of construction.



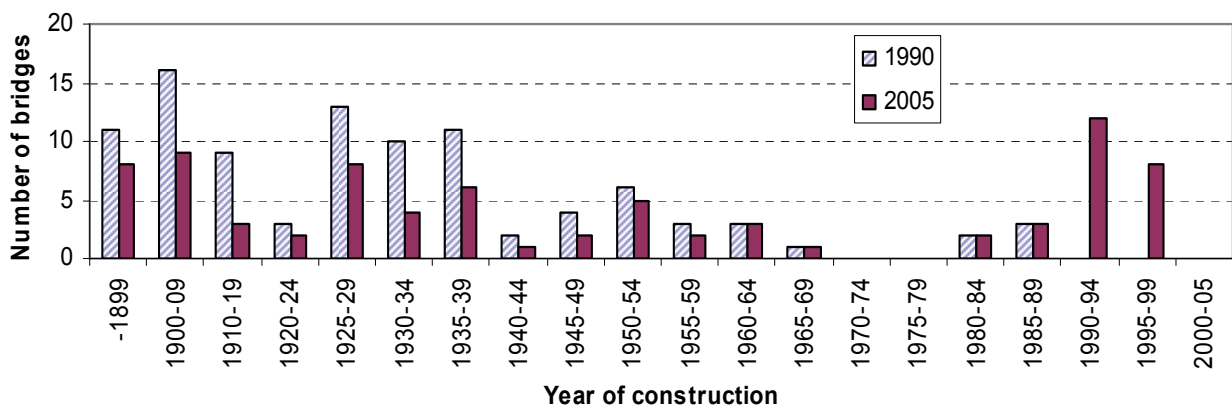
**Figure 4.7.** Bridge C122 in Uppsala County. This slab bridge (concrete) was built 1927 and has a bridge area of 77 m<sup>2</sup>.



**Figure 4.8.** Total number of slab bridges (concrete) in VMN, at the end of 1990 and 2005, respectively, sorted by year of construction.



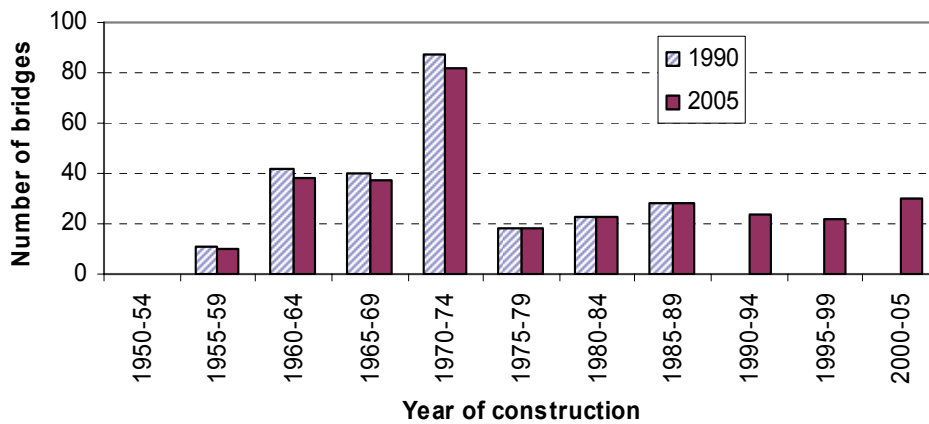
**Figure 4.9.** Bridge C616 in Uppsala County. This beam and slab bridge (steel) was built 1995 and has a bridge area of 418 m<sup>2</sup>.



**Figure 4.10.** Total number of beam and slab bridges (steel) in VMN, at the end of 1990 and 2005, respectively, sorted by year of construction.



**Figure 4.11.** Bridge C143 in Uppsala County. This culvert (steel) was built 1966 and has a bridge area of 101 m<sup>2</sup>.



**Figure 4.12.** Total number of culverts (steel) in VMN, at the end of 1990 and 2005, respectively, sorted by year of construction.

#### 4.4 Age and types of demolished bridges

**Figure 4.13** shows the age at demolition for 179 bridges in VMN. The age at demolition = year of demolition – year of construction. The Figure shows that the age at demolition for most bridges (76 %) was 30-79 years and that the peak (37 %) was between 50-69 years. The average age was 62 years with a standard deviation of 22 years. These findings for VMN are in line with the findings for all of Sweden, see Section 5.3. Further, the average age at demolition for culverts (steel) is 33 years with a standard deviation of 5 years, for slab frame bridges (concrete) it is 45 years with a standard deviation of 12 years and for beam and slab bridges (steel) it is 76 years with a standard deviation of 21 years.

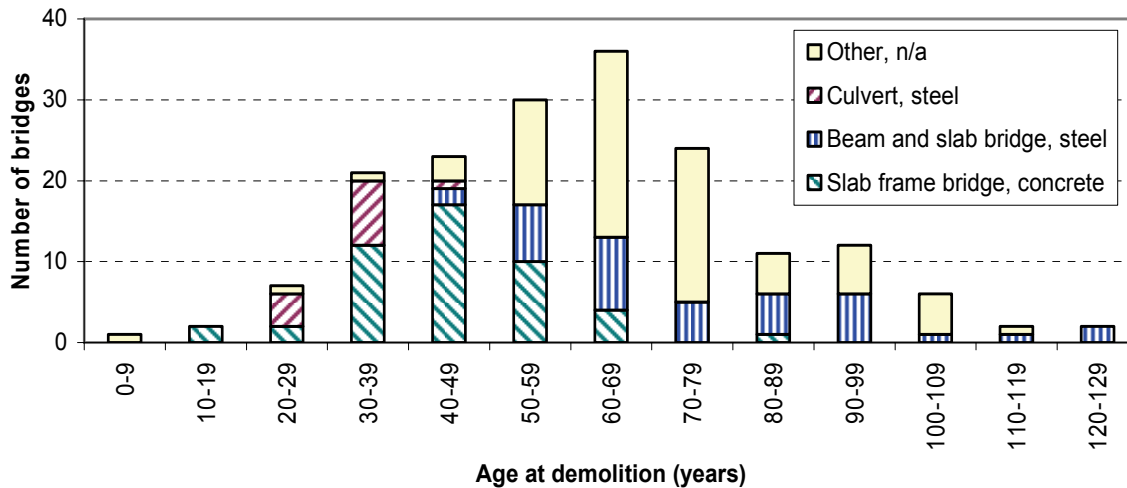


Figure 4.13. The age at demolition for 179 bridges in VMN during 1990-2005.

## 4.5 Reasons for demolition

There could be several reasons behind a decision to demolish a bridge. The reasons for demolition were not stated in the BaTMan database and interviews with the four bridge engineers responsible for VMN were therefore conducted. These interviews revealed two major reasons for demolition of the 179 bridges:

- 1) Deterioration (e.g. from corrosion, frost attack etc) of the bridge had gone too far, meaning that it was simply cheaper to build a new bridge than to repair the old one, and/or the load bearing capacity was too low, so a new bridge with a higher load-bearing capacity was required (72 %).
- 2) Roads were rerouted, thus rendering the bridge redundant (28 %).

Figure 4.14 shows major reasons for demolition sorted by age at demolition during 1990-2005. The average age of demolished bridges due to 1) was 68 years with a standard deviation of 20 years, and due to a new road alignment it was 45 years with a standard deviation of 17 years.

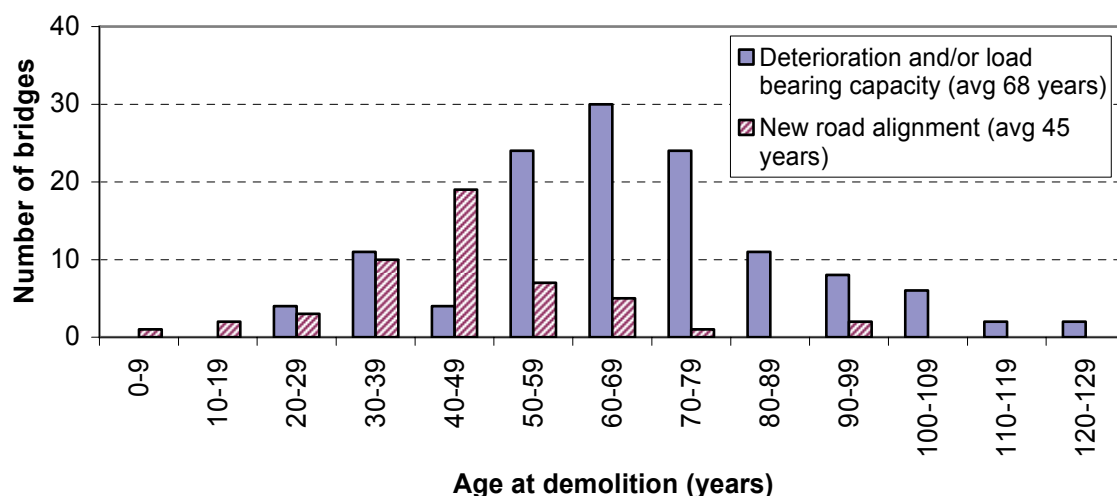


Figure 4.14. Major reasons for demolition of 179 bridges in VMN sorted by age at demolition during 1990-2005.

## 4.6 Average age of the bridge stock

### 4.6.1 The age of the bridge stock

The average age of the bridge stock is calculated as follows:

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot t_{i,j}}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (4.1)$$

Where  $T_j$  is the average age of the bridge stock (years) for every year 1990-2005,  $A_i$  is the bridge deck area of bridge  $i$  ( $m^2$ ) and  $t_i$  is the time since the bridge  $i$  was constructed (years).

The bridges were divided into three groups and treated as follows:

- Bridges constructed before 1990: All bridges were calculated for every year during the period 1990-2005.
- Bridges demolished during 1990–2005: These bridges were calculated until they were demolished, e.g. if a bridge was demolished during 1996 it means that the bridge had a certain value 1995 and was omitted at the end of 1996.
- Bridges constructed during 1990–2005: These bridges were calculated when they were constructed, e.g. if a bridge was constructed in 1998 it means that the bridge had a value of 0 at the end of 1998, and a certain value from 1999 and so on.

### 4.6.2 Historical average age of the bridge stock

The historical average age of the bridge stock was calculated using Equation (4.1), see previous Section. **Figure 4.15** shows the average age of bridge deck area for the five most common types of bridges and for all 1 827 bridges. From the Figure, it is shown that the average age of bridge deck area for the different types of bridges, except beam and slab bridges (steel), is in the range of 20-25 years in 1990 and in the range of 25-30 years in 2005. The average age of bridge deck area for beam and slab bridges (steel) was decreased by demolishing old bridges and constructing new bridges during 1990-1995. The average age of all 1 827 bridges was 25.6 years in 1990 and 29.9 years in 2005, which means that the average age of the bridge stock's total deck area has increased by 4.3 years during the period 1990-2005.

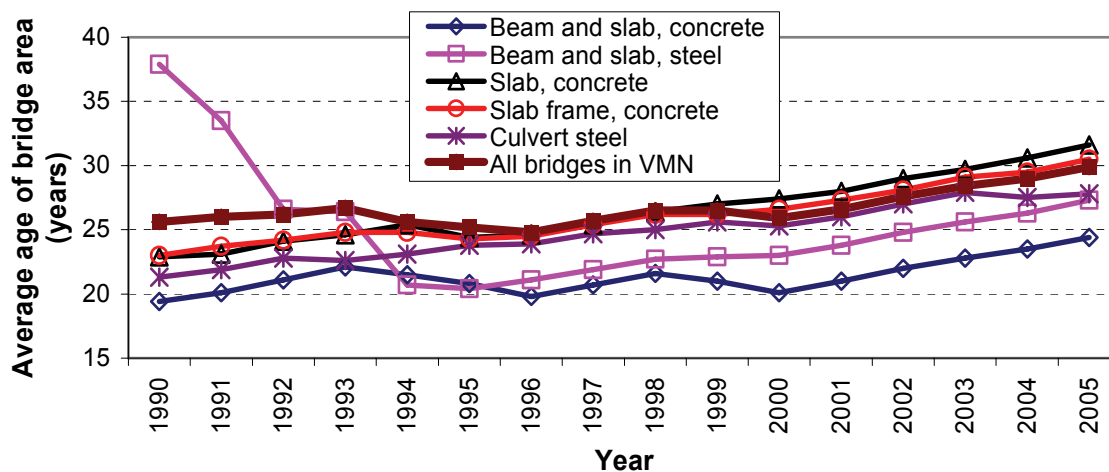


Figure 4.15. Average age of deck area for the five most common types of bridges and all bridges in VMN.

### 4.6.3 Average age of the bridge stock in the future

The Swedish Road Administration (SRA) often uses 20 years for their long term planning activities. They take into account the conditions and importance of the bridges, deterioration rate, life cycle costs and budget constrains and traffic disruption costs etc. During 1994-1998 SRA and Cambridge Systematics (*Camsys 2007*) developed a decision support system, PLANOPT for long-term bridge management planning. The primary purpose of PLANOPT is the formalization and automation of the process of estimating the bridge-stock needs on the national and regional level. According to the SRA's planning practice, needs must be estimated on the long-term basis; at the same time budget plans must be developed on the short-term basis as well. Hence, the essential requirement for the system is its ability to support this planning function and perform "What-If" analysis on a variety of planning alternatives when needed.

To complement the planning activities described above, one can make a rough estimate of how the bridge stock can develop during the next twenty years, 2006-2025, and how to maintain the average age of the bridge stock in "status quo".

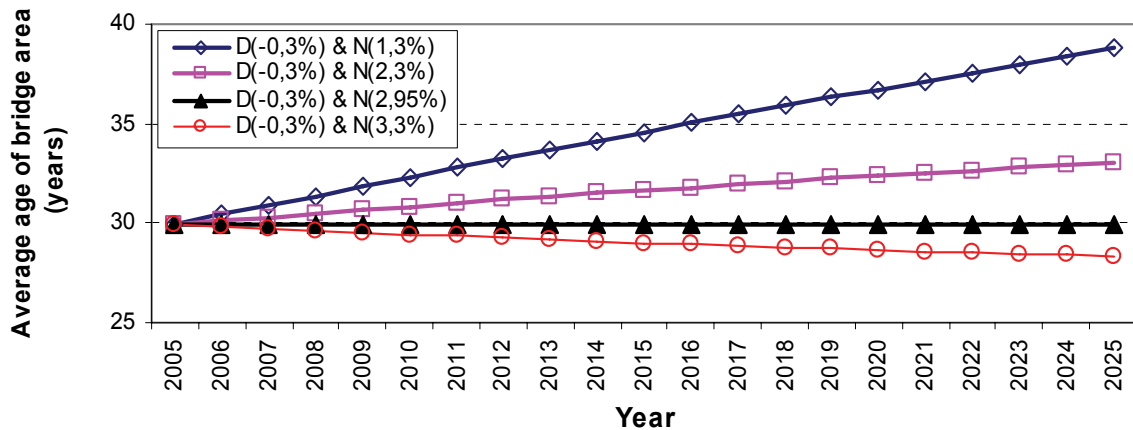
In the rough estimate a yearly average of both demolitions rate and new construction rate have been used. In reality these rates vary between the years. The average age of the demolished bridge has been 70 years. A more detailed analysis could be to estimate the year of demolition for every bridge according to some service life distribution (e.g. survival analysis) and estimate the year of construction for every new bridge that are planned to be built during the studied period. This detailed study has not been done, since it has been deemed to be too time consuming for a first understanding. For a bridge manager, who has access to future plans, the detailed study could be a helpful tool.

In **Figure 4.16** it was assumed that every year 0.3 % of the bridge deck area is demolished  $D(-0.3 \%)$  and every year new bridges were included in the bridge stock. Four different scenarios were calculated  $N(1.3 \%)$ ,  $N(2.3 \%)$ ,  $N(2.95 \%)$  and  $N(3.3 \%)$ . From the Figure one can see that the average age of the bridge stocks deck area increases from 29.9 years to 33.1 years during the period 2005-2025 if the historical values of demolition  $D(-0.3 \%)$  per year and new construction  $N(2.3 \%)$  per year were used.

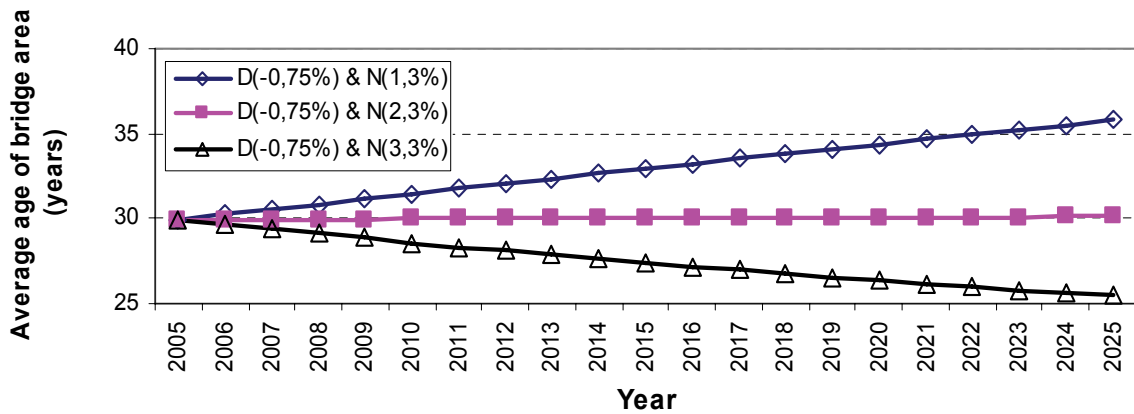


In **Figure 4.17** it was assumed that the demolished bridge deck area was increased to 0.75 % of the existing bridge deck area  $D(-0.75\%)$  and that every year new bridges were included in the bridge stock. Three different scenarios were calculated  $N(1.3\%)$ ,  $N(2.3\%)$  and  $N(3.3\%)$ .

The average age of the bridge stocks area was more or less constant, 30 years, if the values of demolition  $D(-0.3\%)$  per year and new construction  $N(2.95\%)$  per year were used or if the values of demolition  $D(-0.75\%)$  per year and new construction  $N(2.3\%)$  per year were used. These estimates show how to maintain the average age of the bridge stock in “status quo”.



**Figure 4.16.** Estimated average age of bridge deck area for the whole bridge stock in VMN 2006-2025 assuming  $D(-0.3\%)$  and  $N(1.3-3.3\%)$ .



**Figure 4.17.** Estimated average age of bridge deck area for the whole bridge stock in VMN 2006-2025 assuming  $D(-0.75\%)$  and  $N(1.3-3.3\%)$ .

## 4.7 Costs for the bridge stock

### 4.7.1 Costs for bridge management activities in some European countries

PIARC Committee C11 has made a study, which presents and compares the performance of activities such as inventory, inspections, skills and training, priority-ranking of works, operation, preventive maintenance or repair works etc in different countries, or regions (*PIARC 2004*). The purpose of the study was to exchange and compare information between countries and give a

short analysis. The data for the study were collected by sending questionnaires to bridge authorities in all member countries in PIARC Committee C11. PIARC noted that only a few countries have satisfactory cost data regarding inspection and maintenance. In order to improve planning and priority-ranking of the work, the bridge agencies should pay more attention to this. The replacement value, estimated by the different countries, was given more systematically. The replacement value was normally in the range 1 000–2 000 €/m<sup>2</sup> with an estimated average of about 1 700 €/m<sup>2</sup> (the cost level is probably from the early 2000s).

Based on the PIARC study the author of this thesis has compiled total costs for bridge management activities, e.g. inspection, operation, preventive maintenance and repair works, in some European countries, see **Table 4.2**. The year for the different data is not stated in the PIARC report, but the author assumes that the data probably is from the early 2000s. Important reasons for carrying out operation, preventive maintenance and repair works is to ensure the satisfactory functioning of the bridges, maintaining the traffic safety for the road users and in the longer term to preserve the invested capital for the owner. The number of bridges in different countries in **Table 4.2** varies greatly, from 1 340 in Denmark to 22 490 in France. The definition of a bridge varies considerably. Most of the countries defined a construction with a span equal or longer than 2.0 meter as a bridge. Other countries required 2.5 m, 5.0 m or 6.0 m. It is therefore not easy to make a useful comparison between countries, but some observations were made. The large difference in the maintenance efforts can of course be due to different definitions of “maintenance”, but it is the authors’ opinion that maintenance efforts seems to be too low in some countries. It is reported in the literature that maintenance cost is normally between 1 % and 2 % of the reconstruction cost (*Van der Toorn and Reij 1990; Wicke 1988*). The maintenance and repair cost depend on many factors such as the age and the condition of the bridge. However, bridge repair is regarded as an expensive item.

**Table 4.2.** Costs for bridge management activities in some European countries (after *PIARC 2004*). The author of this thesis assumes that the data probably is from the early 2000s.

Bridges located at the different countries national roads and highways	Denmark	Finland	Hungary	Sweden	France	Norway	Switzerland	Italy
Definition by min span (m)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	5.0	6.0
Bridges (No)	1 340	13 860	6 000	14 500	22 490	15 910	3 350	4 800
Tot bridge deck area (km <sup>2</sup> )	1.22	3.34	0.98	3.90	8.23	3.56	4.33	5.36
Avg bridge deck area (m <sup>2</sup> )	910	241	163	269	366	224	1 293	1 117
Tot replacement value (M€)	2 900	3 100	1 600	4 700	10 900	5 800	7 400	10 500
Replacement value (€/m <sup>2</sup> )	2 390	1 000	1 630	1 210	1 330	1 630	1 710	1 960
Avg yearly budget (M€)	25	24	6	84	107	40	100	25
Avg yearly budget/Tot replacement value (%)	0.86	0.80	0.38	1.79	0.98	0.69	1.35	0.24

## 4.7.2 The bridge stock's costs in the VMN region

Figure 4.18 shows VMN's costs during 1996-2005 for repair and maintenance of the old bridge stock, new construction of bridges and demolition of old bridges. In average the annual costs for maintenance and repair of the old bridge stock was about 110–120 SEK/m<sup>2</sup> or 25-30 kSEK/bridge, (1 kSEK = 100 €, Oct 2008). Cost for new constructions were in average about 10-15 kSEK/m<sup>2</sup> or about 2.5-3 MSEK/bridge for small and medium sized bridges. The annual maintenance and repair costs were in average about 1 % of the bridge stock's replacement value.

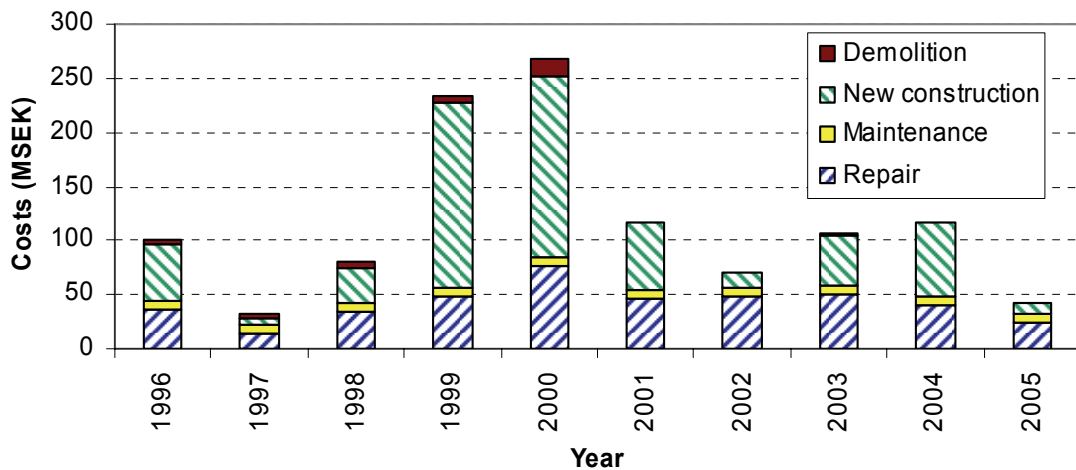


Figure 4.18. Costs for repair and maintenance, new construction and demolition of old bridges in VMN during 1996-2005.

## 4.8 Inspections and Lack of Capital Value

### 4.8.1 Bridge inspections

It is necessary that the bridges are in good condition to ensure a safe passage of the traffic and therefore bridges are inspected regularly. The inspection intervals used in Sweden (*SRA 1993*), see **Table 4.3**, do not differ much from similar systems in other countries, even if the denominations of the different steps are different. Routine inspections (regular) are performed with short intervals and more in-depth inspections (general and major) are performed with longer intervals.

The results of the bridge inspections in Sweden are reported in two ways, a functional classification (Condition Classes) and an economical classification. The Condition Classes can be an integer number 0, 1, 2 or 3, dependant on how serious the damage at the time of inspection is and its impact on traffic safety (see **Table 2.1**).

**Table 4.3.** Inspection intervals for bridges in some Western countries. After *Silfwerbrand (2002)* and *Sommer et al. (1993)*

Country	Regular inspection	General inspection	Major inspection
Belgium	1 year	3 years	When needed
Denmark		1-6 years	
France	1 year	5 years	
Germany	3 months	3 years	6 years
Italy	3 months	1 years	
<b>Sweden</b>	<b>1 year</b>	<b>3 years</b>	<b>6 years</b>
Switzerland	15 months	5 years	When needed
USA		2 years	

#### 4.8.2 Lack of Capital Value (LCV)

To complement the information on Condition Classes, a rough estimate is made of the cost to repair all shortcomings found in the inspection (CC 1-3). This cost is compared with the cost to completely re-build the bridge, or for a single element the cost to repair the element divided by the cost to replace the element. The cost for repair is derived from a knowledge database in BaTMan that is updated regularly to actual prices from performed repair actions. The quota between the cost to repair and the cost to re-build the bridge is called Lack of Capital Value (*LCV*).

SRA's condition quantifier, *LCV*, is not exact enough for an individual bridge, but can be used as an indicator for a whole bridge stock. The *LCV* could be considered the inverse of a degradation curve for a whole bridge stock. **Figure 4.19** shows general degradation and *LCV* curves for assumed bridge life of 80, 100 and 120 years. A  $LCV = 1$  is defined as the full value to re-build the bridge. By definition remedial actions at an annual rate of the *LCV*'s derivative shall keep a constant level of quality of the bridge stock. In general remedial actions should be taken as early as possible, at the left hand side of the curve, before the degradation starts to increase more rapidly at the right hand side of the curve.

**Figure 4.20** shows *LCV* for national roads, other roads and for the whole bridge stock in the VMN region during 2000-2005. From the figure one can see that *LCV* is about 10 ‰ for bridges on national roads, about 35 ‰ for bridges on other roads and about 25 ‰ for the whole bridge stock.

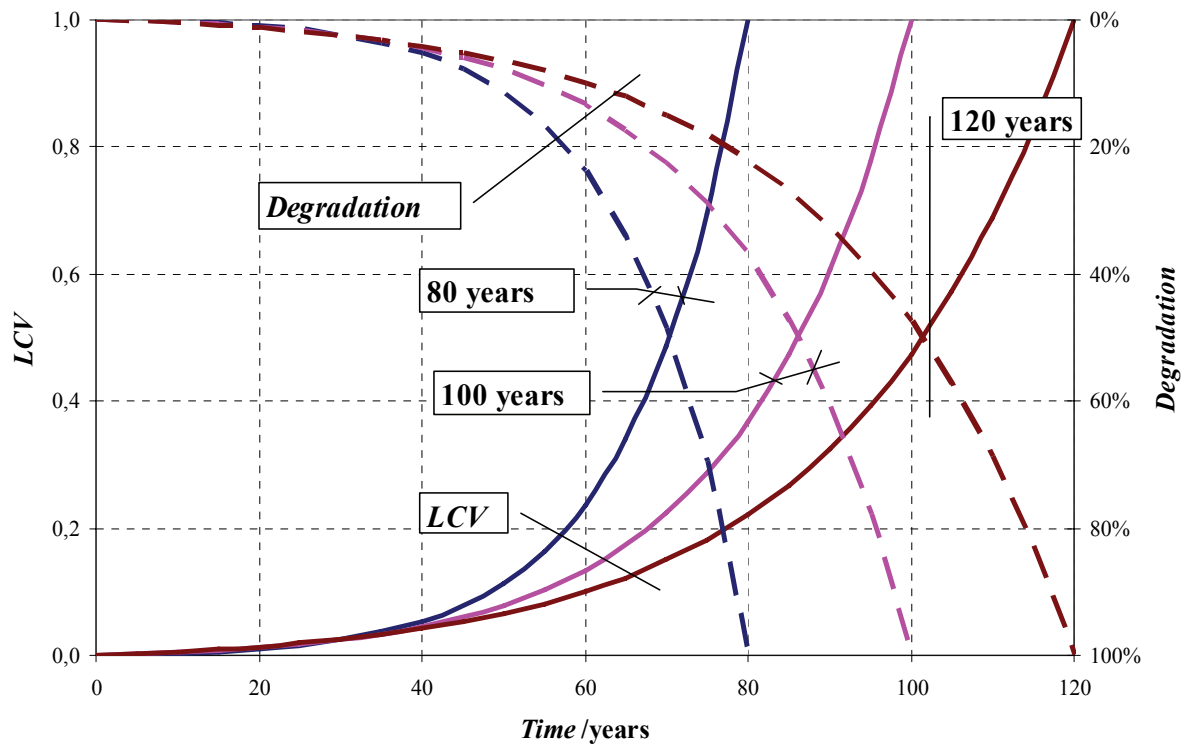


Figure 4.19. General degradation and LCV curves for assumed bridge life of 80, 100 and 120 years.

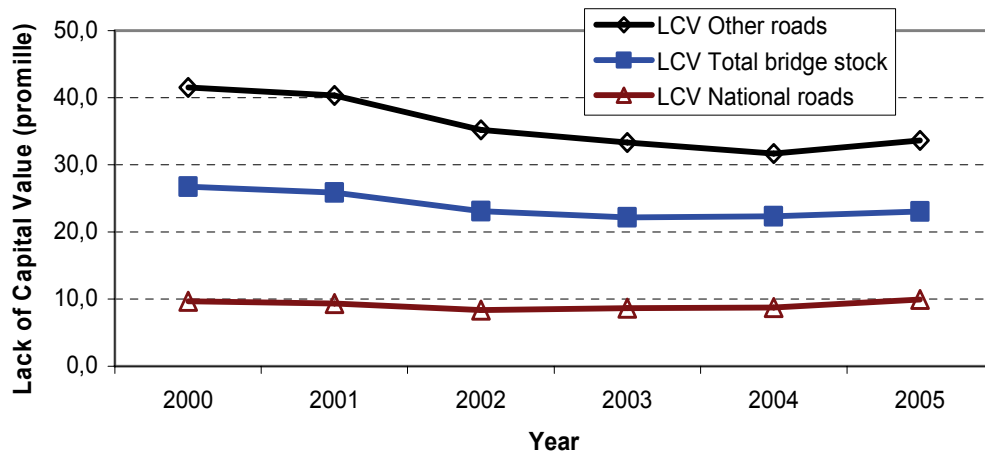


Figure 4.20. LCV for bridges on national roads, other roads and for the whole bridge stock in VMN during 2000 - 2005.

## 4.9 Comparisons

### 4.9.1 The bridge stock's average age and costs

Figure 4.21 shows the average historical age for the whole bridge stock during 1990-2005 and the total costs for VMN during 1996-2005. The Figure shows that when the costs was below 100 MSEK, the average age of the bridge stock was increasing and when the costs was above 200 MSEK, the average age was decreasing. This indicates that normal maintenance and repair and building some new bridges cannot stop the bridge stock from ageing. Building many new bridges

and demolish old bridges seem to keep or lower the average age of the bridge stock, see the periods 1993-1996 and 1999-2000.

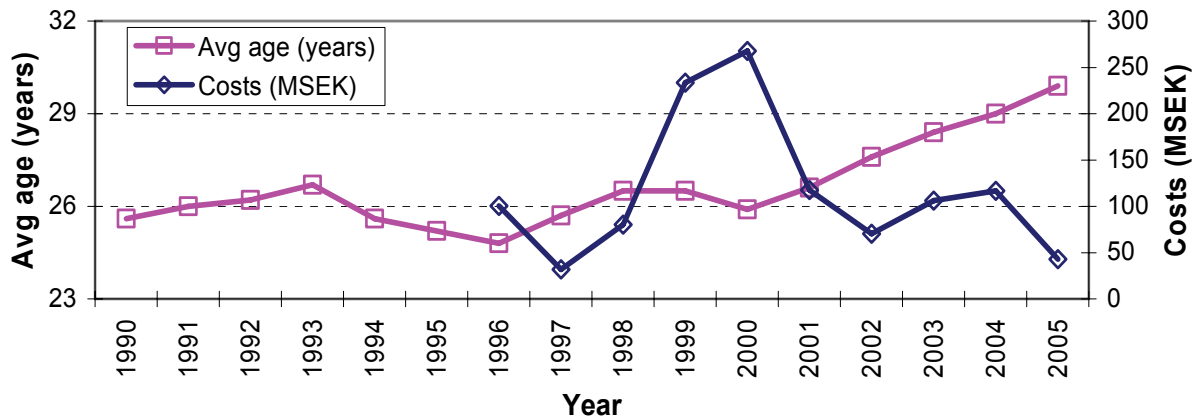


Figure 4.21. Average historical age and total costs (maintenance, repair and new constructions) for the whole bridge stock in VMN.

#### 4.9.2 The bridge stock's costs and LCV

Figure 4.22 shows *LCV* for the whole bridge stock during 1997-2005 and the total costs for VMN during 1996-2005. From the Figure one can see that when the cost was above 200 MSEK, *LCV* was decreasing and when the cost was about 100 MSEK, *LCV* was more or less constant. This indicates that normal maintenance and repair and building some new bridges can keep the bridge stocks *LCV* in “status quo”, see the period 2002-2004.

If averaging the costs for the years 2002–2004 in Figure 4.22, when *LCV* was relatively constant, to 100 MSEK and dividing this cost with the new construction cost 10–15 kSEK/m<sup>2</sup> for a bridge deck area of 465 000 m<sup>2</sup> (see Table 4.1) we achieve;  $100 \cdot 10^6 / 465\,000 \cdot 10 \cdot 10^3 = 2.2\%$  and  $100 \cdot 10^6 / 465\,000 \cdot 15 \cdot 10^3 = 1.4\%$ . As *LCV* is just a rough indicator we round off the result to be 2 %.

In order to keep the bridge stocks *LCV* in “status quo” this study indicates that about 2 % of the new construction cost should be spent on annual maintenance and repair costs and building some new bridges. Building many new bridges and demolish old bridges will decrease *LCV*; see the period 1999-2000.

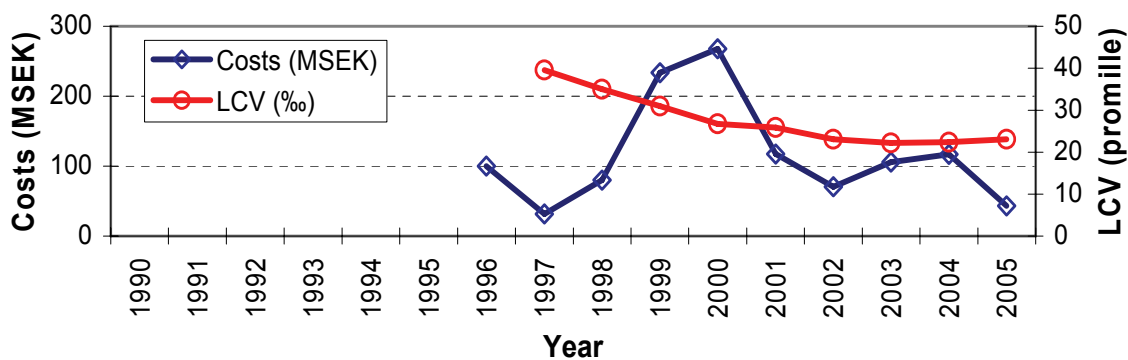


Figure 4.22. *LCV* and total costs (maintenance, repair and new constructions) for the whole bridge stock in VMN.

## 4.10 Conclusions

This Chapter shows an example of a bridge stock's development and how key parameters can be obtained from historical data. The case in itself is local but the methodology is general. Data from a different database can lead to different results. But the different results could be compared with this study and further knowledge about how a bridge stock can develop will be gained.

For the actual bridge stock the study has found following answers to the two questions:

1) What construction and demolition rates are required to maintain status quo regarding average age of the studied bridge stock?

- The annual demolition rate needs to be increased from  $D(-0.3 \%)$  to  $D(-0.75 \%)$  of the existing bridge deck area in order to keep the average age of the bridge stocks deck area of about 30 years, if the current value of new construction rate  $N(2.3 \%)$  is used.
- The annual new construction rate needs to be increased from  $N(2.3 \%)$  to  $N(2.95 \%)$  of the existing bridge deck area in order to keep the average age of the bridge stocks deck area of about 30 years, if the current value of demolition rate  $D(-0.3 \%)$  is used.

2) What rates are required to maintain the status quo regarding LCV for the bridge stock in question?

- Normal maintenance, repair and building some new bridges, representing a cost of about 2 % of the new construction cost, can keep the bridge stock's LCV in status quo.

This is an example on information that probably can help the bridge manager when it comes to predict the bridge stock's future needs and it can also serve as a basis for LCC calculations.





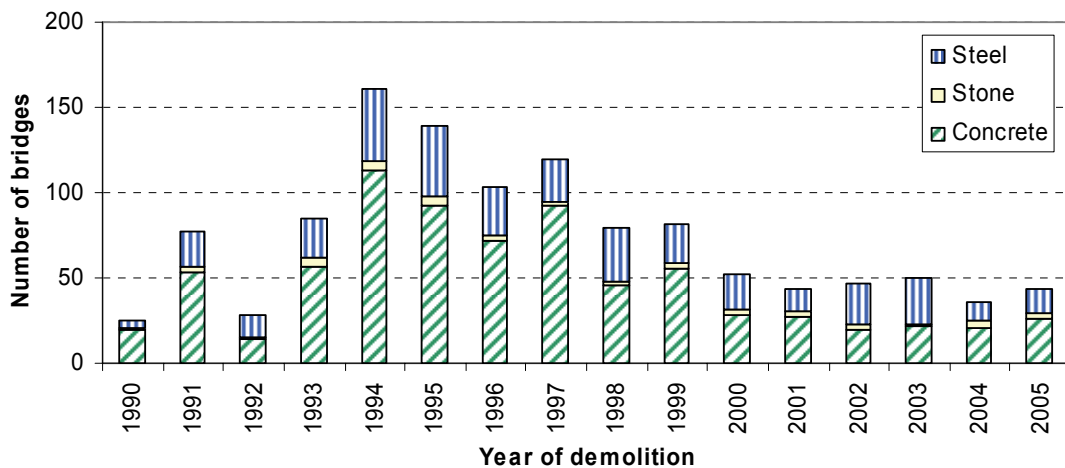
## 5. REAL SERVICE LIFE OF ROAD BRIDGES

### 5.1 Introduction

This Chapter is a summary of Papers 3, 4 and 5 and deals with the real service life of road bridges in Sweden. This background information increases the knowledge about the degradation process for some common types of bridges and creates a better basis for estimates about the future need for bridge maintenance and could help a bridge manager when designing an Integrated Bridge Maintenance contract for an actual bridge stock. There is a lot published about theoretical degradation processes (e.g. chloride induced reinforcement corrosion), but not so much about real service life. Therefore these studies have been done, based on real historical data.

### 5.2 Number of demolished bridges

A total of 1 170 bridges have been demolished in Sweden during 1990-2005. The material of the primary load bearing structure of these bridges has been concrete (65 %), steel (31 %) and stone (4 %). **Figure 5.1** shows the number of bridges sorted by the material of the primary load bearing structure. One can see that around 50-150 bridges are demolished every year in Sweden, corresponding to about 0.3-1.2 % of the bridge stock. Of the demolished bridges about 25 % are concrete slab frame bridges and 20 % are steel beam and slab bridges.

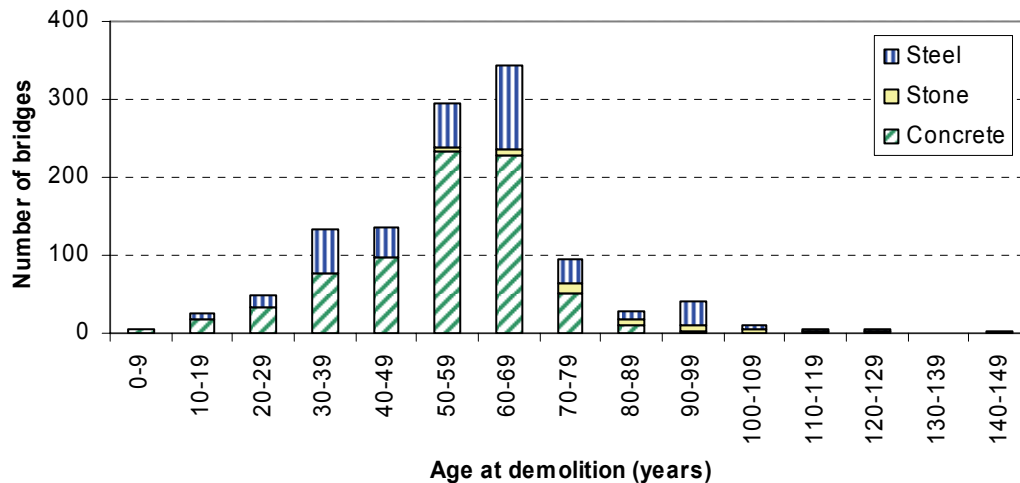


**Figure 5.1.** 1 170 demolished bridges in Sweden during 1990-2005 sorted by the material of the primary load bearing structure.

### 5.3 Age at demolition

**Figure 5.2** shows the age of 1 170 demolished bridges sorted by the material of the primary load bearing structure. The age at demolition for the majority of the bridges (85 %) was between 30–79 years with the peak (54 %) between 50–69 years.

From the case study it seems that regions with economic growth appear to have shorter average bridge lives: for example Stockholm and Gothenburg show an average bridge life of 47 years compared with 56 years for all of Sweden.



**Figure 5.2.** Age of 1 170 demolished bridges in Sweden sorted by the material of the primary load bearing structure.

## 5.4 Technical life span in SRA’s regulations

The SRA defines three different technical life span classes of a bridge: 40, 80 and 120 years, see **Table 5.1**. The technical life span is the length of time the bridge should meet its required function, allowing for “normal maintenance”. Interpretation of **Table 5.1** is not entirely clear, but one can assume that “minimum” means the lower 5<sup>th</sup> percentile. This interpretation is in line with the description of characteristic values for concrete and steel in Swedish regulations. Since almost all of the bridges in Sweden are constructed of concrete and steel it seems reasonable to judge the technical life span in relation to the used construction material.

**Table 5.1.** Technical bridge life spans (SRA, VGU 2004).

Class	Min	Median	Type of bridge
<b>TLK 120</b>	120 years	150 years	Bridges with a span > 200 m or length > 1000 m
<b>TLK 80</b>	80 years	100 years	Other bridges, culverts
<b>TLK 40</b>	40 years	50 years	Culverts

## 5.5 Survival analysis

Survival analysis has been used for a long time in areas such as medical research (*Altman 1991*) and the health sciences (*Daniel 2005*). In clinical studies, an investigator may wish to monitor the progress of patients from some fixed starting point in time (e.g. surgery) until the occurrence of some well-defined event such as death. The time elapsing between enrolment in the study and the event (death) is referred to as the patient’s survival time. The statistical treatment of survival times is known as survival analysis. Although patients may be followed up for several years, there will be many who are still alive at the end of the study- that is, their survival time is longer than their time in the study. Such survival times are called censored.

From a set of observed survival times and censored times from a sample of individuals, one can estimate the proportion of the population of such people who would survive a given length in

time. One common method to use is the Kaplan-Meier procedure, which involves the successive multiplication of individual estimated probabilities: it is sometimes referred to as the product-limit method of estimating survival properties.

If  $p_k$  is the probability of surviving  $k$  years,  $r_k$  is the number objects still at risk immediately before the  $k$ th year, and  $f_k$  is the number of observed failures on year  $k$ , then

$$p_k = p_{k-1} \times \frac{r_k - f_k}{r_k} \quad (5.1)$$

Equation (5.1) can be used on a population of bridges. Bridges can be monitored from a fixed starting point (construction) until some well-defined event (demolition). For example, take a population of 60 bridges of which one was demolished after 30 years. We have  $p_{29} = 1$ , and  $r_{30} = 60$  because all subjects are still at risk at 30 years. There was one failure at 30 years, so  $f_{30} = 1$  and we can calculate the proportion surviving 30 years as

$$p_{30} = p_{29} \times \frac{(60-1)}{60} = 0.983$$

The estimated proportion surviving stays the same until the next failure time. The probability of surviving to time  $t$ ,  $S(t)$ , is estimated by multiplying out the survival probabilities across the time periods

$$S(t) = \left( \frac{r_1 - f_1}{r_1} \right) \times \left( \frac{r_2 - f_2}{r_2} \right) \times \dots \times \left( \frac{r_t - f_t}{r_t} \right) \quad (5.2)$$

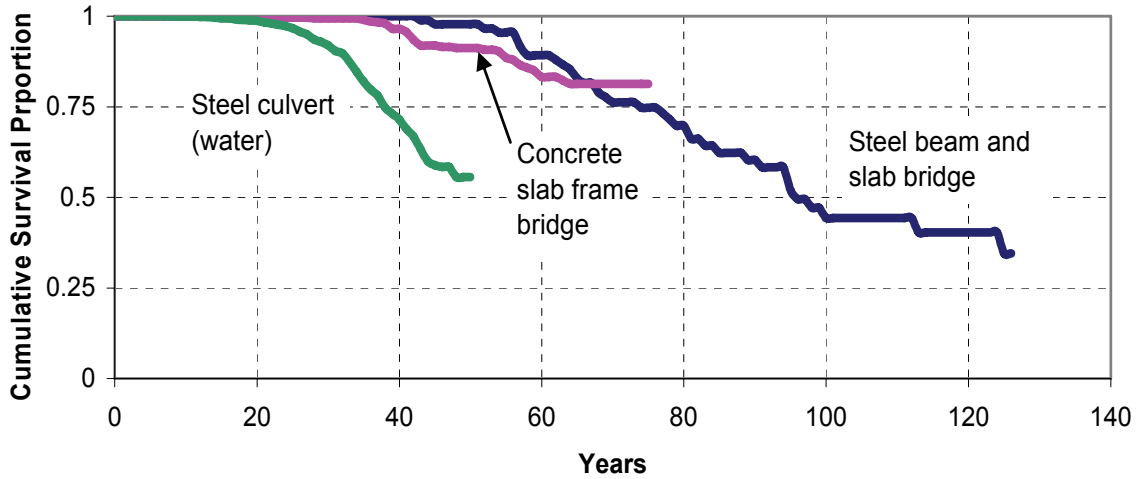
It is usual to present survival properties as a graph. The median survival time can be read from the plotted curve, being the time corresponding to a cumulative survival proportion of 0.5. The tail of the survival curve is often very unstable due to the small numbers at risk.

## 5.6 Survival analysis of bridges

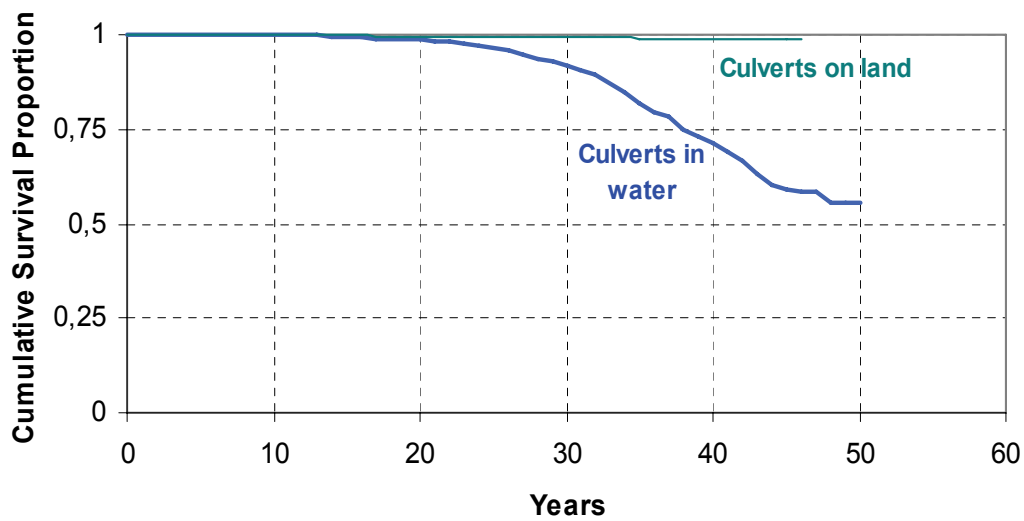
Almost half of the 1 170 demolished bridges in Sweden were of the types (i) concrete slab frame bridge and (ii) steel beam and slab bridge. It is therefore of interest to perform survival analysis on these two bridge types. Data for these bridge types were obtained from the detailed study in VMN. The survival analysis of the concrete slab frame bridge population was based on 811 bridges still in use and 48 demolished bridges: that of the steel beam and slab bridge population was based on 79 existing bridges and 38 demolished bridges, see **Figure 5.3**.

A steel culvert is a low-cost bridge that is, generally, quick and easy to construct. Data on 2 270 steel culverts in Sweden were gathered, 1 833 of which have connection with water. Steel in connection with water and free oxygen creates a potential risk for corrosion. Almost all of the recorded damage was noted for steel culverts in connection with water. The survival analysis was based on the steel culvert population in connection with water: 1 833 still in use, of which 224 have undergone major repairs with shotcrete and 98 have been demolished (repaired culverts were treated as demolished), see **Figure 5.3**.

A comparison has also been made between steel culverts in connection with water and steel culverts on land, see **Figure 5.4**. The survival analysis of the steel culvert population on land was based on 411 bridges still in use, of which one has undergone major repair with shotcrete and one has been demolished.



**Figure 5.3.** Survival curves for steel beam and slab bridge, concrete slab frame bridge and steel culvert in connection with water. The survival curve had been curtailed when there are only about five objects still at risk.



**Figure 5.4.** Survival curves for steel culvert in connection with water and on land.

**Figure 5.3** and **Figure 5.4** show the survival curves. The median survival time (the time when the curve crosses the survival proportion of 0.5) of steel beam and slab bridges is 96 years. However, the median survival times for concrete slab frame bridges and culverts cannot be calculated since the survival curve does not drop below 0.5. **Table 5.2** shows the real life spans for the different bridges at the cumulative survival proportion ( $p$ ) of 0.95 and at the end of the curve.

**Table 5.2.** Real life spans for three bridges types.

Bridge type	Min ( $p = 0.95$ )	Median ( $p = 0.5$ )	At the end of the curve
Steel beam and slab	57 years	96 years	126 years ( $p = 0.35$ )
Concrete slab frame	41 years	n/a	75 years ( $p = 0.81$ )
Steel culvert in water	27 years	n/a	50 years ( $p = 0.56$ )
Steel culvert on land	n/a	n/a	46 years ( $p = 0.98$ )

The bridge's age at the cumulative survival proportion of 0.95 is interesting for two reasons. The first reason is that in the EU-project *LIFECON* one can read following definitions:

**Service life**                      The period in which the intended performance is achieved.

**Characteristic life**            A time period which the service life exceeds with a specified probability, usually with 95 % probability.

The second reason is that the interpretation of **Table 5.1** is not entirely clear, see Section 5.4, but one can assume that “minimum” means the lower 5<sup>th</sup> percentile. That is the age that 95 % of the bridges should reach, which is the same as a cumulative survival proportion of  $p = 0.95$ . This interpretation is in line with the description of characteristic values for concrete and steel in Swedish regulations.

## 5.7 Comparison of technical and real life spans

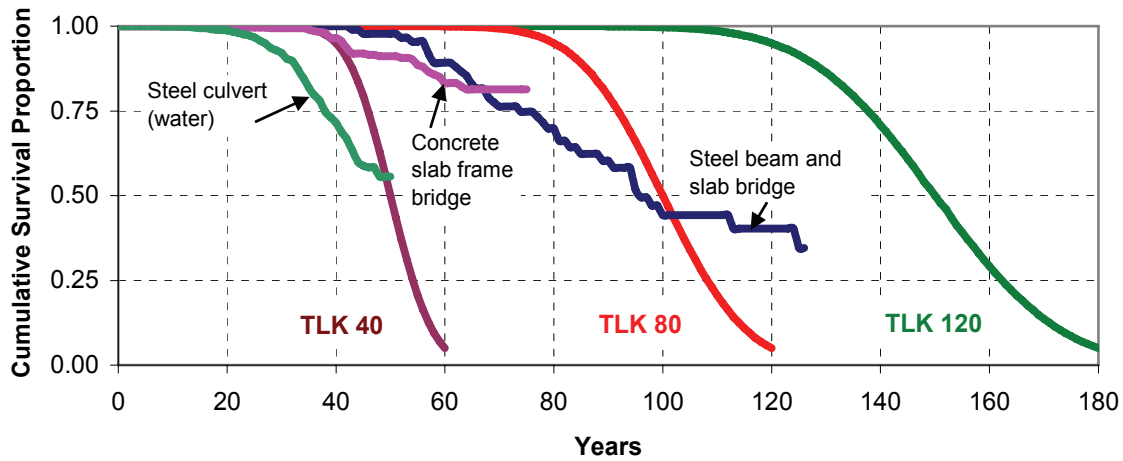
**Figure 5.5** shows survival analysis of the three bridge types described in Section 5.6 and for the three different technical life spans defined by SRA in Section 5.4.

Steel culverts in connection with water have a cumulative survival proportion of  $p = 0.56$  at 50 years, which is close to the median of  $p = 0.50$  at 50 years defined for TLK 40. Steel beam and slab bridges have a cumulative survival proportion of  $p = 0.50$  at 96 years, close to the median of  $p = 0.50$  at 100 years for TLK 80. These two types of bridges thus fit well with the SRA regulations regarding median technical life span.

The steel culverts studied have a cumulative survival proportion of  $p = 0.95$  at 27 years, which is about 32 % below the minimum of  $p = 0.95$  at 40 years for TLK 40. The main reason for this is that steel culverts constructed during the 1960s and 1970s were insufficiently protected against corrosion. Steel beam and slab bridges have a cumulative survival proportion of  $p = 0.95$  at 57 years, which is about 29 % below the minimum of  $p = 0.95$  at 80 years for TLK 80. The major reason for this is that materials used in old bridges may not meet modern standards and therefore could not be expected to meet the technical life spans defined for modern bridges.

Steel culverts on land have a cumulative survival proportion of  $p = 0.98$  at 46 years, which indicates that this bridge type meets the demands in SRA's regulations, see **Figure 5.4**.

It may be added that the real life span for modern bridges will be known about 50 to 100 years from now.



**Figure 5.5.** Survival analysis of steel beam and slab bridge, concrete slab frame bridge and steel culvert in connection with water and the technical life spans defined by the SRA.

## 5.8 Discussion

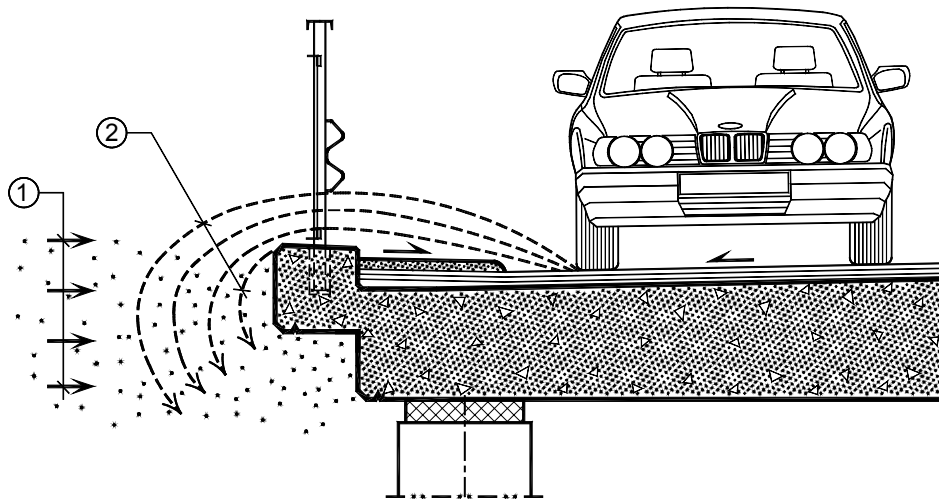
There are two ways to describe the real service life of a bridge population. The first is to analyse only the demolished bridges and estimate a service life. This estimated service life will probably be too low for the whole bridge population since only “bad bridges” counts. The second way is to analyse both demolished bridges and existing bridges using survival analysis. This seems to be a better approach since all available data about the bridge population are used.

## 6. REAL SERVICE LIFE OF EDGE BEAMS

### 6.1 Introduction

This Chapter is a summary of Paper 6 and deals with the real service life of edge beams in VMN. Since the edge beam is one of the most damaged structural members of a bridge it is of interest for a bridge manager to know how long it normally will last. This background information increases the knowledge about the degradation process of edge beams and creates a better basis for estimates about the future need for bridge maintenance. Optimal bridge management is a very complex task, so a bridge manager needs a lot of information when designing an Integrated Bridge Maintenance contract. Therefore it is helpful if he also knows about the real service life of edge beams in the actual bridge stock. There is a lot published about theoretical degradation processes (e.g. chloride induced reinforcement corrosion), but not so much about real service life. To get a better understanding the whole edge beam population in VMN has been studied for a 15-years period, 1990-2005.

The main purpose of the edge beam is to hold the railing in place and stiffening the bridge deck. Edge beams are normally composed of concrete. In contrast to the bridge deck slab, which normally is protected with waterproofing and surfacing, the edge beam is directly exposed to environmentally induced degradation, see **Figure 6.1**. The last 10-20 years it has been common to impregnate the edge beams in Sweden, with the intention to increase the edge beams service life (see *Johansson, 2006*).

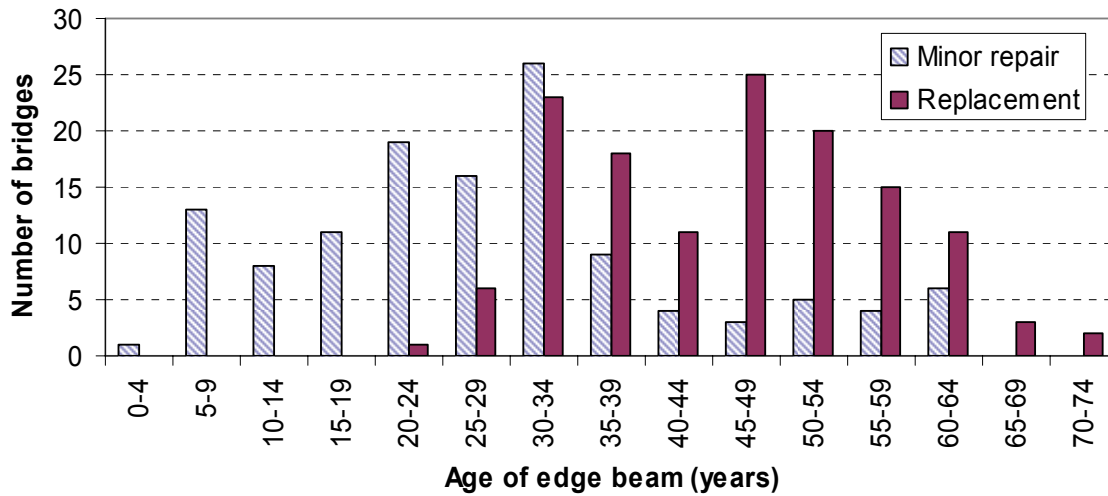


**Figure 6.1.** A typical edge beam is exposed to airborne pollutions (1) and water with chloride content (2).

### 6.2 Replacement and minor repair of edge beams

In this survey 135 replacements and 125 minor repairs of edge beams have been included, see **Figure 6.2**. Replacement is to demolish the old edge beam and construct a new edge beam. The average age for 135 replacements of the edge beam was 45 years with a standard deviation of 11 years. When an edge beam is replaced normally the waterproofing, the surfacing and the railing are also replaced. Minor repair is, for example, to patch repair the old edge beam with concrete

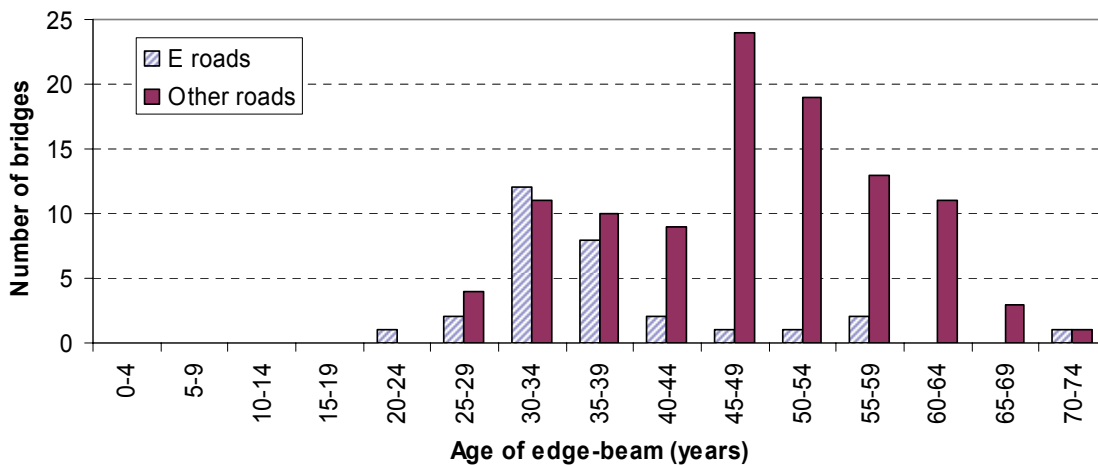
and repair the parapet post fixing. The average age for 125 edge beams subjected to minor repairs was 28 years with a standard deviation of 15 years.



**Figure 6.2.** 135 replaced and 125 minor repaired edge beams in VMN during 1990-2005 sorted by age of edge beam.

### 6.3 Location of replaced edge beams

The bridges have been sorted into two groups: bridges located on major European roads in Sweden (E roads): E4, E18 and E20, and other roads. Of 135 replaced edge beams 30 have been located on E roads and 105 have been located on other roads, see **Figure 6.3**. The average age for 30 replacements of the edge beams on E roads was 37 years with a standard deviation of 11 years. The average age for 103 replacements of the edge beams on other roads was 48 years with a standard deviation of 10 years. The major reasons for the shorter life span of edge beams located on E roads are likely to be more wear caused by heavy traffic and use of more de-icing salt. Another reason could be that the bridge manager has less patience with “bad” edge beams located on E roads and therefore performs replacements earlier compared if the “same” edge beam has been located on other roads.

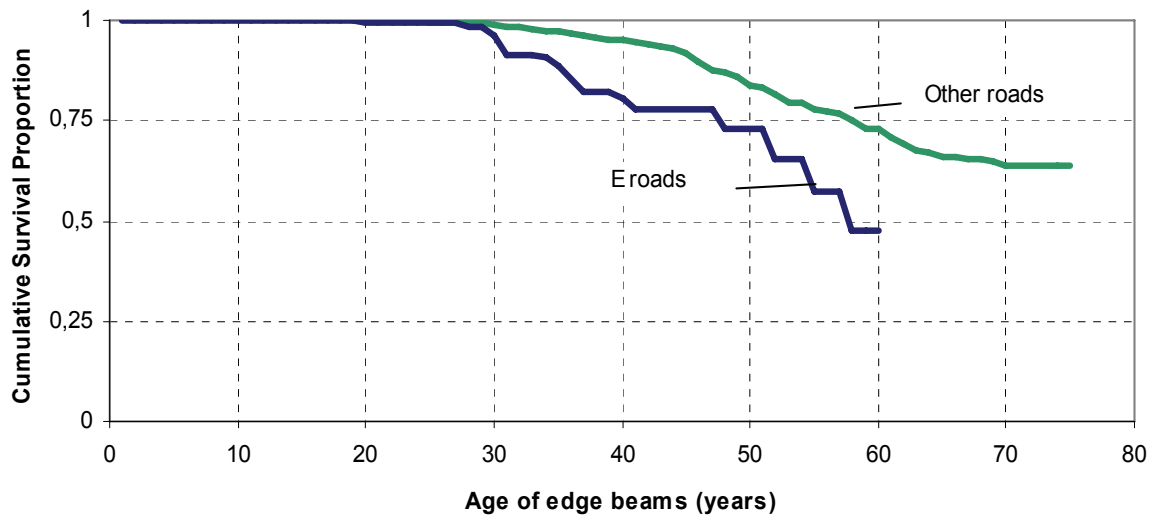


**Figure 6.3.** 135 replaced edge beams in VMN during 1990-2005 sorted by road type and age of edge beam.



## 6.4 Survival analysis of replaced edge beams

The survival analysis of the replaced edge beams located on E roads in VMN is based on 368 bridges with no recorded replacements and 30 bridges with recorded replacements during the period 1990-2005. In the survival analysis the edge beam is defined as “dead” when it is replaced. Minor repair is not calculated since the old edge beam is “still alive”. The survival analysis of the replaced edge beams located on other roads is based on 782 bridges with no recorded replacements and 105 bridges with recorded replacements during the period 1990-2005, see **Figure 6.4**.



**Figure 6.4.** Survival curves for edge beams located on E roads and other roads in VMN. The survival curve had been curtailed when there are only about five objects still at risk.

From **Figure 6.4** one can read that the median survival time, the time when the curve crosses the cumulative survival proportion ( $p$ ) of 0.5, for edge beams located on E roads is 58 years. The median survival time for edge beams located on other roads cannot be calculated since the survival curve does not drop below 0.5. **Table 6.1** shows the different ages of bridges at the cumulative survival proportion of 0.95 and at the end of the curve.

**Table 6.1.** Real service life of edge beams located on E roads and other roads in VMN.

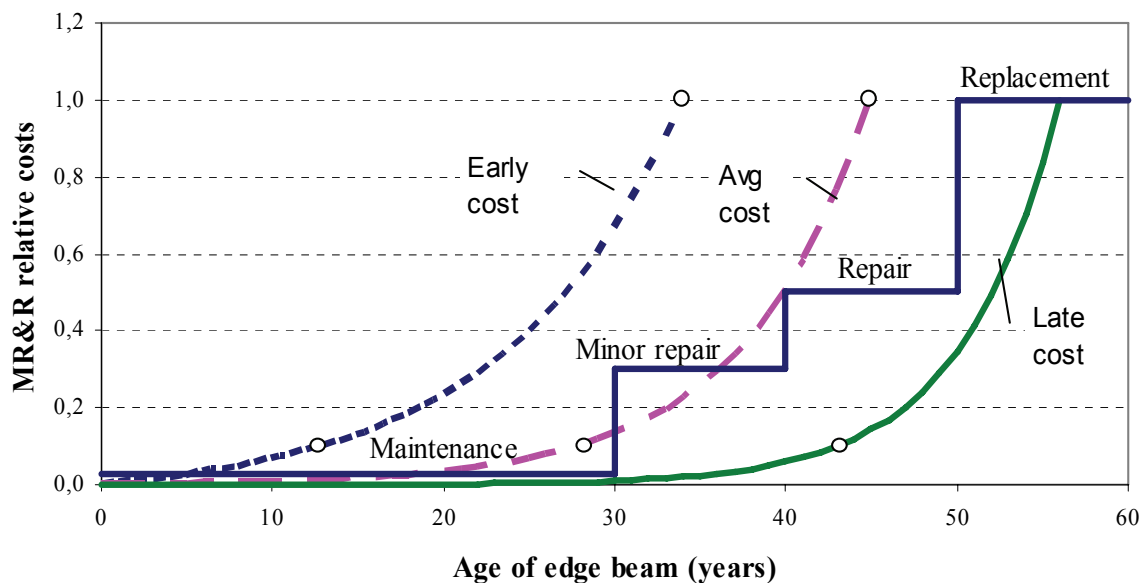
Type of road	Min ( $p = 0.95$ )	Median ( $p = 0.5$ )	At the end of the curve
E roads	30 years	58 years	60 years ( $p = 0.48$ )
Other roads	40 years	n/a	75 years ( $p = 0.64$ )

For young edge beams (up to about 25 years) no difference could be noted for edge beams located on European roads compared to edge beams located on other roads (see **Figure 6.4**). As the edge beams gets older the difference increases between edge beams located on European roads (shorter service life) compared to other roads (longer service life).

## 6.5 Costs for replacement and minor repair of edge beams

In BaTMan there is a list of costs for different kinds of bridge work, excluding the contractors establishing costs. In this list the cost to replace 1 m of edge beam is about 5 kSEK (1 kSEK is about 100 €, Oct 2008). Costs for minor repairs like patch repair of the old edge beam and repair of the parapet post fixing can also be found in this list. If one converts the costs for the minor repairs to replacement costs, the minor repair will be about 10 % of the replacement cost of the edge beam.

If we use the findings, in Section 6.2, that the average age for replacement of the edge beam was 45 years with a standard deviation of 11 years and that average age for minor repair of the edge beam was 28 years with a standard deviation of 15 years, and assuming that minor repair cost is 10 % of replacement cost we can construct a relative cost diagram for the edge beam. First we construct the average cost curve using 45 years for replacement (100 %) and 28 years for minor repair (10 %). The early cost curve and late cost curve was constructed using 34 years and 56 years, respectively, for replacement and 13 years and 43 years, respectively, for minor repair, see Figure 6.5.



**Figure 6.5.** Relative costs for maintenance, repair and replacement of edge beams in VMN (exponential curves) and Stockholm area (step curve), respectively.

From the Figure one can see that the relative cost for the edge beam is low at early age and increases as the edge beam gets older. One can also see that there is some 20-30 years difference between early cost and late cost. This means that the knowledge and judgment of the responsible bridge engineer is important when deciding what to do with an edge beam that slowly deteriorate and when to do it.

To compare the results from VMN rule of the thumb data for edge beams in the Stockholm area have been gathered from Stockholm Konsult, *Silfverbrand & Sundquist (2001)*. Edge beams with an age of about 50 years need to be replaced if they have not been repaired during the last 20 years. The replacement cost of 1 m edge beam is about 5 kSEK (Replacement). For an edge beam with an age of about 30-40 years it could be enough to dismantle the railings, remove only

the damaged part with water jet and cast replacing concrete. If the edge beam is about 40 years one can assume that the damaged part is larger and the cost can be estimated to be about 50 % of the replacement cost (Repair). If the edge beam is about 30 years one can assume that the damaged part is smaller and the cost can be estimated to be about 30 % of the replacement cost (Minor Repair). For young edge beams it could be enough with “normal” maintenance (Maintenance), see **Figure 6.5**.

Both the data from VMN and Stockholm area show similar relative cost development for the edge beams. The relative cost for the edge beam is low at early age and increases at an accelerating rate as the edge beam gets older. It indicates that it is cost effective to keep the edge beam in good condition by means of preventive bridge maintenance before the deterioration process starts to accelerate



## 7. EXPERIENCES FROM OTHER SECTORS

### 7.1 Introduction

The author of this thesis has searched for procurement of bridge maintenance based on functional demands but has not found anything. Instead the search for information has been in near related sectors and an interesting example is presented here.

A seminar on “Long maintenance contracts” was held in Stockholm during December 2007, which the author of this thesis attended. Among the speakers was a representative from the municipality of Norrtälje (the client) who informed about experiences of contracting out Water and Sewage operations on a ten year long maintenance contract (2002-2011). A representative from the contractor, Veolia Water, informed the audience about the experiences from a contractor’s point of view. The author thought that there were some similarities with the principles for Integrated Bridge Maintenance so it was decided to have a meeting and share our experiences. The meeting was held in January 2008 and the outcome is presented below.

### 7.2 Background to the contract

The municipality of Norrtälje is located some 20-100 km northeast of Stockholm, see **Figure 7.1**. The municipality decided during 1999 to outsourcing the Water and Sewage (WS) operations. The major reason for this was that the municipality wanted to reduce the costs for the WS activities. The amount of seepage water was also high, about 35-40 %. With seepage water means how much of the water that is leaking from the water works and that not will reach the end customer. Besides so had the municipalities of Åre, Vaxholm and Vallentuna already outsourced their WS activities with promising results, which was encouraging for the municipality of Norrtälje.



**Figure 7.1.** The municipality of Norrtälje is located northeast of Stockholm.

## **7.3 Tender documents and offer**

Norrtälje WS-division worked with the preparation of the tender documents during 2000.

A prequalification for the contract was announced during the spring of 2001. A number of contractors showed their interest in the contract. Norrtälje WS-division evaluated the potential contractor's competences and abilities to perform the work. The outcome of the evaluation was a short list containing three contractors that was deemed capable to carry out the complete scoop of work. The three contractors were Veolia Water, Anglia Water and NCC.

These three contractors were invited to submit offers for the contract during the summer and autumn of 2001. A condition from the municipality was that the offer must be below the municipality's self cost for the WS activities. Veolia Water was the lowest bidder and was awarded the contract. The contract was signed by both parties in December 2001. The contract was ten years (1 Jan, 2002 – 31 Dec, 2011) with an option for two more years (1 Jan, 2012 – 31 Dec, 2013). At the end of 2008 the parties will decide if the option will be used or not.

Some short facts about the contractor Veolia Water: provides drinking water and wastewater treatment services to more than 130 million people around the world, about 83 000 employees, permanent operations in 60 countries, revenue of €11 billion for 2007, managing about 5 000 contracts around the world. Source: [www.veoliavatten.se](http://www.veoliavatten.se). (Oct 2008).

## **7.4 Start of the contract**

When the contract started in 2002 the contractor was supplied with all technical documentation about the WS net, e.g. statistics for historical leakage, and was handed over inventories and belonged buildings. An inspection was carried out in order to determine the status of the WS net. About 10 % of the waste water pipes and surface water pipes were filmed inside on random selected geographic spots. The results from the filming were deemed to represent the whole WS net. Further all buildings above ground were photographed, both the inside and the outside, e.g. purifying plants, water works, booster stations, pump stations and water tower.

Veolia Water was also offered by the municipality to employ its WS personnel. Veolia Water invited all interested personnel on a trip to France, where Veolia Water showed them some examples on their activities. After that trip almost all of the personnel (about 20 people) agreed to be employees of Veolia Water.

## **7.5 Yearly planning**

The contractor has at the end of every year presented a list with prioritized reinvestments and investment in the WS net to the client. Reinvestments are the normal way to perform planned maintenance since it is difficult to maintain buried pipes. An example of reinvestment is relining, that is first cracking the existing pipe and thereafter apply glass fibre-reinforced plastic inside the pipe. Investment is a new pipe. The contractor and the client agree together what to do next year. About 75 % of the client's budget is reserved for the list and 25 % is for unforeseen.

## **7.6 Follow-up during the contract period**

Two kinds of meetings are held, at least once a month, for following-up the contract: operation meetings and contract meetings. The operation meeting is focused on technical issues, e.g. last month's operation journal and the status on ongoing reinvestments and investments. The contract meeting deals with economical and contractual issues.

## **7.7 Cost division in relation to maintenance work**

The contractor will take care of all acute leakages that are visible on the ground, up to a cost of 30 kSEK (about 3 000 €, Oct 2008). When active leakage seeking is performed (costs 30-100 kSEK) the client and the contractor split the cost. Active leakage seeking is to investigate certain parts of the WS net that maybe could have a leakage, but no water is visible on the ground.

## **7.8 Common goals in the project**

In this project the client and the contractor has formulated some common goals, e.g. carrying out the agreed work during the year without exceeding the costs in the budget, to increase the customer satisfaction index from the current value of 65 % and to reduce the seepage water with 2 % per year from the current value of 29 %. The contractor works with active leakage seeking in order to reduce the seepage water.

## **7.9 End of the contract**

How the inspection at the end of contract will be done have not been decided yet. Some suggestions were presented by the client on the meeting in January 2008. Presumably the inspection at the end of the contract will be carried out in a similar way that the inspection at the start of the contract was done. As a suggestion the pipes could be classified in a scale from 1 to 5, in which 1 is very bad, 3 is average and 5 is very good. The results from inspection at the end of the contract together with the contractor's documentation during the project are compared with the documents at the start of the contract. If the status of the WS net is deemed to be in a worse condition the contractor will pay penalty. If the status is in a better condition it is the client's opinion that the contractor already has been paid for this during the project. At the comparison a neutral zone could be +/- 10 %.

## **7.10 New procurement after the end of the contract**

After the end of the contract, the client plans to procure Water and Sewage operations on a long maintenance contract again. It is a good idea to have more incentives in the future contract in order to continue to increase the effectiveness. The incentives should be easy both to understand and to calculate with a simple equation. It is also important that both the client and the contractor should benefit if the goals are reached. The goals could for instance be to decrease the seepage water and that the costs should be lower than budgeted with the same or better quality. These are goals that will benefit the client, if they are reached, and the contractor should have a part of this. The idea with this kind of incentives is to stimulate creative thinking processes,

development of better methods and that the work hopefully will be done in a better technical and administrative way.

## **7.11 Experiences from the contract's first five years**

Both the client (the municipality of Norrtälje) and the contractor (Veolia Water) are satisfied, so far, with the project. During the project a good working relationship has been developed between the client and the contractor, and the WS work have been lifted up as an interesting activity. The client could focus more on long term planning instead of acute seepage activities. Besides the client now has a better WS net, to a lower cost, compared if the client should have continue to do the work instead of the contractor. The personnel have also developed thanks to the knowledge and expertise from the whole of Veolia Water's organization. According to Veolia Water it is profitable, both for the client and for the contractor, with long maintenance contracts (at least 10 years).

## **7.12 Comments**

There is a risk that the decision-maker's underestimates the costs for future maintenance needs, *Westerlund (2008)*. It seems to be a weak point in the public budget that it is not possible to fund maintenance means. When times are good some means could temporarily be funded for maintenance, but not for more than maximum three years. During bad times it is easy for the decision-maker to reduce the means for maintenance. One could say that maintenance means is used as a budget regulator depending on the current economic situation. The major reason to the so called "maintenance mountain" is that funding for maintenance during bad times is insufficient. There is a need for long term planning and maintenance funding for structures with a long expected service life, for instance 50-100 years for WS pipes.

It would also be interesting to perform more interviews with Veolia Water how they manage long maintenance contracts in other countries. This could give valuable ideas and insights.



## **8. PROCUREMENT OF INTEGRATED BRIDGE MAINTENANCE**

### **8.1 General guidelines**

This Chapter gives general guidelines and recommendations on how to procure Integrated Bridge Maintenance (IBM). In Section 8.2 a suggestion how to procure IBM for the whole of SRA region Mälardalen (VMN) is presented.

#### **8.1.1 The condition of the actual bridge stock**

Before designing a tender for Integrated Bridge Maintenance the bridge manager should have a good understanding about the condition of the actual bridge stock. To manage a bridge stock optimally from a life cycle perspective is a very complex task, since the conditions for the individual bridge can vary greatly from place to place resulting in different degradation processes and rates. It is a clear advantage if the bridge manager has an idea about the answers on the research questions 2-5, that is presented in this thesis (see Chapter 4-6), for the actual bridge stock. This also makes it possible to identify the specific measures that need to be handled outside the specification of the properties.

#### **8.1.2 The area the contract should cover**

It is important with a careful choice of the area that a contract should cover. The client has to take into account a number of short run and long run aspects including economies of scale, transportation costs, information problems and competition in the long run.

The client is also interested to design a contract that attracts many potential contractors to submit their tenders in the short run.

The average business volume was about 2 MSEK/employee in the construction sector during the period 2000-2004 (*Mattsson 2006*). If one assumes that a bridge maintenance group should consist of about 3-6 persons including supervisor, this will result in a contract value of about 6-12 MSEK/year. This contract value can be seen as a minimum value when choosing area and number of bridges and the balance between properties and measures.

#### **8.1.3 A good balance between properties and measures**

The mix of measures and properties: In a longer perspective it might be possible to contract directly on the things that are of importance for the final customers. At least for the foreseeable future contracting on properties for a large number of old bridges will create a lot of uncertainty for the contractor. Including a number of more easily calculable direct measures is a way of reducing the uncertainty for the contractor.

A good balance of the contract sum could be 15-25 % properties and 75-85 % measures, based on the experiences from the Uppsala project and the Orebro project

#### **8.1.4 The working cycle for properties**

In the short run the most important thing is to choose the right properties and make the properties as measurable as possible. It is also important to clarify how long the properties of a specific bridge are allowed to be below the level described in the contract. This should probably be differentiated between bridges and different types of characteristics

In the tender documents the cycle of properties should be defined, at least in a general way, and it is also a good idea to include estimated values of the number of shortcomings in the properties during a normal year. This will make it easier for the contractor to calculate the costs for inspections during the autumn and to rectify the noted shortcomings in the properties next spring/summer. The contractor will be paid for performed inspections (when the inspections have been registered) and when the noted shortcomings from the inspections have been rectified and registered. This will help the contractor to have a more stable cash flow during the year and creates also an incentive to perform the autumn inspections as soon as possible. One other outcome from the autumn inspections could be that the contractor presents a list of minor measures that falls between properties and measures in the contract. Then the contractor and the client could agree during the winter planning how much of the minor measures that should be carried out the next spring/summer depending on the client's available budget.

Similar thoughts were presented by *Kawamura et al., 2008*. "With an aim to bring up a culture to take care of the bridges in the vicinity by ourselves, we awarded a construction company a contract to do the whole Routine Maintenance works including annual inspection, cleaning, minor repair works on the bridges in the district. We believe that the Routine Maintenance is most effective and efficient to extend the bridges lives, and want to ask the construction companies to play a role of home doctor of the bridges. Since high level of technological background is needed to become a home doctor, we select the company through submitted proposals."

Making the costs for maintaining the properties easier to calculate will probably encourage more contractors to submit their tenders.

#### **8.1.5 A flexible contract**

As the current state of old bridges is partly unknown and that their development is difficult to predict it is important to build in flexibility into the contract. The longer the contract period is, the more likely it is that circumstances might change in such a way that both parties can gain by renegotiating the contract. An explicit partnering structure can reduce the transaction cost for such renegotiations, and would then be an important part of the contract.

#### **8.1.6 A suitable length of the contract**

When it comes to choose a suitable length of the contract (x years) inclusive an option (+ y years) the bridge manager needs to know something about the actual market.

Short contracts could be 3-6 years. The market is still open.

Long contracts could be 10-15 years and more. One contractor is dominating.

Optimal contract length is also worth investigating more in detail, as some contractors have suggested that the gains from Integrated Bridge Maintenance could be higher if the contract was longer. The optimal length will also depend how much flexibility can be built into the contract.

### **8.1.7 Good incentives in the contract**

It is also a good idea to have good incentives in the contract to stimulate innovations and creativity. But one can also argue that a long term contract with a fixed price maybe is enough in itself to stimulate innovations etc.

If one choose to have incentives in the contract or negotiate incentives during the project the outcome could be split on some kind of 50/50 basis between the client and the contractor. Take as an example repair of a bridge edge beam located on a road with heavy traffic. The repair work is planned to 12 weeks. The clients suggest to the contractor that for every week the contractor can reduce the work on the road he will receive a bonus. Then the contractor has an incentive to increase the productivity and the client (society) will benefit from less time of traffic interruption.

## **8.2 Suggestion for procurement of IBM in the whole VMN**

SRA region Mälardalen (VMN) contains 15 small districts. At the moment nine of them have introduced Integrated Bridge Maintenance (IBM) whereas six still have the preventive bridge maintenance in the "Basic operation and maintenance package" (GPD), see **Table 8.1**.

If we assume that the budget available for bridge maintenance is in the range 52-70 MSEK (this is in line with Section 3.5) and that procurement of packages (IBM) counts for about 75 % and that 25 % is set aside for major bridge maintenance objects and unforeseen, then one gets:

- Properties 8-12 MSEK/year
- Measures 32-40 MSEK/year
- Major measures and unforeseen 12-18 MSEK/year

Properties and measures can be procured together in one package or separately. The experiences from the Uppsala project and the Örebro project have been that the measures is relative easy to cost calculate compared to the properties. Further, the SRA wanted that more contractors should submit tenders for the projects.

**Table 8.1.** The current types of contracts for preventive bridge maintenance (IBM and GPD) and end of contract in VMN's 15 districts.

County	District	Type of contract	End of contract + (option)
Uppsala	Uppsala	IBM	31 Aug, 2010
Uppsala	Enköping	IBM	31 Aug, 2010
Uppsala	Tierp	IBM	31 Aug, 2010
Uppsala	Östhammar	IBM	31 Aug, 2010
Örebro	Örebro	IBM	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)
Örebro	Vingåker	IBM	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)
Örebro	Arboga	IBM	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)
Örebro	Nora	IBM	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)
Örebro	Askersund	IBM	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)
Västmanland	Västerås	GPD	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)
Västmanland	Heby	GPD	31 Aug, 2011 + (31 Aug, 2012)
Västmanland	Fagersta	GPD	31 Aug, 2012 + (31 Aug, 2013)
Södermanland	Flen	GPD	31 Aug, 2008 + (31 Aug, 2009)
Södermanland	Eskilstuna	GPD	31 Aug, 2009 + (31 Aug, 2010)
Södermanland	Nyköping	GPD	31 Aug, 2010 + (31 Aug, 2011)

### 8.2.1 Properties and measures procured separately

**Properties:** One could divide VMN into one to four packages with a contract length of 5 years + option 1 more year. This contract length makes it easier for the contractor that wins the contract to invest in its machinery park. In the tender documents the cycle of properties should be defined and it is also a good idea to include estimated values of the number of shortcomings in the properties during a normal year. This will make it easier for the contractor to calculate the costs for inspections during the autumn and to rectify the noted shortcomings in the properties next spring/summer. The contractor will be paid for performed inspections (when the inspections have been registered in BaTMan) and when the noted shortcomings from the inspections have been rectified and registered in BaTMan. The client needs also to consider how to handle the results from the inspection at the start of the contract. A suggestion is that the old contractor has a certain reasonable amount of time to rectify eventual noted shortcomings in properties. If the old contractor has not done the work after the time is out he should pay penalty and let the new contractor rectify the eventual noted shortcomings.

**Measures:** One could divide VMN into four packages with a contract length of 3 years + option 3 more years. The different packages could cover one or more counties, depending on the actual

condition of the bridge stock. Since most of the contractors said it was easier to calculate measures, this should lead to that more contractors will submit tenders. This assumes that the bridge manager (client) has a good knowledge about the actual condition of the bridge stock, so that a list with measures could be included in the tender documents. It is also important with flexibility in the contract, that is that the contractor cooperates and shows adaptability to the client's budget when something unforeseeable happens.

This suggestion could favour both small and large companies. The large companies could submit a tender for all packages (both measures and properties) and take an overall responsibility or just a few packages. For the small company maybe one contract (measures or properties) is enough to submit a tender for. To ensure an open market no contractor is allowed to win more than about half of the contracts.

### **8.2.2 Properties and measures procured in one package**

**Properties + Measures:** One could divide VMN into four packages with a contract length of 3 years + option 3 more years. The contracts should be designed in a similar way as described in the above.

This suggestion could also favour both small and large companies, since the risk in properties is balanced with more certainty in the measures. The contractor can also shift his bridge maintenance group between properties and measures when needed during the year.

### **8.2.3 What to do now?**

Most of the bridge maintenance contracts in VMN end 31 Aug, 2010, see **Table 8.1**. This will give the responsible bridge manager some time to consider what the next step should be.

A suggestion is that when the GPD package in Flen district end 31 Aug, 2009 the properties for the bridges could be included in the Örebro project for one year (1 Sep, 2009 – 31 Aug, 2010). The cost could be the same as in the Örebro project or negotiated.

The market need to be investigated in more detail during the next year (2009) before VMN decide how to proceed. But it should certainly create an interest in the construction branch if SRA will procure all bridge maintenance in VMN for a six year period (2010-2016). An alternative could be to procure about half of VMN for a six year period (2010-2016) and the other half for (2011-2017). Contract length could be 3 years + option 3 years for both alternatives.



## 9. CONCLUDING DISCUSSION

### 9.1 Discussion

The general result is that both the client and the contractor seem to benefit from the new contract Integrated Bridge Maintenance (IBM), which has been used for all bridges in Uppsala County since 2004 and for all bridges in Örebro County since 2007. The client are sure that they have got “more value for the money” when bridge maintenance is an activity of its own. The contractor has a guaranteed business volume during a number of years and could build up the competence as a basis for continued and additional profitable operations. Both the client and the contractor have realised more or less all of the possible gains that were suggested in Section 2.2.2 and have thereby created a win-win situation (see *FLA, 2008*). Development requires a certain business volume. The client and the contractor have shared their experiences during the contract period, both regarding theory and implementations as well as interpretation of SRA’s regulations. One can say that the competence in bridge maintenance has been maintained and have been developed both with the client and with the contractor. This can be interpreted as an indication of desirable results in a successful project (see *Bröchner, 1989*). A lot speaks for that the IBM model could be further developed and implemented in more areas both in Sweden and abroad. The society will probably gain on a long term basis if this model is implemented in a larger scale.

Is Integrated Bridge Maintenance a successful method to increase the effectiveness and to increase the standard in bridge maintenance alternatively increase the service life for the bridge stock at an optimal cost, that is will IBM lead to lower LCC? It is difficult to answer this question with exact numbers after so short time, but so far is the opinion that the effectiveness has increased. SRA’s headquarter has estimated that the possible gains could be about 280 MSEK “It looks like we will increase the preventive bridge maintenance and decrease the measures. At the moment we are spending about 800 MSEK per year for bridge maintenance activities. If we introduce IBM in more places from 2009 and in all of Sweden from 2011, we do not think that we will save any money during this period, but a reallocation from measures to preventive bridge maintenance. During 2012 we can see a possible savings of about 1 % of the costs that is about 10 MSEK. During 2013 we save an additional 10 MSEK and so on until 2018, where we can save some additional 70 MSEK that is close to 10 % of the 2009 year’s budget. Accumulated during the period 2009-2009 there could be a possible savings in the order of 280 MSEK” (*Stigberg 2008*).

The examples with edge beams in Chapter 5 indicate that early preventive bridge maintenance is cost effective in a LCC perspective. It is very difficult to exactly describe a degradation process in time for a certain bridge. That is why it is important with knowledge and competence both with the client and the contractor. But most important is that the society reserves enough means for the bridge maintenance that is profitable from a LCC-perspective. A recent study shows that the return on investments is about tenfold in the concrete research and development area (*Silfverbrand & Johansson, 2007*).

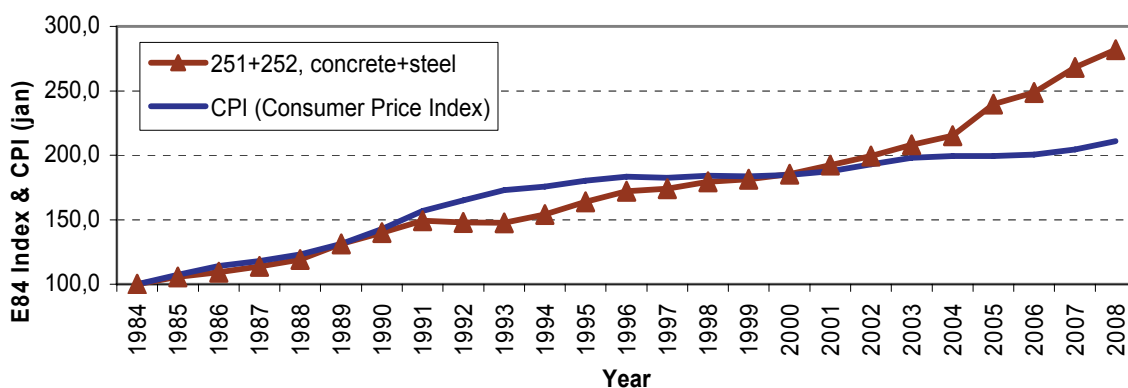
SRA’s indicators Condition Classes (CC) and Lack of Capital Value (LCV) are just rough estimates and could not, at the moment, be a part of a contract regulating the terms for the contractor. It has been observed that the time between observation of damage (CC 1-3) and measures carried out has varied within a large range.

In order to obtain a LCV value for a bridge, the fictive cost for the damaged part is divided with the fictive cost for reconstruction. The real cost for the needed measures is often 2-10 times greater than the fictive cost depending on, for instance, that a contractor's establishing cost is excluded and that more work is carried out and on traffic safety measures. A bridge stock consists of many different types of bridges and different foundations. Therefore the reconstruction cost is estimated with stereotyped costs, which means that a large bridge stock is required, so that hopefully overestimates and underestimates cancel each other out.

Since CC and LCV both are rough indicators of the actual condition of the bridge stock, it is necessary that the responsible bridge manager has enough knowledge and competence when it comes to interpreting these and other indicators, and translating them into an effective bridge management.

Furthermore, one needs to consider that only about 1-2 % new bridge deck area is added to the existing bridge stock every year, and that these new bridges should be managed optimally during their whole expected service life. But sometimes it seems that the decision-makers forget to include the existing bridge stock when discussing infrastructural investments, not being aware of that there are about 98-99 % of all the bridges.

A bridge manager then has the ungrateful task to manage more bridges, which gets older, for less real means. This is because the client's budget, more or less, follows the Consumer Price Index (CPI) in Sweden, while the client, in general, pays the contractor according to the contractor's index Entreprenadindex 84 (E84), see **Figure 9.1**. From the figure one can see that the weighted E84 (75 % concrete bridge work 251 and 25 % steel bridge work 252) has increased on average with 1 % more every year compared with CPI during the period Jan 1984 – Jan 2008. If the SRA's does not get substantial increased budgets for bridge maintenance in the future, the consequence must be that SRA need to allow the bridges to deteriorate more before measures are carried out. This will require more expertise knowledge both with the client and the contractor in the future to meet this great challenge and put the limited resources to the best use.



**Figure 9.1.** CPI and E84 (75 % concrete bridge work 251 and 25 % steel bridge work 252) during the period Jan 1984 – Jan 2008.

To sum up, the main purpose with the doctoral project has been reached. A model for procurement of bridge maintenance has been developed; see the projects in Uppsala and Örebro. The contractor has developed more effective methods for bridge maintenance. The doctoral project has been a step closer to the end goal of reducing the society's costs for bridge maintenance in the future. The bridges should be functional to the lowest possible cost during its expected



service life (LCC). The doctoral project has also contributed with new knowledge in the area of bridge maintenance, the actual development of a bridge stock over time, real service life for road bridges in Sweden and survival analysis.

## 9.2 Further research

There is still a lot of research left to do in the field of bridge maintenance and procurement of bridge maintenance. The number of deteriorating bridges is increasing and the costs for maintenance, repair and rehabilitation of these bridges far exceeds current available budgets. A major concern for bridge management is to maintaining the safety of existing bridges by making better use of available resources. Below is some suggestion on future research:

- Continue to follow-up the ongoing Uppsala project and Örebro project. Based on the continuous experiences in the projects further develop the IBM concept regarding optimal bridge maintenance area, length of contract, working cycle for properties, flexibility in the contract, incentives for innovations and bonus/penalty. This accumulated experience could be used for procurement of new IBM contracts.
- How much bridge maintenance is needed to increase the service life of different types of bridges or increase the proportion that reaches the cumulative survival proportion ( $p$ ) of 0.95? Develop methods that more precise could predict the remaining real service life for bridges.
- Develop simplified methods for LCC calculations and perform LCC analysis on existing bridge stocks, both on the basis on survival analysis and different budget scenarios. How will improved regulations and improved bridge maintenance effect LCC? How can the use of IBM be calculated?
- Develop the LCV concept. Find relations between the local damage costs and the real costs associated to the measures carried out. A developed LCV concept could in a later stage be a part of a bridge maintenance contract. For instance could a goal in a contract be to keep this developed LCV-value in “status quo” during the contract period. If the bridge stock is in a better condition at the end of the contract then the contractor will receive a bonus. If the bridge stock is in a worse condition then the contractor need to pay penalty. In a “neutral zone” neither bonus nor penalty would be paid.
- How effective is it to impregnate the edge beam? Is the cost associated with water repellent treatment reasonable in relation to the expected increase in service life? Can the same effect be achieved by washing the edge beam more often then once a year and what is the cost for this (see *Silfverbrand, 2008*)? What is the optimal LCC-strategy?
- Development and adjustment of the model for Integrated Bridge Maintenance to other areas and places in Sweden and also to other countries’ bridge stocks and regulations.



## REFERENCES

Cover extended summary, Swedish summary and appended Papers 1-7.

- Abed-Al-Rahim I J & Johnston D W (1995). Bridge Replacement Cost Analysis Procedures. In Transportation Research Record No 1490, p.23-31, National Academy Press, Washington D.C
- Altman D G (1991). Practical Statistics for Medical Research. Chapman&Hall, London, pp. 365-395.
- Al-Subhi K M, Johnston D W and Farid F (1989). Optimizing System Level Bridge Maintenance, Rehabilitation and Replacement Decisions. Report FHWA/NC/89-001.
- Boverket (1994). Boverkets handbok om Betongkonstruktioner (BBK 94). ISBN 91-7332-686-0. Stockholm, Sverige.
- Bröchner J (1989). Utvecklingsprojekt med bidrag från SBUF. Utvärdering av branschnytta. Meddelande nr 24, TRITA-BBO-024. Inst för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation, KTH, Stockholm.
- Bröchner J (2006). Svenska byggare innoverar. Rapport, SBUF, Stockholm.
- Camsys (2007). <http://www.camsys.com>
- Cheng Y-M & Leu S-S (2008). Constrained-based clustering model for determining contract packages of bridge maintenance inspection. Automation in Construction, forthcoming.
- Chou J-S, Wang L, Chong W K, O'Connor J T (2005). Preliminary Cost Estimates Using Probabilistic Simulation for Highway Bridge Replacement Projects. Construction Research Congress 2005. American Society of Construction Engineers 2005, [www.ascelibrary.org](http://www.ascelibrary.org).
- Coase R (1937). The Nature of the Firm. *Economica*, 4(16), pp. 386-405.
- Coase R (1991). The Institutional Structure of Production. Lecture to the memory of Alfred Nobel, December 9, 1991. Available from [www.nobelprize.org](http://www.nobelprize.org)
- Correialopes M & Jutila A (1999). Contracting Procedures, Design and Construction Costs for Bridges in European Countries, Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering
- Daniel W W (2005). Biostatics. A Foundation for Analysis in the Health Sciences, 8<sup>th</sup> edn. Wiley, Hoboken NJ, pp. 647-658.
- Danish Road Directorate (2001). The State Road Network. A survey of current status and development. Report 234. ([www.vejdirektoratet.dk](http://www.vejdirektoratet.dk))
- Enright M P & Frangopol D M (1999). Maintenance Planning for Deteriorating Concrete Bridges. *Journal of Structural Engineering*, December 1999: pp. 1407-1414.

- Eriksson D & Swanlund S (1993). Förebyggande underhåll. (Preventive bridge maintenance). Examensarbete 1993:9, Dept. of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, MSc thesis.
- Esping U & Olsson U (2004). Partnering in a railway infrastructure maintenance contract: a case study, part I & part II. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol 10, nr 4, pp 234-253.
- Förnyelse i anläggningsbranschen FIA (2006). Samverkan för högre effektivitet. VV, AL90 05:10329. <http://www.fiasverige.se/>
- FIA (2008). Serieköp – en bra affär för båda sidor. <http://www.fiasverige.se/>
- Frangopol D M & Estes A E (1999). Optimum Lifetime Planning of Bridge Inspection and Repair Programs. *Structural Engineering international* 3/99: pp. 219-223.
- Frangopol D & Liu M (2007). Maintenance and management of civil infrastructure based on condition, safety, optimization, and life-cycle cost. *Structure & Infrastructure Engineering*, vol 3, nr 1, pp 29-41.
- Graybeal B A (2001). Reliability and Accuracy of In-Depth Inspection of Highway Bridges. *Transportation Research Record* 1749, Paper No. 01-2337, pp. 93-99.
- Gkritza K, Rodriguez M, Labi S and Li Z (2007). Development of Bridge Preservation Cost Models for Planning, Programming, and Budgeting Paper 07-1894, TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington D.C. 21-25 January 2007, Accessed 1 February 2007. [http://www.trb.org/am/ip/paper\\_detail.asp?paperid=16205](http://www.trb.org/am/ip/paper_detail.asp?paperid=16205)
- Haim S (2005). Funktion, egenskapskrav och åtgärdstider som underlag för effektivisering av brounderhåll. (Function, properties and time demands as basis to increase effectiveness in bridge maintenance). TRITA-BKN Examensarbete 228, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, MSc thesis.
- Henriksen A (2000). Bridge Management – Routine Maintenance Recent Experience with the Routine management Module in the DANBRO Bridge Management System. *Transport Research Circular*. No. 498, Vol II, pp. I-5/1 – I-5/13.
- Herlevsson K & Oldgren E (1987). The durability of large road culverts made of corrugated steel. An investigation in Norrbotten County. TRITA-VBG Bulletin 1987:03. Dept. of Highway Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Herk S, Herder P M, De Jong W M, & Alma D S M (2006). Innovative contracting in infrastructure design and maintenance, *International Journal of Critical Infrastructure*, vol 2, nr 2-3, pp 187-200.
- Ingvarsson H & Westerberg B (1985). Drift och underhåll av konstbyggnader. Kunskapsläge och FoU-behov. VTI meddelande 449. Linköping, Sweden.
- Johansson A (2006). Impregnation of concrete structures: transportation and fixation of moisture in water repellent treated concrete. TRITA-BKN. Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Lic thesis.

- Johansson D (2008). Analys av brounderhåll för Vägverket i region Mälardalen 2004-2007. (Analysis of bridge maintenance in SRA's region Mälardalen 2004-2007). Mälardalens Högskola, Västerås, BSc thesis
- Joskow P (1985). Vertical Integration and Long-term Contracts: The Case of Coal-burning Electric Generating Plants. *Journal of Law, Economics and Organization*, vol 1, pp. 33-80.
- Kaneuji M, Kawamura H, Soma M, & Watanabe E (2008). Development of BMS and possibility of performance based contracting using BMS. *Proceedings of IABMAS' 08, Seoul, Korea, 2008*, pp. 394-395.
- Kawamura H, Kudo K, Soma M, Kawaragi H & Kaneuji M (2008). Effective bridge management using ABMS. *Proceedings of IABMAS' 08, Seoul, Korea, 2008*, p. 393.
- Kong J S & Frangopol D M (2003). Evaluation of Expected Life-Cycle Maintenance Cost of Deteriorating Structures. *Journal of Structural Engineering*, May 2003: pp. 682-691.
- Konkurrensverket (2007). *Konkurrensen i offentlig upphandling*. Stockholm, Sverige.
- LIFECON (2007). <http://lifecon.vtt.fi/>
- Liljegren E (2003) *Konkurrensutsättning av Vägverkets drift- och underhållsverksamhet*. TRITA-INFRA 03-064. Dept of Infrastructure, KTH, PhD thesis.
- Liu C & Itoh Y (2001). Information technology applications for bridge maintenance management. *Logistics Information Management*, vol 14, nr 5/6, pp 393-400.
- Markow M J et al. (1993). Optimal Rehabilitation Times for Concrete Bridge Decks. *Transportation Research Record No. 1392*: pp. 79-89.
- Mattsson H-Å (2006). Funktionsentreprenad brounderhåll. En pilotstudie i Uppsala län. (Bridge Maintenance based on Functional Requirements. A Case Study in Uppsala County). TRITA-BKN Bulletin 82, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Lic thesis.
- Mattsson H-Å & Sundquist H (2007a). The real service life and repair methods of steel pipe culverts in Sweden. 1<sup>st</sup> European Conference on Buried Flexible Steel Structures, Rydzyna, Poland, 2007.
- Mattsson H-Å & Sundquist H (2007b). The real service life of road bridges. *ICE Bridge Engineering*, Vol 160, Issue BE4, 2007, pp.173-179.
- Milgrom P & Roberts J (1992). *Economics, organization and management*. Prentice Hall, New Jersey.
- Ng T & Wong Y (2007). Payment and audit mechanism for non private-funded PPP-based infrastructure maintenance projects. *Construction Management and Economics*, vol 5, pp 915-924.
- Nilsson U (1995). Funktionsentreprenader för vägbroar. Upphandlingsmodell. Lic thesis 1995:33, LTU, Luleå.

- Nyström J (2007). Partnering: definition, theory and evaluation. Division of Building and Real Estate Economics, KTH, PhD thesis.
- OECD (1992). Bridge management, OECD, Road Transport Research, Paris 1992. ISBN 92-64-13617-7.
- Olsson U (1993). Funktionsentreprenad för drift och underhåll av vägar och gator. (Contracting yearly standard operation and maintenance for roads and streets), PhD thesis, Luleå 1993:135.
- Pettersson L & Sundquist H (2007). Design of long span flexible metal culverts. TRITA-BKN. Report 58, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.
- Phares B M (2001). Reliability and Accuracy of Routine Inspection of Highway Bridges. Transportation Research Record 1749, Paper No. 01-2837, pp. 82-92.
- PIARC (2004). Technical Committee on Road Bridges and other Structures (C11), Comparison Study on Bridge Management Activities, <http://www.piarc.org/en/>.
- Pritchard B (1991). Bridge design for economy and durability, Thomas Telford, London 1991.
- Purvis R (1999). Integrating Preventive Maintenance Management into BMS. Transportation Research Circular 498, Vol I, pp. E-2/1 – E-2/14.
- Racutanu G (2000). The Real Service Life of Swedish Road Bridges – A case study. TRITA-BKN Bulletin 59, Dept. of Structural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, PhD thesis, 2000.
- Saito M, Sinha K C and Anderson V L (1991). Statistical Models for the Estimation of Bridge Replacement Costs. In Transpn. Res.-A, Vol 25A, No. 6, pp. 339-350, Pergamon Press, UK.
- Sarja A & Vesikari E (1996). Durability Design of Concrete Structures, RILEM Report 14, E & FN Spon, London 1996.
- Silfwerbrand J & Sundquist H (2001). Drift, underhåll och reparation av konstbyggnader. (Operation, maintenance and repair of bridges). TRITA-BKN Rapport 53, Dept. of Structural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
- Silfwerbrand J (2002). Aktivt brounderhåll – en förstudie. (Active bridge maintenance – a pilot study). TRITA-BKN Rapport 65, Dept. of Structural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm.
- Silfwerbrand J (2007). Technical demands for preventive bridge maintenance – A critical review. Paper presented at Fib Symposium, Dubrovnik, Croatia.
- Silfwerbrand J & Johansson A (2007). Innovationer inom betongområdet. CBI uppdragsrapport 2007-71, Stockholm.
- Silfwerbrand J (2008). Impregnation of Concrete Bridge Elements Exposed to Severe Environment – Is It Cost Effective?, Proceedings, Hydrophobe V - the 5<sup>th</sup> International Conference

- on Water Repellent Treatment of Building Materials. Brussels, Belgium, April 15-16, 2008, pp. 341-354.
- Sommer A M, Novak A S and Thoft-Christenssen P (1993). Probability-Based Inspection Strategy. ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 119, No. 12, pp. 3520-3536.
- SRA (Swedish Road Administration). BaTMan, <https://batman.vv.se>.
- SRA (1993a). BRO Handbok för broinspektion. Publ 1993:34. Borlänge, Sweden.
- SRA (1993a). BRO Mätning. Bedömning av broars tillstånd. Publ 1993:35. Borlänge, Sweden.
- SRA (1994). Vägutformning 94. Publ 1994:050. Borlänge, Sweden.
- SRA (1996a). ATB Rörbroar. Publ 1996:10. Borlänge, Sweden.
- SRA (1996b). Bridge Measurement and Condition Assessment, Publ. 1996:038 (E), Borlänge, Sweden.
- SRA (1999). ATB Rörbroar. Publ 1999:22. Borlänge, Sweden.
- SRA (2002a). ATB Bro 2002. Publ 2002:47. Borlänge, Sweden.
- SRA (2002b). ATB Brounderhåll 2002. (General Technical Regulations for Bridge Maintenance). Publ 2002:48. Borlänge, Sweden.
- SRA (2002c). SAFEBRO koder för inspektion. Publ 2002:77. Borlänge, Sweden.
- SRA (2004a). ATB Bro 2004. Publ 2004:56. Borlänge, Sweden.
- SRA (2003). ATB Väg 2003. Publ 2003:111. Borlänge, Sweden.
- SRA (2004b). Vägar och gators utformning (VGU). Publ 2004:80. Borlänge, Sweden.
- SRA (2004c). A new road. Publ. 88533. Borlänge, Sweden.
- SRA (2006). ATB Brounderhåll 2006. (General Technical Regulations for Bridge Maintenance). Publ 2006:146. Borlänge.
- SRA (2008). Resultat av enkäter om upphandlingar. Grundpaket drift 2007 (2006). Publ 2008:123. Borlänge, Sweden.
- SRA-P (2003) På Väg, nr 4. Borlänge.
- Stenbeck T (2007a). Bridge Budget Model – Further Maintenance or Replacement? Paper 07-0110, TRB Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington D.C. 21-25 January 2007, Accessed 1 Feb 2007. [http://www.trb.org/am/ip/paper\\_detail.asp?paperid=14386](http://www.trb.org/am/ip/paper_detail.asp?paperid=14386)
- Stenbeck T (2007b). Promoting Innovation in Transportation Infrastructure Maintenance. TRITA-BKN Bulletin 91, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, PhD thesis.
- Stigberg B (2008). E-mail 2008-05-19

- Stockholm Konsult (1996). Drift- och underhållsplan, Konstbyggnadsunderhåll 1995-2004. Rapport utarbetad av Stockholm konsult och Gatu- och fastighetskontoret, Stockholm.
- Sundquist H, Mattsson H-Å and James G (2004). Procurement of bridge management based on functional requirements. Second International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS, Kyoto, Japan, pp. 185-186.
- Swedish Competition Authority (2007). Konkurrensen i offentlig upphandling. (Competition in Public Procurement), Stockholm.
- Tervo M (2007). Towards automation and Lean Management: How to change the models of procurement? Presentation. [www.citris-uc.org/system/files/Tervo-Markku--How-to-Change.pdf](http://www.citris-uc.org/system/files/Tervo-Markku--How-to-Change.pdf)
- Troive S (1998). Structural LCC Design of Concrete Bridges, PhD Thesis, TRITA-BKN. Bulletin 41, 1998, ISSN 1103-4270, ISRN KTH/BKN/B--41--SE.
- Van der Toorn A & Reij A (1990). A systematic Approach to Future Maintenance. 1st Bridge Management Conference, Guilford, Surrey, UK.
- Westerlund H (2008). Presentation, Infrastrukturdagen 2008-02-01, Stockholm, Sverige.
- Wicke M (1988). Inspection, Assessment and Maintenance, 13<sup>th</sup> IABSE congress – Challenges to Structural Engineering, Helsinki, Finland.
- Vickerman R (2004). Maintenance incentives under different infrastructural regimes. Utilities Policy, vol 12, pp 315-322.
- Williamson O (1975). Markets and hierarchies: analysis and antitrust implications: a study in the economics of internal organization. Free Press, New York.
- Österberg R (2003). Contracting out Public Services. TRITA-INFRA 03-046. Division of Urban Studies, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, PhD thesis.



# SWEDISH SUMMARY – SAMMANFATTNING

## Integrerat brounderhåll Utvärdering av ett pilot projekt och framtida möjligheter

HANS-ÅKE MATTSSON\*

\* KTH Brobyggnad, SE 100 44, Stockholm, hans-ake.mattsson@byv.kth.se

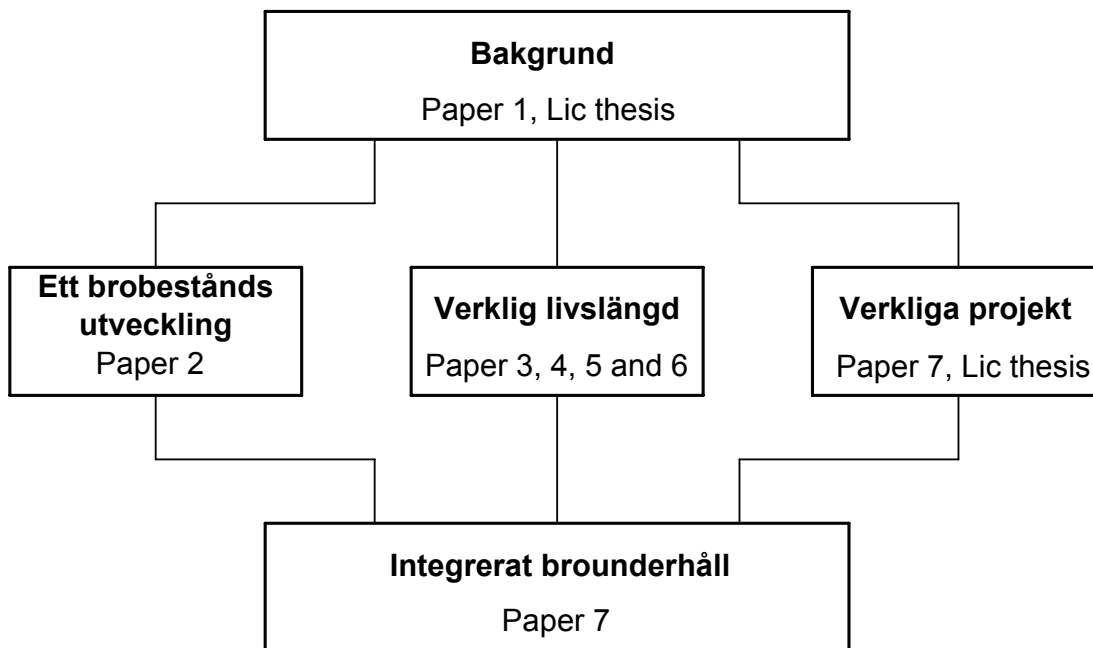
Denna doktorsavhandling är slutmål för doktorandprojekt CDU T16a: Ny upphandlingsform för brounderhåll. Doktorandprojektet startades 2003-02-17 och har finansierats av Vägverket, SBUF och Vägverket Produktion. Arbetet har genomförts på Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) inom ämnet Brobyggnad under åren 2003 - 2008. Sammanläggningsavhandlingen består av sju artiklar (fyra tidskriftsartiklar och tre konferensbidrag), varav den första kortfattat beskriver bakgrunden till projektet. En mer detaljerad beskrivning av projektets bakgrund och start finns i licentiatavhandlingen (2006). Gjorda erfarenheter under projektets gång beskrivs i den sista artikeln. Övriga fem artiklar syftar till att beskriva verkliga livslängder för olika typer av broar och hur ett brobestånd utvecklas över tiden. Detta bakgrundsmaterial ökar kunskapen om hastigheten för några vanliga konstruktionselements nedbrytning, t ex kantbalkar och rörbroar, och skapar ett bättre underlag för framtida bedömningar om lämplig nivå på brounderhållet. Det finns mycket publicerat om teoretisk nedbrytning (t ex kloridinträngning baserat på Fick's andra lag), men väldigt lite om verkliga livslängder. Därför har dessa studier gjorts, baserade på verkliga data.

Översatt till svenska, har de artiklarna följande titlar:

1. Sundquist H, Mattsson H-Å och James G. **Upphandling av brounderhåll baserat på funktionella krav.** Proceedings of the Second International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS, Kyoto, Japan, 2004, pp 185-186.
2. Mattsson H-Å, Sundquist H och Stenbeck T. **Broars utrivnings- och nybyggnadstakt: inspektionsdatabaserade indikatorer.** Bridge Structures, Vol. 4, Issue 1, March 2008, pp. 33-47.
3. Mattsson H-Å, Sundquist H. **Verkliga livslängder och reparationsmetoder för rörbroar av stål i Sverige.** Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Buried Flexible Steel Structures, Rydzyna, Poland, 2007, pp. 185-193.
4. Mattsson H-Å, Sundquist H. **Nedbrytning, reparationsmetoder och verkliga livslängder för samverkande jord-stålbroad i Sverige.** Proceedings of IABMAS' 08, Seoul, Korea, 2008, p. 429.

5. Mattsson H-Å, Sundquist H. **Broars verkliga livslängder**. ICE Bridge Engineering, Vol. 160, Issue BE4, 2007, pp. 173-179.
6. Mattsson H-Å, Sundquist H och Silfwerbrand J. **Verkliga livslängder och reparationskostnader för kantbalkar**. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 13, No. 4, 2007, pp. 215-228.
7. Mattsson H-Å, Lind H. **Erfarenheter från upphandling av Integrerat Brounderhåll i Sverige**. Accepterad av European Journal of Transport and Infrastructure Research i september 2008.

Förhållandet mellan de olika artiklarna visas i **Figur 1.0**.

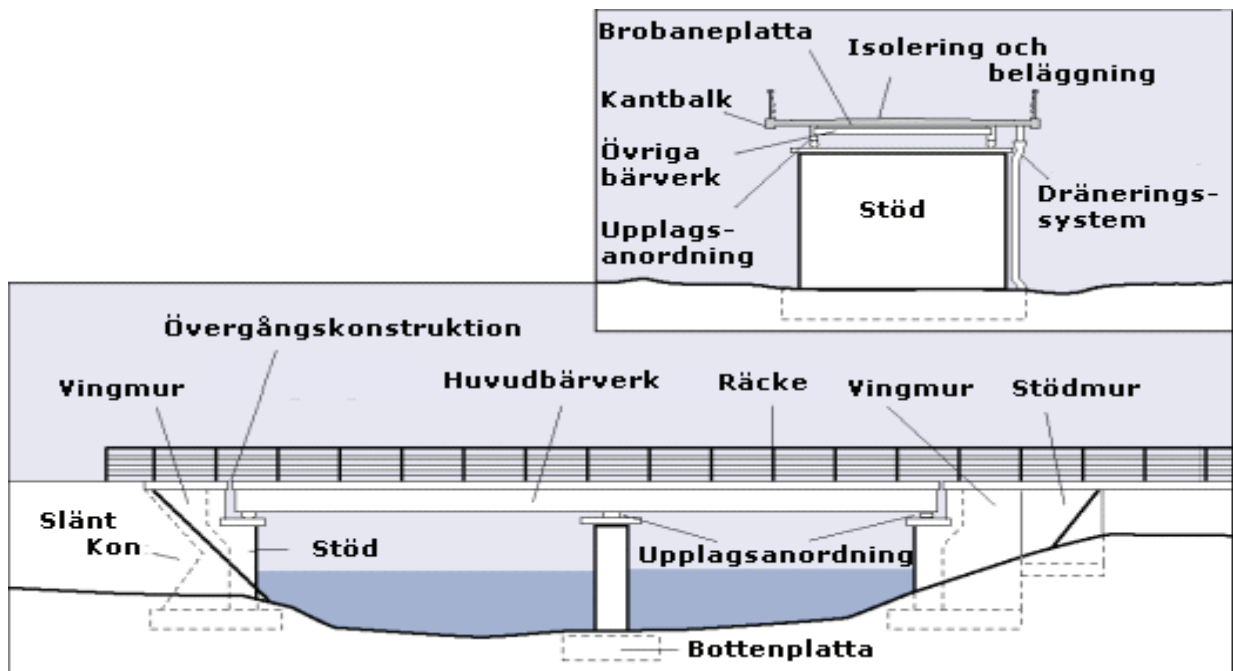


**Figur 1.0.** Förhållandet mellan de ingående artiklarna.

# 1 Introduktion

## 1.1 Allmänt

Broar är en viktig del av ett lands vägnät. Det är därför nödvändigt att broarna är i gott skick för att säkerställa att trafiken kan passera på ett säkert och smidigt sätt. Enligt Vägverkets nuvarande juridiska indelning är även en trumma eller kulvert med minst 2 m spännvidd en bro. Vägverket förvaltar ca 15 500 broar (våren 2008) med en total bro area ca 4.3 km<sup>2</sup>. Vägverket har delat in en bro i olika konstruktionsdelar, se **Figur 1.1**.



**Figur 1.1.** Vägverkets uppdelning av en bro i olika konstruktionsdelar.

## 1.2 Bakgrund till projektet

I Vägverkets organisation före 1992 fanns på vägförvaltningens driftkontor som regel en bropatrull, bestående av 3-6 st yrkesarbetare och en broingenjör, med uppgift att svara för inspektioner, underhållsarbeten (egenskaper) och smärre reparationer (åtgärder) av broarna på det statliga vägnätet i ett län, se **Tabell 1.1**. Exempel på egenskaper och åtgärder ges i avsnitt 3.2.

Efter uppdelning av Vägverket 1992 i en beställarorganisation (Vägverket) och en utförarorganisation (Vägverket Produktion), så har Vägverket delat in Sverige i ca 130 st driftområden. Ungefär en 1/5 av driftområdena upphandlas årligen. Man handlar upp Grundpaket Drift (GPD) som vanligen har en kontraktstid på 3-6 år (inklusive option).

Grundpaket Drift är drift och skötsel på det statliga vägnätet som t ex saltning och plogning. Dessa akuta behov blir åtgärdade utan att Vägverket som beställare behöver ingripa. Som komplement till grundpaketen finns tilläggspaket vilka kan omfatta större riktat underhåll som t ex beläggningsunderhåll, grusvägsunderhåll och broreparationer. Dessa tjänster upphandlas ofta separat eller som tilläggsbeställningar till grundpaketen.

I Grundpaket Drift är vägunderhållet den stora biten. Kostnaden för det förebyggande brounderhållet är litet (ca 2-3 %) i förhållande till vägunderhållet på ett driftområde. Eftersom volymen på brounderhållet är liten, är det svårt för den enskilde entreprenören att hålla en brounderhållsgrupp med arbete hela året.

Idag görs upphandlingar av alla brounderhållsarbeten, reparationer, förbättringar och nybyggnader i huvudsak objektvis av en beställningsavdelning på respektive vägverksregion. Utförare är Vägverket Produktion och privata entreprenörer som t ex Skanska, NCC och Peab.

Från såväl Vägverket som entreprenörer har väckts tanken på att handla upp en större del av brounderhållet för de mindre och medelstora broarna i ett eller två län och för en längre tidsperiod, säg 7-10 år. Gamla tiders bropatrull kan vara en förebild (*Silfverbrand, 2002*).

**Tabell 1.1.** Bropatrullens aktiviteter splittrades på många olika aktörer efter 1992.

Bro aktivitet	Vägverket före 1992	Vägverket efter 1992
Inspektion	Bropatrull	Broförvaltare + konsult
Egenskaper	Bropatrull	GPD entreprenör
Små åtgärder	Bropatrull	Entreprenör
Stora åtgärder	Bropatrull/Entreprenör	Entreprenör

### 1.3 Syfte med doktorandprojektet

Vägverket har handlat upp det förebyggande brounderhållet tillsammans med vägunderhållet sedan i början 1990-talet. För några år sedan ville Vägverket pröva en ny upphandlingsform för brounderhåll enligt följande;

1. Brounderhållet handlas upp separat från vägunderhållet.
2. Alla broar i ett större område inkluderas i kontraktet.
3. Kontraktet är flerårigt.
4. En del av kontraktet är ”funktionsbaserat”, d v s en bros egenskaper är definierade, men inte hur entreprenören ska uppfylla de olika egenskapskraven.

Förhoppningen har varit att öka effektiviteten inom brounderhållet genom en kombination av ökad specialisering (1 ovan), skalfördelar (2 och 3 ovan) och genom att ge entreprenören en större frihet gällande vad exakt som ska göras och när det exakt ska göras (3 och 4 ovan). Detta kan leda till att entreprenören utvecklar nya och effektivare metoder för brounderhåll. Slutmålet är att minska samhällets totala kostnader för brounderhåll i framtiden, d v s att minimera det förebyggande och framför allt det korrigerande brounderhållet sett ur ett livscykelperspektiv.

Syftet har också varit att öka kunskaperna inom området brounderhåll och under projektets gång har ett antal forskningsfrågor formulerats, se nedan.

## 1.4 Forskningsfrågor

Förutom att följa upp och analysera pilotprojekten i Uppsala län och Örebro län har följande sex forskningsfrågor formulerats under projektets gång:

- 1) Är Integrerat brounderhåll en framgångsrik metod att förbättra brounderhållet och därmed höja standarden alternativt utöka livslängden på brobeståndet till en optimal kostnad, d v s leder Integrerat brounderhåll till lägre LCC totalt sett?
- 2) Hur kan ett brobestånd utvecklas under en längre tid, t ex 15 år? Man måste ha en uppfattning om detta för att kunna göra en bedömning av kostnaden för underhåll av brobeståndet. Går det att utveckla några nyckeltal som t ex nybyggnadstakt, utrivningstakt, genomsnittsålder o s v?
- 3) Vad är en broes verkliga livslängd? Man måste ha en uppfattning om en broes förväntade livslängd för att kunna göra en rimlig bedömning av en broes livscykelkostnader (LCC). Hur stämmer förväntade livslängder enligt Vägverkets normer med verkliga livslängder?
- 4) Varför och vid vilken ålder rivs en bro ut? Man måste ha en uppfattning om detta för att kunna planera lämpliga underhållsåtgärder under en broes livslängd.
- 5) Vad är en kantbalks verkliga livslängd? Eftersom kantbalken är ett av de mest skadeutsatta broelementen är det av intresse för en broförvaltare att känna till en kantbalks normala livslängd.
- 6) Hur ska man handla upp brounderhåll och då speciellt Integrerat brounderhåll (IB)? Ett kontrakt bör ta tillvara samhällets intressen av en effektiv broförvaltning och samtidigt ge entreprenören möjligheten att effektivt genomföra kontraktet med en viss vinst. Dessutom bör kontraktet vara utformat så att det blir lätt för entreprenörerna att prissätta det, vilket bör innebära att det blir många anbudsgivare. Vidare bör man ha en uppfattning om svaret på forskningsfrågorna 1-4 när man utformar kontraktet för det aktuella brobeståndet.

## 1.5 Metod

Underlag till en modell för upphandling av brounderhåll har erhållits genom deltagande i pilotförsök samt studier av verkligt utfall av broars nedbrytning och livslängder. Denna information behövs för att kunna bestämma en lämplig nivå och system för brounderhåll. Pilotförsöket har genomförts i Vägverkets region Mälardalen (VMN) med studier och analys av planering, upphandling, utförande, ersättning och uppföljning.

De metoder som generellt har använts inom projektet har varit kvalitativa: litteraturstudier, intervjuer, möten, uppföljning, insamling och bearbetning av statistik, deltagande på seminarier, egna inspektioner samt kvantitativa: insamling och bearbetning av en stor datamängd och då främst från Vägverkets databas BaTMan. **Tabell 1.2** visar förhållandet mellan forskningsfrågor, huvudsakliga metoder och berörda artiklar. Intervjuer har varit både strukturerade och informella. Intervjuer med de entreprenörer som hade deltagit i informationsmöten eller tagit ut anbudshandlingar för Uppsalapaketen och Örebropaketen var strukturerade och resten kan anses vara

informella. Exempel på möten har varit 11 styrgruppsmöten för doktorandprojektet, möten mellan representanter för Vägverket och personal från KTH, ett 30-tal byggmöten o s v.

**Tabell 1.2.** Förhållandet mellan forskningsfrågor, huvudsakliga metoder och berörda artiklar.

<b>Forskningsfråga (Ff)</b>	<b>Huvudsaklig metod</b>	<b>Berörd artikel</b>
Bakgrund	Kvalitativ	Paper 1
Ff 1	Kvalitativ	Kappan
Ff 2	Kvantitativ	Paper 2
Ff 3	Kvantitativ	Paper 2, 3, 4, 5
Ff 4	Kvantitativ	Paper 2, 5
Ff 5	Kvantitativ	Paper 6
Ff 6	Kvalitativ	Paper 7

## 1.6 Avgränsningar

Avhandlingen behandlar speciellt tre områden inom brounderhåll;

- Uppföljning och analys av Integrerat brounderhåll i Uppsala län och Örebro län. I licentiatavhandlingen gjordes en genomgång och analys av pilotprojekt Uppsala läns upphandling och första två år. De ca 400 broarna följdes upp under entreprenadens första år med avseende på egenskaper och åtgärder. I doktorsavhandlingen redovisas Uppsala län 2004 – 2007 samt den första tiden av optionen Uppsala län 2007 – 2010. Vidare behandlas den första tiden i projektet Örebro län 2007 – 2010, innehållande ca 700 broar.
- Analys av hur ett brobestånd utvecklas har studerats under tiden 1990-2005 i Vägverkets region Mälardalen (VMN).
- Verkliga livslängder för några vanligt förekommande brotyper. När det gäller plattrambroar och stålbalkbroar har studien koncentrerats till VMN. För rörbroar i Sverige har fokus legat på rörbroar av stål i kontakt med vattendrag samt rörbroar av stål på land.

Rörliga broar har inte ingått i projekten för Uppsala län och Örebro län.

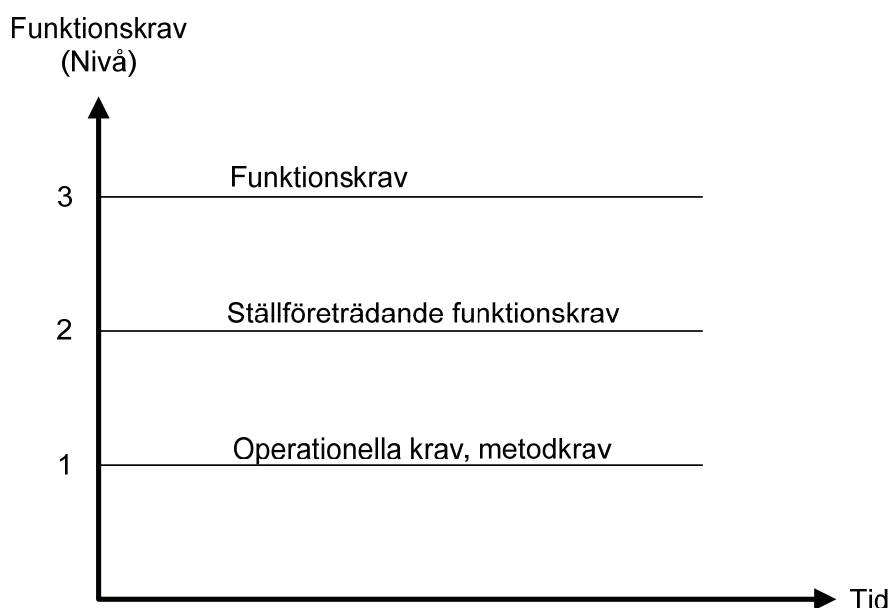
## 1.7 Uppläggning av avhandlingen

Avhandlingen består av nio kapitel. I det första kapitlet presenteras bakgrund, syfte med doktorandprojektet, forskningsfrågor, metodik och avgränsning. Det andra kapitlet handlar om konceptet för Integrerat brounderhåll. I kapitel tre redovisas de två pågående pilotprojekten Integrerat brounderhåll i Uppsala län och Örebro län. I det fjärde kapitlet beskrivs hur ett brobestånd kan utvecklas under 15 år. Några vanliga brotypers respektive kantbalkars verkliga livslängder behandlas i kapitel fem respektive kapitel sex. Kapitel sju handlar om långa underhållskontrakt i en närliggande sektor. I kapitel åtta redovisas en modell för upphandling av Integrerat brounderhåll. Det sista kapitlet innehåller diskussion och slutsatser samt förslag på fortsatt forskning.

## 2 Konceptet Integrerat brounderhåll

### 2.1 Funktionskrav för vägar och broar

Den mest komplicerade delen av brounderhållskontrakt baserade på funktionskrav är hur man ska definiera, följa upp och kontrollera kvaliteten på det utförda arbetet. Under projektets gång har diskuterats hur man ska definiera funktionskrav för underhållsentreprenader och en gruppering skulle kunna vara att man delar in funktionskraven i tre olika nivåer nämligen operationella krav, ställföreträdande funktionskrav och funktionskrav, se **Figur 2.1**.



**Figur 2.1.** Funktionskrav indelat i tre nivåer.

Om man överför ovannämnda funktionsnivåer på brounderhåll får man följande:

- Nivå 3: Funktionskrav. ”Bron ska vara säker att köra på”.
- Nivå 2: Ställföreträdande funktionskrav. ”Mätbara värden på t ex skadad betong och armeringskorrosion. Entreprenören kan välja hur han ska reparera skadan”.
- Nivå 1 Operationella krav, metodkrav. ”Skadan ska repareras med metod A”.

Ett exempel på hur funktionskrav har förvandlats till ställföreträdande funktionskrav i ett aktuellt projekt är broarna på Norrortsleden, vilket beskrivs nedan.

#### 2.1.1 Projekt Norrortsleden

Den 16 km långa Norrortsleden är en tvärförbindelse mellan E4 vid Häggvik och E18 vid Rosenkälla i norra Storstockholm. Norrortsleden ingår i Yttre Tvärleden som på sikt ska förbinda Stockholms norra och södra delar med varandra.

För sträckan mellan Täby kyrkby och Rosenkälla (7,2 km) prövar Vägverket en ny entreprenadmodell, funktionsentreprenad med helhetsåtagande, Utifrån Vägverkets krav på funktion projekterar och bygger entreprenören vägen. Entreprenören ansvarar sedan för vägens drift och under-

håll i 15 år, samt för att vägen uppfyller Vägverkets krav. Syftet med den nya entreprenadmodellen är att effektivisera vägbyggandet och väghållningen och därmed sänka totalkostnaden.

Sträckan mellan Täby kyrkby och Rosenkälla byggdes under perioden 2004-2008 och ska nu underhållas i 15 år.

### 2.1.2 Broarna på sträckan Täby kyrkby - Rosenkälla

Enligt kontraktet ska konstbyggnader utföras med den tekniska livslängden 80 år. Broarna har beräknats och utförts enligt ”Bro 2002” (*Vägverket 2002a*).

För att säkerställa önskad livslängd ska broar och övriga konstbyggnader inspekteras och underhållas enligt ”BRO Handbok för broinspektion” (*Vägverket 1993a*), ”BRO Mätning Bedömning av broars tillstånd” (*Vägverket 1993b*) samt ”SAFEBRO koder för inspektion” (*Vägverket 2002c*).

Underhåll ska grunda sig på inspektioner samt utföras enligt ”Brounderhåll 2002” (*Vägverket 2002b*).

**Funktionskrav:** Konstbyggnader ska vid avlämnandet (när entreprenören lämnar tillbaka broarna till Vägverket) ha en återstående livslängd (restvärde) på minst 65 år ( $80 - 15 = 65$ ).

**Ställföreträdande funktionskrav:** Tillståndsklass för respektive konstruktionsdel får vara högst 1, dock godtas att upp till två av följande konstruktionsdelar har Tillståndsklass 2: Slänt och kon, ving- och stödmur, isolering/tätskikt, beläggning, räcke, övergångskonstruktion och dränerings-system (bro).

**Verifieringsmetod:** Verifiering genom broinspektion.

Resultaten från broinspektionerna rapporteras på två sätt, dels tillståndsklasser (TK), dels en ekonomisk uppskattning. Rapporteringen i tillståndsklasser sker med ett heltal 0, 1, 2 eller 3 (TK0 – TK3) beroende på hur allvarlig en eventuell upptäckt skada bedöms vara, se **Tabell 2.1**. För mera detaljer se avsnitt 4.8.1.

**Tabell 2.1.** Bedömning av tillståndsklasser enligt Vägverkets broförvaltningssystem, *Vägverket (1993b)*.

Tillståndsklass (TK)	Inspektörens bedömning
TK 0	Bristfällig funktion bortom 10 år
TK 1	Bristfällig funktion inom 10 år
TK 2	Bristfällig funktion inom 3 år
TK 3	Bristfällig funktion vid inspektionstillfället

Ovanstående ställföreträdande funktionskrav innebär att man räknar med att bron har nått en viss uppskattad nedbrytningsgrad efter 15 år definierad med tillståndsklasser. Om man analyserar de tillåtna värdena vid avlämnandet;

- I bästa fall inga brister (alla konstruktionsdelar i TK 0).



- I sämsta fall 2 konstruktionsdelar i TK2 och resten av konstruktionsdelarna i TK1. Detta innebär, enligt ovanstående tabell, att bron kan vara i behov av reparation inom de närmsta 3-10 åren efter avlämnandet.

Så oavsett var man ligger mellan bästa och sämsta fall i brister, antar man att den återstående livslängden är minst 65 år.

Detta exempel visar klart problematiken att på ett enkelt och entydigt sätt fastställa statusen på en långsam nedbrytningsprocess och därefter hur denna nedbrytningsprocess påverkar den kvarvarande livslängden. Inför nästa upphandling borde man ändra sämsta fall till, förslagsvis, 2 konstruktionsdelar i TK1 och resten av konstruktionsdelarna i TK0.

## 2.2 Tankarna bakom Integrerat brounderhåll

När Vägverket successivt började handla upp Grundpaket Drift i början på 1990-talet, innebar det samtidigt att de specialiserade grupper som arbetade med enbart brounderhåll successivt minskade. I Grundpaket Drift är vägunderhållet den stora delen av kontraktet i ett driftområde och kostnaden för det förebyggande brounderhållet är litet (ca 2-3 %). Då volymen på brounderhållet är liten, i förhållande till vägunderhållet, är det svårt för den enskilde entreprenören att hålla en brounderhållsgrupp med arbete hela året.

Detta har lett till en oro för att kompetensen inom brounderhåll kanske har minskat. Såväl Vägverket som en del entreprenörer har därför ansett att det borde vara en god idé för Vägverket att handla upp en större del av brounderhållet i ett större område och för en längre tidsperiod, säg 7-10 år. Ett sådant förfarande skulle dels leda till att Vägverkets personal kunde få mer tid till strategisk planering av de större broarnas underhåll, dels till att entreprenörerna fick ett incitament att höja sin kompetens inom brounderhållet. De olika entreprenörföretagen skulle kunna bygga upp speciella avdelningar för detta. Dessa skulle i mångt och mycket likna de gamla bropatruller som uppskattats av många.

Ungefär samtidigt har det varit ett ökat intresse för funktionsbaserade kontrakt och under 2004 började pilotförsöket med Integrerat brounderhåll. Idén var att handla upp brounderhållet separat för ett större område än ett Grundpaket Drift område. Dessutom ville man att underhållskontraktet skulle vara mera funktionsbaserat. Istället för att beskriva exakt vad entreprenören ska göra, så ska kontraktet beskriva vilka egenskaper en bro ska ha. Sedan är det upp till entreprenören att välja metoder för att uppfylla egenskapskraven.

Vägverket vill kunna handla upp brounderhåll på långa kontrakt baserade på funktionskrav som t ex säker överfart, tillräcklig bärförmåga och optimal broförvaltnings strategi sett över en bro livscykel. Eftersom dessa funktionskrav är svåra att mäta och verifiera på en årlig basis, med en begränsad budget, använder man istället ställföreträdande funktionskrav

I detta projekt har kraven i ATB Brounderhåll 2002 (*Vägverket, 2002b*) använts som ställföreträdande funktionskrav för att verifiera att bron är i ett gott skick.

Genom att skapa ett långt underhållskontrakt bestående av både förebyggande brounderhåll och ett antal reparationsåtgärder, var hypotesen att både broförvaltaren och entreprenören kunde vinna på den nya upphandlingsformen.

Broförvaltaren kunde vinna genom att t ex:

- Öka entreprenörernas intresse för att lämna ett anbud på ett långt underhållskontrakt (fler entreprenörer som lämnar anbud).
- Göra brounderhåll till en egen aktivitet (och inte som en del av vägunderhållet) vilket bör öka kompetensen.
- Ha en kompetent organisation på plats om något oförutsett inträffar.
- Utnyttja serie köp (upphandla t ex x åtgärder i en upphandling jämfört med en åtgärd i x upphandlingar).
- Ha mera tid för långsiktig planering av brobeståndet (LCC analyser).

Entreprenören kunde vinna genom att t ex:

- Ha en garanterad omsättning under ett antal år.
- Ha möjlighet att planera och utföra jobben när det passar bäst under året.
- Ha möjlighet att bygga en kompetent brounderhållsgrupp och investera i special maskiner.
- Ha möjligheten att lämna anbud på brounderhåll till potentiella kunder i närheten (t ex kommuner).
- Göra brounderhållet till en mera intressant aktivitet (analyser och beräkningar) vilket ökar rekryteringsmöjligheterna till branschen.

## 3 Erfarenheter från Integrerat brounderhåll

### 3.1 Inledning

Detta kapitel är en kort sammanfattning av projekten Uppsala län 2004-2007, starten av Uppsala län 2007-2010 samt starten av Örebro län 2007-2010. Detta kapitel återfinns i artikel 7. Den gamla tidens bropatrull i Vägverket har i mycket fungerat som en förebild till Integrerat brounderhåll, se **Tabell 3.1**. En viktig del i IB är den årliga inspektionen på hösten av egenskaperna.

**Tabell 3.1.** Integrerat brounderhåll har Vägverkets gamla tiders bropatruller som förebild.

Bro aktivitet	Vägverket före 1992	Vägverket efter 1992	Integrerat brounderhåll (IB)
Inspektion	Broingenjör + Bropatrull	Broförvaltare + konsult	Broförvaltare + konsult Årlig inspektion IB
Egenskaper	Bropatrull	GPD entreprenör	IB entreprenör
Små åtgärder	Bropatrull	Entreprenör	IB entreprenör
Stora åtgärder	Bropatrull/Entreprenör	Entreprenör	IB entreprenör/ Entreprenör

### 3.2 Uppsala län 2004-2007

Eftersom Uppsala driftområde skulle ut på anbud våren 2004 passade det bra att bryta ur broarna ur Grundpaket Drift (GPD) d v s så att man fick vägunderhållet för sig och brounderhållet för sig. Men snö- och halkbekämpning görs fortfarande för väg + bro av GPD entreprenören. En stor del av broarna som ska underhållas består av vanliga små och medelstora broar t ex plattambroar och rörbroar. Efter det att VMN köpte loss brounderhållet från de entreprenörer som hade Grundpaket Drift i Enköpings, Tierps och Östhammars driftområden kunde Brounderhåll Uppsala län skapas. Man kan sammanfatta vald modell för upphandling med följande punkter:

- Uppsala län valdes som pilotstudie och utsedd entreprenör skulle underhålla alla VMNs broar i länet (ca **400 st**).
- Kontraktstiden var tre år (2004-09-01 – 2007-08-31) + option på tre år till (2007-09-01 – 2010-08-31).
- Broarna bedömdes vara i funktionsdugligt skick om underhållskraven i ATB Brounderhåll 2002 (*Vägverket, 2002b*) verifierades minst en gång om året (**Egenskaper**) och mindre reparationer utfördes vid behov enligt ATB Bro 2002 (*Vägverket, 2002a*) och ATB Väg 2003 (*Vägverket, 2003*). Målet med denna typ av förebyggande brounderhåll är att förhindra eller fördröja de olika nedbrytningsprocesserna och på så sätt behålla och förlänga bronns förväntade livslängd. Exempel på egenskapskrav är sammanställt i **Tabell 3.2**.
- Dessutom ingick 25 st utpekade reparationsobjekt (**Åtgärder**) som VMN hade valt ut. Det är vanligt förekommande reparationsåtgärder, se **Tabell 3.3**.

- Nya reparationsobjekt finns om optionen utnyttjas, d v s om VMN anser att priserna från entreprenören är rimliga.
- Utsedd entreprenör förväntades hjälpa till med förslag till förbättringar och vara med på utvärderingsmöten under entreprenadens gång.

**Tabell 3.2.** En summering av en bro's egenskapskrav. Efter *Silfverbrand (2007)*.

Konstruktionsdel	Skadetyyp/detalj	Egenskapskrav
Slänt och kon	Urspolning	Inte djupare än 0.2 m
	Sättning	Slänthöjden får reduceras max 10 %
	Växtlighet	Fria från växtlighet högre än 1 m över markytan
Slänt och kon av jord	Ytbeklädnad	Intakt ytbeklädnad till minst 95 %
Brobanepatta	Däck av trä	Inga lösa plankor. Inga spikar ska sticka upp mer än 2 mm
Kantbalk	Räckesinfästning	Betongskador får inte vara djupare än 20 mm
Beläggning	Sprickor	Inga sprickor med sprickbredd > 3 mm i asfaltsbeläggningar, > 1 mm i gjutasfaltsbeläggning, > 0.5 mm i betongbeläggning
	Överyta	Beläggningsens överyta ska ligga över överytan på övergångskonstruktioner etc.
	Ojämnhet	Ojämnhet > 20 mm får inte förekomma 6 m före och efter bron
	Fogmassa	Ska ansluta till minst 95 %
Räcke	Deformation	Räckesständer får inte ha en deformation > 100 mm
	Infästning	Skruvförbanden ska vara intakta.
	Spjälgrind	Skruvförbanden ska vara intakta.
	Nivåskillnad	I anslutning max skillnad i höjd- respektive sidled 20 mm
	Skyddande funktion	Skyddsnet och stänkskydd ska ha > 95 % skyddande funktion
Övergångskonstruktion	Förankring	Intakt till minst 90 %
	Täthet	Vattentäta delar ska vara fria från läckage
Dränerings system	Genomflöde	Genomflödesarea > 80 %
	Infästning	Intakt till > 80 %
Hela bron	Förorening	Ren till minst 95 % för varje konstruktionsdel
	Tösalt mm	Ren till minst 95 % för kantbalkar, räcken etc.
	Växtlighet	Närområdet (2 m) ska vara fritt från växtlighet > 1 m
	Dämning	Fri från ansamling av flytande föremål som kan orsaka dämning

**Tabell 3.3.** Exempel på några planerade reparationsåtgärder under kontraktperioden.

Några exempel på planerade åtgärder i Uppsala län
Utbyte av kantbalk
Nytt räcke på stenstolpar
Ny överbyggnad
Öka täckande betongskikt med 20 mm på tak, ving- och stödmurar
30 mm sprutbetong på insidan av rörbro (stål)
Utbyte av rörbro (stål)
Omisolering av körbana, nya räcke etc.

Förfrågningsunderlaget var tillgängligt under våren 2004 och av de sex entreprenörer som tog ut handlingar var det hälften (tre st) som lämnade anbud på entreprenadens första tre år enligt **Tabell 3.4.**

**Tabell 3.4.** Lämnade anbud för Uppsalapaketetets tre första år.

Företag	Åtgärder	Egenskaper (årliga)
VP	18 975 kkr	1 083 kkr
Företag X	20 578 kkr	2 842 kkr
Företag Y	25 788 kkr	2 446 kkr

Beställaren prövade anbudsgivarna genom att följande krav var uppfyllda:

- Tillfredsställande ekonomisk och finansiell status.
- Godtagbar kompetenstillgång inom den egna organisationen eller genom underentreprenörer/underleverantörer.
- Tillfredsställande teknisk förmåga och kapacitet inom den egna organisationen eller genom underentreprenörer/underleverantörer.
- Projektplan med tillhörande kontrollprogram.

Alla entreprenörer bedömdes uppfylla kraven. Eftersom anbudspriset därmed var den avgörande faktorn vann Vägverket Produktion (VP) entreprenaden. Efter ny beräkning av anbudet (åtgärder + tre års egenskaper) blev det slutliga anbudet 22 224 kkr för perioden 2004-09-01 till 2007-08-31.

Enligt kontraktet skulle VP reparera 25 st broar under en treårsperiod. VP hade frihet att välja när dessa reparationer skulle utföras och man valde under hösten 2004 att dela upp dessa broar i ungefär lika stora årsarbeten, vilket innebar nio st broar 2005, åtta st broar 2006 och åtta st broar

2007. Det verkliga utfallet blev sju planerade broar + en akut bro 2005, elva broar 2006 och fem broar 2007, se **Tabell 3.5**.

**Tabell 3.5.** Planerade och utförda åtgärder för projektet Uppsala län 2004-2007.

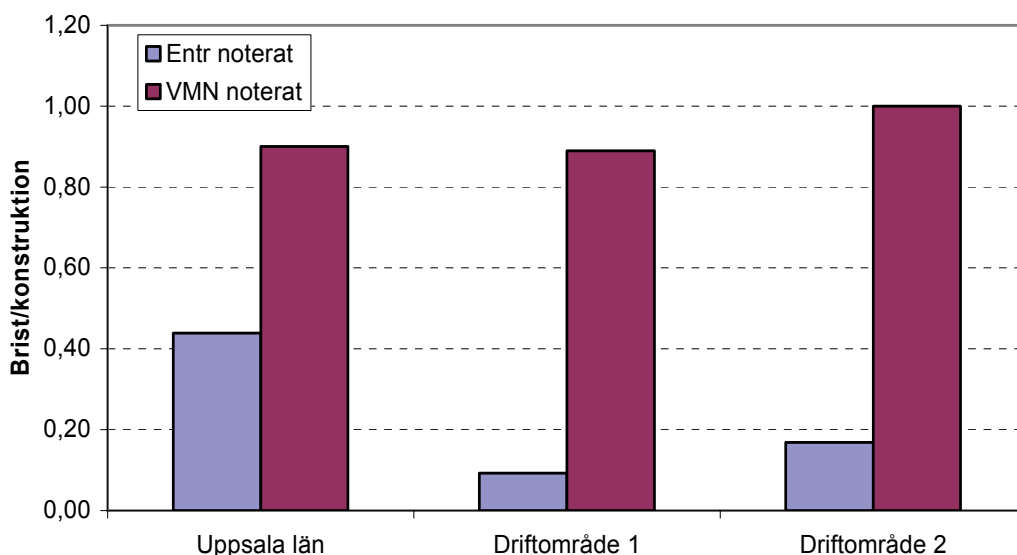
År	Plan	Budget	Utfall	Kostnad
2005	9 broar	6,5 Mkr	7 + 1 broar	7,0 + 2,1 Mkr
2006	8 broar	6,3 Mkr	11 broar	8,3 Mkr
2007	8 broar	6,2 Mkr	5 broar	5,7 Mkr
<b>TOT</b>	<b>25 broar</b>	<b>19,0 Mkr</b>	<b>23 + 1 broar</b>	<b>21,0 + 2,1 Mkr</b>

De planerade åtgärderna för två av broarna blev inte utförda under projektets första tre år. Istället beslöts att dessa två broar skulle hållas under uppsikt tills vidare. Man kan säga att den akut utförda åtgärden ersatte dessa två broars planerade åtgärder. Sammanfattningsvis så utfördes alla åtgärder mer eller mindre enligt anbudshandlingarna, men det var ett antal förändringar från den ursprungliga planeringen gällande antal broar per år och vad som faktiskt utfördes. Det underskrivna kontraktet behandlades mer som en utgångspunkt för vad som skulle göras än som ett bindande dokument som exakt skulle följas.

VP uppfyllde egenskapskraven för broarna genom att inspektera broarna, notera eventuella brister i egenskapskraven och åtgärda dessa samt registrera utfört arbete i BaTMan. VMN har gjort egna oberoende inspektioner av egenskapskraven i Uppsala län. Ibland har VP och VMN haft olika åsikter på vad som är en brist och när den ska åtgärdas. Den vanligaste bristen som har noterats är växtlighet i slänt och kon. Denna brist står ungefär för hälften av alla noterade brister. Denna brist är svår att långsiktigt åtgärda eftersom växtligheten hela tiden växer. För de andra vanliga bristerna som rörelse i kon, slitage på slitlagret och sprickor i beläggningen kan man se en fallande trend från 2005 till 2007. Dessa brister kan man åtgärda mera långsiktigt.

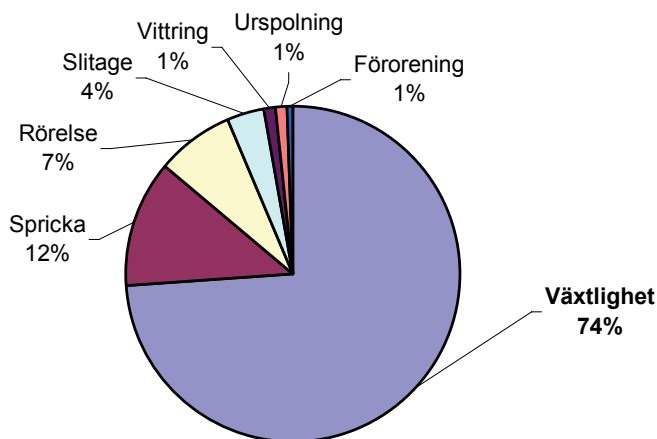
När det gäller brister i egenskapskraven har det konstaterats att olika inspektörer ser olika saker. Att olika inspektörer noterar olika brister har konstaterats av *Phares et al. (2001)* och *Graybeal et al. (2001)*. Erfarenheten från Uppsalapaketet har varit att entreprenören ”ser för lite” och att beställaren ser i stort sett enligt kraven i ATB Brounderhåll. I Uppsalapaketet har man valt att reglera kontraktet baserat på entreprenörens inspektioner och åtgärdade brister.

Vägverket noterade i snitt ca 1 brist/konstruktion i Uppsala län under perioden 2004-2007. För att kunna jämföra Integrerat brounderhåll i Uppsala med brounderhållet i Grundpaket Drift, gjorde Vägverket också en uppföljning av två närliggande driftområden: Driftområde 1 och 2, *Johansson (2008)*. Även i de driftområdena fann Vägverket i snitt ca 1 brist/konstruktion. Men den stora skillnaden är att entreprenören noterar betydligt fler brister i Uppsala län jämfört med driftområde 1 och 2, se **Figur 3.1**. Detta kan bero på ett ökat fokus på egenskaperna i Uppsalapaketet jämfört med de andra två driftområdena. Detta kan också tolkas som en tydlig indikator på hur lågt prioriterat det förebyggande brounderhållet är i Grundpaket Drift.



**Figur 3.1.** Antal brister/konstruktion som entreprenören respektive Vägverket har noterat i Uppsala län och två närliggande driftområden med GPD.

Vägverket har inspekterat både före, tillsammans med och efter entreprenören under projektets gång. Vägverket har hittat ca 0.2 brist/konstruktion vid inspektion efter entreprenören och den vanligaste bristen har varit växtlighet (74 % av bristerna), se **Figur 3.2**. 0.2 brist/konstruktion har ansetts som ett acceptabelt gränsvärde eftersom växtligheten hela tiden växer, t ex kan en entreprenör ha noterat ingen brist i maj och Vägverket noterat en brist i augusti. Vidare ska ingen upptäckt brist få vara osläckt i BaTMan under mer än ett års tid.



**Figur 3.2.** Vägverket har noterat ca 0.2 brister/konstruktion efter entreprenören i Uppsala län och den vanligaste bristen har varit växtlighet (74 %).

### 3.3 Option för Uppsala län 2007-2010

Bägge parter valde att utnyttja optionen på ytterligare tre år, 2007-09-01 – 2010-08-31.

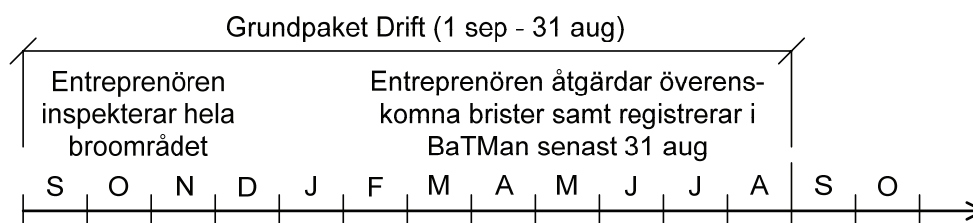
Beställaren VMN är mycket nöjd med att brounderhåll har lyfts upp som en egen aktivitet och att det har blivit ett ökat fokus på egenskapskravens uppfyllande som inte finns i Grundpaket Drift.

Vidare framhålls att relationen mellan entreprenör, beställare och bygglärdare är god i projektet. Det finns även en flexibilitet i utförandet av åtgärder som uppskattas av alla parter.

Entreprenören VP anser att man har fått en stabil grund att bygga vidare på. Basen för verksamheten är brounderhåll i Uppsala län. En stor fördel är att VP kan planera jobben och att minimivolymer gör att man kan ha kvalificerad arbetskraft. VP har nu dessutom nästan lika mycket omsättning i som utanför paketet. Som förklaring anger VP att dess specialkompetens inom brounderhåll är attraktivt även för andra kunder, t ex kommuner.

**Åtgärder;** Det finns en lista på broar som ska åtgärdas under perioden 2007-09-01 – 2010-08-31, med en budget på 8-10 Mkr/år. Listan består av 13 st åtgärder. Priserna på åtgärderna ligger ungefär på samma nivå som i det ursprungliga kontraktet om man justerar för index.

**Egenskaper;** Den nya modellen, se **Figur 3.3** Egenskapscykeln, med inspektion på hösten, planering på vintern och åtgärdande av eventuella brister under nästa års vår/sommar, infördes under hösten 2007, med en årlig budget på 1 083 kkr + indexuppräknings.



**Figur 3.3.** Egenskapscykeln är anpassad till Grundpaket Drift året, vilket innebär inspektion på hösten, planering på vintern och åtgärdande av funna brister under nästa års vår/sommar.

### 3.4 Örebro län 2007-2010

Beställaren VMN tyckte att erfarenheterna från Uppsalapaketetets första år var så pass goda att man beslöt att fortsätta på den inslagna vägen och handla upp Örebro län på ett liknande sätt. Dessutom är en samlad volym på underhållsarbetena och långa kontraktstider något som uppskattas av entreprenörerna, vilket bör innebära fler potentiella anbudsgivare.

För att skapa Integrerat brounderhåll för Örebro län köpte VMN loss brounderhållet under våren 2007 för Vingåkers, Örebros, Arbogas, Noras och Askersunds driftområde från de nuvarande entreprenörerna. Innehållet i Integrerat brounderhåll för Örebro län är sammanfattningsvis:

- **Entreprenadtid;** tre år (2007-09-01 – 2010-08-31) + option ett år till (2010-09-01 – 2011-08-31).
- **Åtgärder;** 41 st + option på 7 st till. Det är traditionella åtgärder typ utbyte av kantbalk, tätskikt, räcke och invändig betong-sprutning av rörbroar. Åtgärderna upphandlas efter en ny Vägverksanpassad AMA-struktur med mängdbeskrivning som ersätter den gamla tekniska beskrivningen och mängdförteckningen.



- **Egenskaper;** De ca **700** konstruktionerna är uppdelade i 9 st huvudbrotyper t ex betongbroar, stålbalkbroar, rörbroar och öppningsbara broar. Långa broar, över ca 100-150 m, är redovisade separat. Egenskapskraven är specificerade för de olika huvudbrotyperna för att underlätta entreprenörernas prissättning i anbudet.
- **Utökad samverkan enligt FIA nivå 1.** Förnyelse i Anläggningsbranschen (FIA) nivå 1 kan liknas vid en förenklad form av partnering, se *FIA (2006)*.

Förfrågningsunderlaget var tillgängligt under våren 2007 och av de fyra entreprenörer som tog ut handlingar, var det tre st som lämnade anbud på entreprenadens fyra år enligt **Tabell 3.6**. De tre som lämnade anbud var samma entreprenörer som hade lämnat anbud på Uppsalapaketet 2004.

**Tabell 3.6.** Lämnade anbud för Örebropaketets fyra år.

Företag	Åtgärder	Egenskaper	Totalt
VP	59 630 kkr	12 258 kkr	71 888 kkr
Företag Y	67 040 kkr	5 546 kkr	72 586 kkr
Företag X	66 535 kkr	7 261 kkr	73 796 kkr

VP hade återigen lämnat lägst pris och fick jobbet. Den totala anbudssumman för de tre anbuderna låg ganska nära varandra. Man kan se att Företag X och Företag Y hade ungefär samma prisnivå på åtgärder och egenskaper. VP låg ca 7 Mkr lägre på åtgärder och ca 6 Mkr högre på egenskaper.

VP hade fått intern kritik för att man hade haft för låga priser på egenskapskraven i Uppsalapaketet. I Uppsalapaketet var det VP Drift som hade både egenskaper och åtgärder vilket innebar att man kunde ta igen förlusterna i egenskapskraven med vinster på åtgärderna. I Örebropaketet var anbudet en samverkan mellan VP Drift och VP Anläggning. Därför ansåg VP Drift att man har gått in med ett mera realistiskt pris på egenskaperna. Framför allt hade Vägverkets och Arbetsmiljöverkets nya krav med TMA-skydd varit kostnadsdrivande. TMA, Truck Mounted Attenuator, är ett energiupptagande påkörningsskydd monterat på ett väghållningsfordon. TMA-skydd är nödvändigt vid arbete på starkt trafikerade vägar. Under kalkylskedet hade VP mycket hjälp av erfarenhetsvärden från Uppsalapaketet. Även VMNs projektledare har gått igenom VPs prisnivå på egenskapskraven och tycker att den är rimlig med tanke på vad som är tänkt att göras.

När det gäller egenskaperna så gjorde VP en övertagande besiktning under hösten 2007, se **Tabell 3.7**. Den vanligaste bristen som VP noterade var växtlighet (42 %). Men man kan också konstatera att VP hittade i snitt ca 1 brist/konstruktion efter den gamla entreprenören (företag Z) i Do Örebro och Do Vingåker, under det att VP noterade ungefär hälften i sitt eget Do Nora eller övertog i befintligt skick sina egna Do Arboga och Do Askersund. Detta är också ett argument för att införa Integrerat brounderhåll i en större omfattning i Sverige, d v s att den tillträdande entreprenören gör en ordentlig övertagandebesiktning av den avgående entreprenören när kontraktet börjar och slutar.

**Tabell 3.7.** Vägverket Produktions övertagandebesiktning av Örebro län hösten 2007.

Konstruktionsdel (skadetyper) \ Do	Företag Z		VP		Ö+V+N (%)
	Örebro	Vingåker	Nora		
Beläggning (spricka)	23	14	17	<b>54</b>	16
Hela bron (växtlighet)	71	9	18	<b>98</b>	29
Kon (rörelse)	8	2	6	<b>16</b>	5
Slitlager (slitage)	21	10	10	<b>41</b>	12
Slänt o kon (växtlighet)	1	32	12	<b>45</b>	13
Slänt o kon (urspolning)	10	7	12	<b>29</b>	9
Övriga	20	20	15	<b>55</b>	16
<b>SUM Brister</b>	<b>154</b>	<b>94</b>	<b>90</b>	<b>338</b>	<b>100</b>
Antal konstruktioner	234	65	167	<b>466</b>	
<b>Brist/konstruktion</b>	<b>0.66</b>	<b>1.45</b>	<b>0.54</b>	<b>0.73</b>	

### 3.5 Jämförelse mellan Uppsalaprojektet och Örebroprojektet

Några nyckeltal för egenskapskraven har tagits fram, se **Tabell 3.8**. För att kunna jämföra med Örebro har Uppsalapriserna räknats upp till 2007 års nivå baserat på Entreprenadindex E84 littera 251 Broarbeten betong. Detta innebär en uppräkningsfaktor 1.09, dvs  $1\,083 \cdot 1.09 = 1\,180$  kkr/år. För Örebro blir det  $12\,258/4 = 3\,065$  kkr/år. Man kan se att prisnivån i Örebropaketet är ungefär dubbelt så hög som i Uppsalapaketen.

**Tabell 3.8.** Nyckeltal för egenskapskravens årliga uppfyllande i Uppsala- och Örebropaketet.

Brounderhåll	Antal broar	Broarea	Årliga egenskaper	kr/bro	kr/m <sup>2</sup>
<b>Uppsala län</b>	ca 400 st	ca 105 000 m <sup>2</sup>	1 180 kkr	2 948 kr	11 kr/m <sup>2</sup>
<b>Örebro län</b>	ca 700 st	ca 155 000 m <sup>2</sup>	3 065 kkr	4 400 kr	20 kr/m <sup>2</sup>

Man kan även göra en liknande jämförelse när det gäller åtgärder, se **Tabell 3.9**. Vi utgår då från anbudspriserna. Uppsalapriserna räknas upp med en faktor 1.09, dvs  $(18\,975/3) \cdot 1.09 = 6\,894$  kkr/år. Dessutom behöver man justera kostnaderna ytterligare eftersom VMN handlade upp bara ca 2/3 av de planerade åtgärderna inom ramen för Uppsalapaketen. Om VMN hade handlat upp alla planerade åtgärder inom paketet skulle kostnaden bli ca  $6\,894 \text{ kkr} \cdot 3/2 = 10\,341$  kkr/år. I Örebro handlas alla åtgärder upp inom paketet, dvs  $59\,630/4 = 14\,908$  kkr/år. Man kan se att prisnivån i Örebropaketet är högre än i Uppsalapaketen när det gäller kr/m<sup>2</sup>.

**Tabell 3.9.** Nyckeltal för årliga åtgärder i Uppsala- och Örebropaketet.

Brounderhåll	Antal broar	Broarea	Årliga åtgärder	kkkr/bro	kr/m <sup>2</sup>
Uppsala län	ca 400 st	ca 105 000 m <sup>2</sup>	10 341 kkr	25.9 kkr	98 kr/m <sup>2</sup>
Örebro län	ca 700 st	ca 155 000 m <sup>2</sup>	14 908 kkr	21.3 kkr	96 kr/m <sup>2</sup>

Vidare kan man använda dessa nyckeltal från Uppsala- och Örebropaketet för att uppskatta kostnaden för uppfyllande av årliga egenskapskrav och åtgärder för VMNs ca 1 900 broar med en broarea ca 500 000 m<sup>2</sup>, se **Tabell 3.10**. Av tabellen framgår att kostnaden för egenskaper ligger mellan ca 6-9 Mkr/år och åtgärder ca 45-49 Mkr/år. Detta skulle i så fall innebära en total kostnad av ca 51-58 Mkr/år för VMNs broar. Denna summa kan anses svara mot en normal nivå på underhållsarbetena. Vägverket fann att relationen mellan underhållskostnader och nybyggnadskostnader var 0.7 % under åren 1988-1992, vilket var en låg siffra internationellt sett, *Stenbeck (2007)*. Om man antar att nybyggnadspriset är ca 15-20 kkr/m<sup>2</sup> ger detta att de årliga underhållskostnaderna i VMN borde vara av storleksordningen 500 000 m<sup>2</sup> · 15-20 kkr/m<sup>2</sup> · 0.7 % = 52,5-70 Mkr/år. Denna kostnad ligger i nivå med beräkningarna baserade på Uppsala- och Örebropaketet.

**Tabell 3.10.** Kostnader för egenskaper och åtgärder i VMN baserat på nyckeltalen kostnad/bro och kostnad/m<sup>2</sup> för Uppsala- och Örebropaketet.

VMN	Egenskaper U	Egenskaper Ö	Åtgärder U	Åtgärder Ö
ca 1 900 broar	5.6 Mkr	8.4 Mkr	49.2 Mkr	40.5 Mkr
ca 500 000 m <sup>2</sup>	5.5 Mkr	10.0 Mkr	49.0 Mkr	48.1 Mkr

### 3.6 Intervjuer med entreprenörer

Intervjuer har genomförts med alla entreprenörer som hade tagit ut anbudshandlingar eller deltagit i informationsmöten om Uppsala- och Örebropaketet, d v s VP, NCC, DAB, Peab, Skanska, Veidekke, E-schakt och Grus & Betong.

De intervjuade företagen tyckte alla att ett flerårigt brounderhållspaket var intressant och bra för både beställare och entreprenörer. Stora företag vill ha större volymer och mindre företag verkar föredra mindre volymer att räkna på. Det är lättare att räkna på åtgärderna via färdiga ritningar och handlingar. Att sätta ett bra pris på egenskapskraven upplevdes av de flesta företag som mycket riskfyllt och svårt, eftersom de kände en osäkerhet om vad beställaren verkligen ville ha och vad det skulle kosta att möta de kraven. Slutligen ansåg företagen att det borde gå att få en rimlig lönsamhet i ett flerårigt brounderhållspaket och de vill att det ska komma ut fler sådana här paket i framtiden.

## 3.7 Erfarenheter från projekten

Erfarenheter och lärdomar från Uppsala projektet och Örebro projektet redovisas nedan.

### 3.7.1 Utformning av ett brounderhållskontrakt

Kontraktet innehåller två intressanta aspekter, dels områdets storlek, dels kombinationen av egenskaper och åtgärder.

Underhåll av broar kräver normalt specialkunskaper och det finns en del fasta kostnader som behöver slås ut på ett större område. Det gäller att uppnå skalfördelar så att man kan få en lägre snittkostnad per enhet. Det som motverkar dessa skalfördelar är transportkostnader. Ett för stort område kan leda till ineffektivitet beroende på transport och informationsproblem samt att det kan begränsa konkurrens i framtiden eftersom det kanske finns för få intresserade entreprenörer i ”närheten”.

Vad som är rätt balans och optimal storlek på område i ett underhållskontrakt är fortfarande en öppen fråga som behöver undersökas mera, förslagsvis när Integrerat brounderhåll har använts under en längre tid och i flera områden. Entreprenörernas kommentarer så här långt är att de valda områdena (alla broar i ett län) verkar vara ganska nära en optimal storlek.

### 3.7.2 Funktionskontrakt, kombinationen egenskaper och åtgärder

Ett allmänt problem med funktionsbaserade kontrakt är att beskriva den önskade funktionen i enkla mätbara termer. För kontraktet som studeras här har strategin varit att beskriva egenskaperna som bron ska ha, egenskaper som är relaterade till en bros funktion.

För en entreprenör är det viktigt att kunna beräkna ganska exakt vad det kostar att uppfylla ett kontrakt. Om det är enkelt att prissätta kontraktet, bör fler entreprenörer kunna lämna anbud. Ju enklare det är att räkna på anbudet desto mer troligt är det att anbudsprocessen leder till att den mest effektive entreprenören får anbudet till en låg kostnad för beställaren.

Funktionskontrakt, eller som i det här fallet att ett antal egenskaper ska vara uppfyllda, skapar osäkerhet speciellt när kontraktet omfattar gamla broar. Även efter en övertagandebesiktning, där man i princip nollställer bristerna i egenskapskraven, är det svårt att förutspå hur de olika egenskapskraven kommer att utveckla sig under kontraktstiden för ett gammalt brobestånd.

Denna osäkerhet ökar, som i det här fallet, när det är oklart hur länge som man kan tillåta att olika brister i egenskapskraven ligger under sina respektive gränsvärden. Enligt intentionerna i ATB Brounderhåll ska egenskapskraven vara uppfyllda hela tiden, men alla vet att så kan inte vara fallet eftersom det alltid tar tid att upptäcka bristen och åtgärda den. Från entreprenörens synvinkel är det åtminstone kortsiktigt bättre med en lång tid att åtgärda bristen efter upptäckt, eftersom man då kan samordna med andra brister och minska på transportkostnaderna.

Osäkerheten och svårigheten att prissätta egenskapskravens uppfyllande fick hälften av de potentiella entreprenörer i Uppsala län, som hade tagit ut handlingar, att inte lämna anbud.

Hur kan man minska osäkerheten för potentiella anbudsgivare? Ett sätt är att göra kontraktet lite mera flexibelt. Ett annat sätt är som i dessa kontrakt kombinera egenskaper och åtgärder. De ”osäkra” egenskaperna stod för ca 15-20 % av kontraktssumman, i Uppsala län och Örebro län, och de mera ”säkra” åtgärderna för resten. Entreprenören har lättare att räkna hem en vinst på åtgärderna och kan på så sätt balansera en del av osäkerheterna i egenskaperna.

Ett underhållskontrakt bör omfatta ett lagom stort geografiskt område och ha en viss årlig minimivolym. Vidare bör det vara en bra balans mellan egenskaper och åtgärder.

### **3.7.3 Kontraktets flexibilitet**

Utvärderingen av Uppsalaprojektet visar tydligt hur en broförvaltare med en förutbestämd årlig budget måste kunna ändra i kontraktet på ett enkelt sätt. För några av åtgärderna i anbudsunderlaget visade det sig senare att de verkliga förhållandena var annorlunda än vad som var beskrivit. Det här ledde till att man beslöt att utföra betydligt mera omfattande åtgärder än vad som man ursprungligen hade antagit. För att hålla sig inom sin angivna årsbudget tvingades beställaren att senarelägga vissa planerade åtgärder. I Uppsalaprojektet förstod entreprenören beställaren och gjorde de nödvändiga justeringarna, utan krav på extra kompensation. Förklaringen till detta kan dels bero på att den aktuella entreprenören VP tidigare var en del av Vägverket organisation (före omorganisationen 1992), dels för att entreprenören var intresserad av att behålla en god relation med beställaren, eftersom entreprenören var intresserad av optionen på ytterligare tre år.

Detta är en lite riskabel situation för beställaren, eftersom en entreprenör helt plötsligt kan sluta att samarbeta och kräva att allt ska utföras enligt det ursprungliga kontraktet. Ett sätt att minska denna risk är att göra kontraktet till ett uttalat partneringskontrakt. Man kan se partneringskontrakt som ett givande och tagande mellan beställare och entreprenör, och som ett sätt att underlätta omförhandlingar under projektets gång. Ändrade förutsättningar och mera detaljerad information under projektets gång kan ändra värdet för beställaren och kostnaden för entreprenören. Låga kostnader för omförhandling av kontraktet, baserat på ömsesidigt förtroende, kan leda till en ökad effektivitet. I Uppsalaprojektet fanns det inget uttalat partneringsavtal eller -procedur, men både beställare och entreprenör samarbetade på ett sätt som är typiskt för partneringsprojekt och detta var viktigt för att öka kontraktets flexibilitet. I Örebroprojektet infördes en uttalad partneringsmodell (FIA steg 1).

Man bör dock vara medveten om att det kan finnas möjliga juridiska problem med alltför stora omförhandlingar, eftersom andra intresserade entreprenörer kan kräva en ny anbudsrounda. Hittills har inte detta problem varit aktuellt.

### **3.7.4 Egenskapernas mätbarhet**

Om man som beställare vill ha många anbud, så måste det vara enkelt för en potentiell entreprenör att beräkna sina kostnader i anbudet. En möjlig kostnad som en potentiell anbudsgivare måste ta i beaktande är kostnader för eventuella konflikter rörande om arbetet har utförts enligt kontraktet eller inte. En sådan möjlig konflikt kan orsakas av oklarheter gällande hur länge olika brister får finnas i egenskapskraven innan de ska åtgärdas.

En annan möjlig konflikt kan gälla om en bro, vid en speciell tid, har några brister i egenskapskraven eller inte. Antal noterade brister i egenskapskraven kan variera beroende på den enskilde inspektören, vilket kan ses i avsnitt 3.2. Detta gällde speciellt om det var nödvändigt att ta bort växtligheten eller inte samt om det var en spricka eller inte (om sprickan påverkade bronns funktion eller inte).

Denna oenighet om vad som är en brist eller inte i egenskapskraven, kan orsaka stora problem och extra kostnader för både beställaren och entreprenören. Det är viktigt att minska dessa skillnader genom att beskriva egenskapskravens uppfyllande mera i detalj i förfrågningsunderlaget. I Uppsalaprojektet var det goda relationer mellan beställare och entreprenör, därför var det aldrig några större diskussioner om egenskapskravens uppfyllande utan man lösta eventuella problem löpande i en god samförståndsanda. Men ett sådant gott samarbete kan man inte ta för givet mellan beställare och entreprenör. Konsekvensen av att man inte tillräckligt noga i kontraktet beskriver hur man ska göra med noterade brister i egenskapskraven kan leda till att en ny aktör, som inte är medveten om kontraktets inneboende flexibilitet, antingen överskattar kostnaderna och inte får kontraktet även om den är den mest effektiva entreprenören, eller underskattar kostnaderna och får kontraktet även om den inte är den mest effektiva entreprenören.

### **3.7.5 Problemet med konkurrensen på lång sikt**

Enligt en rapport från Konkurrensverket har antalet lämnade anbud i offentlig upphandling minskat de senaste åren (*Konkurrensverket, 2007*). En intressant fråga är hur beställaren kan ändra på denna trend.

Det är viktigt att välja ett lagom stort brounderhållsområde, hitta rätt mix mellan egenskaper och åtgärder, beskriva uppfyllande av egenskapskraven tydligare och ge så mycket information om brobeståndet som möjligt. Som beställare kan man dessutom stimulera potentiella anbudsgivare genom att ge en ersättning för ett lämnat anbud. Denna ersättning ska täcka en del av entreprenörens anbudskostnader och kan dessutom vara differentierad i förhållande till det vinnande anbudet. Beställaren kan även kontakta entreprenörer som han vill ska lämna ett anbud och samtidigt erbjuda de potentiella anbudsgivarna en viss summa om de lämnar in ett anbud.

Om Integrerat brounderhåll införs på flera platser i Sverige kommer det att leda till att fler entreprenörer får erfarenheter från detta slags kontrakt. Detta kan i sin tur leda till att dessa entreprenörer är intresserade att lämna anbud på angränsande områden, vilket kan leda till ökad konkurrens.

Problemet är inte bara för lite konkurrens. Det kan också vara för mycket konkurrens och en risk att en oerfaren entreprenör lämnar ett mycket för lågt anbud och senare ställer till med problem, t ex genom att vara oflexibel och på så sätt försöka tjäna tillbaka pengar och minska dess förluster. Beställaren kan motverka denna risk dels med en pre-kvalificering, dels med en option på att förlänga kontraktet om entreprenören har skött sig bra.

### 3.7.6 Slutsatser och rekommendationer

Pilotprojektet, Integrerat brounderhåll, som startade i Uppsala län 2004 har visat sig vara framgångsrikt. Entreprenören har skapat en speciell brounderhållsgrupp och beställaren fick ett lågt pris genom flera anbudsgivare. Vägverket är övertygat om att denna upphandlingsform har gett mera ”valuta för pengarna” och därför beslutat att införa detta i andra områden också, senast Örebro län 2007. Kontraktet kännetecknas speciellt av kombinationen åtgärder och egenskaper.

Hittills är slutsatserna och rekommendationerna:

- Välj storlek på brounderhållsområdet med stor omsorg. Beställaren behöver tänka både kortsiktigt och långsiktigt när det gäller skalfördelar för entreprenören, transportkostnader, informationsproblem och den långsiktiga konkurrensen.
- Funktion och egenskaper: På lång sikt kan det kanske vara möjligt att handla upp på funktioner som är viktiga för slutkunden (samhället/bilisten). På kort sikt är det viktigaste att koncentrera sig på de mest viktiga egenskaperna och deras mätbarhet.
- Det är viktigt att i kontraktet ange hur länge brister i egenskapskraven tillåts att ”leva” efter upptäckt. Man behöver nog dela in bristerna i akuta och icke-akuta samt göra skillnad på om bron ligger på en nationell väg (t ex E4) eller på en övrig väg (t ex liten landsortsväg).
- Balans mellan egenskaper och åtgärder. Åtminstone i den närmaste framtiden kommer det att innebära en viss osäkerhet för en entreprenör när denne ska beräkna kostnaderna för egenskapernas uppfyllande för ett gammalt brobestånd. Ett sätt att minska risken för entreprenören är att inkludera ett antal mera lättkalkylerbara åtgärder i kontraktet.
- Eftersom tillståndet på gamla broar delvis är okänt samt att deras nedbrytningshastighet är svår att förutspå, är det viktigt att ett brounderhållskontrakt är flexibelt. Ju längre kontraktstid desto troligare är det att förhållandena kanske kommer att förändras på ett sådant sätt att bägge parter vinner på en omförhandling av kontraktet. Om man redan från början har ett partneringskontrakt kan transaktionskostnaderna för att omförhandla kontraktet hållas nere.
- Erfarenheten har visat att om beställaren genom en medveten strategi att hålla konkurrensen uppe, får denne mer ”valuta för pengarna” på lång sikt. En sådan strategi kan vara att införa Integrerat Brounderhåll på flera platser samt att ge en viss ersättning till de entreprenörer som lämnar anbud.

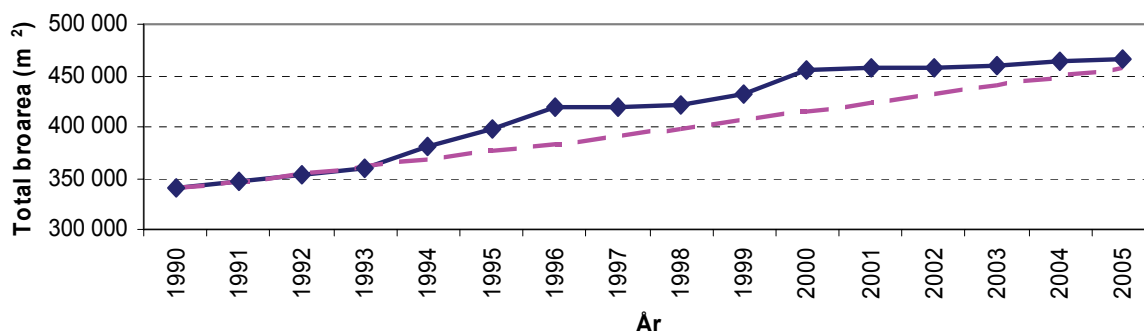
## 4 Ett brobestånds utveckling över tiden

### 4.1 Inledning

Detta kapitel är en kort sammanfattning av artikel 2 och behandlar hur ett brobestånd förändras över tiden. För varje år som går blir den befintliga bron ett år äldre samtidigt som det totala brobeståndet kan bli både äldre och yngre beroende på hur mycket som rivs ut och hur mycket nytt som byggs. Det beror på att ett antal broar blir utrivna och ersätts med nya samt att det blir nya vägsträckningar som kräver nya broar. För att få en klarare uppfattning om dessa relationer så har hela brobeståndet i VMN studerats under en femtonårsperiod, 1990-2005. Detta är en lokal studie, men samma analys kan användas generellt för ett annat brobestånd. Denna typ av bakgrundsmaterial ökar kunskapen hos en broförvaltare och skapar ett bättre underlag för framtida bedömningar om lämplig nivå på brounderhållet. Författaren till denna avhandling har inte hittat något liknande publicerat om ett brobestånds utveckling över en längre tid, baserat på verkliga data.

### 4.2 Antal broar och broareor i VMN

I början av 1990 fanns det 1 587 broar (broarea 339 735 m<sup>2</sup>) och i slutet av 2005 fanns det 1 827 broar (465 319 m<sup>2</sup>) i VMN, vilket innebär att brobeståndet har ökat med 240 broar (125 584 m<sup>2</sup>) under den här tiden. Denna nettoökning beror på att 419 nya broar har byggts (142 635 m<sup>2</sup> ny broarea har tillkommit) och att 179 gamla broar har utrivits (17 051 m<sup>2</sup> gammal broarea har utrivits). Broarean har i genomsnitt ökat med 2 % om året under perioden 1990-2005, se **Figur 4.1**. Denna årliga nettoökning på 2 % beror på att andelen nya broar (2.3 %) är väsentligt större än andelen utrivna broar (-0.3 %).



**Figur 4.1.** Total broarea i VMN under perioden 1990-2005. Den streckade linjen representerar en årlig ökning av broarean med 2 %.

### 4.3 Brotyper i VMN

De fem vanligaste brotyperna är balkbro, plattrambro och plattbro med huvudbärverk av betong samt balkbro och rörbro med huvudbärverk av stål, se **Tabell 4.1**. Dessa små och medelstora broar är representativa för Sveriges brobestånd i stort.

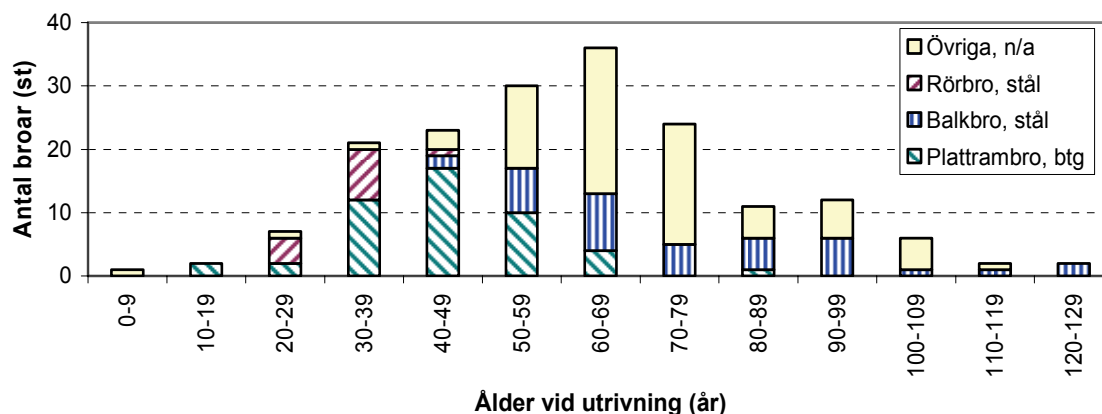


**Tabell 4.1.** De fem vanligaste brotyperna i VMN och deras fördelning år 2005.

Brotyp	Material	Antal (st)	(%)	Broarea (m <sup>2</sup> )	(%)	(m <sup>2</sup> /bro)
Balkbro	btg	161	8.8	129 629	27.9	805
Plattrambro	btg	811	44.4	109 707	23.6	135
Plattbro	btg	213	11.7	90 609	19.5	425
Balkbro	stål	79	4.3	36 409	7.8	461
Rörbro	stål	318	17.4	27 531	5.9	87
Övriga	n/a	245	13.4	71 434	15.4	292
<b>TOT</b>		<b>1 827</b>	<b>100.0</b>	<b>465 319</b>	<b>100.0</b>	<b>255</b>

## 4.4 En bros ålder vid utrivning

**Figur 4.2** visar åldersfördelningen på de 179 utrivna broarna i VMN. Ålder vid utrivning = utrivningsår – nybyggnadsår. Medelåldern för de utrivna broarna var 62 år med en standardavvikelse av 22 år. Åldersfördelning av utrivna broar i VMN stämmer bra överens med åldersfördelningen på alla utrivna broar i Sverige under perioden 1990-2005, se avsnitt 5.3. Vidare har medelåldern för utrivna rörbroar av stål varit 33 år med en standardavvikelse av 5 år, plattrambroar av betong 45 år med en standardavvikelse av 12 år och balkbroar av stål 76 år med en standardavvikelse av 21 år.



**Figur 4.2.** Åldersfördelningen för de 179 utrivna broarna i VMN under perioden 1990-2005.

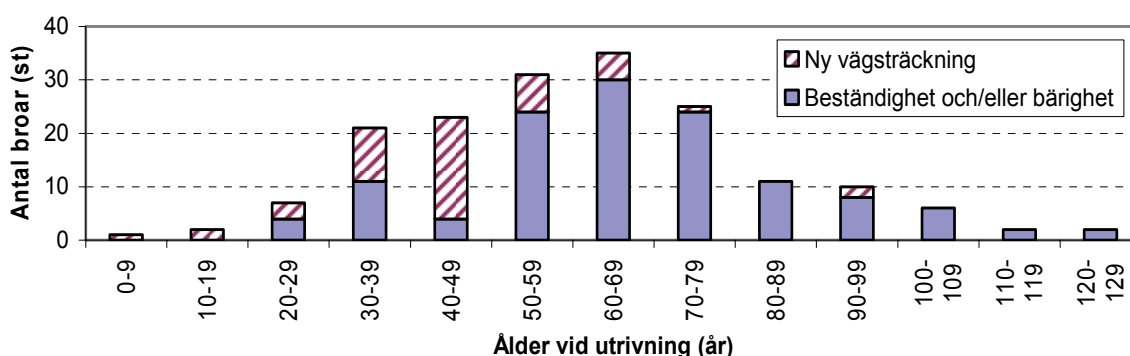
## 4.5 Orsak till utrivning

Det kan vara många orsaker till att man beslutar att riva ut en bro. Eftersom orsaken till utrivning i Vägverkets broförvaltningssystem BaTMan inte är angiven, så har intervjuer genomförts med de ansvariga broingenjörerna i VMN. I framtiden bör broingenjörerna konkretisera den bakomliggande orsaken till en bros utrivning i BaTMan. Detta bör göras på ett för landet gemensamt sätt så att man kan hålla isär de olika orsakerna bättre.

Efter att ha sammanställt svaren från intervjuerna av broingenjörerna om orsakerna till utrivning framträdde två huvudorsaker till att man har rivit ut 179 broar:

- Nedbrytningsprocessen (t ex korrosion, frostsador mm) har gått för långt, vilket innebär att det är billigare att bygga en ny bro jämfört med att reparera den gamla och/eller brons bärighet var för låg, vilket innebär att en ny bro med högre bärighet byggdes istället (72 %). Inte sällan hade det varit en kombination av beständighet (nedbrytning) och bärighet, vilket gjorde att det var svårt att ytterligare dela upp denna huvudorsak.
- Vägen fick en ny sträckning, vilket innebär att bron inte längre hade någon funktion (28 %).

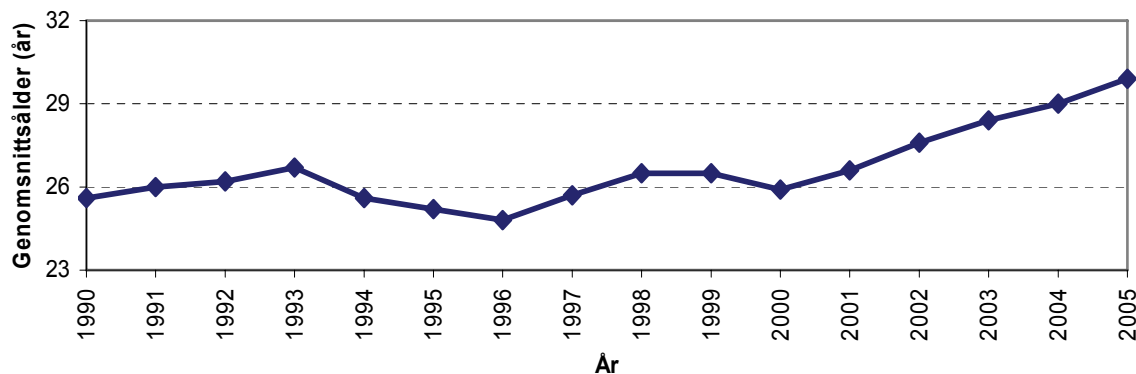
**Figur 4.3** visar åldersfördelningen på de 179 broarna i VMN uppdelade efter huvudorsak till utrivning. Medelåldern för broar utrivna på grund av beständighet och/eller bärighet var 68 år med en standardavvikelse av 20 år. För broar utrivna på grund av ny vägsträckning var medelåldern 45 år med en standardavvikelse av 17 år.



**Figur 4.3.** Åldersfördelningen för de 179 utrivna broarna i VMN uppdelade efter huvudorsak till utrivning.

## 4.6 Brobeståndets genomsnittsålder

Den historiska genomsnittsåldern för broarean i VMN har beräknats för perioden 1990-2005, se **Figur 4.4**. Ur figuren framgår att 1990 var genomsnittsåldern 25.6 år och 2005 var genomsnittsåldern 29.9 år, vilket innebär att genomsnittsåldern för broarean har ökat med 4.3 år under perioden 1990-2005.



**Figur 4.4.** Den historiska genomsnittsåldern för broarean i VMN under perioden 1990-2005.

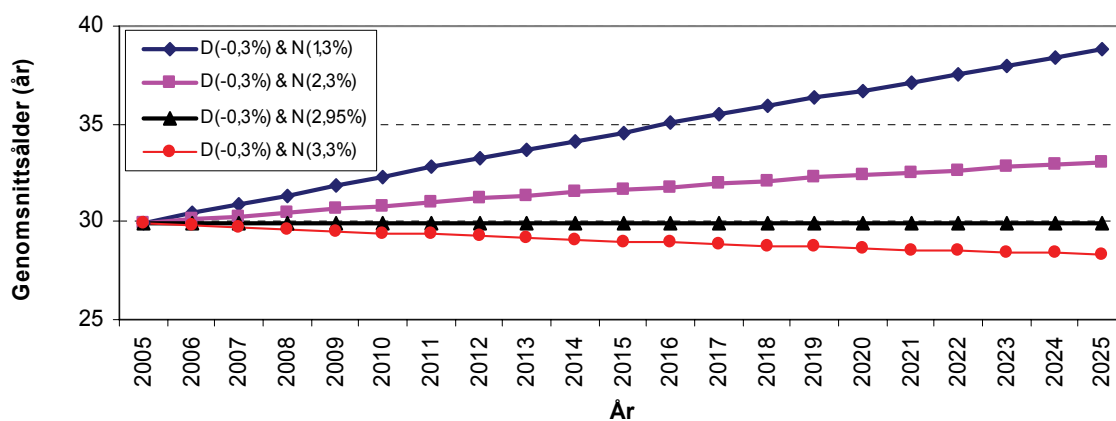
Vägverket använder ofta 20 års perspektiv för sin långsiktiga planering. För att få en uppfattning om hur genomsnittsåldern för VMNs brobestånd kan komma att utvecklas under perioden 2005-2025, och hur den kan hållas konstant "status quo", har några olika scenarion beräknats med förenklade antaganden.

Förenklingarna har varit att använda ett årligt medelvärde för både utrivningstakt och nybyggnadstakt. I verkligheten varierar dessa år från år. Genomsnittsåldern på den utrivna broarean har antagits vara 70 år. En mera detaljerad analys kan förslagsvis vara att sätta ett troligt utrivningsår på varje enskild befintlig bro baserat på någon sorts livslängdsfördelning (t ex överlevnadsanalys) för de olika brotyperna och sätta ett troligt nybyggnadsår på varje enskild bro som är planerad att byggas under perioden. Detta har inte gjorts i denna studie eftersom den detaljerade analysen har bedömts vara för tidsödande för en första uppfattning. För en broförvaltare med tillgång till framtida planer vore det däremot lämpligt som ett möjligt hjälpmedel.

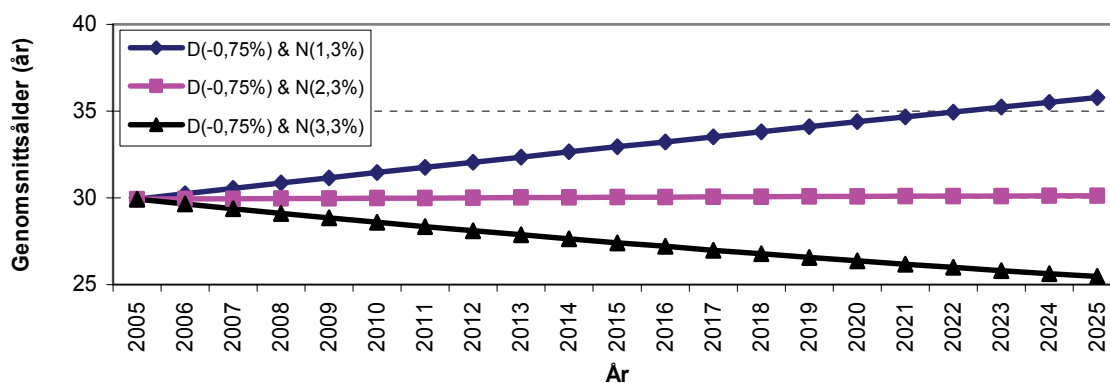
I **Figur 4.5** antas att 0.3 % av den befintliga broarean utrivs årligen  $D(-0.3\%)$  och att nya broar tillkommer årligen enligt fyra olika nybyggnadstakter  $N(1.3\%, 2.3\%, 2.95\%$  och  $3.3\%)$ . Ur figuren framgår att genomsnittsåldern ökar från 29.9 år till 33.1 år under perioden 2005-2025 om man använder de historiska värdena på utrivning  $D(-0.3\%)$  och nybyggnad  $N(2.3\%)$ .

I **Figur 4.6** antas att man ökar den årliga utrivningen till 0.75 % av den befintliga broarean  $D(-0.75\%)$  och att nya broar tillkommer årligen enligt tre olika nybyggnadstakter  $N(1.3\%, 2.3\%$  och  $3.3\%)$ .

Ur figurerna framgår att genomsnittsåldern ligger konstant kring 30 år om värdena  $D(-0.3\%)$  och  $N(2.95\%)$  eller om värdena  $D(-0.75\%)$  och  $N(2.3\%)$  används. Dessa beräkningar visar hur man kan hålla brobeståndets genomsnittsålder "status quo".



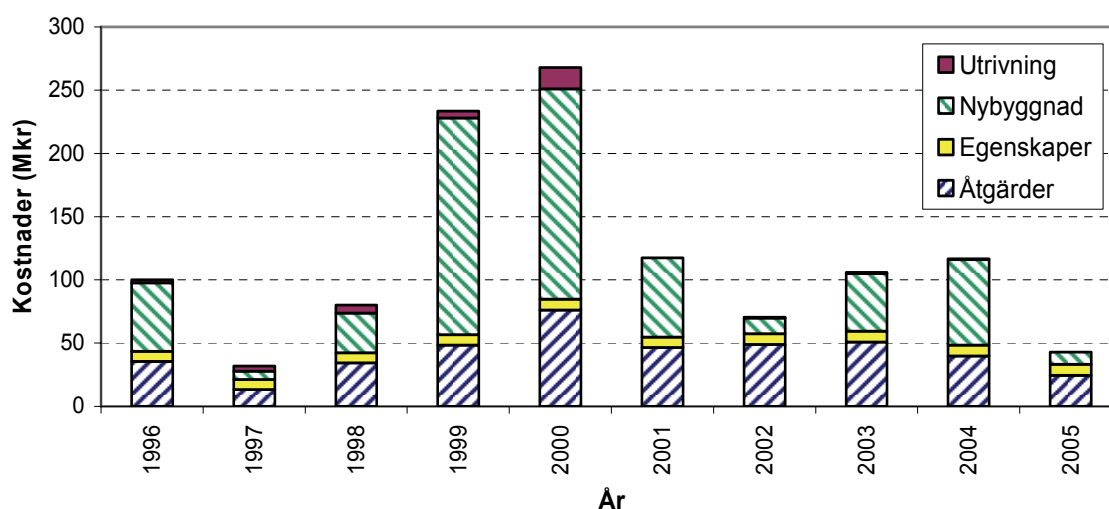
**Figur 4.5.** Uppskattad genomsnittsålder för broarean i VMN under perioden 2005-2025 med antagande av utrivningstakt  $D(-0.3\%)$  och nybyggnadstakt  $N(1.3\%, 2.3\%, 2.95\%$  och  $3.3\%)$ .



Figur 4.6. Uppskattad genomsnittsalder för broarean i VMN under perioden 2005-2025 med antagande av utrivningstakt D(-0,75 %) och nybyggnadstakt N(1,3 %, 2,3 % och 3,3 %).

## 4.7 Brobeståndets kostnader

VMNs kostnader under perioden 1996-2005 för underhåll (åtgärder och egenskaper) av det befintliga brobeståndet, nybyggnad och utrivning visas i **Figur 4.7**. I genomsnitt var den årliga kostnaden för åtgärder och egenskaper 25-30 kkr/bro eller 110-120 kr/m<sup>2</sup>. Kostnaden för att bygga nya små och medelstora broar var 2,5-3 Mkr eller 10-15 kkr/m<sup>2</sup>. Förhållandet mellan underhållskostnader (egenskaper + åtgärder) och nybyggnadskostnader var ungefär 1 %.



Figur 4.7. VMNs kostnader under perioden 1996-2005 för underhåll, nybyggnad och utrivning.

## 4.8 Inspektioner och tillståndsklasser

Eftersom broar är en viktig del av ett lands vägnät, så inspekteras de regelbundet. De inspektionsintervall som används i Sverige är jämförbara med andra västerländska länders system, se **Tabell 4.2**. Mer rutinmässiga inspektioner genomförs med korta intervall och mer noggranna med längre intervall. Resultaten från broinspektionerna rapporteras på två sätt, dels tillståndsklasser (TK), dels en ekonomisk uppskattning. Rapporteringen i tillståndsklasser sker med ett heltal 0, 1, 2 eller 3 (TK0-TK3) beroende på hur allvarlig en eventuell upptäckt skada bedöms vara, se

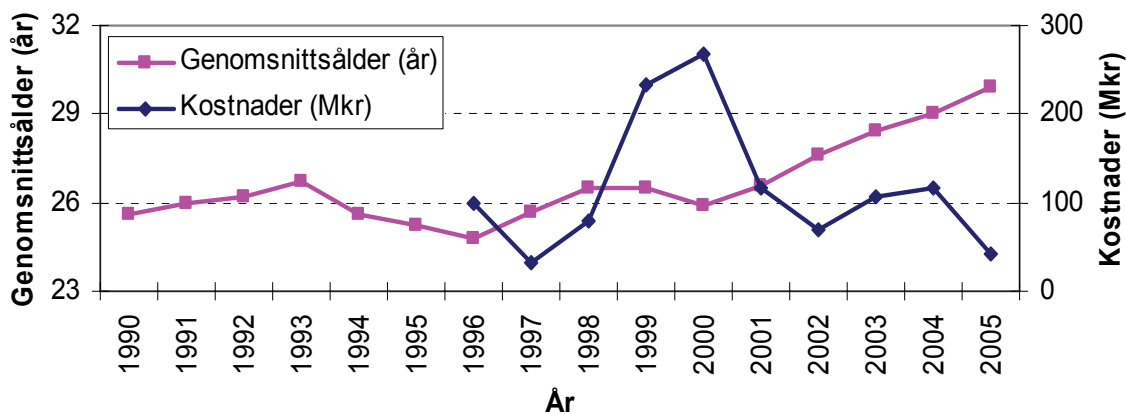
**Tabell 2.1.** Som komplement görs en uppskattning av kostnaden för att åtgärda de upptäckta skadorna. Denna uppskattade reparationskostnad, för enbart den skadade delen, jämförs med nybyggnadskostnaden för bron. Kvoten mellan reparationskostnad och nybyggnadskostnad kallas Brist på Kapitalvärde (BK).

**Tabell 4.2.** Inspektionsintervall för broar i några västerländska länder. Efter *Silfverbrand (2002)* och *Sommer et al. (1993)*

Land	Översiktlig inspektion	Allmän inspektion	Huvudinspektion
Belgien	1 år	3 år	Vid behov
Danmark		1-6 år	
Frankrike	1 år	5 år	
Tyskland	3 mån	3 år	6 år
Italien	3 mån	1 år	
<b>Sverige</b>	<b>1 år</b>	<b>3 år</b>	<b>6 år</b>
Schweiz	15 mån	5 år	Vid behov
USA		2 år	

## 4.9 Jämförelser mellan genomsnittsålder, kostnader och BK

Den historiska genomsnittsåldern för VMNs brobestånd under perioden 1990-2005 och VMNs totala kostnader för brobeståndet under perioden 1996-2005 visas i **Figur 4.8**. Ur figuren kan man se att när kostnaden är under 100 Mkr så ökar den genomsnittsåldern och när kostnaden är över 200 Mkr så minskar genomsnittsåldern. Detta indikerar att normalt brounderhåll samt nyproduktion av ett litet antal broar, inte kan förhindra att brobeståndet åldras. Däremot om man bygger många nya broar och river ut en del gamla broar så behåller man eller minskar genomsnittsåldern, t ex perioderna 1993-1996 och 1999-2000.

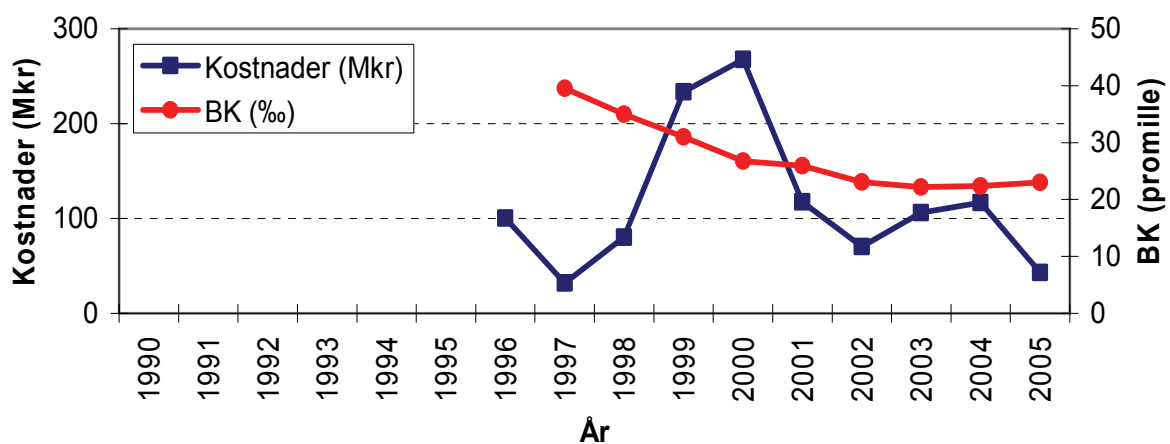


**Figur 4.8.** VMNs kostnader och brobeståndets genomsnittliga ålder.

Bristen på kapitalvärde för VMNs brobestånd under perioden 1997-2005 och VMNs totala kostnader för brobeståndet under perioden 1996-2005 visas i **Figur 4.9**. Ur figuren kan man se att när kostnaden är över 200 Mkr så minskar BK och när kostnaden är ca 100 Mkr så är BK mer eller mindre konstant. Detta indikerar att BK kan hållas ”status quo” genom normalt brounderhåll samt nyproduktion av ett litet antal broar, se perioden 2002-2004.

Om man tar genomsnittskostnaden under åren 2002–2004 (ur **Figur 4.9**), då BK var relativt stabilt, 100 Mkr och delar den med en nybyggnadskostnad av 10 – 15 kkr/m<sup>2</sup> och en broarea på 465 000 m<sup>2</sup> (se **Tabell 4.1**) så fås:  $100 \cdot 10^6 / 465\ 000 \cdot 10 \cdot 10^3 = 2.2\ %$  och  $100 \cdot 10^6 / 465\ 000 \cdot 15 \cdot 10^3 = 1.4\ %$ . Eftersom BK är en grov indikator avrundas resultatet till 2 %.

För att hålla det aktuella brobeståndets BK i ”status quo” krävs en årlig investering i underhåll och nya broar motsvarande 2 % av brobeståndets nybyggnadskostnad. Om man bygger många nya broar och river ut en del gamla broar så minskar man BK, t ex perioden 1999-2000.



**Figur 4.9.** VMNs kostnader och brobeståndets BK.

## 4.10 Slutsatser

Detta kapitel beskriver hur ett brobestånd kan utvecklas över tiden och hur några olika nyckeltal kan utvecklas baserat på historiska data. Studien är lokal, men de använda metoderna är generella. Data från andra databaser kan leda till andra resultat. Men dessa resultat kan användas som jämförelse med resultaten i detta kapitel och på så sätt ökar kunskapen om hur ett brobestånd kan utvecklas.

## 5 Broars verkliga livslängder

### 5.1 Introduktion

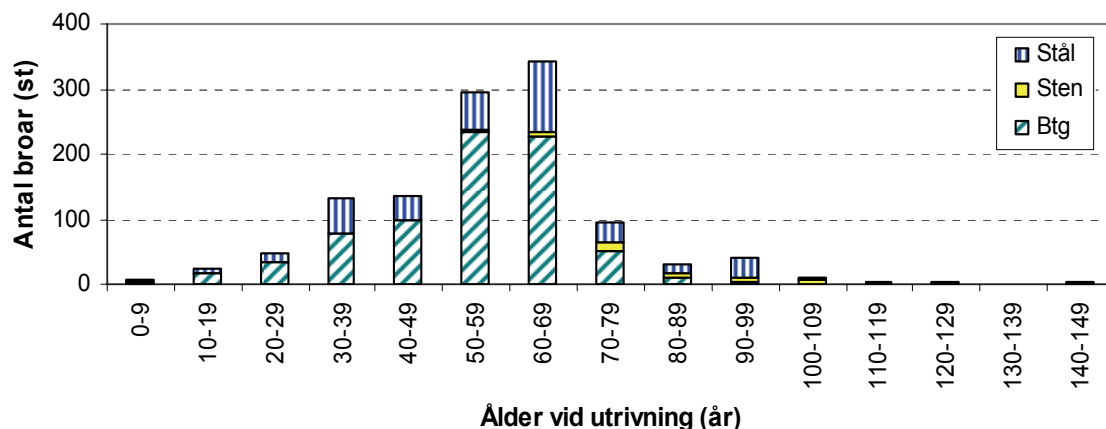
Detta kapitel är en sammanfattning av artiklarna 3, 4 och 5 och behandlar broars verkliga livslängder. Detta bakgrundsmaterial ökar kunskapen om hastigheten för några vanliga brotypers nedbrytning och skapar ett bättre underlag för framtida bedömningar om lämplig nivå på brounderhållet. Det finns mycket publicerat om teoretisk nedbrytning (t ex kloridinträngning), men lite om verkliga livslängder. Därför har dessa studier gjorts, baserade på verkliga data.

### 5.2 Antal utrivna broar i Sverige

Under perioden 1990-2005 har 1 170 nationella broar rivits ut i Sverige. Mellan 50 och 150 broar har rivits ut årligen motsvarande ca 0.3-1.2 % av brobeståndet. Materialet i huvudbärverket för de utrivna broarna har varit betong (65 %), stål (31 %) och sten (4 %).

### 5.3 Broarnas ålder vid utrivning

Ur **Figur 5.1** framgår att medelåldern för de utrivna broarna var 56 år med en standardavvikelse av 18 år. Från undersökningen visade det sig att regioner med stor ekonomisk tillväxt hade kortare livslängder på sina broar, t ex hade broarna i Stockholms- och Göteborgsregionerna en medellivslängd av 47 år jämfört med hela rikets genomsnittsålder 56 år.



**Figur 5.1.** De 1 170 utrivna broarna sorterade efter ålder och material i huvudbärverk.

### 5.4 Teknisk livslängd enligt Vägverkets regler

Inom Vägverket arbetar man med en definition av begreppet teknisk livslängd som finns angiven i publikationen *Vägar och gators utformning (VGU)*, *Vägverket (2004)*. I VGU kan man läsa: ”Teknisk livslängd är den tid under vilket byggnadsverket/vägen eller del därav, uppfyller avsedd funktion med normalt underhåll”. I *Vägutformning 94*, *Vägverket (1994)*, kan man läsa: ”Normalt underhåll kan definieras som en viss andel av återanskaffningsvärdet”. Vid nybyggnad utförs Vägverkets byggnadsverk för olika kvalitetsnivåer med avseende på beständighet. För broar ut-

trycks detta i Vägverkets tekniska beskrivningar genom att byggnadsverken utförs för de tekniska livslängderna 40, 80 eller 120 år, se **Tabell 5.1**.

**Tabell 5.1.** Teknisk livslängd för broar i Sverige enligt Vägverkets regler (*VGU, Vägverket 2004*).

Klass	Minst	Median	Typ av bro
<b>TLK 120</b>	120 år	150 år	Bro med spännvidd > 200 m eller längd > 1000 m
<b>TLK 80</b>	80 år	100 år	Övriga broar, rörbroar
<b>TLK 40</b>	40 år	50 år	Rörbroar

För betongkonstruktioner översätts dessa livslängder till det system med livslängdsklasser som används i BBK, se Bro 2004 kap. 41.311, *Vägverket (2004a)*. Man kan läsa: ”Betongkonstruktioner ska beräknas och utföras enligt de exponeringsklasser som anges i tabell 41-2 och 41-3. Med ändring av vad som anges i SS 13 70 10, avsnitt 3.3 avses med

- livslängdsklass L20 teknisk livslängd lika med 40 år.
- livslängdsklass L50 teknisk livslängd lika med 80 år.
- livslängdsklass L100 teknisk livslängd lika med 120 år.”

Vidare kan man läsa följande råd i Boverkets handbok om Betongkonstruktioner (BBK 94), avsnitt 1.2, *Boverket (1994)*: ”Med livslängd avses den vid dimensioneringen förväntade tid under vilken konstruktionen med normalt underhåll uppvisar erforderlig funktionsduglighet. Om inte annat kan påvisas vara riktigare, bör livslängden för konstruktioner i säkerhetsklass 2 och 3 väljas till minst

- 50 år för byggnadsdelar som är åtkomliga för inspektion och underhåll och
- 100 år för byggnadsdelar som inte är åtkomliga för inspektion och underhåll.”

#### **5.4.1 Några reflexioner kring Vägverkets regler**

Anta att en bro med den tekniska livslängden 40 år (TLK 40) ska konstrueras. Det täckande betongskiktet dimensioneras då med 20 års livslängd (L20), vilket innebär ett tunt täckande betongskikt. Frågan blir om konstruktionen håller i 40 år eller om man redan från början måste öka det täckande betongskiktet till livslängdsklass L50? Eller ska man anta att t ex kantbalken måste repareras efter ca 20 år och att den reparationen räknas som ”normalt underhåll”?

### **5.5 Överlevnadsanalys (survival analysis)**

Överlevnadsanalys har använts under lång tid inom områden som medicinsk forskning och hälsoundersökningar och kan även användas för ett brobestånd. I studier kan en forskare vilja studera en förändring i brobeståndets tillstånd från någon given startpunkt t ex nybyggnad, till någon väl definierad händelse t ex utrivning. Tiden mellan ingäendet i studien och händelsen (utrivning) benämns broarnas överlevnadstid.

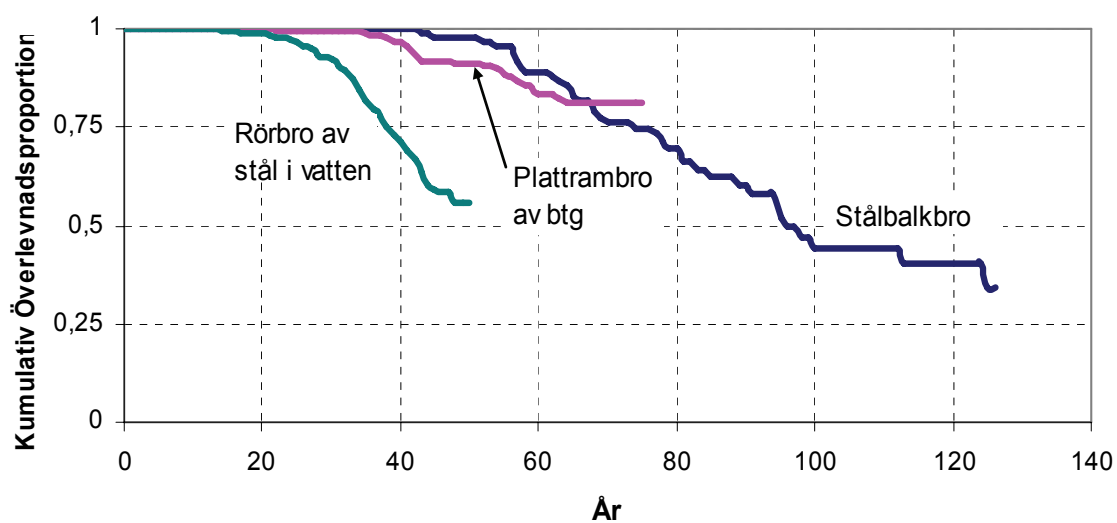


Den statistiska behandlingen av överlevnadstider kallas överlevnadsanalys. Även om man studerar ett brobestånd under många år kommer det att finnas broar som inte har blivit utrivna vid studiens slut. Sådana överlevnadstider kallas censurerade. Från en uppsättning överlevnadstider och censurerade tider för de individuella broarna kan man uppskatta sannolikheten för att en viss andel av brobeståndet ska överleva en viss tid.

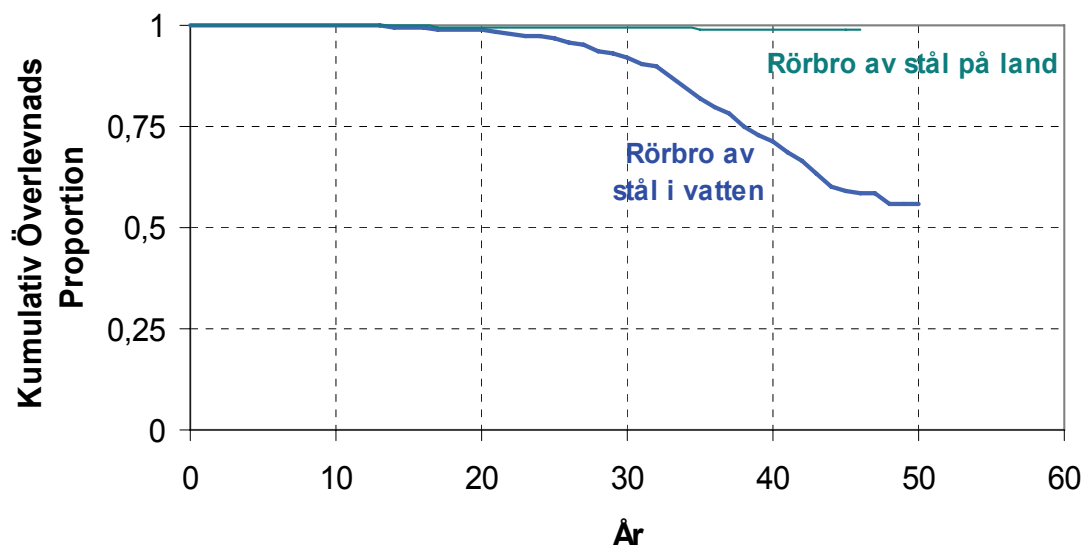
Det är vanligt att använda Kaplan-Meier metoden, *Daniel (2005)*, och redovisa resultatet som en graf. Ur grafen kan man avläsa överlevnadstidens medianvärde, vilket motsvarar tiden till dess att den överlevandedelen av brobeståndet har nått andelen eller proportionen 0.5.

## 5.6 Överlevnadsanalys för några olika brotyper

Överlevnadsanalys har gjorts, med slutår 2006, på tre vanliga brotyper i Sverige, nämligen plattrambroar av betong, stål balkbroar och rörbroar av stål i vatten. Analysen av plattrambroarna är baserad på 811 broar som fortfarande var i drift och 48 utrivna i VMN. Stål balkbroarna är baserade på 79 broar som fortfarande var i drift och 38 utrivna broar i VMN. Rörbroarna av stål i vatten är baserad på 1 833 som fortfarande var i drift, av vilka 224 hade blivit omfattande reparerade med invändig sprutbetong, och 98 utrivna broar i Sverige. De 224 rörbroar som hade blivit omfattande reparerade betraktades som "döda" i överlevnadsanalysen, se **Figur 5.2**. Vidare har en jämförande överlevnadsanalys gjorts mellan rörbroar av stål i vatten och rörbroar av stål på land, se **Figur 5.3**. Rörbroar av stål på land är baserad på 441 som fortfarande var i drift, av vilka en hade blivit omfattande reparerad med invändig sprutbetong, och en utrivna bro i Sverige. Ur figurerna kan man utläsa att överlevnadstidens medianvärde för stål balkbroar är 96 år. Överlevnadstidens medianvärde för rörbroar av stål på land, rörbroar av stål i vatten och plattrambroar av betong kan inte beräknas eftersom överlevnadskurvan för dessa brotyper inte går under värdet 0.5, se **Tabell 5.2**. Tabellen visar också broarnas ålder vid en kumulativ överlevnadsproportion ( $p$ ) av 0.95 och åldern vid slutet av kurvan.



Figur 5.2. Överlevnadskurva för rörbroar av stål i vatten, plattrambroar av betong och stål balkbroar.



Figur 5.3. Överlevnadskurva för rörbroar av stål i vatten och rörbroar av stål på land.

Tabell 5.2. Verkliga livslängder för rörbroar av stål i vatten, plattrambroar av betong och stål balkbroar.

Typ av bro	Min ( $p = 0.95$ )	Median ( $p = 0.5$ )	Vid slutet av kurvan
Stålbalkbro	57 år	96 år	126 år ( $p = 0.35$ )
Plattrambro av betong	41 år	n/a	75 år ( $p = 0.81$ )
Rörbro av stål i vatten	27 år	n/a	50 år ( $p = 0.56$ )
Rörbro av stål på land	n/a	n/a	46 år ( $p = 0.98$ )

Broarnas ålder vid en kumulativ överlevnadsproportion ( $p$ ) av 0.95 är intressant av två skäl. Det första skälet är att i EU-projektet *LIFECON* kan man läsa följande definitioner (översatt till svenska):

**Livslängd** Tid under vilken avsedd funktion uppfylls.

**Karakteristisk livslängd** En tidsperiod, vilken livslängden uppnår med en viss sannolikhet, vanligtvis 95 % sannolikhet.

Det andra skälet är att tolkningen av **Tabell 5.1** är oklar. Man kan anta att med minsta livslängd menas den undre 5 % fraktilen, det vill säga att detta är ett värde som 95 % av broarna ska uppnå, vilket motsvarar en kumulativ överlevnads proportion  $p = 0.95$ . Denna tolkning är i linje med definitionen av karakteristiska värden för betong och stål i svenska normer. Eftersom huvuddelen av alla broar i Sverige består av betong och stål så är det rimligt att sätta den tekniska livslängden i relation till de ingående byggnadsmaterialen.

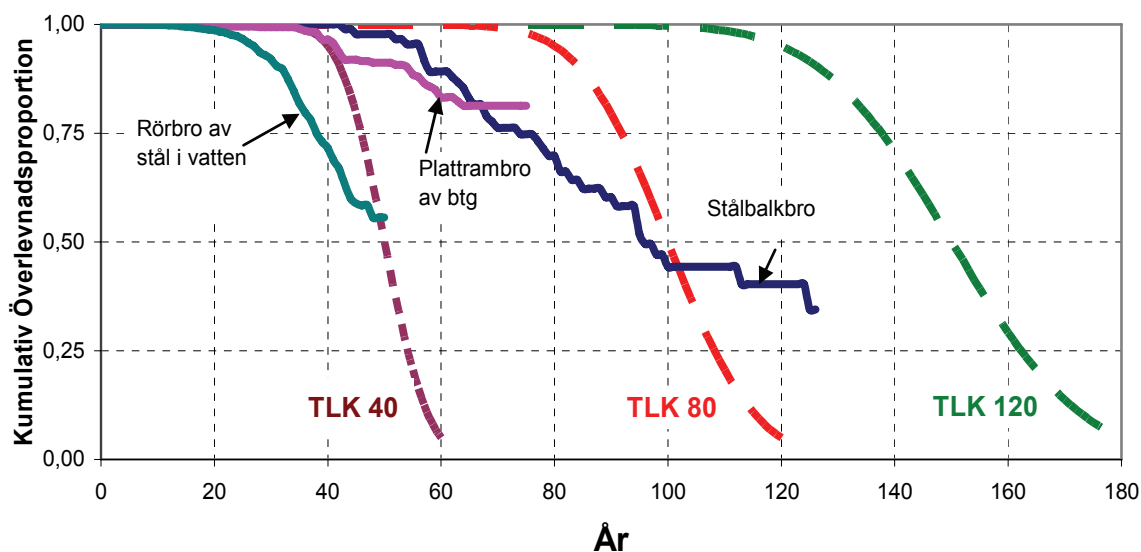
## 5.7 Jämförelse mellan teknisk livslängd och överlevnadsanalys

I **Figur 5.4** görs en jämförelse med tekniska livslängder och överlevnadskurvorna för de tre brotyperna. Ur figuren framgår att rörbroar av stål i vatten har en kumulativ överlevnadsproportion  $p = 0.56$  vid 50 år, vilket ligger nära medianvärdet 0.5 vid 50 år för TLK 40. Vidare framgår att stålbalkbroar har ett värde  $p = 0.5$  vid 96 år, vilket ligger nära medianvärdet 0.5 vid 100 år för TLK 80. Dessa två brotyper kan anses uppfylla Vägverkets medianvärden för teknisk livslängd.

Rörbroar av stål i vatten har en kumulativ överlevnadsproportion  $p = 0.95$  vid 27 år jämfört med minimivärdet 0.95 vid 40 år för TLK 40. Huvudorsaken till den låga åldern (27 år) är att rörbroar av stål byggda under 1960- och 1970-talen hade otillräckligt rostskydd. Stålbalkbroar har en kumulativ överlevnadsproportion  $p = 0.95$  vid 57 år jämfört med minimivärdet 0.95 vid 80 år för TLK 80. Den verkliga livslängden för dessa två brotyper är ca 30 % under Vägverkets minimivärden för teknisk livslängd.

Rörbroar av stål på land uppfyller Vägverkets minimivärde och medianvärde för teknisk livslängd, se **Figur 5.3**.

Den verkliga livslängden på de broar som byggs nu kommer tidigast att bli känd om 50-100 år.



**Figur 5.4.** Överlevnadskurva för rörbroar av stål i vatten, plattrambroar av betong och stålbalkbroar jämfört med de tre tekniska livslängdsklasserna TLK 40, TLK 80 och TLK 120.

## 5.8 Diskussion

Det finns två olika sätt att beskriva den verkliga livslängden för en brotyp. Det första sättet är att analysera enbart de utrivna broarna och uppskatta livslängden för resten av broarna. Denna uppskattade livslängd blir troligtvis för låg eftersom bara ”dåliga broar” ingår i analysen. Det andra sättet är att räkna med både utrivna broar och broar som fortfarande är i drift i en överlevnadsanalys. Detta verkar vara ett bättre tillvägagångssätt eftersom man använder all information om den valda brotypen vid beräkning av den verkliga livslängden.

## 6 Kantbalkars verkliga livslängder

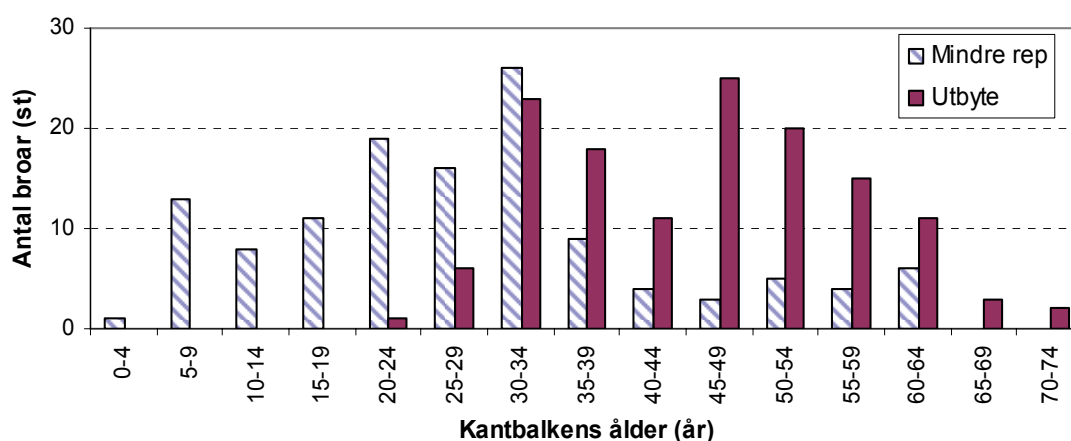
### 6.1 Introduktion

Detta kapitel är en sammanfattning av artikel 6 och behandlar kantbalkars verkliga livslängder. En kantbalks huvuduppgifter är att fungera som infästning för räcke och att göra brobaneplattan lite styvare samt i vissa fall utgöra ett bärande element t ex vid brobanekonsol.

Kantbalkar är normalt konstruerade av betong. I motsats till brobaneplattan, som normalt är skyddad med isolering och beläggning, är kantbalken direkt utsatt för miljöinducerad nedbrytning t ex vägsalt. För att skydda kantbalken har det blivit vanligt att impregnera dem. Eftersom kantbalken är det mest skadeutsatta broelementet så är det av intresse för en broförvaltare att känna till en kantbalks normala livslängd. Detta bakgrundsmaterial ökar kunskapen om hastigheten för nedbrytning och skapar ett bättre underlag för framtida bedömningar om lämplig nivå på brounderhållet. Det finns mycket publicerat om teoretisk nedbrytning (t ex kloridinträngning med Fick's andra lag), men inte så mycket om verkliga livslängder. Därför har dessa studier gjorts, baserade på verkliga data.

### 6.2 Utbyte och mindre reparationer av kantbalkar

Under perioden 1990-2005 utfördes 135 utbyten av kantbalkar och 125 mindre reparationer av kantbalkarna i VMN, se **Figur 6.1**. Utbyte innebär att man river ut den gamla kantbalken och bygger en ny. Medelåldern vid utbyte var 45 år med en standardavvikelse av 11 år. I samband med att kantbalken byts ut så byter man normalt också ut isoleringen, beläggningen och räcken. Mindre reparationer kan t ex vara att ”lappa” ett litet område med betong och laga räckesinfästningar. Medelåldern vid mindre reparationer var 28 år med en standardavvikelse av 15 år.

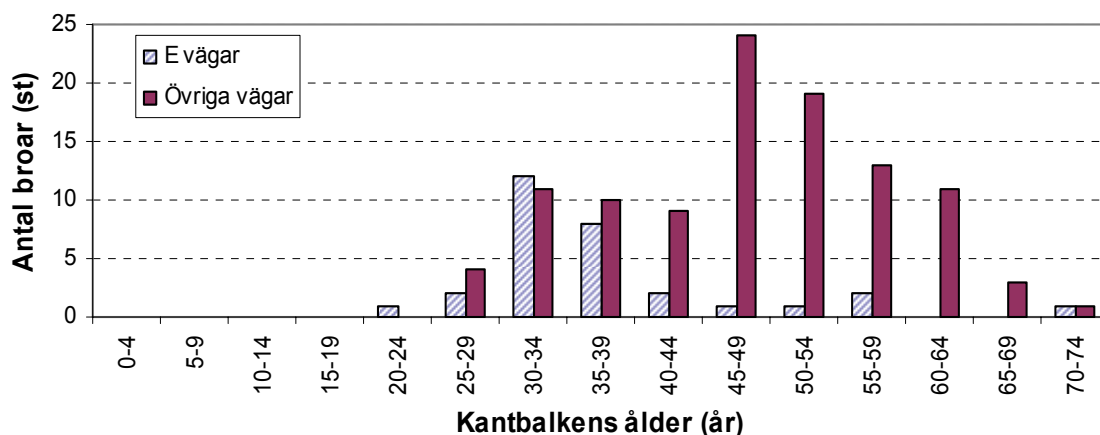


**Figur 6.1.** 135 utbytta och 125 mindre reparerade kantbalkar i VMN under perioden 1990-2005.

### 6.3 Utbytta kantbalkar

Av de 135 broar med utbytta kantbalkar var 30 belägna på europavägar (E4, E18 och E20) och 105 på övriga vägar, se **Figur 6.2**. Medelåldern vid utbyte på europavägar var 37 år med en standardavvikelse av 11 år. Medelåldern vid utbyte på övriga vägar var 48 år med en standardavvikelse

av 10 år. Anledningarna till att kantbalkar på europavägar har kortare livslängder, jämfört med övriga vägar, är förmodligen den större trafikmängden och att mera vägsalt används eller att det ställs större krav på funktion och estetik.

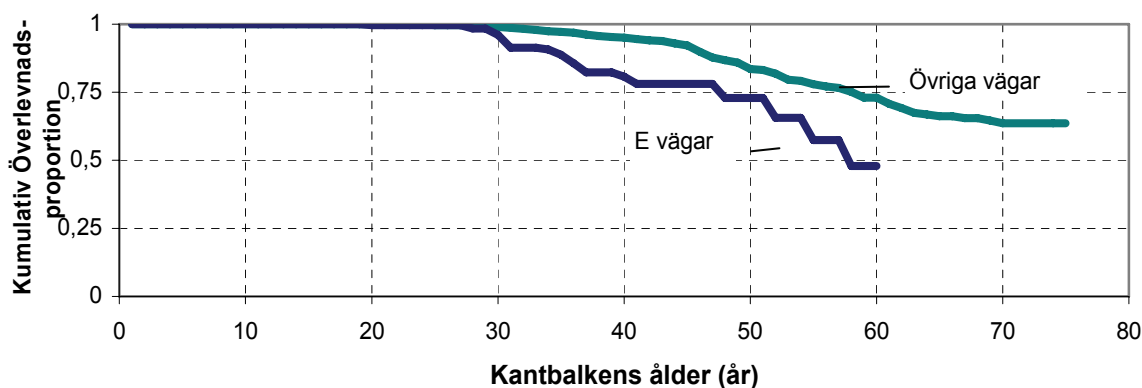


Figur 6.2. 135 utbytta kantbalkar uppdelade på europavägar (E vägar) och övriga vägar i VMN.

## 6.4 Överlevnadsanalys av utbytta kantbalkar

Överlevnadsanalysen av kantbalkar belägna på europavägar i VMN är baserad på 368 broar med inga noterade kantbalksutbyten och 30 broar vars kantbalkar har blivit utbytta under perioden 1990-2005. I överlevnadsanalysen är kantbalken ”död” när den blir utbytt. Mindre reparationer tas inte med i beräkningen eftersom den gamla kantbalken fortfarande ”lever”. Överlevnadsanalysen av kantbalkar belägna på övriga vägar i VMN är baserad på 782 broar med inga noterade kantbalksutbyten och 105 broar vars kantbalkar har blivit utbytta under perioden 1990-2005, se **Figur 6.3**.

Ur figuren kan man utläsa att överlevnadstidens medianvärde för kantbalkar belägna på europavägar är 58 år. Överlevnadstidens medianvärde för kantbalkar belägna på övriga vägar kan inte beräknas eftersom överlevnadskurvan inte går under värdet 0.5. **Tabell 6.1** visar också kantbalkarnas ålder vid en kumulativ överlevnadsproportion ( $p$ ) av 0.95 och åldern vid slutet av kurvan.



Figur 6.3. Överlevnadskurva för utbytta kantbalkar belägna på europavägar (E vägar) och övriga vägar i VMN.

Tabell 6.1. Verkliga livslängder för kantbalkar belägna på europavägar och övriga vägar i VMN.

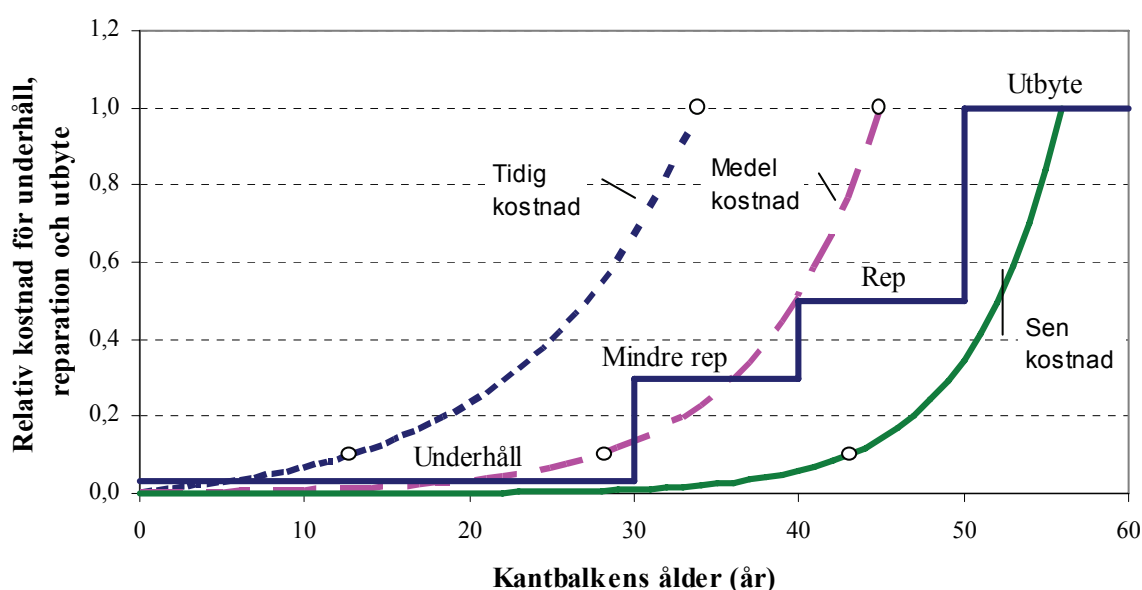
Typ av väg	Min ( $p = 0.95$ )	Median ( $p = 0.5$ )	Vid slutet av kurvan
Europa vägar	30 år	58 år	60 år ( $p = 0.48$ )
Övriga vägar	40 år	n/a	75 år ( $p = 0.64$ )

## 6.5 Kostnader för utbyte och mindre reparationer av kantbalkar

En relativ kostnadskurva kan skapas genom att använda att medelåldern vid utbyte var 45 år med en standardavvikelse av 11 år och att medelåldern vid mindre reparationer var 28 år med en standardavvikelse av 15 år samt att kostnaden för mindre reparationer är ca 10 % av ett kantbalksutbyte. Medelkostnadskurvan ges av 45 år för utbyte (100 %) och 28 år för mindre reparationer (10 %). Den tidiga kostnadskurvan och den sena kostnadskurvan ges av 34 år respektive 56 år för utbyte och 13 år respektive 43 år för mindre reparationer, se **Figur 6.4**.

Ur figuren framgår att den relativa kostnaden för kantbalken är låg vid tidig ålder och ökar när kantbalken blir äldre. Vidare framgår att det är 20-30 års skillnad mellan tidig kostnad och sen kostnad. Det här betyder att det är viktigt med kunskap hos den ansvarige broförvaltaren när det gäller att bedöma vad som ska göras med en kantbalk som sakta bryts ner och när det i så fall ska göras.

Resultaten från VMN har jämförts med tumregler för kantbalkar i Stockholm, *Stockholm Konsult (1996)*. Både resultaten från VMN och Stockholm visar liknande kostnadsutveckling för kantbalkar. Den relativa kostnaden för kantbalken är låg vid tidig ålder och ökar i en snabb takt när kantbalken åldras. Figuren indikerar att det är kostnadseffektivt att hålla kantbalken i gott skick genom förebyggande underhåll innan nedbrytningsprocessen börjar accelerera.



Figur 6.4. Relativa kostnader för underhåll, reparation och utbyte av kantbalkar i VMN (exponentiella kurvor) och i Stockholm (trappstegskurva).

## **7 Erfarenheter från annan anläggningssektor**

### **7.1 Introduktion**

Norrtälje kommun har lagt ut sin VA-verksamhet på en 10 år lång driftsentreprenad (2002-2011). Den stora internationella aktören Veolia Water är entreprenör. Det finns många likheter mellan brounderhåll och VA-underhåll. Intervjuer har genomförts under januari 2008 med både beställaren och entreprenören för att eventuellt kunna överföra deras gjorda erfarenheter till brounderhåll.

### **7.2 Bakgrund till entreprenaden**

Under 1999 fattade Norrtälje kommun beslut om att konkurrentutsätta VA-verksamheten. Motivet var att kommunen ville ha en lägre kostnad för sin VA-verksamhet. Man hade även högt läckvatten ca 35-40 %. Med läckvatten menas hur mycket vatten som läcker ut från vattenverk till slutkund. Dessutom så hade Åre, Vaxholm och Vallentuna kommun redan lagt ut sin VA-verksamhet på entreprenad och visat lovande resultat.

### **7.3 Förfrågningsunderlag och anbud**

Under 2000 arbetade Norrtäljes VA-avdelning med att ta fram ett förfrågningsunderlag.

Under våren 2001 annonserades det om en prekvalificering till entreprenaden. Det kom in en hel del intresseanmälningar från potentiella entreprenörer. VA-avdelningen bedömde inkomna intresseanmälningar och gjorde en bedömning av företagens kompetens. Detta resulterade i en "short list" bestående av tre företag som bedömdes kunna göra ett helhetsåtagande: Veolia Water, Anglia Water och NCC. Dessa företag fick sedan under sommaren och hösten 2001 lämna anbud på entreprenaden. Ett villkor från Norrtälje kommun var att anbudssumman måste ligga under kommunens egen självkostnad för verksamheten. Veolia Water hade lämnat det lägsta priset och fick därmed entreprenaden. Kontraktet skrevs under av bägge parter i december 2001. Kontraktstiden var 10 år (2002-01-01 – 2011-12-31) + option 2 år (2012-01-01 – 2013-12-31). I slutet av 2008 ska parterna ta ställning till om optionen ska utnyttjas eller inte.

### **7.4 Start av entreprenaden och övertagandebesiktning**

I samband med att entreprenaden började 2002 övertog entreprenören all teknisk dokumentation om VA-nätet, bl a statistik på historiska läckor, och tillhörande anläggningar. Dessutom genomfördes en övertagandebesiktning för att den befintliga statusen skulle bli fastställd. När det gäller det befintliga VA-nätet filmade man stickprovsvis på geografiskt spridda ställen. Man filmade invändigt i ca 10 % av spillvatten- och dagvattenledningarna. Resultatet från filmningarna bedömdes som representativt för hela nätet. Vidare fotograferade man alla anläggningar ovan mark på in- och utsidan, t ex reningsverk, vattenverk, tryckstegningsstationer, pumpstationer och vattentorn.

Förutom att överta VA-nät, anläggningar och inventarier erbjöds också entreprenören att ta över kommunens befintliga VA-personal. Veolia Water bjöd med kommunens VA-personal på en resa till Frankrike där man visade exempel på sina anläggningar. Efter den resan gick nästan all personal (ca 20 st) över till att bli anställda av Veolia Vatten.

## **7.5 Årlig planering**

Under entreprenadtiden har Veolia Vatten i slutet av varje år presenterat en lista för kommunen med prioriterade reinvesteringar och investeringar i VA-nätet. Reinvestering är det sätt på vilket man inom VA-sektorn genomför planerat underhåll, eftersom det är mycket svårt att underhålla nedgrävda ledningar. Ett exempel på reinvestering är relining, vilket innebär att först spräcks det befintliga röret och sedan påförs glasfiberarmerad plast inuti röret. Investering innebär att man lägger ett nytt rör. Eftersom kommunens budget är begränsande kommer kommunen och Veolia Vatten överens om vad som ska göras nästa år. Ca 75 % av budgeten binds upp av listan och ca 25 % reserveras för oförutsett. Kommunens VA-budget är på ca 70 Mkr/år.

## **7.6 Uppföljning under entreprenadtiden**

För att följa upp entreprenaden har man två typer av möten, driftmöten och entreprenadmöten, som hålls minst en gång per månad. Driftmötena är fokuserade på teknik, bl a går man igenom föregående månads driftjournal och statusen på projektet när det gäller investeringar och reinvesteringar. Under entreprenadmötena behandlas ekonomi och kontraktsfrågor.

## **7.7 Kostnadsfördelning vid underhållsarbeten**

Entreprenören står för alla akuta läckor upp till en kostnad av 30 kkr. Detta gäller för synliga läckor, d v s vatten på marken. Vid aktiv läcksökning (kostnad 30–100 kkr) delar kommunen och Veolia Vatten på kostnaden. Aktiv läcksökning innebär att man undersöker vissa delar av VA-nätet som man misstänker kan ha en läcka, men man har inte sett något vatten på marken.

## **7.8 Gemensamma mål i projektet**

I den här entreprenaden har parterna formulerat några gemensamma mål, t ex genomföra den planerade årsverksamheten utan att överskrida budgeten, öka nöjd kundindex (NKI) från nuvarande ca 65 % och minska läckvattnet med 2 % om året från nuvarande 29 %. För att minska läckvattnet jobbar Veolia Vatten med aktiv läcksökning.

## **7.9 Entreprenadens slut och överlämnandebesiktning**

När det gäller en kommande överlämnandebesiktning i samband med entreprenadens slut har kommunen inte bestämt hur den ska gå till ännu. Några förslag på riktlinjer presenterades av kommunen i samband med mötet 2008-01-15. Förmodligen kommer man att gå till väga på lik-



nande sätt som övertagandebesiktningen, d v s filmning av spillvatten- och dagvattenledningarna stickprovsvis samt nya foton på anläggningarna. Förslagsvis kan man klassa rören och anläggningarna i en skala från 1 till 5, där 1 är dåligt och 5 är bra. Resultaten från överlämnandebesiktningen samt Veolia Vattens redovisningar under entreprenaden jämförs sedan med handlingarna från övertagandebesiktningen. Är statusen på VA-nätet och anläggningarna i sämre skick än vid övertagandet utgår vite. Är statusen bättre så har Veolia Vatten fått betalt för det under entreprenadens gång enligt kommunen. Vid jämförelsen kan en neutral zon vara ca +/- 10 % enligt kommunen.

## **7.10 Ny upphandling efter entreprenadens slut**

Efter entreprenadens slut planerar Norrtälje kommun att fortsätta handla upp sin VA-verksamhet ungefär på samma sätt igen. För fortsatt effektivisering av arbetet bör man ha många incitament i kontraktet. Incitamenten ska kunna beräknas efter någon enkel formel och både beställaren och entreprenören ska kunna tjäna på att målen uppfylls. Mål kan vara exempelvis att minska läckvattenet och att kostnaderna ska vara lägre än driftsbudget med oförändrad eller bättre kvalitet. Detta är mål som innebär en vinst för beställaren, om de uppfylls, och bör därmed delas med entreprenören. Tanken med målen är att stimulera kreativt tänkande, utveckling av bättre metoder och att man jobbar tekniskt och administrativt smartare.

## **7.11 Erfarenheter från entreprenaden efter fem år**

Både beställaren Norrtälje kommun och entreprenören Veolia Vatten är hittills nöjda med entreprenaden. Det har utvecklats ett gott samarbete mellan beställare och entreprenör samt att VA-arbetet har lyfts upp som en intressant aktivitet. Beställaren har kunnat fokusera mera på den långsiktiga planeringen istället för som tidigare mest ägnat sig åt att åtgärda akuta läckor. Dessutom har kommunen fått ett bättre VA-nät till en billigare kostnad (ca 12-15 % lägre driftkostnader) jämfört med om kommunen hade gjort det i egen regi. Enligt Veolia Vatten har personalen utvecklats i och med att man har haft hela organisationens kunnande och erfarenheter till hjälp. Vidare framhöll Veolia Vatten att det är lönsamt med långa driftskontrakt, minst 10 år, både för beställaren och för entreprenören.

## **7.12 Kommentarer**

Det finns en risk att beslutsfattarna underskattar kostnaderna för ett eventuellt framtida underhållsberg, *Westerlund (2008)*. Det verkar vara ett stort systemfel att man inte kan fondera underhållsmedel i den offentliga budgeten. När konjunkturen är god kan man temporärt avsätta medel för underhållsarbeten, dock för max tre år. När konjunkturen är dålig är det lätt för beslutsfattarna att minska på underhållsbudgeten. Man kan säga att underhållsmedel används som en budgetregulator beroende på konjunkturen. Orsaken till det så kallade underhållsberget beror på att det inte avsätts tillräckligt med medel när konjunkturen är dålig. Man måste ha en långsiktig plan för underhåll av anläggningar som har en lång förväntad livslängd t ex 50-100 år för VA-ledningar.

Om man, som exempel, antar att en beslutsfattares "aktiva liv" är ca 5-10 år och jämför det med anläggningarnas "aktiva liv" på ca 50-100 år, då ser man att beslutsfattare bara är ansvariga, i omgångar, för ca 5-10 % av anläggningens liv. Om man betänker den långsamma nedbrytningen av anläggningarna, så kan det vara frestande för beslutsfattare att skjuta upp underhållet på någon efterträdare.

## **8 Upphandling av Integrerat brounderhåll**

### **8.1 Allmänna riktlinjer**

Detta kapitel ger riktlinjer och rekommendationer på hur man bör handla upp Integrerat brounderhåll i framtiden. I avsnitt 8.2 presenteras förslag på hur man kan handla upp brounderhållet för hela Vägverkets region Mälardalen (VMN).

#### **8.1.1 Tillståndet på det aktuella brobeståndet**

Innan ett kontrakt för Integrerat brounderhåll utformas bör en broförvaltare ha en god kännedom om brobeståndets tillstånd. Att förvalta ett brobestånd optimalt ur ett livscykel perspektiv är en mycket komplex uppgift, eftersom förhållandena för de olika enskilda broarna kan variera betydligt från plats till plats, vilket resulterar i olika nedbrytningshastigheter. Det är en klar fördel om broförvaltaren har en uppfattning om svaret på forskningsfrågorna 2-5, vilka presenteras i denna avhandling (se kapitel 4-6), för det aktuella brobeståndet.

#### **8.1.2 Storlek på brounderhållsområdet**

Det är viktigt att man väljer ett lagom stort område (antal broar). En broförvaltare bör ta ett antal kortsiktiga och långsiktiga aspekter i betänkande som skalfördelar, transport kostnader, informations problem och konkurrensen på lång sikt. Vidare är en broförvaltare intresserad av att många entreprenörer lämnar anbud på ett kontrakt.

Byggbranschen omsatte i snitt ca 2 Mkr/år och anställd under åren 2000-2004 (se *Mattsson 2006*). Om man antar att en brounderhållsgrupp består av 3-6 personer inklusive arbetsledning kommer man till ett kontraktsvärde av 6-12 Mkr/år. Detta fiktiva kontraktsvärde kan ses som en miniminivå när man väljer storlek på brounderhållsområdet och balans mellan egenskaper och åtgärder.

#### **8.1.3 En bra balans mellan egenskaper och åtgärder**

Funktionskontrakt, eller som i det här fallet att ett antal egenskaper ska vara uppfyllda, skapar osäkerhet speciellt när kontraktet omfattar gamla broar. Även efter en övertagandebesiktning, där man i princip nollställer bristerna i egenskapskraven, är det svårt att förutspå hur de olika egenskapskraven kommer att utveckla sig under kontraktstiden för ett gammalt brobestånd.

Ett sätt att minska osäkerheten för potentiella anbudsgivare är att kombinera ”osäkra” egenskaper med ”säkra” åtgärder.

En bra balans i kontraktet kan vara 15-25 % egenskaper och 75-85 % åtgärder.

#### **8.1.4 Arbetscykeln för egenskaper**

På lång sikt kan det kanske vara möjligt att handla upp på funktioner som är viktiga för slutkunden (samhället/bilisten). På kort sikt är det viktigaste att koncentrera sig på de mest viktiga

egenskaperna och deras mätbarhet. Det är viktigt att i kontraktet ange hur länge brister i egenskapskraven tillåts att "leva" efter upptäckt. Man behöver nog dela in bristerna i akuta och icke-akuta samt göra skillnad på om bron ligger på en nationell väg (t ex E4) eller på en övrig väg (t ex liten landsortsväg).

I anbudsunderlaget bör arbetscykeln för egenskaper definieras, åtminstone generellt, och man bör också inkludera fiktiva mängder på förväntade antal brister i egenskapskraven under ett normalår. Detta underlättar för entreprenören att prissätta inspektionerna på hösten och åtgärdande av bristerna i egenskapskraven nästa vår/sommar. Entreprenören kommer att få betalt både på hösten/vintern (efter att inspektionerna har blivit registrerade i BaTMan) och på våren/sommaren (efter att bristerna har blivit släckta och registrerade i BaTMan). Det underlättar för entreprenören att ha ett någorlunda jämnt kassaflöde under året samt att det skapar ett incitament att utföra höstens inspektioner så snabbt som möjligt. Entreprenören har också möjligheten att presentera en lista på små åtgärder som faller mellan egenskaperna och utpekade åtgärder. Under vinterns planering kan sedan entreprenören och broförvaltaren komma överens om hur mycket av entreprenörens lista på små åtgärder som kan utföras under det kommande året.

För en entreprenör är det viktigt att kunna beräkna ganska exakt vad det kostar att uppfylla ett kontrakt. Om det är enkelt att prissätta kontraktet, bör fler entreprenörer kunna lämna anbud. Ju enklare det är att räkna på anbudet desto mer troligt är det att anbudsprocessen leder till att den mest effektive entreprenören får anbudet till en låg kostnad för beställaren.

### **8.1.5 Ett flexibelt kontrakt**

Eftersom tillståndet på gamla broar delvis är okänt samt att deras nedbrytningshastighet är svår att förutspå, är det viktigt att ett brounderhållskontrakt är flexibelt. Ju längre kontraktstid desto troligare är det att förhållandena kanske kommer att förändras på ett sådant sätt att bägge parter vinner på en omförhandling av kontraktet. Om man redan från början har ett partneringskontrakt kan transaktionskostnaderna för att omförhandla kontraktet hållas nere.

### **8.1.6 Lämplig längd på kontraktet**

När det kommer till att välja en lämplig kontraktstid (x år) inklusive option (+ y år) bör broförvaltaren ha en uppfattning om brounderhålls marknaden.

Korta kontrakt kan vara i storleksordningen 3-6 år. Marknaden är fortfarande öppen.

Långa kontrakt kan vara i storleksordningen 10-15 år. En aktör dominerar. Vid långa kontraktstider kanske beställaren kan handla upp "Byte av kantbalk" utan detaljkrav, sedan får entreprenören välja lämplig metod, men kantbalken bör vara i ett "felfritt skick" vid överlämnande besiktningen vid entreprenadens slut. Entreprenören upprättar även relationshandlingar som lämnas över i samband med att entreprenaden avslutas.

Frågan om vad som är en optimal kontraktstid är värd att utredas djupare, då det finns åsikter om att effekten av Integrerat brounderhåll kan bli större, både för beställaren och för entreprenören, om kontraktstiden var längre. Den optimala kontraktstiden kommer också att bero på hur mycket flexibilitet som finns i kontraktet.

### 8.1.7 Incitament i kontraktet

Det kan vara bra att ha incitament i kontraktet som stimulerar innovationer och kreativitet. Förslagsvis kan incitamenten utformas med någon slags 50/50 fördelning mellan beställaren och entreprenören.

Ta som exempel reparation av en kantbalk som ligger på en tungt trafikerad väg. Reparationsarbetena är planerade att ta 12 veckor. Beställaren föreslår för entreprenören att för varje vecka som entreprenören kan minska på tidsåtgången för broreparationerna så utgår en bonus. Nu har entreprenören fått ett incitament att höja sin produktivitet och beställaren (samhället) tjänar på mindre trafikstörningar.

## 8.2 Förslag till upphandling av brounderhåll i hela VMN

Vägverket region Mälardalen (VMN) består av 15 st driftområden. För närvarande har nio av dessa driftområden infört Integrerat Brounderhåll och sex har kvar det förebyggande brounderhållet (egenskaper) i Grundpaket Drift, se **Tabell 8.1**.

**Tabell 8.1.** Nuvarande förebyggande brounderhållskontrakt och kontraktsslut i VMNs 15 driftområden.

Län	Driftområde	Typ av kontrakt	Kontraktsslut + (option)
Uppsala	Uppsala	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31
Uppsala	Enköping	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31
Uppsala	Tierp	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31
Uppsala	Östhammar	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31
Örebro	Örebro	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31 + (2011-08-31)
Örebro	Vingåker	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31 + (2011-08-31)
Örebro	Arboga	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31 + (2011-08-31)
Örebro	Nora	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31 + (2011-08-31)
Örebro	Askersund	Integrerat Brounderhåll	2010-08-31 + (2011-08-31)
Västmanland	Västerås	Grundpaket Drift	2010-08-31 + (2011-08-31)
Västmanland	Heby	Grundpaket Drift	2011-08-31 + (2012-08-31)
Västmanland	Fagersta	Grundpaket Drift	2012-08-31 + (2013-08-31)
Södermanland	Flen	Grundpaket Drift	2008-08-31 + (2009-08-31)
Södermanland	Eskilstuna	Grundpaket Drift	2009-08-31 + (2010-08-31)
Södermanland	Nyköping	Grundpaket Drift	2010-08-31 + (2011-08-31)

Om vi antar att den årliga tillgängliga budgeten för brounderhåll ligger i spannet 52-70 Mkr (enligt avsnitt 3.5) och att man handlar upp 75 % i paket och sparar 25 % till större objekt och oförutsett, så får man följande fördelning:

- Egenskaper 8– 12 Mkr/år
- Åtgärder 32–40 Mkr/år
- Större objekt och oförutsett 12–18 Mkr/år

Egenskaper och åtgärder kan handlas upp tillsammans i ett paket eller var för sig. Erfarenheterna från Uppsala och Örebro har visat att åtgärderna är relativt lätta att prissätta jämfört med egenskaperna. Vidare vill Vägverket ha många anbudsgivare på sina entreprenader.

### **8.2.1 Egenskaper och åtgärder handlas upp var för sig**

**Egenskaper:** Man kan dela in VMN i ett till fyra paket med en kontraktslängd 5 år + option 1 år. Denna kontraktslängd underlättar för den entreprenör som vinner kontraktet att investera i sin maskinpark. I anbudsunderlaget bör man definiera egenskapscykeln och även ha med fiktiva mängder på förväntade brister i egenskapskraven under ett normalår. Då blir det enklare för entreprenören att prissätta sina inspektioner på hösten och åtgärdande av brister i egenskapskraven nästkommande vår/sommar. Entreprenören ersätts dels för sina genomförda inspektioner på hösten (när de har blivit registrerade i BaTMan), och dels när eventuella brister i egenskapskraven har blivit åtgärdade och bristen har blivit släckt i BaTMan. En sak som man behöver fundera mera över är hur man ska reglera resultatet från övertagandebesiktningen. Ska man låta den avgående entreprenören få en viss tid på sig att åtgärda funna gamla brister (äldre än 3-6 mån) i egenskapskraven eller ska den avgående entreprenören betala vite och låta den tillträdande entreprenören åtgärda bristerna? Detta är en fråga som beställaren måste ta ställning till så fort en ny upphandling är genomförd. Förslagsvis ger man den avgående entreprenören en rimlig tid (1-2 mån) att åtgärda eventuella brister. Om inte bristerna är åtgärdade när den överenskomna tiden har gått ut bör den avgående entreprenören ersätta den nya entreprenören för åtgärdande av eventuella brister.

**Åtgärder:** Man kan dela in VMN i fyra paket med en kontraktslängd 3 år + option 3 år. Paketerna kan vara både länsbundna och länsöverskridande, beroende på underhållsbehovet på det aktuella brobeståndet. Då de flesta entreprenörer tyckte att det var enklare att prissätta åtgärderna, borde detta leda till att Vägverket får fler anbudsgivare på dessa paket. Detta förutsätter också att broförvaltaren (beställaren) har inspekterat sina broar ordentligt, både i verkligheten och i BaTMan, så att denne kan presentera en lista med åtgärder i anbudsunderlaget. Det är också viktigt med flexibilitet i kontraktet, d v s att entreprenören samarbetar och visar anpassningsförmåga mot beställarens budget när något oförutsett inträffar.

Ett sådant här upplägg kan gynna både stora och små entreprenörer. De stora entreprenörerna kan lägga anbud på alla paket och ta ett helhetsansvar eller bara några stycken paket. De små lokala entreprenörerna kanske nöjer sig med att lägga ett anbud på ett paket. För att fortsatt ha en öppen marknad och konkurrens så tillåts ingen entreprenör att vinna mer än cirka hälften av kontrakten.

### **8.2.2 Egenskaper och åtgärder handlas upp i ett paket**

**Egenskaper + Åtgärder:** Man kan dela in VMN i fyra paket med en kontraktslängd 3 år + option 3 år. Kontrakten utformas i enlighet med ovan.

Ett sådant här upplägg kan också gynna både stora och små entreprenörer, eftersom riskerna i egenskaperna balanseras med mera säkerhet i åtgärderna. Entreprenören kan också lättare fördela arbetsuppgifterna under året mellan egenskaper och åtgärder.

### **8.2.3 Vad ska man göra nu?**

De flesta brounderhållskontrakt i VMN har slutdatum 2010-08-31, se **Tabell 8.1**. Detta betyder att de ansvariga broförvaltarna har en del tid på sig för att fundera på vad nästa steg ska bli.

Ett förslag är att när Flens GPD avslutas 2009-08-31, kan egenskaperna för broarna inkluderas i Örebro projektet under ett års tid (2009-09-01 – 2010-08-31). Kostnaden kan vara den samma som för övriga broar i Örebro projektet eller förhandlas.

Markanden bör undersökas mera i detalj under nästa år (2009) innan VMN beslutar hur man vill gå vidare. Men det skulle med all säkerhet skapa ett intresse i branschen när Vägverket går ut och köper upp brounderhåll i VMN för en sex års period (2010-2016). Ett alternativ kan vara att handla upp halva VMN för en sex års period (2010-2016) och den andra halvan för en sex års period (2011-2017). Kontraktslängden för bägge alternativen är förslagsvis 3 år + option 3 år.

## 9 Sammanfattande diskussion

### 9.1 Diskussion

Den allmänna uppfattningen är att både beställaren och entreprenören tjänar på den nya upphandlingsformen, Integrerat brounderhåll, som har provats sedan 2004 för broarna i Uppsala län och sedan 2007 för broarna i Örebro län. Vaghållaren får mer för pengarna när brounderhållet lyfts upp som en egen aktivitet från vägunderhållet i Grundpaket Drift. Entreprenören har en garanterad omsättning under ett antal år och kan bygga upp sin kompetens som är en grund för lönsam verksamhet. Både beställaren och entreprenören har realiserat de möjliga vinsterna som beskrivs i avsnitt 2.2.2 och har därigenom skapat en "win-win" situation. Utveckling kräver en viss volym. Erfarenhetsutbytet mellan entreprenören och beställaren har varit mycket bra under projektets gång, gällande både praktik och teori samt olika krav i normer. Man kan säga att kompetensen inom brounderhåll har bibehållits och utvecklats både hos entreprenören och hos beställaren. Mycket talar för att modellen kan utvecklas ytterligare och tillämpas på flera områden i Sverige och världen. Samhället tjänar sannolikt långsikt på att den här upphandlingsformen införs i en större omfattning.

Är Integrerat brounderhåll en framgångsrik metod att förbättra brounderhållet och därmed höja standarden alternativt utöka livslängden på brobeståndet till en optimal kostnad, d v s leder Integrerat brounderhåll till lägre LCC totalt sett? Det är svårt att besvara denna fråga med exakta siffror efter så kort tid, men hittills är uppfattningen hos både beställaren och entreprenören att effektiviteten har ökat. Överslagsmässig beräkning från Vägverket HK visar en möjlig besparing/effektivisering på ca 280 Mkr. "Vi kommer snarast att öka kostnaden för det förebyggande underhållet men minska det objektlagda. Totalt lägger vi ner ca 800 Mkr per år för brounderhåll. Om vi börjar tillämpa modellen 2009 och har den fullt inför 2011, så räknar vi inte att det blir någon besparing under denna period, men en omfördelning från det objektlagda till det förebyggande brounderhållet. Under 2012 räknar vi med att kunna spara drygt 1 % av normalkostnaden ca 10 Mkr. Under 2013 kan vi spara ytterligare 10 Mkr o s v för att under 2018 spara 70 Mkr d v s knappt 10 % av 2009 års anslag. Ackumulerat blir detta 280 Mkr under perioden 2009 till 2018" (*Stigberg 2008*).

Exemplet med kantbalkarna i kapitel 5 indikerar att förebyggande underhåll är bra och att en tidig insats är kostnadseffektiv i ett livscyelperspektiv, d v s man vårdar det man har. Det är svårt att exakt beskriva ett nedbrytningsförlopp i tiden så därför är det viktigt med kunskap hos både beställare och entreprenörer när det gäller att fastställa när det är lämpligast att utföra olika åtgärder. Dessutom är det viktigt att det avsätts tillräckligt med ekonomiska medel för att kunna utföra det ut livscyelperspektiv nödvändiga brounderhållet. En studie visar att ekonomiska satsningar på forskning och utveckling inom betongområdet ger minst tiofaldigt tillbaka (*Silfverbrand & Johansson, 2007*).

Vägverkets indikatorer Tillståndsklass (TK) och brist på kapitalvärde (BK) kan för närvarande inte anges med tillräcklig noggrannhet för att ligga till grund i ett entreprenadkontrakt. När en skada har fått en TK-klass (TK 1-3), så har det konstaterats att den faktiska tiden innan skadan är åtgärdad varierat inom stora tidsintervall.

För att räkna fram en bros BK-värde delar man det fiktiva skadevärdet med brons fiktiva återanskaffningsvärde. Den verkliga kostnaden för att åtgärda skadan är ofta 2-10 gånger större än det

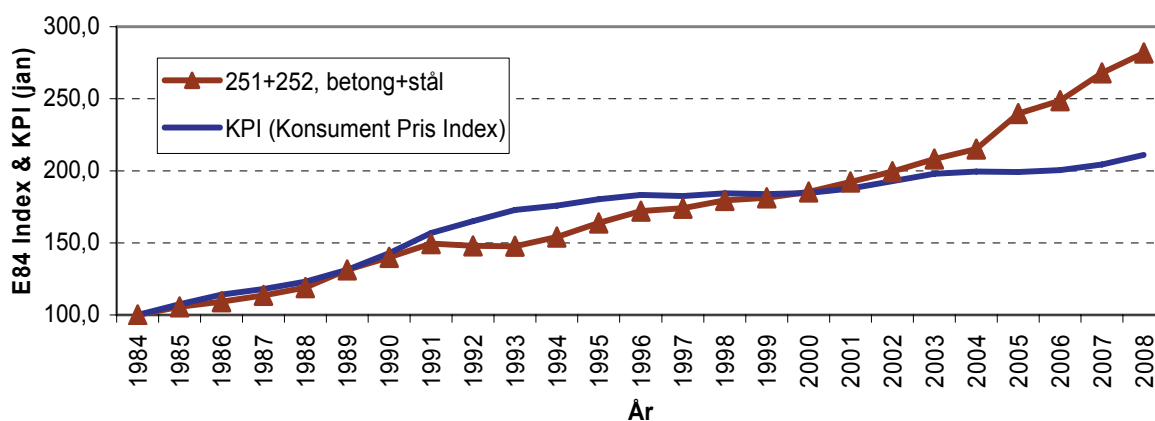


fiktiva skadevärdet, beroende på att en entreprenörs etableringskostnad är exkluderad och att man ofta reparerar t ex hela kantbalken istället för bara den skadade delen samt att det tillkommer kostnader för trafiksäkerhetsanordningar. Ett brobestånd består av många olika individuella broar med avseende bland annat på brotyper och grundläggning. Därför uppskattas återanskaffningskostnaden med schablonvärden, vilket innebär att man måste ha ett stort brobestånd så att, förhoppningsvis, överskattningar och underskattningar någorlunda tar ut varandra.

Eftersom TK och BK bara är indikatorer på ett brobestånds tillstånd så bör en broingenjör ha bra kunskaper för att kunna tolka dessa indikatorer och omsätta dessa i en effektiv broförvaltning. Det är viktigt med beställarkompetens. Vikten av ett optimalt brounderhåll ur ett livscykelperspektiv kan inte nog betonas. Man måste se förebyggande underhåll och åtgärder i ett sammanhang.

Vidare bör man betänka att ca 1-2 % ny broarea tillkommer till det befintliga brobeståndet varje år, och dessa broar ska förvaltas på ett samhällsekonomiskt effektivt sätt under broarnas hela förväntade livslängd. Det verkar som om beslutsfattare ibland verkar glömma bort att inkludera det befintliga brobeståndet, d v s 98-99 % av broarna, när man diskuterar satsningar på infrastruktur.

En broförvaltare har därför den otacksamma uppgiften att förvalta fler broar som trendmässigt blir äldre för allt mindre pengar. Detta eftersom beställarens anslag, i stort sett, räknas upp med KonsumentPrisIndex (KPI), under det att beställaren ska betala entreprenören, i stort sett, enligt Entreprenadindex E84, se **Figur 9.1**. Ur figuren kan man se att det viktade E84 (75 % littera 251 Broarbete betong och 25 % littera 252 Broarbete stål) har ökat med ca 1 % mer per år än KPI under perioden jan 1984 – jan 2008. Om inte Vägverket får kraftigt ökade anslag till broförvaltning i framtiden blir konsekvensen att broarna måste tillåtas att slitas mera innan reparationer utförs, vilket kommer att kräva mera expertkunskaper hos både beställare och entreprenörer i framtiden för att möta denna utmaning.



**Figur 9.1.** Utveckling för KPI och E84 (75 % littera 251 och 25 % littera 252) under perioden jan 1984 – jan 2008.

Sammanfattningsvis så har huvudsyftet med doktorandprojektet uppnåtts dels genom att en prototyp för brounderhåll, med kravspecifikationer och ersättningsmodeller har utvecklats, se kontrakten för Uppsala län och Örebro län. Entreprenören har utvecklat effektivare metoder för brounderhåll. Doktorandprojektet har inneburit ett steg närmare slutmålet som är att minska samhällets kostnader för brounderhåll i framtiden, d v s att broarna upprätthåller sin funktion så länge som möjligt (avsett) till minsta möjliga LCC. Doktorandprojektet har även bidragit med ny

kunskap inom området brounderhåll, hur ett brobestånd kan utvecklas över tiden, verkliga livslängder för broar i Sverige och överlevnadsanalys.

## 9.2 Fortsatt forskning

Det finns fortfarande mycket forskning och utveckling kvar att göra inom brounderhåll. Nedan ges förslag på några tänkbara forskningsområden:

- Hur stort bör underhållet vara för att förlänga en bros livslängd eller öka andelen av broar som når minimivärdet en kumulativ överlevnadsproportion ( $p$ ) av 0.95?
- Fortsatt uppföljning och analys av de pågående Uppsala projektet och Örebro projektet. Baserat på kontinuerlig erfarenhetsåterföring kan konceptet för Integrerat brounderhåll utvecklas vidare när det gäller optimalt brounderhållsområde, kontraktslängd, arbetscykeln för egenskaper, kontraktets flexibilitet, incitament för innovationer och teknikutveckling och bouns/vite. Denna samlade kunskap och erfarenhet kan sedan ligga till grund vid framtida upphandlingar av integrerat Brounderhåll.
- Utveckla förenklade LCC-metoder och genomföra LCC-analyser på ett befintligt brobestånd baserat dels på överlevnadskurvor för olika brotyper, dels med olika anslagsnivåer för broförvaltning. Hur påverkar förbättrade bronormer och förbättrat brounderhåll LCC? Utveckla metoder för att uppskatta den kvarvarande verkliga livslängden för olika brotyper.
- Utveckla samband mellan den lokala skadekostnaden som ligger till grund för BK och den verkliga kostnaden för att åtgärda skadan. Ett sådant ”utvecklat BK-värde” kan kanske sedan ingå i ett entreprenadkontrakt som ett exempel på funktionskrav. Vid entreprenadens start har brobeståndet ett visst ”utvecklat BK-värde”, vilket kan verifieras av övertagandebesiktningen. Entreprenören ska sedan sköta brobeståndet under  $x$  antal år (+ option  $y$  år) och vid överlämnandet ska brobeståndet ha samma eller lägre ”utvecklat BK-värde”, vilket kan verifieras av överlämnandebesiktningen. Är värdet lägre, vilket bör betyda att brobeståndet är i bättre skick än vid entreprenadens start, utgår bonus. Är värdet högre utgår vite. I en frizon utgår varken bonus eller vite.
- Hur effektivt är det att impregnera kantbalkar? Är kostnaden för impregnering rimlig i förhållande till den förmodade ökningen av kantbalkens livslängd? Kan man genom att oftare renskola kantbalken nå samma förmodade effekt som vid impregnering? Vad är kostnaderna för detta? Vad är den optimala livscykelstrategin?
- Utveckling och anpassning av modellen för Integrerat brounderhåll till dels andra platser/områden i Sverige, dels till andra länders brobestånd och regler.
- Inventera och kartlägga alla ”broar” med spännvidd 0.6-2.0 m. År 1985 uppskattades det finnas ca 275 000 ”broar” med spännvidd 0.2-3.0 m inom det statliga vägnätet (*Ingvarsson & Westerberg, 1985*). Då ”broar” med spännvidd  $\leq 0.6$  m ingår i Grundpaket Drift och broar med spännvidd  $\geq 2.0$  m ingår i broförvaltningen, innebär det att ”broarna” med spännvidd 0.6-2.0 m har hamnat mellan ”budget stolarna”. Under Uppsala projektets gång har författaren fått ta del av problematiken kring dessa ”broar”. Inte sällan beräknas

kostnaden för reparation eller utbyte till 0.5-2 Mkr per ”bro”. Om vi för enkelhets skull antar att det finns 1 000 ”broar” med spännvidd 0.6-2.0 m som behöver åtgärdas inom de närmsta åren, skulle detta innebära en kostnad på 0.5-2.0 miljarder kr. Eller med andra ord, denna summa motsvarar i stort sett den årliga kostnaden (eller dubbla) för brounderhåll av broar med spännvidd  $\geq 2.0$  m.