



Norwegian University of
Science and Technology

Benefit cost analysis as a tool for sustainability and resiliency of transport infrastructure system to future climate uncertainty

Christian Baloloy

Master of Science in Project Management

Submission date: June 2018

Supervisor: Rolf André Bohne, IBM

Norwegian University of Science and Technology
Department of Civil and Environmental Engineering

Thesis Title: Benefit cost analysis as a tool for sustainability and resiliency of transport infrastructure system to future climate uncertainty	Date: 11 th June 2018 Number of pages: 76 Master Thesis: <input checked="" type="checkbox"/> Project Work: <input type="checkbox"/>
Name: Christian Baloloy	
Professor in charge / Supervisor: Rolf André Bohne	
Other external professional contacts / supervisors: Gordana Petkovic, NPRA	
Description: This thesis focuses on the way the benefit cost analysis is used as a tool to determine the sustainability of a transport infrastructure system and its resiliency to future climate uncertainties; the determination of the type of investments derived from the BCA to facilitate sustainability and resiliency; and the possible ways to minimize future impacts of climate change on a public transport infrastructure system.	

Keywords: climate change, climate change adaptation, benefit cost analysis, investment planning, transport infrastructures, project management, uncertainties

Signature: _____

(This page is left intentionally blank)

Preface

This thesis concludes my 2-year education at the Norwegian University of Science and Technology (NTNU), within the international master's programme of Project Management. The thesis, this study, was conducted in collaboration with the National Public Roads Administration (NPRA) especially the program, Klima og Transport.

I would like to extend my gratitude to Rolf André Bohne, supervisor of this thesis, for his excellent advice and support throughout the process of writing this thesis. His invaluable inputs on the structure of this thesis have been beyond exceptional.

A big thank you also is given to Gordana Petkovic, Program Manager of Klima og Transport of NPRA whose time and effort to listen and give her advice and inputs on this thesis were brilliant.

The big help given by NPRA personnel of the project E6 Soknedal especially to Harald Inge Johnsen, project manager; Lynum Margot Bolstad, project coordinator; Egil Olsen, kontrollingeniør and of the other site staffs are highly appreciated.

I also want to thank Berit Time, Chief scientist of SINTEF's Klima 2050, Professor Christian Riis of BI Oslo and Professor Espen Moe of NTNU Sustainable program for their valuable advices on the methods, financial and political aspects.

I further owe my eternal gratitude to my partner, Kjell Brandhaug whose patience and love gives me the proper determination and push to continue without whom I'd falter amidst the pressures and demotivating factors.

Lastly, I would wholeheartedly like to thank my mom whose undying love and support give me the energy to get going, and my friends in Abu Dhabi, South Sudan, Philippines and US for their massive encouragement through some trying times, and to my classmates in the master program for their good company during my whole NTNU stint.

Christian Baloloy

Trondheim, June 2018

Abstract

The research is aimed at creating a model for the NPRA to determine the viability and sustainability of a project using the Benefit Cost Analysis. This yields further into devising a way to determine the type of investment that must be decided upon for a certain project considering the uncertainties of a future climate. By analysing a transport infrastructure system's benefits and costs, the product is a resounding comparative analysis between the advantages and disadvantages of each type of investment. Moreover, by considering the possibility of a climate change risk, the decision-makers are aided at carefully planning the prioritization of funding a project/s.

Summary

Climate Change is a challenge that produces uncertainties among decision-makers in determining which type of investments are robust enough to mitigate infrastructures' vulnerabilities. So, adaptation strategies and policies are imposed by some governments and/or organizations worldwide to address various impacts, susceptibilities and constraints. However, there is quite a little attention given to the costs and benefits of climate change adaptations.

Using a quantitative approach which I have stated in Chapter 3 and using a case study E6 Soknedal project in Chapter 4 of this thesis, I have managed to analyse and assess the adaptation measures in terms of their costs and benefits and even disbenefits. By looking specifically, with the aid of NPRA, the culverts system, I have generated a more thorough evaluation of what possible and probable risks may affect the decision on the type of investment that would be necessary for a project to attain sustainability and resiliency. With focus on the flood risk that may be a climate change effect on that road segment which is along a river, the Bayesian framework addressed some probabilities and uncertainties that could be present in the project.

In addition, the study looked into the existing road and the new road project replacing the existing. By investigating three different types of investment by sensitivity analysis, polynomial regression and decision tree analysis, a medium type of investment which is half new construction and half maintenance would be more optimal in terms of benefits over costs. This means that a risk of overly- and underinvesting may be minimised.

In conclusion, the Benefit Cost Analysis is a suitable tool to measure the sustainability and resiliency of infrastructure systems to future climate uncertainty. Through various analyses associated with BCA, there is no doubt that decision-makers would be secured in choosing the necessary option to invest to adapt to climate change. It must be, however, noted that the uncertainties that the future climate may bring are ambiguous. Thus, a proactive approach into taking account the impacts would be fitting. Furthermore, it is highly advised to meticulously perform sensitivity analysis of any assumptions or estimations made. This can result into a more optimal investment decision considering how vast and varied the climate change impacts may be in the future.

Table of Contents

Preface	ii
Abstract	iii
Summary	iv
Table of Contents	v
List of Figures	vii
List of Tables	viii
List of Equations	viii
List of Abbreviations	ix
1. Introduction	1
1.1 Scope of the Study	1
1.2 Main research questions	2
1.3 Research objectives	2
1.4 Limitations of the study	3
1.5 Outline of the thesis	4
2. Theory	5
2.1 Climate Change: Examining the costs	5
2.2 Norway and Climate Change	8
2.2.1 Climate Change challenges in Norway	8
2.2.2 Climate change impacts on flooding	12
2.3 Norway's Transport Infrastructures and Climate Change	12
2.3.1 Road Transport Infrastructures	14
2.3.2 Other Infrastructures	15
2.3.3 Cost of Climate Change on Norway's Transport Infrastructures	16
2.3.3.1 Culvert System.....	17
2.4 Sustainability and resiliency	17
2.5 Adaptation Measures of Transport Infrastructures to the Impacts of Climate Change... 18	
2.5.1 National Road Data Base.....	21
2.5.2 Risk and Vulnerability Analysis (ROS-analyse) as a tool for adaptation.....	21
2.6 Benefit-Cost Analysis (BCA)	26
2.6.1 Benefit Cost Analysis as a Decision-making Tool	26
2.6.2 Benefit-Cost Analysis Stages	27
2.6.3 Limitations of Benefits-Cost Analysis	28
2.6.4 Discount Rate with respect to Climate Change.....	29
2.6.5 Internal Rate of Return.....	29
2.6.6 Sensitivity Analysis	30
2.6.7 Decision Tree	30
2.6.8 BCA and the Adaptation Measures	31

2.7	Literature Review	32
2.7.1	Approach	33
2.7.2	Results	34
2.8	Data Collection	42
3.	Methodological Approach	43
3.1	Main considerations when adapting or mitigating to obtain sustainability	43
3.2	Method to determine vulnerability	44
3.3	Managing Uncertainties	44
3.4	Benefit-Cost Analysis as a Decision-Making Tool to attain sustainability and resiliency of infrastructures	45
3.4.1	Conducting sensitivity analysis and expected value decisions	46
3.4.2	Polynomial regression	46
3.4.3	Decision tree analysis	46
4.	Case Study: E6 Soknedal	48
4.1	E6 Soknedal	48
4.1.1	Description	49
4.2	Culverts	49
5.	Results and Discussions	54
5.1	Evaluating by Benefit-Cost Analysis.....	54
5.2	Decision-Tree Analysis.....	56
5.3	Sensitivity Analysis	65
5.4	Possible biases of decision-makers.....	71
6.	Conclusion	73
6.1	Answers to the research questions	73
6.2	Recommendation for future studies.....	75
	References	X
	Annexes	xv
Annex 1	Chapter 4 of NPRA Handbook N200 “Vegbygging”	xvi
Annex 2	Cross-sections of Culverts at E6 Soknedal project	xvii
Annex 3	Road Directorate Report VD No. 24 “Risiko- og sårbarhetsanalyse av stikkrenner mht værrelaterte hendelser	xviii
Annex 4	Values.....	xix
Annex 5	Sensitivity Analysis (results).....	xx
Annex 6	Decision Tree results	xxi
Annex 7	Graphs of Sensitivity Analysis	xxii
Annex 8	Polynomial Regression graph.....	xxiii

List of Figures

Figure 1 The greenhouse effect (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).	7
Figure 2 Graph showing the temperature and precipitation per year from 1900-2017 in Norway. Red and blue dots showing temperatures while column graph shows the precipitations. (YR, 2018)	9
Figure 3 Map of the annual average temperature in Norway in 2016 (Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), 2018).	10
Figure 4 Frost lab, experimental set-up of Ph.D. student Andrei Shpak of the Department of Structural Engineering, NTNU, 2018. In (a) shows some of the samples with the original surface and with slight damage (photo taken by Christian Baloloy, 2018), and in (b) shows the damage done on the concrete surface after the 28 th cycle (Shpak, 2018). ...	11
Figure 5 Sawn concrete in (a) shows both the original blocks top and perspective views, in (b) shows the concrete surface after 3-km continuous contacts of ice using an ice-abrasion machine (Shamsutdinova et al., 2017). In (c) shows the sample concrete block at NTNU Institutt for konstruksjonsteknikk lab (photo taken by Christian Baloloy, 26 January 2018).....	11
Figure 6 Map of Norway with the different slide types.(Jaedicke et al., 2009).....	13
Figure 7 The Norwegian Road Network (Georange, 2017).....	14
Figure 8 Other transport infrastructures shown here on the left is an airport in Trondheim, Norway close to the coast and on the right, a port in Eidsdal, Norway (photos taken by Christian Baloloy).	15
Figure 9 Both xgeo-regObs (left) and varsom (right) have mobile apps that are free for download that gives warnings on avalanches, flood, snow, and ice on a daily basis and per municipality (photos taken by Christian Baloloy as snapshots using an iPhone).....	20
Figure 10 Map of Trondheim and surrounding areas as reflected on the databank of NPRA. This picture shows the different types of natural disasters as reflected on the map with color coding and contains information about the road section or segments affected.(Norwegian Public Roads Administration, 2018).....	22
Figure 11 Decision tree (Liu, 2017).....	30
Figure 12 E6 Soknedal as shown on www.vegkart.no (Norwegian Public Roads Administration, 2018). Pictures taken by the author himself.....	48
Figure 13 The culverts on the existing E6 Soknedal road with descriptions (Norwegian Public Roads Administration, 2018).....	51
Figure 14 Close up view of one of the culverts installed on the existing E6 Soknedal road with its description (Norwegian Public Roads Administration, 2018).	52
Figure 15 Parameters used for probability analysis using different criteria as mentioned above.	58
Figure 16 Decision tree of 100-year horizon showing 3 levels of probable risks and their probabilities with the 3 types of investments on each and their corresponding probabilities.....	62
Figure 17 Sensitivity analysis of the different factors for high investment for the 20-year time horizon.....	66
Figure 18 Polynomial regression using Excel for the most likely values of each time horizon for the high investment derived from the sensitivity analysis of the different parameters (damages, adaptation, costs, useful life, discount rate). Other two are attached as annex..	68

List of Tables

Table 1 Summary of possible environmental and social impacts of the culvert. construction.	19
Table 2 Risk matrix (Statens vegvesen, 2011).	24
Table 3 Return period for road operations, draining system, and security measures (Statens vegvesen, 2011).	24
Table 4 Runoff coefficient, C for unfrozen surface, return period of 10 years (Norwegian Public Roads Administration, 2014).	25
Table 5 Overview of the values for each parameter for each type of investment according to the different time horizons.	57
Table 6 Simple Benefit-Cost Ratio (BCR) using the values generated from using probability analysis in MatLab software.	59
Table 7 Percentage probabilities of each criteria according to the type of investment.	60
Table 8 The predictability of risk when using the different types of investments for the culverts.	61
Table 9 The probability of each investment to happen.	61
Table 10 Predictability and probability of the different levels of risk according to the types of investment.	61
Table 11 Summary of net present values of avoided damages for each investment according to the different specified time horizons and the probability of flooding.	64
Table 12 Summary of assumed benefits, costs, NPV (represents B-C), BCR (represents B/C) from the decision-tree analysis above and the corresponding adaptation measures for each type of investment.	65
Table 13 Sensitivity analysis of the net present values for each time horizon and the different parameters (million nok).	67
Table 14 The corrected values of the annual worth of benefits from the equations derived from the polynomial regression for each type of investment according to the different time horizons.	68
Table 15 Overview of the net present values.	69
Table 16 Summary of costs and benefits.	70

List of Equations

Equation 1 The draining capacity by Statens vegvesen for the design of culverts (Norwegian Public Roads Administration, 2014).	25
Equation 2 Internal rate of return(Brewer and Picus, 2014).	29
Equation 3 Probability by Bayesian (Liu, 2017).	31
Equation 4 Net Present Value (Sullivan et al., 2006).	31

List of Abbreviations

The following acronyms are used in this thesis:

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
BCA	Benefit Cost Analysis
NPRA	Norwegian Public Roads Administration
SVV	Statens vegvesen (Norwegian for NPRA)
GHGs	Greenhouse gases
CO ₂	Carbon dioxide
NPV	Net Present Value
IRR	Internal Rate of Return
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
FGP	Flood Generating Process
E6	European Road 6
NTP	National Transport Plan

1. Introduction

The challenges brought about by the change in climate are faced by both the current and future generations. What more are the uncertainties this phenomenon brings. The magnitude or scale, the locations of impacts, the precise time impacts will happen and who will be immensely affected are some of these uncertainties. There are also some countries that disregard the notion that climate change is happening. Moreover, there are studies that some countries especially in the Nordics that would benefit more from the warming climate. Meanwhile, majority of countries all over the world have come up with several mitigation measures that should counteract the potential and uncertain impacts, but more importantly the adaptation measures in place to be equally emphasized. Planners and decision-makers must be able to formulate a working strategy to avoid future damages caused by climate change. But this task is not easy specifically if uncertainties cover their judgment on the most economically efficient and effective measures to be applied.

1.1 Scope of the Study

This thesis explores the risks of climate change posed to transport infrastructures which should be determined before any decision or adaptation is made. This is where decision makers are faced with a challenge in objectively determining which transport infrastructures are more vulnerable to the impacts of climate change. That is why a viable and sustainable solution to redirect efforts primarily using the benefit cost analysis (BCA) as a decision-making tool in making investment decisions will be investigated, however not applicable to all.

In addition, this excludes natural disasters such as hurricanes, volcanic eruptions, earthquakes where no prescribed adaptation strategies will be provided. This is mainly a different form of risk assessment. The risk assessment in this study will consider a range of options from considering economic viability to identification of areas with highest risks in transport infrastructures only.

The study will be looking into one part of road infrastructure which is the culvert or the drainage system which can contribute into increased flooding and eventually, damage of transport infrastructures.

More importantly, the probability (as a measure of uncertainty) and the defined risks which are possible consequences and related uncertainties of future climate will be considered to minimize future impacts.

1.2 Main research questions

This paper focuses on a number of pertinent questions, in the context of the economic analysis of a part of transport infrastructure system, at the climate challenge front. These questions were:

1. How do we determine a project's sustainable capacity when using the BCA methodology?
2. How will the type of investment derived from BCA affect a transport infrastructure system's resiliency to climate change?
3. How do we minimize the possible future impacts of climate change on a public transportation infrastructure system?

The above questions clearly identify the areas of the study of this thesis with concentration on the benefit cost analysis in recognising the most viable and sustainable solution for government investment on transport infrastructures and the mitigation factor to minimize future climate change impacts on a transport infrastructure system.

1.3 Research objectives

Based on the above research aims, the thesis seeks to achieve the following objectives:

1. In order to determine the sustainable capacity, I looked into the adaptation measures being implemented by NPRA when it comes to its infrastructures, whether new or maintenance procedures.
2. By determining the type of investments to be implemented, I have looked into the benefits cost analysis of each. For instance, when we chose a high investment: full drainage capacity corresponding to a water run off level for the end of the century. Larger, more complex structures. Low probability of flooding /failure. Since the case to be studied is the culverts system, then only flood risk is considered.

3. When investing in medium capacity, plan to do more in the future. We accept a higher probability of flooding, failure, etc. We also accept that the road might have to be closed every once in a while. What is the whole risk picture now? How do we handle the risks? By investing in better monitoring of the situation? By better preparedness to handle flooding /failure? The costs can be divided in levels: costs of repair, costs of repair AND additional preparedness, costs of repair AND costs of road closure (costs for the society).
4. We build “modestly” – meaning at the lower limit of necessary capacity, but “cheap”. We accept a high probability of failure, we accept to repair damage when /if it occurs. What is the total risk picture then? How can we handle separate risks?

By looking at the different possibilities, the thesis had come up with several analyses that resulted into determining whether the infrastructure system in place or under construction would be sustainable and climate-resilient.

1.4 Limitations of the study

This thesis does not talk about climate science nor the aggravating effects of greenhouse gases (GHGs) on global warming. This does also neither discuss climate change mitigation by international regulations. However, this takes the assumption that the majority of Norwegians and international scientific communities believe human activities have resulted in substantial global warming from the mid-20th century. A consequence of such human activities is that the climate of the world is changing with adverse outcomes on us. Additionally, the current study argues for both adaptations in the short term to reduce the vulnerability of transport infrastructures, as well as for changes in how they are managed.

The impacts of climate change on transport infrastructures as well as the adaptation measures conducted by the public road authority are identified. These actions can contribute to the sustainability and resiliency of these infrastructures. However, on the economic point of view, it would be refreshing to know whether they could be sustainable and could be climate-resilient, as well. By assessing the different types of investment could make a significant effect on these two important factors. The challenge was on the time

dependency and the discount factor to be used. The Norwegian Ministry of Finance has specified the discount factors that should be used in benefit cost analysis and it should be a good start rather than deriving further what the future costs to the society or infrastructures what the present activities or investments should be.

1.5 Outline of the thesis

This thesis aims at exploring the decision-making tool in the context of adaptation to climate change. In Chapter 2, theories about climate change and adaptation measures of NPRA are presented. In Chapter 3 is the methodology used in the benefit cost analysis. Chapter 4 shows the case study of the culverts at E6 Soknedal at Mid-Norway region. Chapter 5 discusses the results of the analyses. Chapter 6 provides the main conclusion of the research and recommendations for future study.

2. Theory

2.1 Climate Change: Examining the costs

It is believed that the planet earth was a big ball of ice billions of years ago having one huge continent near the equator and that the release of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere from the eruptions of volcanoes triggered the global warming. This resulted into phasing out all life forms. However, the melting glaciers due to this warming normalized the Earth again (Eccleston and March, 2011).

And just as this process gave back life again, a huge greenhouse effect happened with surface temperatures reaching as high as 50°C. However, with slow, pouring rains, the CO₂ in the atmosphere were brought down into the rocks on the seabed depositing the carbons. And thus, stabilized the Earth again. This kind of climatic conflict happened several times in cycles in between millions of years showing our planet's ability to be susceptible to environmental distresses (Eccleston and March, 2011).

Impacts of Climate Change

Nowadays, the controversial impacts of climate change are the shrinking polar ice and glaciers, sea level rising threatening coastal communities and island nations, and a recorded increase in the average temperature worldwide including the unusual weather patterns in different parts of the world (Eccleston and March, 2011).

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) on its 2014 Summary for Policymakers states that the “warming of the climate system is unequivocal with observations on the warming of the atmosphere and ocean, diminishing amounts of ice and snow, rising sea level, and the increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere” (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014b).

It is evident that these changes in our climate system are heavily influenced by human-induced activities since the mid-20th century and these effects will continue to escalate as the increase of contributors and drivers of climate change also resume. And with the rise in the world population, there will be a tremendous likelihood that these impacts

will be much greater and bigger than the present ones if we continue to ignore this climate change phenomenon (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014b).

The current issue is mainly the impacts of these climatic changes to the society and economy. There are governments that argue that the adaptation to these “climate changes” could not be socio-economic beneficial because they believe that the impacts are negligible. Meanwhile, others are debating that if nothing is done to mitigate these impacts, it would be disastrous (Eccleston and March, 2011).

The Greenhouse Effect

Global warming is caused mainly by CO₂ and other greenhouse gases in the atmosphere that trap the heat from the sun which is reflected on the earth’s surface. This process called greenhouse effect is shown in the figure 1. It is projected that an increase of temperatures between 1,5°C and 4,8°C would likely to happen by the year 2100 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014a).

From the IPCC data, warming would be paramount at the High North which would diminish snow cover, an increase in melting of permafrost, with a decrease extent of sea ice. The occurrences of heat waves and heat extremes would be recurrent causing more tropical cyclones, heavier precipitation, and flooding. It is also projected to have a decrease in annual river runoffs and water scarcity will be in effect in the tropics.

This global warming together with the constant increase in world population can cause to an increased human torment and probably, mass destruction. The socio-economic landscape must undertake an abrupt change in order to cope with this imminent tragedy (Eccleston and March, 2011, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014b).

Adaptation and Mitigation Measures

Various worldwide efforts are being undertaken such as the use of renewable energy sources i.e. hydropower, solar, geothermal, wind, etc., carbon capture and sequestration, and many others that are aimed at reducing the greenhouse gases. Even creating climate change policies ranging from mitigation measures to economic evaluations or assessments were reported by IPCC on its 2014 Summary for Policymakers (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014b).

In the transport sector, although the focus is on decreasing the amount of emissions by fuel cars by manufacturing and introducing to public use of electric cars, we cannot rebuff the idea that the infrastructures in transport are the ones that are most vulnerable to these climatic changes (Rowan et al., 2013, Rattanachot et al., 2015, Colin et al., 2016). In quantifying the costs of mitigation and no adaptation to climate change, the IPCC has presented its guidelines where economic analyses of climate change uncertainties on transport infrastructures can be based upon (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014b).

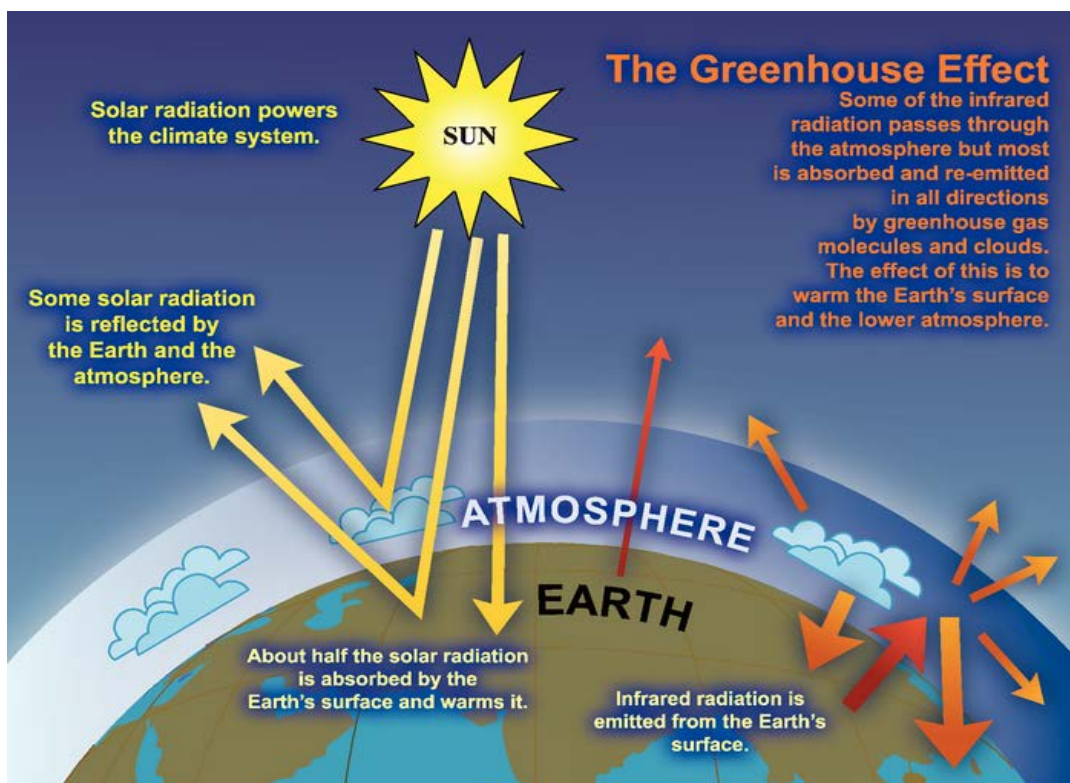


Figure 1 The greenhouse effect (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007).

Quantifying the Costs

To quantify the costs of no adaptation, Ceres presented in its 2013 report entitled “Inaction on Climate Change: The Cost to Taxpayers” authored by Nancy Israel which states that “examining the full cost of public programs that pay for disaster relief and recovery from extreme weather events-- *ad hoc* disaster assistance appropriations, flood insurance, crop insurance, wildfire protection, and state run ‘residual market’ insurance plans”. And these are the price the taxpayers are and would be paying (Israel, 2013). Additionally,

NewsRx (2017) stated in its report that “the cost of no adaptation to climate change would be at least five times higher” (NewsRx, 2017).

Hallegatte et.al. (2008), on the other hand, proposed a framework in assessing the benefits of adaptations in three cases: (1) a case with no adaptation; (2) a case with an imperfect adaptation; and (3) a case with perfect adaptation, optimally planned and implemented rationally (Hallegatte et al., 2008).

In calculating the costs of impact of climate change in developed countries like Norway, it is most likely on the increased costs related to flooding due to increased precipitation, increased melting of permafrost in the Arctic area causing damages to roads, increased avalanches, effect of freeze/thawing cycles to infrastructures and on the coasts where there is a threat of sea level rising and storm surges (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014a). The countries at “lower latitudes are more vulnerable” to these climate changes while Nordic countries like Norway will likely to benefit from moderate amounts of warming (Stern, 2007).

Transport infrastructures, due to their criticality, have made it difficult for decision-makers to plan, design, find a suitable location to build, and operate them to make them more cost-effective and climate change-resilient (Vallejo and Mullan, 2017).

2.2 Norway and Climate Change

In Norway, the oil production which made significant economic growth brought mostly the increase in carbon dioxide emission. Petroleum activities, transport and industry accounted for the most CO₂ emissions that equalled to 53,9 million tonnes in 2015. This has significantly caused the increase in the observed mean temperature in Norway to be 1,5°C above average in 2016. It is expected that the temperature will increase in 2100 by as much as 2,3 – 4,6°C which will cause an increase in precipitation due to warm winters (Norwegian Environment Agency, 2017).

2.2.1 Climate Change challenges in Norway

Norway is faced with challenges on floods and landslides or avalanches due to its challenging topography and varying climate conditions, and together with extreme weather events, heavy precipitations and lacking of maintenance having significant damages to various infrastructures (Myrabø et al., 2016).

And due to its geographical location at the west side of Scandinavian peninsula, the hydro-climatological condition varies largely and thus, causing a deviation in the annual precipitation from 300mm (in the north-eastern and central-eastern Norway) to more than 3500mm in the western Norway. Rainfall as a flood generating process (FGP) increases in frequency except in magnitude while snow melting as FGP increases in high altitude areas where precipitation is mostly snowfall (Vormoor et al., 2016).

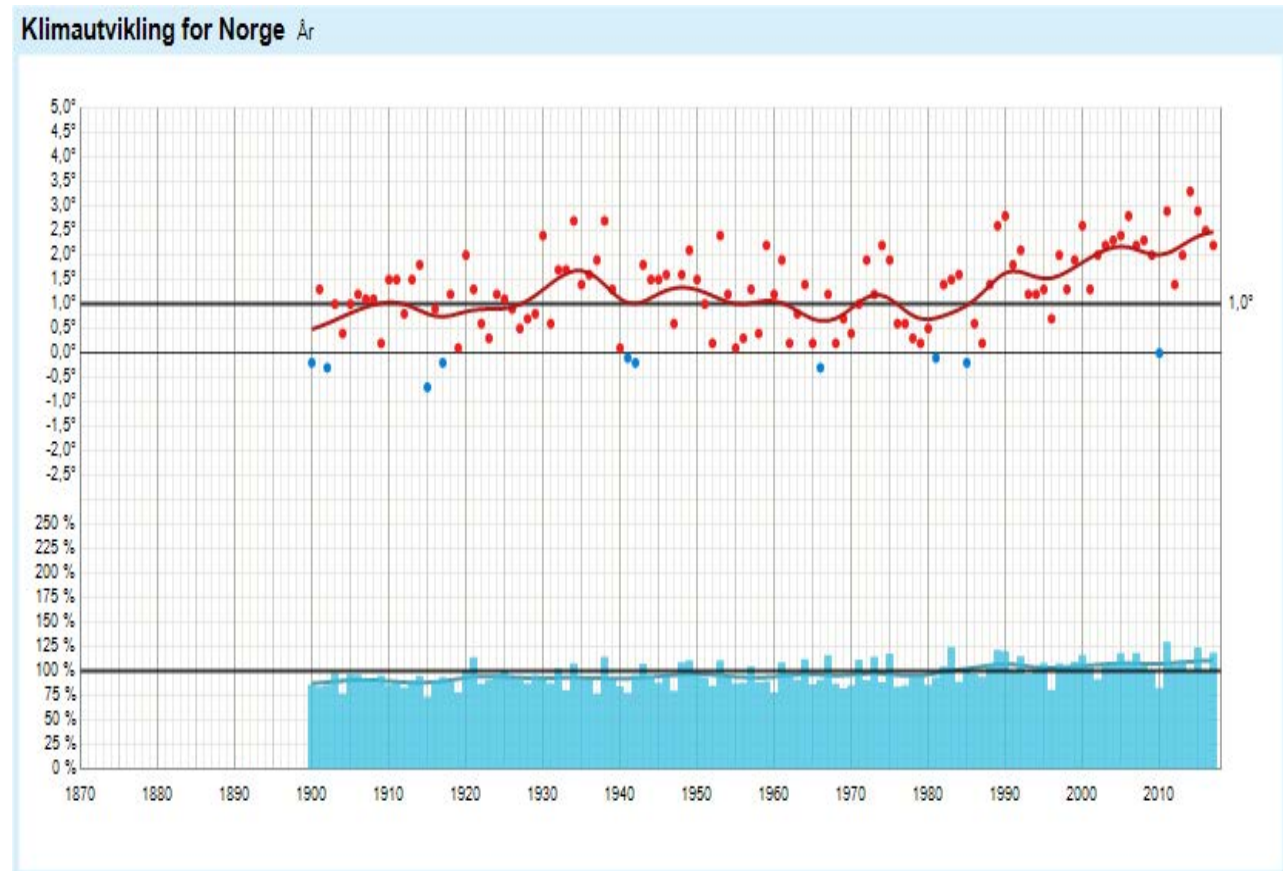


Figure 2 Graph showing the temperature and precipitation per year from 1900-2017 in Norway. Red and blue dots showing temperatures while column graph shows the precipitations. (YR, 2018)

Temperature annual average at 07 AM2016

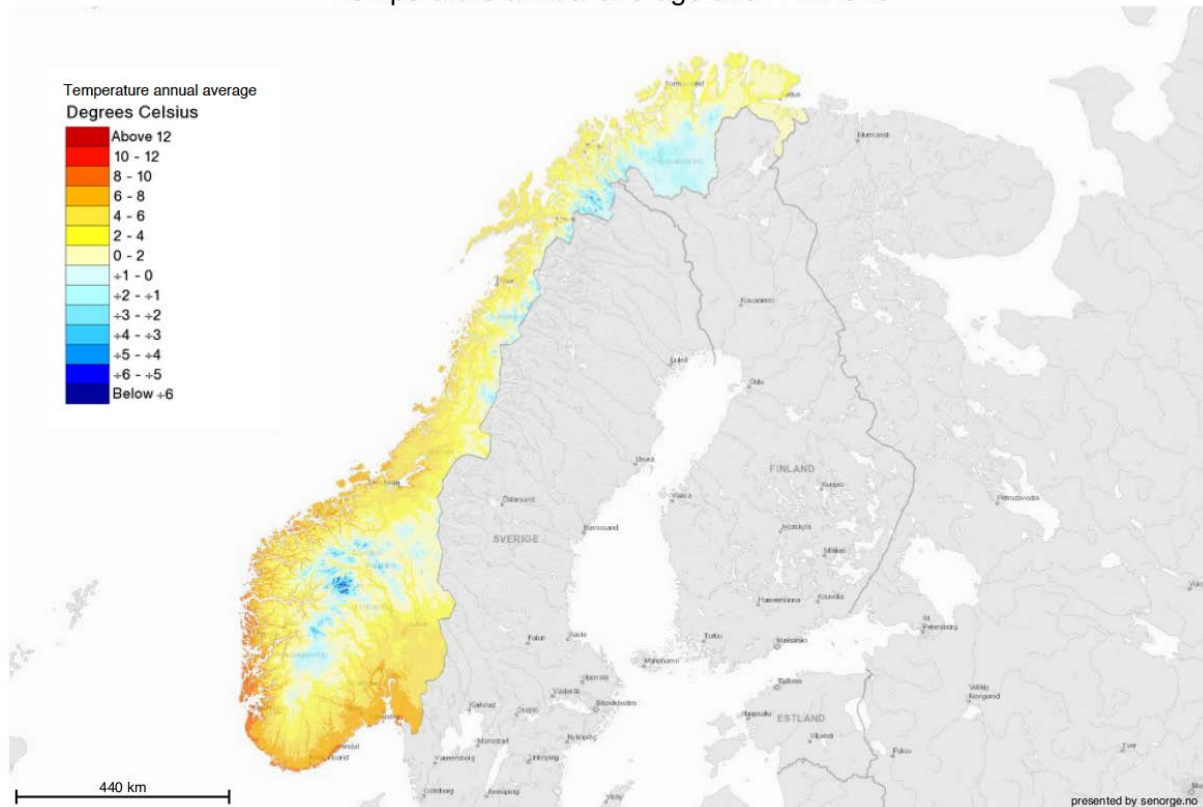


Figure 3 Map of the annual average temperature in Norway in 2016 (Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), 2018).

Another possible effect of climate change is the frequency of the freeze-thaw cycle. And the damage caused by this cycle is the premature degradation of asphalt pavements due to simpler permeability. Asphalt pavements consist of voids, aggregates and asphalt binders that make it easy for water to seep through (Xu et al., 2016).

A study being conducted is shown in Figure 4 by Andrei Shpak at the Department of Structural Engineering at NTNU shows how frost surface damage on concrete structures is present after 28 cycles of freeze-thaw process (Shpak, 2018). Mild winters in the future will cause an increase in deterioration of gravel road network in Norway (Aursand and Horvli, 2009).

Another study being conducted by Shamsutdinova et.al. (2017) that constant ice contact on the concrete surface can cause protrusion of the aggregates (Shamsutdinova et al., 2017) as shown in Figure 5. This clearly shows how sensitive our infrastructures could be to constant ice contacts; however further studies must be done if the effect of climate change causing more precipitations can cause a considerable surface damage on our

infrastructures. If there is, then this must be included in their future analyses (i.e. sensitivity, vulnerability, life-cycle costing assessment, etc.).

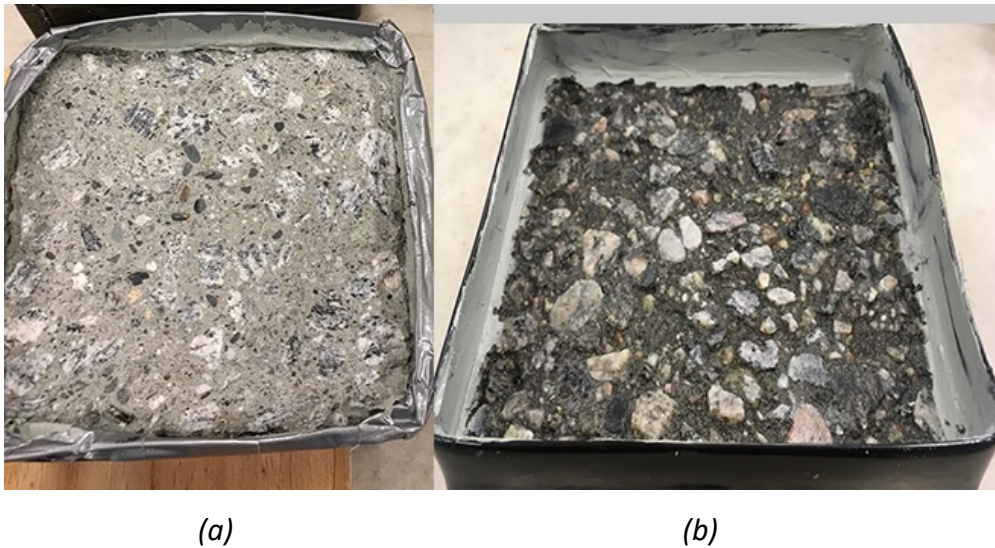


Figure 4 Frost lab, experimental set-up of Ph.D. student Andrei Shpak of the Department of Structural Engineering, NTNU, 2018. In (a) shows some of the samples with the original surface and with slight damage (photo taken by Christian Baloloy, 2018), and in (b) shows the damage done on the concrete surface after the 28th cycle (Shpak, 2018).

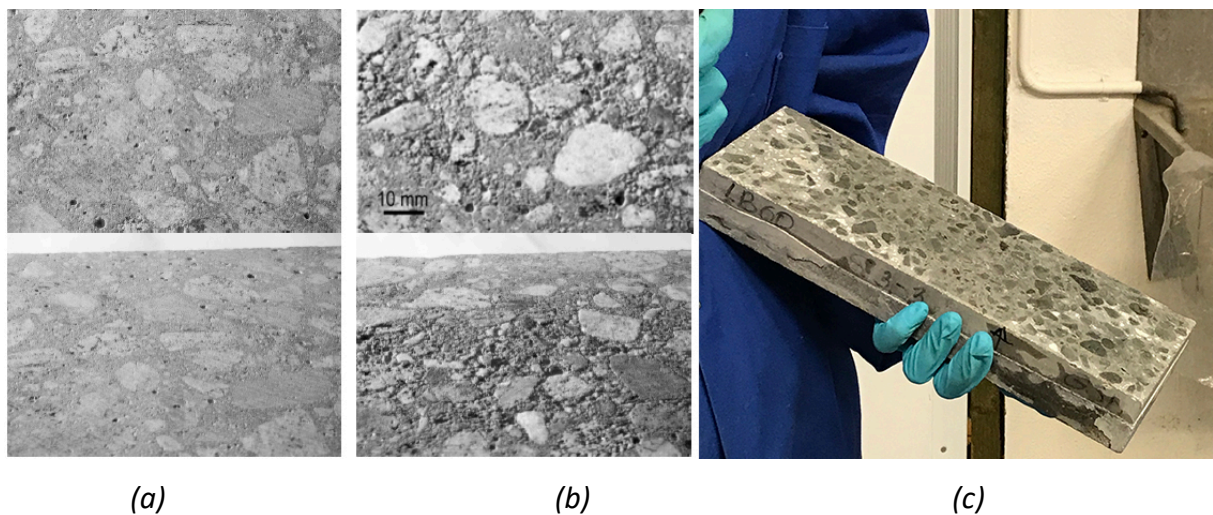


Figure 5 Sawn concrete in (a) shows both the original blocks top and perspective views, in (b) shows the concrete surface after 3-km continuous contacts of ice using an ice-abrasion machine (Shamsutdinova et al., 2017). In (c) shows the sample concrete block at NTNU Institutt for konstruksjonsteknikk lab (photo taken by Christian Baloloy, 26 January 2018).

Landslides, rockslides and avalanches are major impacts of weather extremes in Norway which are caused by massive gravitational slope mass movement. It is due to the

fact that 30% of Norway's total land area is covered by mountains. This is called the Scandinavian mountain chain extending from the southern Norway up to the north at its border with Russia. Heavy rains can cause massive rock slides and snow avalanches in winter can affect the roads, railroads, and settlements. Quick clay slides have also been a special form of rapid mass movement affecting lives and infrastructures in Norway as shown in figure 6 (Jaedicke et al., 2009).

Transportation systems are highly vulnerable to sea level rise and storm surges as one of the destructive impacts of climate change (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012). It is expected that these impacts will continually to increase with severe storms which makes it more important that decision-makers should specifically realize climate-resilient transport networks (Demirel et al., 2015).

However, according to Simpson et.al. (2017), Norway is at low-risk to sea level rise due to its steep topography and exposed bedrock that are robust against coastal erosion (Simpson et al., 2017). Meanwhile, a study by Wahl (2017) suggests that sea level rise can cause coastal flood (Wahl, 2017) which will then eventually be Norway's immense problem aside from the increase in precipitation which can most likely cause increased flooding in low-lying and coastal areas.

2.2.2 Climate change impacts on flooding

Climate change affects both the probability and consequence of flooding. With increased precipitation due to global warming and an increase in snow, Norway is seen to have an increase in flood frequencies due to these two factors (Vormoor et al., 2016).

Dyrrdal et.al. (2012) concludes in their study that there is an increase in the frequency of moderate to strong precipitation in most parts of Norway since 1957 having regional average ranging from 10 to 30%. Also, the increase in snow in colder areas results into an increased avalanche incidents at higher elevations, and an increase in floods and landslides when these snows melt (Dyrrdal et al., 2012).

2.3 Norway's Transport Infrastructures and Climate Change

Infrastructures are combined facilities that provide essential public services which have significant contribution to both the social and economic activities of a country. These "infrastructures" refer to transportation, utilities (water, electric, gas), energy,

telecommunications, waste disposals, park lands, sports, and recreational and housing (Hudson et al., 1997).

In this paper, there is a specific emphasis on road transport infrastructures where vulnerability in terms of climate change impacts is high. However, impacts referred here do not mean the greenhouse gas emissions although they have significant negative contribution on the high amount of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014c).

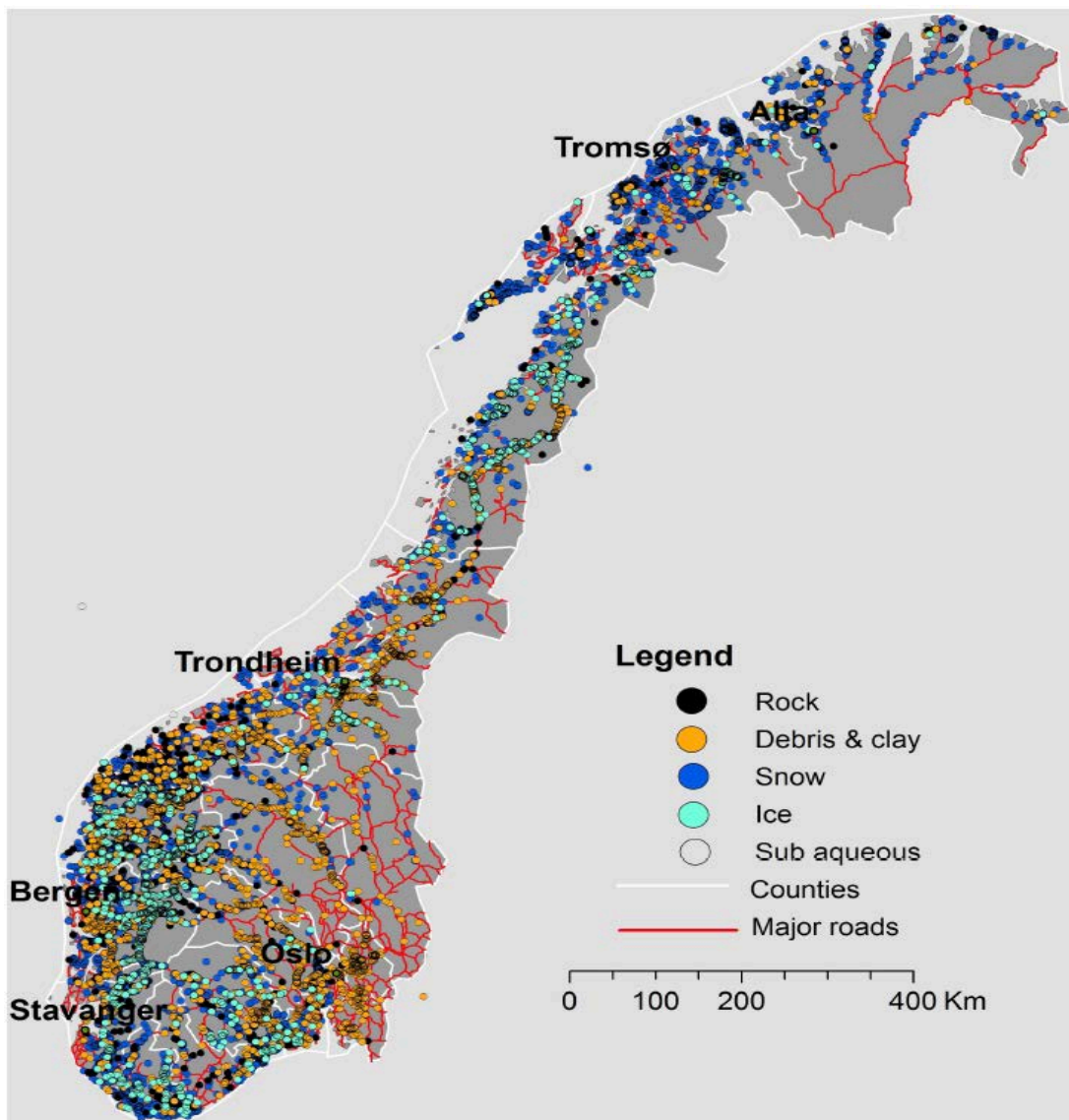


Figure 6 Map of Norway with the different slide types.(Jaedicke et al., 2009)

2.3.1 Road Transport Infrastructures

Norway has a recorded 94 057 km length of roads in 2014 (Kolshus, 2015) shown in Figure 7. The Norwegian Public Roads Authority (NPRA) or Statens vegvesen is the public authority that plan, build, operate, and maintain national and county roads in Norway (Norwegian Public Roads Administration, 2013a).

NPRA with its program “Klima og Transport” facilitated the agency in forming its adaptation of its manuals affected by climate change following the National Transport Plan (NTP) which is revised every 4 years to make a 9-year climate projection for the transport sector (i.e. roads, rails, maritime), and the current plan is for year 2014-2023 (Norwegian Public Roads Administration, 2013a).



Figure 7 The Norwegian Road Network (Geonorge, 2017).

When talking about climate change impacts on Norwegian roads, the following challenges are mainly discussed: (1) increased risk for flood and erosions; (2) insufficient drainage capacity; (3) need for better maintenance measures; (4) larger requirement for natural catastrophe preparedness; (5) more areas with huge risks on slides, and (6) more slides in new places (Norwegian Public Roads Administration, 2017).

2.3.2 Other Infrastructures

Norway has around 100 public ports, 700 fish ports and 5 000 private ports. Extreme weather events such as sea level rise and storm surge can be very challenging for these infrastructures along the Norwegian coasts. Much of these infrastructures were not constructed to adapt to the current extreme weather events and those piers built in the 1900s cannot surely withstand the frequency of these events (KLIMATILPASNING, 2016).

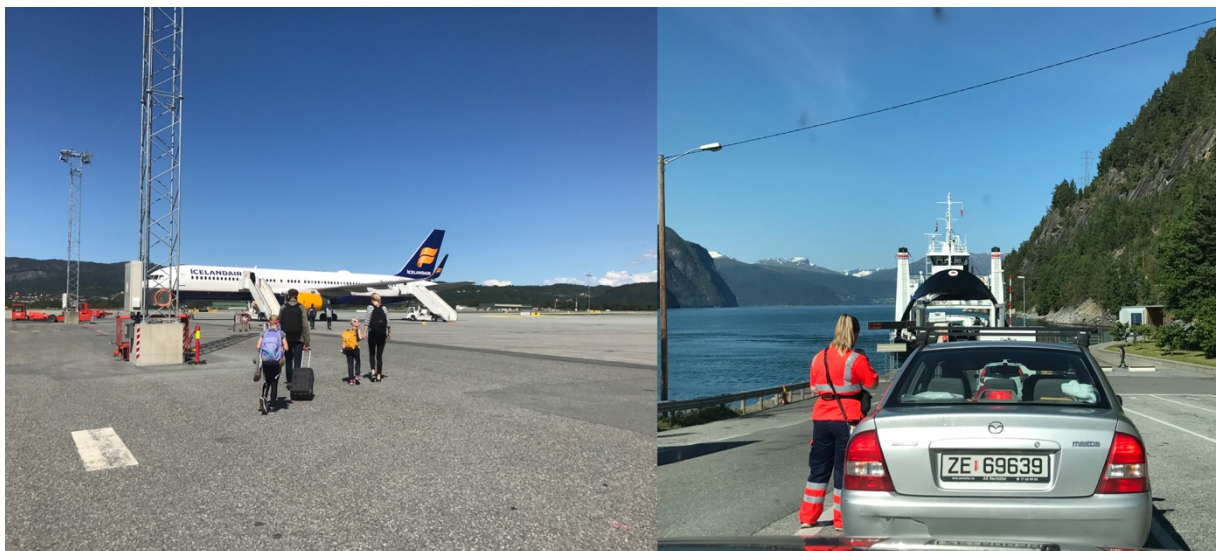


Figure 8 Other transport infrastructures shown here on the left is an airport in Trondheim, Norway close to the coast and on the right, a port in Eidsdal, Norway (photos taken by Christian Baloloy).

Some airports in Norway are built 5 meters over the sea and the risk of sea level rise will definitely have a big impact on these infrastructures. Infrastructures for wind power or hydropower like windmills and dams are also greatly influenced by the extreme weather events in terms of the maintenance difficulties and frequencies (KLIMATILPASNING, 2016).

Affected infrastructures such as for telephone, water, internet, electrical connections, rails and ferries including the road networks due to these extreme weather events can cause isolations among the affected communities (KLIMATILPASNING, 2016).

2.3.3 Cost of Climate Change on Norway's Transport Infrastructures

NRK (2017) reported that the extreme flooding in 2017 in Agder and Rogaland counties cost 874,5 million kroner and it was also reported that same claims in the same counties were done in the previous year for storms and landslides costing 386 million kroner (Norsk Riskkringkasting AS (NRK), 2017).

Moreno (2018) in his article on bygg.no "Infrastruktur for fremtidens ekstremvær", mentioned that the extreme weather that happened during the autumn 2017 when the hurricane from the Atlantic Ocean caused flooding in the Lyngdal municipality in the southern Norway reported to have caused a damage costing 250 million kroner (Moreno, 2018).

NPRA has set some standard computations in order to quantify the cost of building and operations and maintenance of Norwegian transport infrastructures, considering the adaptation to climate change.

Due to the recommendation by the program "Klima og Transport", during the planning of new roads there is a need for more information to consider the upcoming climate changes. This means new researches and new requirements for the 200-year flood plan entailing an extra cost of 1 000 kroner per hour using a maximum of 100 hours (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

It is also recommended by the program to consider climate changes in all planned maintenance and in operation contracts with increased focus on the vulnerable components, stretches and constructions. Conducting inspections, making reports would require at least 15 hours per contract which will cost 1 000 kroner per hour (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

To adapt to climate change using the 200-year flood would require bigger dimensions for the road costing 6 500 kroner per meter for all backfills which should be higher and must have additional protections against erosions (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

Heavy and frequent rains or precipitations would require more slope stabilizations that would cost 100-150 kroner per square meter. In areas or region with most likely occurrences of climate change which would require yearly inspection and conducting reports

would entail a cost of 140 million kroner/year (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

Upgrading of approximately 1 000 bridges would entail a yearly cost of 2 million kroner each but due to variations in some bridges considering the exposure to floods, this value would be doubled. This will mostly increase the length and the height of the bridges, with stronger and more comprehensive erosion protection to avoid exposure to floods depending on the location (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

For building new bridges over an increased water discharges which are planned according to the 200-year flood event doesn't have a significant increase in costs. For instance, on the approx. 150 bridges with bridge area total to 125 000 m² that have been built in the last 15 years there was just a 10% increase on the building cost with consideration on the flood protections which then corresponds to approx. 150 million kroner. (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

For the future period 2071-2100, the following cost changes are shown for climate related operation and maintenance activities:

- cost of upgrading of gravel road increased by 19 million kroner per year;
- forest cleaning and lawn cutting increased by 33 million kroner per year; and,
- decreased cost of winter operations by 470 million kroner per year.

2.3.3.1 Culvert System

And assuming there is a need for 3 500 of 12,0-m culverts yearly for building of new roads and 5 000 culverts for the replacement of old ones that require upgrading and decreasing the dilapidation, the cost of adaptation yearly would be 15 million kroner for new roads and 36 million kroner for the replacement costs, respectively (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

2.4 Sustainability and resiliency

The challenge being faced by the transport authority is making sure that the infrastructures both existing and new to be able to sustain extreme weather events including the effects of climate change.

Ban-Ki Moon (2016) in his speech at the World Economic Forum in Davos, Switzerland in 2016 states that in the coming years there will be trillion of dollars that will be

invested in infrastructures alone. He further mentioned that one of the steps to make us move forward is to have greater attention for climate resiliency (UN, 2016).

The construction and maintenance of infrastructures are some of the current solutions of NPRA in attaining highly sustainable infrastructures. The agency is aided by their handbooks which are guidelines based on studies and on the National Transport Plan (NTP) of Norway.

Article 5.2.1 of the NTP 2018-2029 entitled “Better passability for people and goods in the whole country” that emphasizes on the *transportation systems to be more reliable and robust through strengthened operations and maintenance, measures for delaying dilapidations and must be secured from avalanches* (Ministry of Transport, 2017).

To discuss whether the agency complies with any of the 17 UN Sustainable Development Goals would be redundant. The Ministry of Transport and Communication of Norway has the authority over NPRA and obviously, the agency and the whole government of Norway are committed in attaining these sustainable goals.

So, we take for example the culverts under a road transportation system. Culverts, playing an important role in transportation infrastructures, facilitate drainage. Significantly, the maintenance, risk of failure, replacement and damage due to flooding are some of the important things that must be looked at.

The aim to achieve sustainability of culverts would be quite difficult like in other infrastructures. To make sustainability of culverts functioning, determining their socio-environmental impacts would be a start. Table 1 shows some of the possible identified impacts of culverts. These socio-environmental impacts are the guide to estimate the costs and benefits of a culvert system. These estimations are discussed in the preceding section of this thesis.

2.5 Adaptation Measures of Transport Infrastructures to the Impacts of Climate Change

NPRA (2013) through its program “Klima and Transport” has identified its adaptation measure procedures with regards to climate change impacts. The adaptation measures have been classified into four groups: (1) planning, design and construction of new roads; (2) operation, maintenance and management of existing road network; (3) preparedness and

contingency plans, and (4) improving the knowledge base for adapting to climate change (Norwegian Public Roads Administration, 2013a).

Table 1 Summary of possible environmental and social impacts of the culvert.

Environmental Impacts		
	Causes	Consequence
Ground pollution	Construction	Contaminating the ecosystem
Resource and energy consumption	Infrastructure construction	Consumption of non-renewable energy sources
Water pollution	Infrastructure construction	Contaminate ecosystem
Noise & vibration	Infrastructure construction	Disturbance & annoyance
Land use problem	Altering the pattern and structure of the land	Barrier to planning optimization
Social Impacts		
	Causes	Consequence
Flooding	Blocked culverts; Unmaintained	Could cause traffic congestion; could lessen road tax due to road closure; damage to roads and bridges

NPRA basing from its risk and vulnerability assessments as much as possible plan and develop new roads considering the location that are less prone to landslide or flood hazards. A 200-year flood level of the area as a design requirement for roads, bridges, and erosion protection projects and a plan for storm water management are also considered. Adding an unfixed climate factor of more than 1 has also been introduced as a safety factor. (Norwegian Public Roads Administration, 2013a).

Having a proper asset management of all road infrastructures at NPRA using the Norwegian Road DataBase (NVDB) assists the ability of the agency in which sectors/segments require special attention and highly vulnerable for other aspects (i.e. traffic). Although the climate change factor is not yet included in the data base, it would be very beneficial for the agency to properly identify areas at risk to climate change (Norwegian Public Roads Administration, 2013a, Georange, 2017).

A stepwise preparedness has also been recommended for implementation which is based on the European colour warning systems which can be used for preparedness against avalanches, floods and other natural hazards (Norwegian Public Roads Administration, 2013a).

Using also the website www.xgeo.no and www.varsom.no as tools for risk assessment and preparedness which monitors and forecasts floods, landslides, and avalanches are shown on the map of Norway with the specific date and time periods (Norwegian Public Roads Administration, 2013a, XGEO, 2017, Varsom.no, 2017).

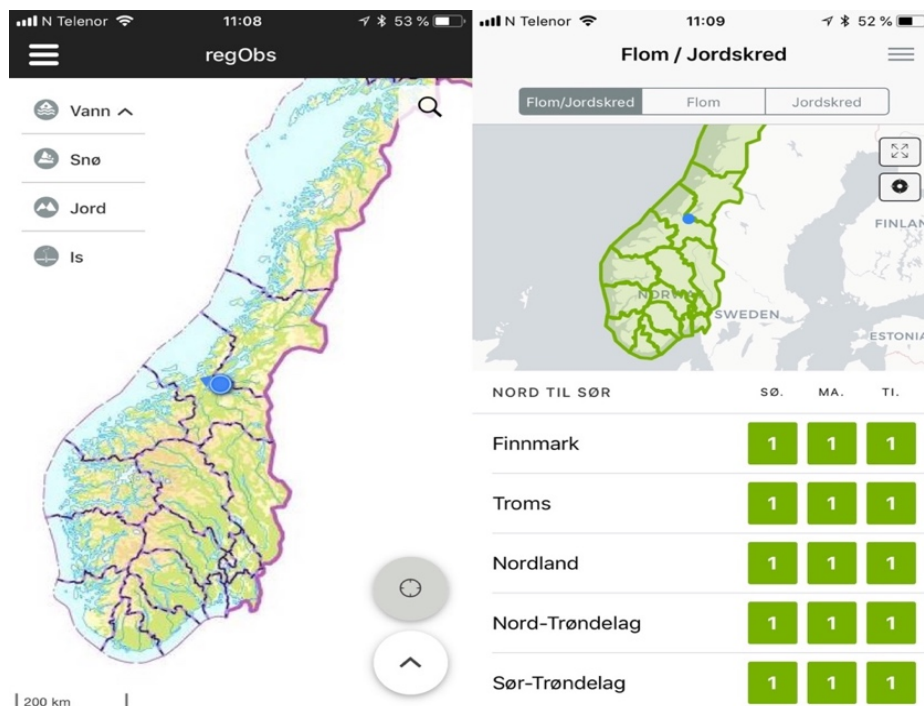


Figure 9 Both *xgeo-regObs* (left) and *varsom* (right) have mobile apps that are free for download that gives warnings on avalanches, flood, snow, and ice on a daily basis and per municipality (photos taken by Christian Baloloy as snapshots using an iPhone).

2.5.1 National Road Data Base

All road networks in Norway are stored in the database, Nasjonal vegdatabank (NVDB) that can be accessed online thru <https://www.vegvesen.no/vegkart/>. It has an alphabetized data including the roads highly vulnerable to avalanches, floods, and ice and/or combinations. A sample of the road network in Trondheim on the vegkart or road map on the data base is shown in Figure 10.

The handbook V830 (Nasjonalt vegreferansesystem) by NPRA tells more of the NVDB based on the Geographical Information System of Norway basing after the international standards: ISO 19111:2003 or the Geographic information – Spatial referencing by coordinates, ISO 19112:2003 or the Geographic information – Spatial referencing by geographic identifiers, ISO 19113:2005 or the Geographic information – Location-based services – Tracking and navigation and ISO 19148:2010 or the Geographic information – Location-based services – Linear referencing system (Statens vegvesen, 2014).

Improving the current GIS database and maps, monitoring measures and smart strategies probably using advanced technologies, and more improved and precise research and interpretations of climate projections as bases for climate change adaptations in the future would be of valuable assistance to the agency (Norwegian Public Roads Administration, 2013a).

There will be future uncertainties which will influence how the agency conducts its adaptation measures to climate change impacts of transport infrastructures but better understanding and cooperation between agencies could diminish or probably avoid those (Norwegian Public Roads Administration, 2013a).

2.5.2 Risk and Vulnerability Analysis (ROS-analyse) as a tool for adaptation

The 200-year flood is the basis for the risk and vulnerability management used by NPRA of an area that a road or bridge project will be constructed and even for the operations and maintenance of the existing roads. This kind of risk category is one of the possible risks identified in the Risk and Vulnerable Analysis (ROS-analyse) of the agency. Some projects with this ROS-analyse using the 200-year flood category results into more robust transport structures/networks that can sustain even the expected sea level rise and storm surges (Norwegian Public Roads Administration, 2012).

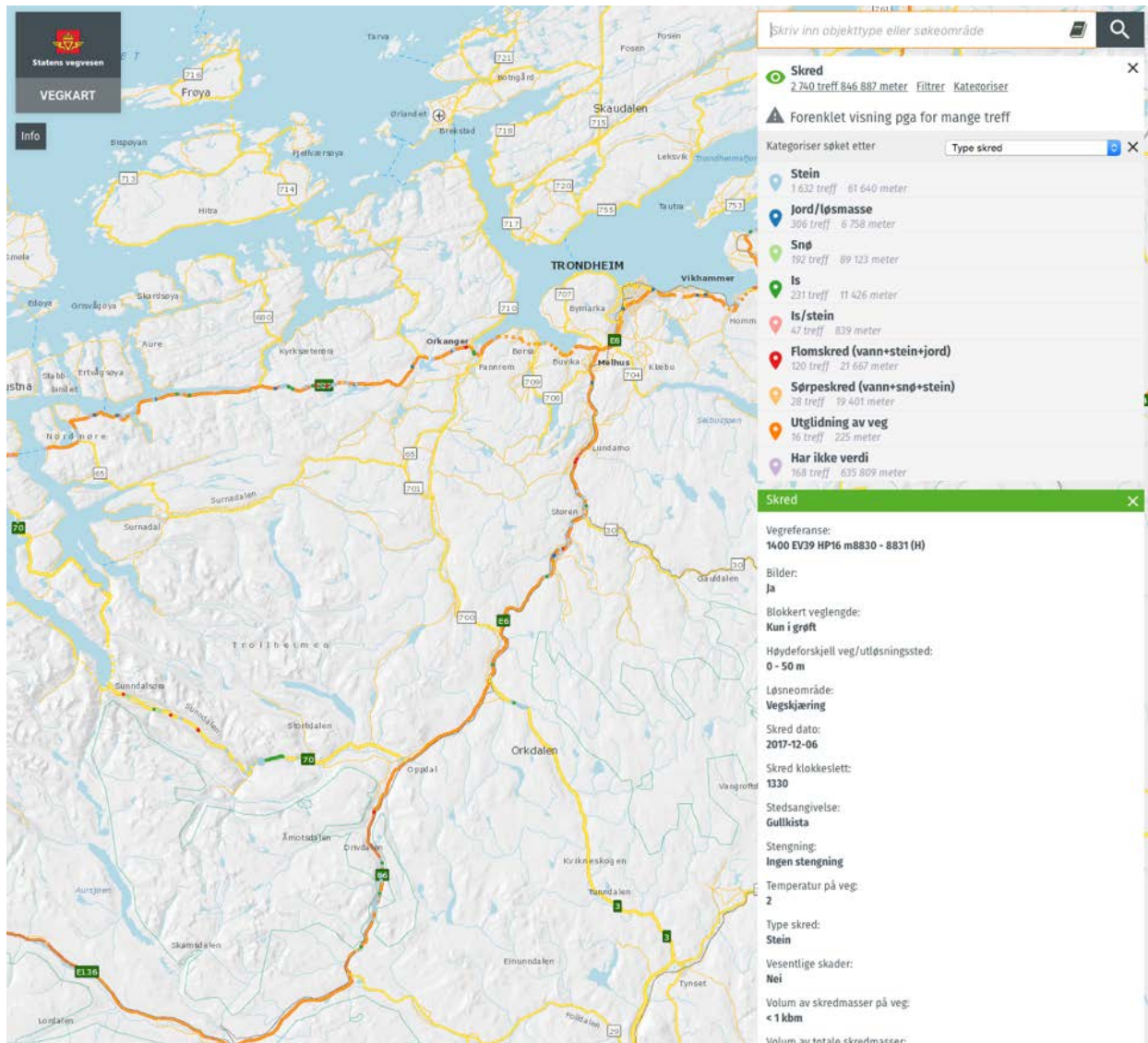


Figure 10 Map of Trondheim and surrounding areas as reflected on the databank of NPRA. This picture shows the different types of natural disasters as reflected on the map with color coding and contains information about the road section or segments affected. (Norwegian Public Roads Administration, 2018).

Included also in the ROS-analysis are the risks of avalanches, sea level rise, heavy and intensified precipitations, flood, extreme weather events, and wind. The analyses are done by highly competent people with knowledge of the weather and its changes, the technical aspects of the roads including the knowledge on the elements of the roads or bridges (Norwegian Public Roads Administration, 2011).

The RSO-analysis is used in the planning, building, operations and during the administration phases. It is an outstanding tool used by NPRA in diminishing or avoiding most of the uncertainties on each phase of the road construction. It is based on the

Norwegian standards NS-ISO-31000 and NS 5814 which both pertain to risk analysis and management (Norwegian Public Roads Administration, 2011).

2.5.2.1 Risk and Vulnerability Analysis (ROS-analyse) of culverts in relation to weather related events or VD report no. 24

This report is part of the series of reports from the program, “Klima og transport” of NPRA that aimed to describe the ROS analysis of culverts along the road networks with considerations to climate change.

The analysis has focus on climate related events affecting culverts that may result to reduced accessibility or closing of roads which has economic consequences that would eventually result into reduced sustainability of these infrastructures (Statens vegvesen, 2011).

The requirement and recommendations for the dimensions and design of culverts are among the ones described in the different handbooks of the agency. Among the consequences if there is an under-design of culverts/reduced capacity and damages to culverts are: (1) water accumulation on the road; (2) reduction of carrying capacity due to infiltration, washout and erosion of loose soil on the road; (3) Flooding that results into damages to the road network and other areas; (4) soil and slope failure; (5) Scouring and collapse of the whole road; and, (6) problem with frost heave and ice (Statens vegvesen, 2011).

The ROS analysis has the following levels of consequences and probabilities which are shown in the risk matrix below (Statens vegvesen, 2011). The following indicators for probabilities with culverts are: (1) flood, big amount of sediment transport, changed land use, and upstream actions; (2) Precipitation coverage area increased with respect to the existing capacity; (3) Slurry/sediments collection at the inlet/outlet and in the pipes; (4) Damages on the culverts or of the area around; and, (5) Operations and maintenance (Statens vegvesen, 2011).

Normally, the risk analysis is conducted by several experts in the field of geology and geotechnics, hydrology, road construction, culverts and drainage system, erosion and soil transport, prevention of floods, erosion and other dangers, risk analysis expert and expert on the interaction between the analysed objects and the road network functions (Statens vegvesen, 2011).

Table 2 Risk matrix (Statens vegvesen, 2011).

Consequence \ Probability	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
5	Yellow	Red	Red	Red	Red
4	Green	Yellow	Red	Red	Red
3	Green	Green	Yellow	Red	Red
2	Green	Green	Green	Yellow	Red
1	Green	Green	Green	Green	Yellow
Red		Critical; Necessary precautionary measures must be observed			
Yellow		Considerably risky; Precautionary measures should be implemented			
Green		Not critical; No necessary precautionary measures to be observed			

In order to do the analysis, the data from the geographical, technical/geotechnics, operations and meteorological and hydrological are collected of the area under investigation or analysis must be identified (Statens vegvesen, 2011).

To relate the impact of climate change would have to be on the frequencies that damages may occur on the culverts due to the frequencies of such extreme weather related events. What is quite important to note is that the agency has applied the return period for precipitations that may cause a huge effect on the culverts and they are shown below.

Table 3 Return period for road operations, draining system, and security measures (Statens vegvesen, 2011).

Road and Drainage elements	Return period for precipitations*	
	Road with detour	Road without detour
Drain, Storm water drainage pipes, ditches - along the road	50 years	100 years
Culvert, inlets, outlets, spillway - in all directions	100 years	200 years
Securing of new or adjusted river or stream course**	100 years	200 years

*In areas where the storm water run-off shall be connected to the municipality's storm water run-off system, the municipality's regulations on the dimensions shall be followed.

**NVE shall be contacted with regards to change of watercourse

The climate factor (K_f) in the computation of the draining capacity (Q) of the equation below used by SVV has the following values: 1,3 for 10-year return period for precipitations, 1,4 for 100-year return period and 1,5 for 200-year return period. The intensity and frequencies of

precipitation can be outsourced from eKlima (www.eklima.no) (Norwegian Public Roads Administration, 2014).

Equation 1 The draining capacity by Statens vegvesen for the design of culverts (Norwegian Public Roads Administration, 2014).

$$Q = C \times i \times A \times K_f$$

The runoff
 coefficient (C)
 has the
 following
 values:

Type of area	Run off coefficient
1. Concrete, asphalt, bare mountain and the likes	0,6 - 0,9
2. Gravel roads	0,3 - 0,7
3. Vegetation area or parklands	0,2 - 0,4
4. Forest area	0,2 - 0,5

Table 4 Runoff coefficient, C for unfrozen surface, return period of 10 years (Norwegian Public Roads Administration, 2014).

For precipitations with the return period of more than 10 years, the C values should be the following (until the maximum coefficient C = 0,95):

25 years:	add 10%
50 years:	add 20%
100 years:	add 25%
200 years:	add 30%

And rain on frozen and iced area and water-saturated ground after a long period of precipitations, the factor that can be considered will be the same for “bare mountain” (Norwegian Public Roads Administration, 2014). The chapter on the handbook of Road Construction by NPRA regarding the design of culverts are attached here as annex.

The ROS analysis of culverts has three levels where the agency’s regular inspections of these structures in terms of vulnerability and damages are based on:

1. Simple ROS analysis to identify the areas or specific culverts that have a potential damage or adjoining road that may give a reduced accessibility when floods occur or due to wear and tear or erosion. Possible consequences of such events must be identified (Statens vegvesen, 2011).
2. Extended ROS analysis of exposed culverts. A more detailed information about the culverts, and the area exposed to precipitations and conducting simplified quantitative analyses. This includes for example the control of the capacity and

state of inspection, with simple quantification of amount of water (Statens vegvesen, 2011).

3. Special ROS analysis of exposed culverts. A thorough analysis of actual precipitations data that affects the area and/or a more thorough inspection of the culverts' functions, with bigger weight on the effect of climate change (Statens vegvesen, 2011).

With the Special ROS analysis and the use of the equation above with the different climate factor and runoff coefficients, the agency is equipped with the best to adapt with the changing climate to make the culvert infrastructures sustainable and resilient.

2.6 Benefit-Cost Analysis (BCA)

The day-to-day decision we do when we ask ourselves if anything “is worth it” is a basic *benefit-cost analysis*. It means that we try to dig into our minds whether the benefits that we will get out of devising “a possible course of action” and considering other influences would outweigh the costs that we would put into it. Thus, this “benefit-cost analysis is one useful tool in decision-making” (Snell, 2011).

We can compare cost and benefits of a project to its sustainability. It is where we could come to a realization whether the investment we put into a project would give us optimum benefits. This is a simple business idea that's been there for years and still continue to persist. It is like evaluating our actions whether the kind of endeavour we have dedicated our efforts, time and money would be valuable in the long run.

However, in the public sector where the interests of the public are deemed to be more important, “projects are realized to provide services to the citizens for their benefit at no profit” (Blank and Tarquin, 2005). It is expected thus that projects would be highly sustainable and have longer life spans.

2.6.1 Benefit Cost Analysis as a Decision-making Tool

Benefit-Cost Analysis (BCA) is a “decision tool that generally uses monetary units to compare investments and other costs with the corresponding benefits over a specified time” (Eccleston and March, 2011). “The time value of money must be considered to account for the timing of cash flows (or benefits) occurring after the inception of the project” (Sullivan et al., 2006).

Blank and Tarquin (2005) described BCA as a “fundamental analysis method for public sector projects to have more objectivity” (Blank and Tarquin, 2005). Sullivan et al. (2006) added that this method is used in the public sector to consider the worthiness of allocating resources to achieve social goals (Sullivan et al., 2006). It is a tool used worldwide for policy and project analysis (Owen and Hanley, 2004).

The effectiveness of the BCA would involve *uncertainties* and computing probabilities to make it more quantitative (Snell, 2011). This means that involving accurately disbenefits aside from the accurate costs and benefits of the project would be highly useful (Blank and Tarquin, 2005). Blank and Tarquin (2005) defined “*costs* as estimated expenditures, *benefits* as advantages to be experienced and *disbenefits* as expected undesirable or negative consequences and may be indirect economic disadvantages”.

The conventional way to get the benefit cost ratio (BCR) is calculated to be benefit over cost (B/C).

2.6.2 Benefit-Cost Analysis Stages

Snell (2011) devised a procedural guidance to quantitatively analyse costs and benefits of a project:

1. Define decision/goal and the set of criteria. It would be helpful to define the purpose of the project and then, the *with-project* or *without-project situations*. It would also be helpful also to identify the possible stakeholders. The criteria may range from the project lifespan, discount rate, categories of benefits whether positive or negative, and possible adjustments.
2. Estimate both the costs and benefits of the project. Calculate initial costs, recurring costs, and/or replacement costs. Calculate also the benefits for *with-project* and *without-project situations*. List down the yearly costs and benefits for analysis.
3. Weight the costs versus the benefits. Calculate the *net benefit* which the benefits minus the costs. Conduct an economic analysis (i.e. discounting).
4. Consider uncertainties and probabilities. Conduct sensitivity analysis. Assess other benefits and costs not included in the BCA.

5. Apply the criteria, consider the BCA alongside the decision guidelines and make conclusions and suggestions from the reported analyses to aid in making decisions.

2.6.3 Limitations of Benefits-Cost Analysis

It is always easier to decide when there is a cost involved even on the uncertainties and the benefits on public-owned projects. However, assigning costs to a certain benefit like reaching the house safely to spend time with the family or to an uncertainty like accidents that can happen or even an impact like noise that can be generated by the project would be quite difficult. However, no matter how difficult it is to quantify both benefits and uncertainties, the decision-makers are bound to rely on the quantified costs rather than the intangible experiences or occurrences (Snell, 2011).

Blank and Tarquin (2005) implies that “it is difficult to estimate and agree upon the economic impacts of benefits and disbenefits for a public-sector alternative”. The BCA approach is even “highly criticized as an attempt to put a monetary valuation on issues with social, political, and ecological implications like human health and life that go far beyond dollar value” (Harris et al., 2017).

But then again, how about adding ‘climate change uncertainty’ in the analysis equation? This gets even more complicated! Climate change, as experts say, is so difficult to quantify. In the uncertainty of climate change, “adaptation is the main response to decrease vulnerability” (i.e. transport infrastructures, society). Governments have a responsibility in making adaptations happen although it requires comprehensive planning especially for decisions involving major infrastructures (Stern, 2007).

Another limitation that can be seen from using this analysis is when the focus is on “hard” adaptation measures since they are easy to quantify such as the cost of “soft” measures such as satisfied customers are quite difficult to quantify. Focusing much on hard adaptation measures could lead to possible neglect of potentially critical adaptation measures which may result into an inappropriate and costly adaptation measures (Burton, 2009).

2.6.4 Discount Rate with respect to Climate Change

The discount rate when climate change is added in the picture is something that is controversial and difficult to fathom. Economists around the world have formulated their approach on the discount rate that is feasible for today and for the generations to come when climate change is duly considered.

Specifically, the Ministry of Finance of Norway (2012) has mentioned in its report, Cost-Benefit Analysis its recommendations as studied by the committee of experts as appointed by Royal Decree of 18 February 2011 the social discount rate to be applied in the assessment of public measures which are 4% for year 0-40, 3% for the years 40-75, and 2% for the subsequent years (Norwegian Ministry of Finance, 2012).

These recommendations were done after carefully evaluating the different rates by various economists such as Stern, Quiggin, Cline, Garnaut, Nordhaus, Weizman, Arrow, Dasgupta, Gollier and even the HM Treasury of the United Kingdom including the evaluations of the discount rates of different countries such as Sweden, Denmark, the EU, and UK (Norwegian Ministry of Finance, 2012).

2.6.5 Internal Rate of Return

The Internal Rate of Return (IRR) method is a widely-used rate of return in most engineering project analyses. It could be referred to as investor's method or the profitability index. It is used to determine which discount rate makes the present value of future cash flows equalize the initial cost of capital investment. In other words, it is to determine which discount rate would make the net present value equal to zero.

This is useful to evaluate whether the project will get a return large enough to compensate for the time value of money and risk associated with the project.

Equation 2 Internal rate of return(Brewer and Picus, 2014).

$$DCF = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

The DCF represents the discounted cash flow of the project, CF represents the cash flow expected to occur in the period defined by the subscript, and r represents the discount rate for the project. The DCF must be set to zero to determine the IRR of the project or investment (Brewer and Picus, 2014).

2.6.6 Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis is a general non-probabilistic approach to determine uncertainties in selected factor estimates. Normally, the sensitivity of the economic measure of merit to changes in the value of each factor is graphed accordingly (Sullivan et al., 2006).

The analysis will show the low-most likely-high estimated values of each factor. The low value shows the unfavourable value, the most likely value is the best estimate value while the high value is the optimistic estimate and most favourable (Sullivan et al., 2006).

This determines the measure of worth and alternative selection sensitivity within a predicted range of variation for each parameter. The most likely estimate is the most used parameter.

2.6.7 Decision Tree

The decision tree analysis uses alternatives and probability that account for risks. It is done from left to right and includes possible outcome and decision. Each decision tree has circle nodes as the event nodes that mean events or opportunities, while the square nodes mean as the decision nodes (Liu, 2017).

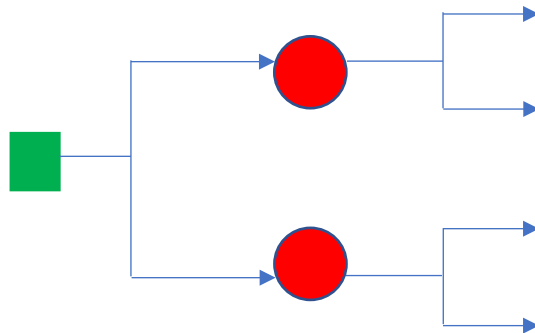


Figure 11 Decision tree (Liu, 2017).

The decision tree analysis used here in this thesis was done on the first decision-making process before doing the BCA and sensitivity analyses and also, after doing the previously-mentioned analyses.

The Bayesian decision making method requires the evaluation of each probability and *sharpen uncertainties with respect to the probable likelihood of each state of nature* (Liu, 2017). The Bayes formula converts prior probability to posterior probability which is the

conditional probability that the probability analysis should be based upon using some relevant observations.

Equation 3 Probability by Bayesian (Liu, 2017).

$$Pr(A_j|B) = \frac{Pr(A_j) \times Pr(B|A_j)}{\sum_{i=1}^r Pr(A_i) \times Pr(B|A_i)} = \frac{Pr(A_j) \times Pr(B|A_j)}{Pr(B)}$$

Let A_j is the sample space, while B is an independent event. $Pr(A_j|B)$ is the conditional probability or the posterior probability of the state of nature being A_j with reference to the value B . Then, $Pr(B|A_j)$ is the likelihood and $Pr(B)$ is the evidence (Liu, 2017).

2.6.8 BCA and the Adaptation Measures

The BCA assesses and compares the total welfare effect of projects by considering both the direct and indirect effects including their external effects. Primarily, decision-makers are informed on the costs and benefits of the project and some alternative options. When the costs and benefits are given, including the discount rate, the net present value of both costs and benefits must be determined.

The standard net present value (NPV) is calculated by the formula:

Equation 4 Net Present Value (Sullivan et al., 2006).

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

where B_t is the benefits and C_t is the costs of an adaptation measure in year t , r is the discount rate and T the time horizon of the project. Normally, the decision rule is to proceed with the project if the NPV is positive, or if comparing investment projects, the one with the highest NPV. The BCA requires that all related costs and benefits could be identified in a quantitative assessment of the adaptation measures and most specially, if a project considers the long-term effects of climate change, the effect of the climate change must be considered on the next 100 years.

With the advice of the Norwegian Ministry of Finance to use certain rate as the discount rates in relation to the time horizons that the project/s must be considered, this is to be considered also in the sensitivity analysis. For example, the 100-year time horizon with a recommendation of a risk-free discount rate of 2,5% (Norwegian Ministry of Finance, 2012).

Uncertainties of climate change make it difficult for decision-makers in assessing the available options and complicating the benefit-cost analysis (Hallegatte, 2009). Assessing the adaptation measures must consider the uncertainties related to the long-term costs and benefits, future climate change and the possible implications of a robust adaptation option. The study area of this thesis put an emphasis on the general climate change impacts due to insufficient information to conduct a probable effects of uncertain climate change impacts.

2.7 Literature Review

Climate Change as a threat to the modern transport infrastructure systems of Norway is likely to generate a slight change in the economic activity (Stern, 2007). It is therefore of utmost importance to apply the adaptation measures that have been articulated from the NPRA study. However, the decision-makers in the government are not too keen to approve further investments pertaining to climate change adaptation when there are no sufficient bases to support the claims. There are several measured scientific evidences to climate change, but to know the benefits out of costs in investing in the adaptation was quite a difficult task but very important.

There is a vast literature about Climate Change and the Costs and Benefits Assessments of the adaptation measures to the uncertainties brought about by the climatic phenomenon. The Climate Change science literatures are best sourced from the origin which is the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) from its book, Climate Change 2013-The Physical Science Basis. There is also an increasing interest in the economics of climate change. This awareness is essential since the more we know today about the costs and benefits of the adaptation options, the easier it is to manage them in the long run. The need to quantify the benefits just like the costs of adaptation measures is highly stressed in the 2007 Stern Review.

In order to understand better the connection of increasing costs to the effects of climate change on transport infrastructures and why there is a need to invest on the adaptation measures, it is imperative to quantify the benefits they would produce. By doing so, analysing economically climate change and its considerable impacts and how significant are the adaptation measures in order to mitigate or avoid the costly impacts of climate

change has been significant. Broome (1992) says that the benefit-cost analysis is intended at assessing government investment projects (Broome, 1992).

In this paper, it is just fitting to use the benefit-cost analysis method as a basis for the literature review on the adaptation measures management by NPRA with focus mainly on the transport infrastructure system. This is to discuss also the approach, results of the literature search and the discussion and conclusion.

2.7.1 Approach

Conducting a literature search has been done in Compendex, Oria, Google Scholar and NTNU Open. The scope of search in Compendex was limited to articles pertaining to climate change or extreme weather events. Furthermore, since the interest of writing the thesis is in the adaptation measures to transport infrastructures, the search was limited by combining the keywords. The results gave 2 records between 2 different infrastructures. Further refining in the record databases happened when *road* was made as the limit giving only 2 results (i.e. Hudson, 1997 and Jaedicke, 2009).

While in Google Scholar even combining all key words such as cost-benefit analysis, transport infrastructures, adaptation measures and climate change gave more than 40 000 results across different sectors including agriculture, cities, economic effects, risk assessment and many others. Even clicking according to dates, the results gave more than 15 000 for each of the following year, 2018, 2017 and 2014. Further refining by adding *road* still gave more than 1 500 results. More refining of research was done by adding *Norwegian* giving 350 results.

Using Oria gave more than 2 500 results by combining all specific keywords. This is more refined by using the word *Norwegian* and gave less than 300 results. Further refining by filtering through the topics in Engineering, Economics, Climate Change, Resilience, Climate and only in English gave around 10 results though they relate not much the Norwegian transport infrastructures with the following as most relevant (i.e. Hudson 1997, Jaedicke 2009, Kolshus 2015, etc.).

NTNU Open gave 1 relevant previous master thesis pertaining to cost-benefit analysis regarding road transport infrastructures entitled "A framework for assessing uncertainties in cost benefit analyses in the Norwegian road sector" by Andrea Fernandez Blanco.

Other type of approach made for the research was to loan books from the NTNU Teknologibiblioteket where there are some significant reference books available for the thesis. They are the Stern Review 2007 by Nicolas Stern, Politics of Climate Change by Giddens, Counting the Cost of Global Warming by Broome, etc.

More importantly, the public roads authority itself has provided me some materials for my case study.

2.7.2 Results

In this section, the results of the researches are best described with the pertinent keywords and in which area of this thesis they have been used.

2.7.2.1 *Climate Change: Examining the Costs*

The papers in this group can be categorized into 4 types: Impacts of Climate Change, The Greenhouse Effect, Adaptation and Mitigation Measures, and Quantifying the Costs. This group talks about the general information and scientific basis for climate change.

2.7.2.1.1 Impacts of Climate Change

This group focus on the impacts of climate change or extreme weather patterns. This is a general scientific and technical information about the climate change impacts. Eccleston and March (2011) gave a very concise impacts of climate change to the society and economy which are the main focus of this thesis. The IPCC (2014b) states more on what the policymakers in general should not ignore the potential impacts the changing of the climate on the world's population which are more vulnerable.

2.7.2.1.2 The Greenhouse effect

Both Eccleston and March (2011) and the IPCC (2014a & 2014b) pointed out the science behind the greenhouse effect which is the main cause of temperature rising or global warming and can cause more precipitations which can affect greatly infrastructures around the world. IPCC (2007) showed the phenomenon in a figure that explains how it works.

2.7.2.1.3 Adaptation and Mitigation Measures

IPCC (2014b) explains how several industries around the world are doing their best to adapt and mitigate climate change impacts. Rowan et.al. 2013, Rattanchot et.al. 2015, and

Colin et.al. 2016 all agreed that there is a significant impact in the transport sector especially in infrastructures from the change in climate and even IPCC (2014b) has some guidelines regarding the costs of mitigation and no adaptation to climate change.

2.7.2.1.4 Quantifying the Costs

Israel (2013) of Ceres has made it clear that the inaction to climate change by governments will greatly affect the taxpayers who are mostly the ones paying for the damages caused and even NewsRx (2017) agreed that it would be five times costlier if no adaptation will be implemented by governments. Hallegatte et.al. (2008) agrees with this and even formulated a framework in assessing the benefits of adaptations which has been adapted in Chapter 5: Results and Discussion of this thesis.

IPCC (2014a) and Stern (2007) disagrees that developed countries like Norway will be impacted greatly by climate change. The former says that it will cause an increased cost to developed countries to mitigate impacts while the latter says that warming temperatures will be beneficial for Nordic countries like Norway. Even Vallejo and Mullan (2017) emphasized that it will be difficult for transport infrastructures to be more cost-effective and climate proof.

2.7.2.2 *Norway and Climate Change*

In this group, there are two categorized types: Climate challenges in Norway and Climate change impacts on flooding. The Norwegian Environment Agency (2017), YR (2018) and the Norwegian Water resources and Energy Directorate (2018) presented how temperatures are changing in Norway showing which year from 1900 to 2018 are the warmest due to the CO₂ emissions.

2.7.2.2.1 Climate Change challenges in Norway

This group enumerated some possible climate change challenges in Norway: (1) Myrabø et.al. (2016) says that floods and landslides due to heavy precipitations are the major climate change challenges in Norway; (2) Vormoor et.al. (2016) emphasizes that rainfall and snow melting frequencies are increasing in Norway which can generate floods especially in low lying areas; (3) Xu et.al. (2016) says it is the continuous and increasing freeze-thaw cycle in Norway due to warming and cooling frequencies can cause a significant

damage to the existing concrete infrastructures which is supported by laboratory experiments and studies by NTNU's Shpak (2018) and Shamsutdinova et.al. (2017); (4) Aursand and Horvli (2009) predicts that mild winters in the coming years will make road networks deteriorated gradually; (5) Jaedicke et.al. (2009) have the same study by Myrabø et.al. with addition to quick clay slides as another threat to infrastructures in Norway.

Generally, the IPCC (2012) agreed that transportation systems are highly vulnerable especially in the coastal areas which was also highlighted by Demirel et.al. (2015).

However, Simpson et.al. (2017) contradicts that Norway is at low-risk to sea level rise as one of the climate change impacts due to its topography. Wahl (2017) disagrees with Simpson et.al. (2017) and confirms the study by Vormoor et.al. (2016).

2.7.2.2.2 Climate Change impacts on flooding

With the immense impacts of climate change, flooding is perceived to be the most threatening effect in Norway due to these increased precipitation and snow melting as considered by Vormoor et.al. (2016).

Dyrrdal et.al. (2012) concluded that an increased precipitation over the years since 1957 cause a substantial increase in floods and landslides and/or avalanches.

2.7.2.3 Norway's Transport Infrastructures and Climate Change

Hudson et.al. (1997) made a generalized definition of what infrastructures are. IPCC (2014c) refers to impacts as greenhouse gas emissions which are previously discussed but will not be leading into that direction when impacts of climate change is referred to. And since this thesis is a cooperation with the Norwegian Public Roads Authority, so there is a focus on road transport infrastructure system.

2.7.2.3.1 Road Transport Infrastructures

When talking about the road transport infrastructures in Norway, it is the NPRA or SVV that has the public authority over the national and county roads. Through its program called "Klima og Transport" which is discussed by NPRA (2013a). NPRA (2017) also included some challenges brought about by the climate change impacts on the roads.

2.7.2.3.2 Other Infrastructures

Klimatilpasning (2016) have also enumerated other various infrastructures that are affected by climate change and these are mostly along the coast: public ports, fish ports, and

private ports. Airports, energy infrastructures such as windmills, dams are also affected including the telecommunications and basic underground services infrastructures.

2.7.2.3.3 Cost of Climate Change on Norway's Transport Infrastructures

The source to find out about the costs of climate change in Norway's transport infrastructures with an emphasis on the culverts are mainly derived from the NPRA (2013b) where several adaptation measures are clearly specified for each component of a road transport infrastructure system. Moreno (2018) and NRK (2017) wrote the damage cost in million kroner on the previous flooding incidents in Lyngdal municipality and Agder and Rogaland counties.

2.7.2.4 Sustainability and Resiliency

To discuss about sustainability, I have referred to Ban-Ki Moon (2016) statement regarding the possible future spending on infrastructures if they are not made climate-proof which makes their sustainability suffer. The agency's sustainable plans and actions are reflected from the National Transport Plan (NTP) 2018-2029 of Norway which is authored by the Norwegian Ministry of Transport (2017).

2.7.2.5 Adaptation Measures of Transport Infrastructures to the Impacts of Climate Change

The NPRA (2013a) through its program "Klima og transport" has identified several adaptations measures mentioning the risk and vulnerability assessments the agency is holding for each infrastructure with aid from its national road database as stated also by Geonorge (2017) and various warning apps of other agencies in cooperation with NPRA such as xgeo (2017) and varsom (2017).

2.7.2.5.1 National Road Data Base

The NPRA (2014) has its handbook called "Nasjonalt vegreferansesystem" which states the Geographical Information System (GIS) of Norway administering the national road data base and shown and can be accessed online all data pertaining to the national road network. NPRA (2013a) in its program "Klima og transport" states how important inter-agency communications and cooperation in order to implement the mandate of climate change adaptation of infrastructures.

2.7.2.5.2 Risk and Vulnerability Analysis (ROS-analyse) as a tool for adaptation

NPRA (2012), Risiko- og sårbarhetsanalyse showed that the agency uses the 200-year flood as the basis for the risk and vulnerability assessments of each infrastructure. Other types of risks are also considered thru NPRA (2011) thru its VD report no. 29 (ROS-analysis with respect to weather related events).

2.7.2.5.2.1 Risk and Vulnerability Analysis (ROS-analyse) of culverts in relation to weather-related events

SVV (2011) thru its VD report no. 24 making culverts the focus in analysing the risk and vulnerability assessments of these infrastructures with respect to weather-related events where a special level of ROS-analysis is conducted when a probable climate change impact is affecting the culverts and with the support of the NPRA (2014) thru its handbook no. 200, "Vegbygging", a dedicated chapter for the design of culverts with consideration of climate change is available.

2.7.2.6 Benefit Cost Analysis

Snell (2011) explained the term "benefit-cost analysis" in its simplest form. While Blank and Tarquin (2005) stressed how important BCA into attaining sustainability of infrastructures and resiliency of public projects since they are for the benefit of the citizens.

2.7.2.6.1 Benefit Cost Analysis as a Decision-making Tool

Eccleston and March (2011), Sullivan et.al. (2006), Blank and Tarquin (2005), Owen and Hanley (2004) all agreed that BCA can be used a decision-making tool, especially for public investments to achieve value for money with the maximum socio-economic benefits. Snell (2011) added that uncertainties must be considered to assure the effectiveness of BCA and agreed by Blank and Tarquin (2005) which include disbenefits in analysing costs and benefits of a project.

2.7.2.6.2 Benefit-Cost Analysis Stage

Snell (2011) formulated a simple and easy procedural guidance to quantitatively analyse costs and benefits of a project.

2.7.2.6.3 Limitations of BCA

One limitation specified by Snell (2011) is that decision-makers rely on quantified costs than the intangible experiences or occurrences. Blank and Tarquin (2005) expressed a difficulty in estimating the economic impacts of benefits and disbenefits especially for a public project while Harris et.al. (2017) emphasized that there are criticisms against the use of BCA in placing a monetary value on things such as human health. While Stern (2007) mentioned that no matter how difficult it is for governments around the world, but it is their responsibility to make infrastructures adapt to reduce vulnerability to climate change. Burton (2009) categorized adaptations as soft and hard which are usually focused more on the BCA rather than the critical adaptation measures that can result into a costlier adaptation measure.

2.7.2.6.4 Discount Rate with respect to Climate Change

The Norwegian Ministry of Finance (2012) through its report entitled “Cost-Benefit Analysis” wrote down its recommendations based from various economists around the world and other countries on the different discount rates to be used specifically for different corresponding years especially for public measures.

2.7.2.6.5 Internal Rate of Return

Brewer and Picus (2014) discussed the internal rate of return with the equation.

2.7.2.6.6 Sensitivity Analysis

Sullivan et.al. (2006) made a general definition of sensitivity analysis and its importance in the estimation of cost-related parameters.

2.7.2.6.7 Decision Tree

Liu (2017) discussed in the lecture of TPK 5115 Risk Management in Projects the decision tree analysis and using the Bayesian for probability with the equation to get the posterior probability.

2.7.2.6.8 BCA and the Adaptation Measures

Sullivan et.al. (2006) in their book, “Engineering Economy” shows the general equation for attaining the net present value which is used in the Benefit Cost Analysis using the discount rate stipulated by the Ministry of Finance (2012) in its report. Hallegatte (2009)

underlined that the uncertainties brought about by climate change are the challenges faced by decision-makers in conducting the BCA.

2.7.2.7 Methodological Approach

As a company partner in this thesis, the NPRA (2013) through its program “Klima og transport” and the program manager, Gordana Petkovic provided some data to do BCA in accordance with the adaptation measures set by the program for the agency’s implementation. Bryman (2014) is referenced in the general information and definition of methodological research method.

2.7.2.7.1 Main considerations when adapting or mitigating infrastructures to obtain sustainability

Most quantitative data came from NPRA with guidance from Stern (2007) regarding doing scenarios such as base scenario and “doing something” for comparison of the effects of climate change.

2.7.2.7.2 Method to determine vulnerability

In order to determine the infrastructures’ sustainability and attain resiliency, vulnerability must first be determined. Most data here came from NPRA, its handbooks and reports.

2.7.2.7.3 Managing Uncertainties

Broome (1992) said that uncertainties are always part of a problem. NPRA (2013) thru its “Klima og transport” manage uncertainties from knowledge-sharing through inter-agencies. Stern (2007) added that understanding the consequences helps in weighing up costs and benefits of climate change correctly.

2.7.2.7.4 BCA as a decision-making tool to attain sustainability and resiliency of infrastructures

Eccleston and March (2011) suggested that to quantify damage and associated costs for the BCA, it would be wise to look at the external costs. For example, the costs that will be accumulated if a road is damaged. Broome (1992), UNFCCC (2012), Stern (2007) all agreed that there must be scenarios to compare the benefits over costs for each. Owen and Hanley (2004) highlighted that the net present values of costs must be used.

2.7.2.7.5 Conducting sensitivity analysis and expected value decisions

Owen and Hanley (2004) stressed on using the NPV for the sensitivity analysis and recalculating them due to climate change uncertainties. Borgonovo and Peccati (2006) mentioned about global and local sensitivity analyses.

2.7.2.7.6 Polynomial regression

The process on doing the polynomial regression I have learned during the autumn semester of 2017 as part of the compendium for TPK5115 Risk Management in Projects as part of the course in Project Management master program where Professor Vatn showed how it was done using excel.

2.7.2.7.7 Decision tree analysis

The decision tree analysis was taught in the same course, TPK5115 by Vatn (2017) and Liu (2017). Blank and Tarquin (2005) gave a clear definition of the analysis.

2.7.2.8 Case Study

The Case study for this thesis was acquired from NPRA Trondheim through the effort of the agency's Klima og transport program manager, Gordana Petkovic. The quantitative data and drawings were obtained from the E6 Soknedal project through its project manager, Mr. Harald Inge Johnsen and his site staffs. Although some other general information was taken from NPRA (2011) through its road directorate no. 24 which is the Risk and Vulnerability Analyses of culverts with respect to weather-related events, NPRA (2018) through its road map data base and NPRA (2014) using the agency's equation to find the draining capacity for culverts. There is also useful information from SVV (2015) regarding the Reguleringsplan that the SVV Trondheim conducted before mobilizing to site, and from the Trafikkforsikringsforeningen or the traffic security organization where road tax information was taken from.

Climate change is more likely to affect transport infrastructures just like other critical infrastructures and services. Upon reviewing all the literatures presented here in this thesis, I have taken the different perspectives in terms of adaptation, benefit cost analysis, transport infrastructures, etc. What I have failed to discuss are the personal experiences of those people living in the area before or after the new E6 Soknedal road project, motorists using the existing E6 Soknedal road and the contractors/consultants that work with NPRA on

the existing and the new roads. Their valuable insights could have been very useful to get the different kind of perspectives. It could also be useful to get the views of the administration aside from the NPRA or SVV like the Midtre Gauldal municipality, the national government who approved this project, the media people, and other experts.

2.8 Data Collection

The data for the case study required here on this thesis comes entirely from Statens vegvesen (SVV), more especially the costs and drawings. Site inspection was also done to take a look into the site first hand.

There are other several agencies in Norway that some data have been resourced from. For example, the Meteorological Institute for the weather data, the Statens vegvesen's road map or vegkart, Miljødirektoratet, and others. It was quite important to get the necessary data to do the analyses in this thesis.

It must be noted that SVV already has adapted its infrastructures to the climate changes that may occur. So, making the base scenario as "doing nothing" would be practical to estimate rather than a base scenario as "adapting to the existing climate". To verify if they are complying with the adaptation the agency has implied would not be part of this thesis.

3. Methodological Approach

Since the methodological framework of this thesis is based on benefit-cost analysis as a tool for sustainability and resiliency of transport infrastructures under climate change uncertainty, the collection of data and information will be limited in that scope only. It is crucial that these data are of pertinent evaluability. Moreover, partnering with the Norwegian Public Roads Administration (NPRA), the public construction authority for all road and highway planning and construction projects (Norwegian Public Roads Administration, 2013a), was helpful in collecting the needed data pertaining to a culvert project and costs.

It was particularly effective basing the methodology on the underlying objective/s of the study/thesis and research questions to come up with the best possible and utterly necessary information. Bryman (2014) mentioned that doing the research according to the research questions would be “more desirable and the main components of research/study will be more addressed using this method” (Bryman, 2014). So, below are the main considerations on how I went on going about my research to address the topic.

3.1 Main considerations when adapting or mitigating to obtain sustainability

When discussing about the main considerations that can be undertaken in order to adapt or mitigate infrastructures more specifically, the culverts to the climate change uncertainties, there was an emphasis on the criteria set by the policymakers and the government authority responsible (in this case, the NPRA) and the possible stakeholders in doing the decision/s to adapt or mitigate these infrastructures.

When looking at the adaptation process done by NPRA, it is best to look into three possible scenarios. The base scenario would be a low investment or maintenance only of existing culvert system. The second scenario is the “do-minimum” where half new construction and half replacements and maintenance of culverts. While the last scenario or the “do something” is the new construction and maintenance of culverts.

The criteria given or sought for were to have minimum, medium or high investments over the culverts and if the existing construction project is highly sustainable and resilient to the impacts of climate change. Quantitative data were acquired through the quantified

measurement of the costs and benefits. Analysis of the data was done on the available information obtained.

Stern (2007) explains that in order to consider the costs and benefits of adaptation, there must be at least two climate scenarios where there would be a comparison of the effects of the existing climate and altered climate scenarios. This would best illustrate how the society adapts to two different types of climate risks where taking into account the benefits and costs of planning for climate change that does not occur and that occurs (Stern, 2007).

3.2 Method to determine vulnerability

In this part, the main authority (in this case, NPRA) through its Risk and Vulnerability analysis handbook taking into consideration the impacts of climate change had been a valuable source of information to impart its usual method/s in determining the vulnerability of infrastructures subject to climate change uncertainties. This is looking at a specific project determined by the agency and looking at how the agency incorporated the climate factor in the design of culvert and determining their possible vulnerability to climate change.

3.3 Managing Uncertainties

The department as the public authority for roads must act, and must decide on the kind of actions to be taken despite of uncertainties of the consequences. “Uncertainty is an inherent part of the problem” (Broome, 1992).

When looking at how the department handles uncertainties posed by this changing climate, it could be seen from the coordination with other concerned agencies and institutions that have more knowledge with regards to handling extreme weather events in relation to climate change impacts. NPRA together with other agencies have this knowledge share capacity (Norwegian Public Roads Administration, 2013a). This is one very important tool in handling uncertain climate change impacts. It is quite important to have an individual understanding of the consequences brought about by climate change to weigh up costs and benefits of adaptation otherwise without understanding, this might impede in the adaptation measures (Stern, 2007).

3.4 Benefit-Cost Analysis as a Decision-Making Tool to attain sustainability and resiliency of infrastructures

When using the Cost-Benefit Analysis, the procedures devised by Snell above would be a guiding point. However, with climate change included in the equation, there was quite complexity in quantifying them. When costs cannot be easily accounted for, especially for assessment of environmental damage and associated costs, it would be wise to consider *external costs*. These are the costs that affect other people when government or any party makes an economic choice (Eccleston and March, 2011). These can be determined by monetary and nonmonetary factors. I have done this by calculating the damage costs if the culverts are going to affect the road and the road tax benefit that will be lost if the road is damaged due to damage of culverts.

In the case of climate change, weighing the benefits versus the costs as explained in the regular CBA procedure above would not be the most important application, rather evaluating government investment projects is helpful (Broome, 1992). It would also be effective to use the *costs of no adapting* in quantifying the benefits of adaptations. Benefits are typically 'avoided damages' and are country- and sector-specific and will depend on the assumptions of the degree of mitigating behaviour that economic agents are involved in, for example, whether additional flood defences are built (Owen and Hanley, 2004).

The IPCC AR4 refers adaptation costs to "the costs of planning, preparing for, facilitating, and implementing adaptation measures, including transition costs," and refers benefits to "the avoided damage costs or the accrued benefits following the adoption and implementation of adaptation measures" (UNFCCC, 2012).

Stern (2007) relates though that "modelling the global cost of climate change presents the challenge of taking into account of risks of very damaging impacts, as well as uncertain changes that happens in quite a longer duration" (Stern, 2007). But in order to relate climate change impacts and their respective costs, there must be a comparison between the baseline where the costs of impacts are measured if there is no-climate-change scenario and the cost of impacts of having-climate-change scenario (Stern, 2007).

Once all relevant costs and benefits have been identified and expressed in monetary Discounting can be achieved by converting future costs and benefits into 'present values'.

The Net Present Value (NPV) test will help select efficient projects and policies according to their use of resources (Owen and Hanley, 2004).

I made some initial BCRs of the net present values of the costs, benefits and disbenefits of the three different scenarios I have thought of: base – do nothing which is the low investment. This means that only maintenance of existing culverts of the existing road is to be done. The second scenario is the do minimum which is half maintenance of existing and half new construction culverts. This is also the medium investment. The third scenario is the do something or high investment where new construction of culverts is to be done.

From this, I have further conducted some sensitivity analysis and decision tree analysis after some probability computations for flood risks and investment types.

3.4.1 Conducting sensitivity analysis and expected value decisions

Sensitivity analysis was performed to eliminate possible uncertainties in the computation of NPV. This could mean recalculating NPV if certain key parameter values have changed due to unforeseeable climate change impacts. Parameters mentioned refer to the physical changes due to resource allocation, time considered on the cost-benefit analysis, and the discount rate (Owen and Hanley, 2004).

Focusing on local sensitivity analysis can be done when the financial decision involves some criterion of economic relevance (i.e. NPV, Discount rate, etc.) (Borgonovo and Peccati, 2004) while global sensitivity analysis can be done with the uncertainties (Borgonovo and Peccati, 2006) brought about by the changing climate. In this thesis, only local sensitivity analysis is done since this thesis aims at an economic point of view analysis.

3.4.2 Polynomial regression

The polynomial regression conducted in this thesis gave some equations that derived a new set of most-likely net present values (NPV) for the benefit or adaptation costs. And those values were used in conducting the final benefit-cost analysis.

3.4.3 Decision tree analysis

Conducting a decision tree analysis was a productive approach where the decision process happens at different periods when there are new information available (Vatn, 2017). It is also useful when alternatives are identified including probability estimates can be done to account for the risks associated (Blank and Tarquin, 2005). In this thesis, it has been

helpful especially considering the different useful life ranging from 20 to 100 years of the infrastructure and the probability of flood risk including the probability of which type of investment would be beneficial.

4. Case Study: E6 Soknedal

This section presents the case at hand in this case study which is the E6 Soknedal with particular touch on the culverts. The culverts along the existing E6 Soknedal are to be investigated looking at the effects of climate change and the estimative benefits of possible scenarios and the costs associated.

4.1 E6 Soknedal

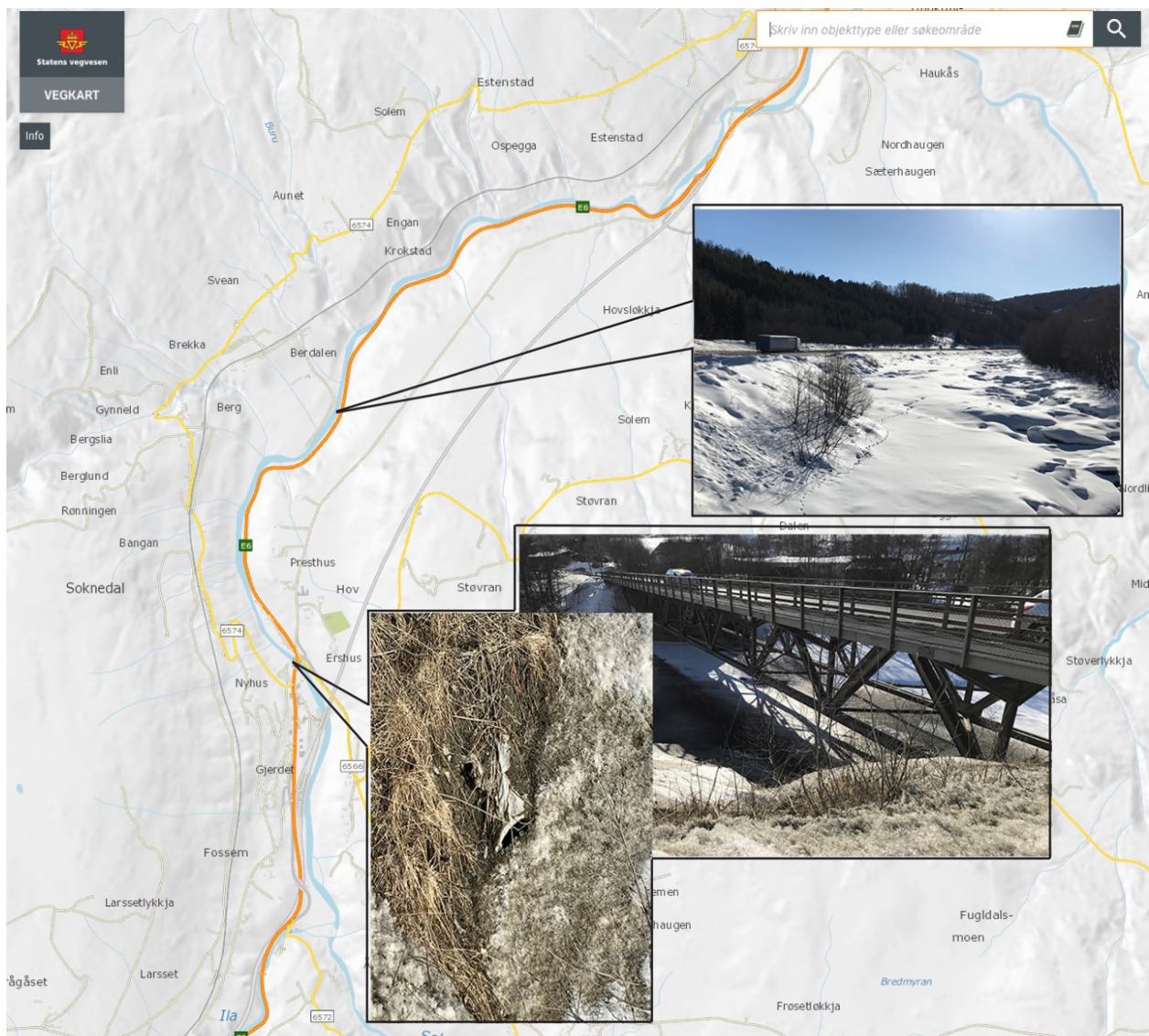


Figure 12 E6 Soknedal as shown on www.vegkart.no (Norwegian Public Roads Administration, 2018). Pictures taken by the author himself.

4.1.1 Description

The existing road along the river is about 7,3 km length while the new road will be 6,5 km. The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) is building a project including a 3.6-km long tunnel class C (profile T10.5), 2.9-km length road dimension class H5, two-level interchange, as well as bridges and retaining walls. This will be constructed partly on a steep side terrain and partly on the existing E6 route which is estimated to be finished within three years. The project costs 1,6 billion kroner where 44% comes from the road tax and the 56% from the State budget (Statens vegvesen, 2015).

The figure above shows the road segment which will be replaced by the tunnel and new road which are away from the river and elevated. The river is frozen when the picture was taken on 16 March 2018 (above pic). The other two pictures show the bridge and the culvert covered by ice.

However, this thesis talks more about the existing E6 at Soknedal for which this new project will be replacing with. The main concern is to look at how the culverts of the existing road will be able to sustain the probable effects of climate change or whether the new road is the best investment considering the factor of confidence from the residence (e.g. noise disturbance, flood risk).

The project manager, Harald Inge Johnsen of NPRA has provided some documents and drawings regarding this new development and of the existing one.

4.2 Culverts

Construction of culverts in a transportation infrastructure project is crucial since it facilitates drainage. And proper maintenance of these culverts should be taken into account to prevent premature replacements and even can save lives.

And since natural hazards are threats to these part of transport infrastructures and with the increase in climate changes, floods and being washed out are the impending threats to these culverts causing major fails in bridges and roads.

In Norway, the NPRA uses its handbook N200 Vegbygging (Road Construction) which guides these culvert constructions into the roads with consideration of climate change and the 200-year flood return as basis for design (Norwegian Public Roads Administration, 2014) and the Road Directorate Report VD 24 Risiko- og sårbarhetsanalyse av stikkrenner mht

værrelaterte hendelser (Risk and Vulnerability Analyses of Culverts with respect to weather related events) (Norwegian Public Roads Administration, 2011).

With regards to the operations and maintenance, the road directorate uses its handbook R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger (Standard for Operation and Maintenance of Highways). It also talks about the regulations in choosing the maintenance contractor and its functions.

In this 6,5-km segment of E6 Soknedal, there are about 650 culverts if basing on the provision in the handbook where there should be a culvert every 10m. While these culverts are not the same sizes, we are taking the average size of 14m.

The vegkart (road map) of NPRA as shown on its website describes each culvert on the existing road. Looking at the figure below, it shows the general appearance of the road and the number of culverts that have been mapped.

If we take for example the part closest to the river, then we would identify the kind of culverts placed there. The culverts appear in color green traversing the road on Figure 13. And when I clicked one of them just like in the figure below, the vegkart shows the complete description of the culvert.

In this example, the culvert has a width of 0,6m and a length of 18m, a natural stone, rectangular, on the terrain, has no heating cables and has an object ID 844102387 as shown on Figure 14. It also contains information how deep it is below ground and the inlets connected to it.

The handbook N200 Vegbygging or Road Construction of NPRA clearly specifies the design for culvert by using a specific formula for the capacity, Q (Norwegian Public Roads Administration, 2014).

$$Q = C \times i \times A \times K_f \quad (1)$$

Where:	C	=	runoff coefficient
	i	=	dimensional precipitation intensity, l/(s x ha)
	A	=	field area, ha (1 ha = 10 000 m ²)
	K _f	=	climate factor

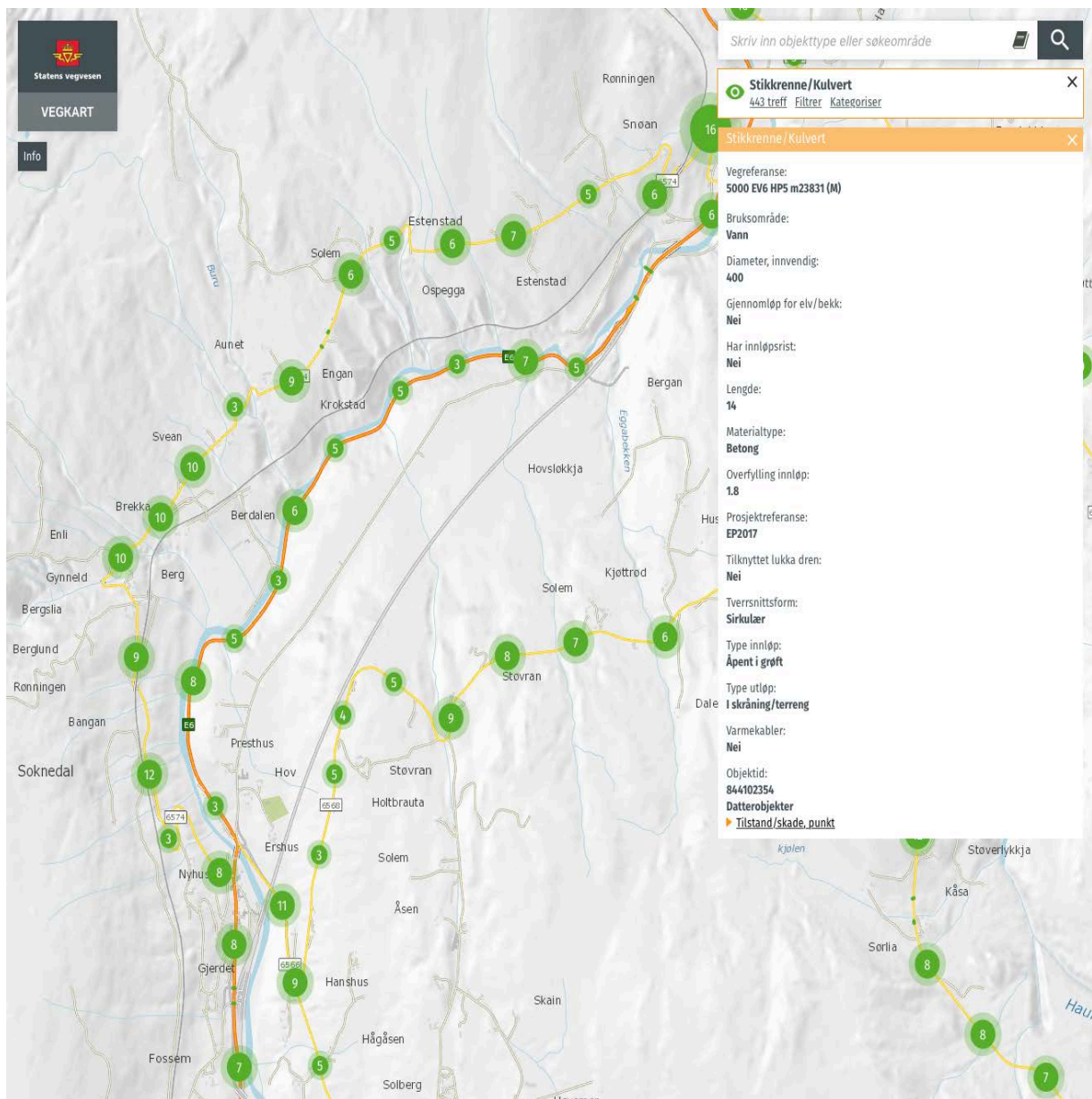


Figure 13 The culverts on the existing E6 Soknedal road with descriptions (Norwegian Public Roads Administration, 2018).

The handbook fully explains how to utilize this formula using the meteorological and hydrological data from www.eklima.no to obtain the flow capacity and the correct dimension of culverts, and most projects of NPRA comply with this. They are found on Chapter 4 of the handbook which is attached here as annex.

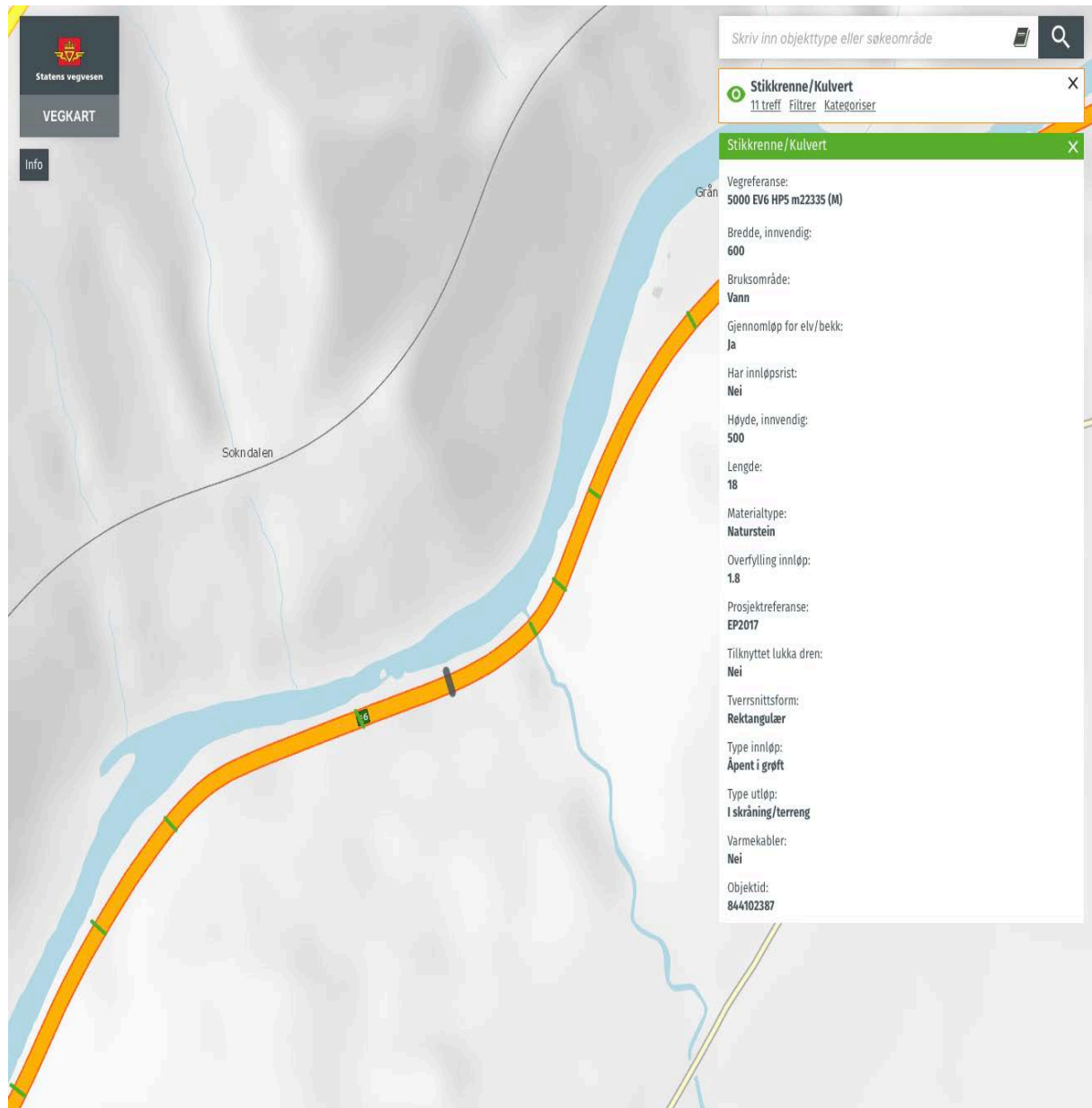


Figure 14 Close up view of one of the culverts installed on the existing E6 Soknedal road with its description (Norwegian Public Roads Administration, 2018).

The cross-section of the existing Soknedal road was based on the handbook, while the new on-going road as replacement has the following as the cross-section for culverts. They are also included as annexes.

The Road Directorate report no. 24, Risk and Vulnerability Assessments of culverts in relation to weather related events, simply explains the analyses conducted by NPRA in order to come up with the proper design for culverts especially those affected by climate changes

by using different flood year horizons (Norwegian Public Roads Administration, 2011). The agency through its Reguleringsplan had conducted in 2015 its studies regarding the possibility of flood on the existing road which is just beside the Sokna river (Statens vegvesen, 2015).

The average daily traffic recorded in 2012 on this existing road is 5500 vehicles which is expected to increase until 7300 by 2040 (Statens vegvesen, 2015). Multiplying that to 365 to get the yearly traffic average and by 10 kroner per vehicle to get the road tax benefit or could be taken as the cost of satisfied motorists (Trafikkforsikringsforeningen, 2018). Since the culverts cost of construction is 1 026 500 divided by the total construction cost for the new E6 Soknedal which is 1,6 billion kroner, we get 6,4% of the total cost. That represents the share of culvert in the project and/or the share of culverts in the benefits section.

5. Results and Discussions

5.1 Evaluating by Benefit-Cost Analysis

The NPRA as the public road authority oversees all public road projects and normally with public-funded projects, it must be justified that the benefits must be in excess of its costs. The benefit-cost analysis is a methodical assessment of these government projects or policies when future impacts and possible side effects are most important (Sullivan et al., 2006).

Sullivan et.al. (2006) defines that *benefits are favourable consequences of the project to the public, while project costs are the monetary disbursements the government requires, and disbenefits are the negative consequences of a project to the public* (Sullivan et al., 2006).

The challenge falls into the discounting rate that should be used since when it comes to environmental economics and the economics of climate change, a high rate of discounting of the future will favour avoiding the costs of reducing impacts now. It also means that a safer and better climate in the future could be far (Stern, 2007).

It supports economic growth if a government uses low rate of discount in its benefit-cost analysis. However, this is not useful when it comes to the environment since impacts of climate change may increase and worsen rapidly and damages may offset benefits of the economic growth (Broome, 1992).

With the culvert construction, the benefits, costs, and disbenefits can be identified as follows:

Benefits or adaptation:	Improvement of the drainage system
	Prevent flooding on roads
	Facilitate storm and rain water drainage flow
Costs:	Design and construction
	Facility operating and maintenance
	Facility insurance costs
Disbenefits or damages:	Ground contamination
	Altering ecosystem

Can disrupt transport network system if damaged

Can change the terrain

The Ministry of Finance of Norway in its 2012 report on Cost-Benefit Analysis has identified the discounting rate in the respective years that the analysis should be made (Norwegian Ministry of Finance, 2012).

With the improvement project of the road at Soknedal replacing the old culverts by new ones makes them adapt to the prescribed 200-year flood event on the ROS-analyse. The following table shows the costs and benefits of the culvert construction:

Costs

Cost of Investment	1 026 500,00
--------------------	--------------

Operations and Maintenance	572 320,00
----------------------------	------------

Benefits or Adaptation

Flood prevention	6 633 900,00
------------------	--------------

Road tax benefit x 0,064 (culvert)	
------------------------------------	--

5500 cars/day x 365 x 10 kr x 0,064	1 284 800,00
-------------------------------------	--------------

Disbenefits or Damages

Cost of adaptation of culverts (new const)	
--	--

650 x 14m (ave) x 729 kr/m	6 633 900,00
----------------------------	--------------

Cost of adaptation of culverts (replace)	
--	--

730 x 14m (ave) x 650 kr/m	6 643 000,00
----------------------------	--------------

O&M Additional yearly inspection (for 6,5 km)	5 958,33
---	----------

Listed above are assumptions and based on the report on the cost of climate change and taking 4% discount rate as stated on the report by the Ministry of Finance of Norway for the useful life until 40 years. Three percent from 40-75 years and two percent for the succeeding years (Norwegian Ministry of Finance, 2012). Benefits include avoided damages which could be the discounted sum of avoided damages over a certain period. The estimate I have done for benefits is shown below.

The cost of flood prevention could be taken from the cost of adaptation as stated on the provisions on the Cost of Climate Change. For every 10m along a 6,5-km road for example, there is around 650 culverts and the average length of culverts taken from the

vegkart would be 14m and the cost of adaptation would be 729 kroner per meter (Norwegian Public Roads Administration, 2013b).

Some roads in Norway are considered as self-liquidating projects because they generate income from road taxes or tour insurance (Trafikkforsikringsforeningen, 2018, The Norwegian Tax Administration, 2018) which is yearly paid by private car owners, while toll road fees, winter tire fees, parking fees and rush hour fees are paid in the municipalities. The fees generated are used in the maintenance, construction and improvement of transport infrastructure system, the culverts. Since culverts are part of road transport infrastructure system and can be considered 6,4% of the road transport infrastructures, the road tax benefit is multiplied by 0,064.

The overview of values is presented in table 1 below showing the initial values, net present value, future worth, and annual worth for each parameter: cost, benefits or adaptation and disbenefits or damages in the corresponding useful life in years on each type of investment.

5.2 Decision-Tree Analysis

The uncertainty posed by a changing climate on the culverts on E6 Soknedal is significant and requires a more dynamic approach on decision making. The culverts must be robust which means they can withstand future climate change scenarios. The benefit, thus in making a robust strategy would be a reduction in risk (i.e. flood, satisfied motorists).

Doing the decision-tree analysis would be able to diminish some expected and unforeseen uncertainties. This basically means that investments will be protected against overspending or false spending and is shown on the figure below.

It is assumed that the final decision would have to be “Flood risk”. There are two alternatives, yes or no for flood risk. I took the cost for flood risk as the “disbenefit” below. There are 3 types of risk identified for flood: high, medium, and low risks.

The alternatives “to invest” and “not to invest” are given for each type of risk. When “yes” to the option of investing then there are three more alternatives: high investment, medium investment and low investment.

The “no risk” option has also two alternatives which are “to invest” and “not to invest”. The invest option has 3 more alternatives: high investment, medium investment and low investment.

Table 5 Overview of the values for each parameter for each type of investment according to the different time horizons.

Useful Life in years		20	25	40	50	80	100
Discount rate*		4 %	4 %	4 %	3 %	2 %	2 %
A. High Investment:		New construction					
Cost	Initial values	1,599	1,599	1,599	1,599	1,599	1,599
	Net present value	1,537	1,537	1,537	1,552	1,567	1,567
	Future worth	3,368	4,098	7,381	6,805	7,642	11,356
	Annual worth	0,113	0,098	0,078	0,060	0,039	0,036
Adaptation	Initial values	7,919	7,919	7,919	7,919	7,919	7,919
	Net present value	7,614	7,614	7,614	7,688	7,763	7,763
	Future worth	16,684	20,298	36,556	33,704	37,850	56,243
	Annual worth	0,560	0,487	0,385	0,299	0,195	0,18
Damages	Initial values	6,715	6,727	6,752	6,787	6,871	6,891
	Net present value	6,457	6,468	6,492	6,590	6,736	6,756
	Future worth	14,147	17,243	31,169	28,888	32,841	48,942
	Annual worth	0,475	0,414	0,328	0,256	0,169	0,157
Internal rate of return		2,73 %	2,82 %	2,98 %	3,22 %	3,79 %	3,92 %
B. Medium Investment:		Half construction and half maintenance					
Cost	Initial values	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086	1,086
	Net present value	1,044	1,044	1,044	1,054	1,064	1,064
	Future worth	2,287	2,783	5,011	4,620	5,189	7,710
	Annual worth	0,077	0,067	0,053	0,041	0,027	0,025
Adaptation	Initial values	7,923	7,923	7,923	7,923	7,923	7,923
	Net present value	7,619	7,619	7,619	7,692	7,768	7,768
	Future worth	16,693	20,310	36,577	33,723	37,872	56,275
	Annual worth	0,561	0,488	0,385	0,299	0,195	0,180
Damages	Initial values	6,724	6,737	6,764	6,801	6,890	6,911
	Net present value	6,466	6,478	6,503	6,603	6,755	6,776
	Future worth	14,167	17,270	31,223	28,947	32,932	49,086
	Annual worth	0,476	0,415	0,329	0,257	0,170	0,157
Internal rate of return		-0,77 %	-0,68 %	-0,50 %	-0,25 %	0,35 %	0,50 %
C. Low Investment:		Maintenance Only					
Cost	Initial values	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572	0,572
	Net present value	0,550	0,550	0,550	0,556	0,561	0,561
	Future worth	1,206	1,467	2,642	2,436	2,736	4,065
	Annual worth	0,040	0,035	0,028	0,022	0,014	0,013
Adaptation	Initial values	1,307	1,307	1,307	1,307	1,307	1,307
	Net present value	1,256	1,256	1,256	1,269	1,281	1,281
	Future worth	2,753	3,350	6,032	5,562	6,246	9,281
	Annual worth	0,092	0,080	0,063	0,049	0,032	0,030
Damages	Initial values	0,755	0,769	0,797	0,836	0,930	0,953
	Net present value	0,726	0,739	0,766	0,812	0,912	0,934
	Future worth	1,591	1,971	3,678	3,56	4,446	6,767
	Annual worth	0,053	0,047	0,039	0,032	0,023	0,022
Internal rate of return		1,02 %	1,67 %	3,00 %	4,85 %	9,07 %	10,05 %

*Discount rate as advised by Norwegian Ministry of Finance

To get the probability of each option, the method of Bayesian is used (Liu, 2017). With the following criteria for investments such as robustness, cost-effectiveness, capacity, size and flood-resilient as my guide in order to use the method. I have set the following conditions: (1) Capacity is 2 times as important as size; (2) Size of culverts is 2 times as important as flood resiliency; (3) Flood resiliency is 2 times as important as robustness; and, (4) Robustness is twice as important as cost-effectiveness.

So, the resulting parameters would be:

1	2	0,5	0,333	0,5
0,5	1	0,2	0,25	0,333
4	5	1	2	3
3	4	0,5	1	2
2	3	0,333	0,5	1

Figure 15 Parameters used for probability analysis using different criteria as mentioned above.

Squaring these parameters twice with the aid of Matlab, I have found out the following resulting parameters for each condition set for culverts according to importance:

1. Robustness of culverts – 0,0973;
2. Cost-effectiveness – 0,0618;
3. Capacity – 0,4186;
4. Size of culverts – 0,2625; and,
5. Flood resiliency – 0,1599.

Using the same procedure as squaring and to consider the three types of investment: high, medium and low investments by taking the above conditions as the parameters, the results were: High Investment got the highest importance (0,5201), followed by medium (0,3139) and low investments (0,1662).

By taking these values and using them on the benefit cost ratio of normalized costs, the high investment gave a high positive result.

To further get the probabilities, I have set the following percentages:

A. High Investment

1. Robustness of culverts:
 80% robust, 20% weak and 30% chance in poor management;

2. Cost effectiveness:
 40% cost effective, 60% non-cost-effective, and 35% chance optimal
3. Capacity:
 60% full drainage capacity, 40% due to overflowing of river and 50% chance working capacity
4. Size of culverts:
 90% correct size, 10% incorrect size, and 50% chance that size works
5. Flood resiliency:
 70% adapt to flood, 30% fail and 60% over design

Table 6 Simple Benefit-Cost Ratio (BCR) using the values generated from using probability analysis in MatLab software.

Strategy	Cost (in billion kroner)	Normalized cost	Parameters derived from squaring	BCR	Measures
High Investment (HI)	0,16	0,49	0,52	1,06	New construction of culverts
Medium Investment (MI)	0,11	0,33	0,31	0,94	Half construction and half maintenance
Low Investment (LI)	0,06	0,18	0,17	0,95	Maintenance only
Total	0,33	1,00			

B. Medium Investment

1. Robustness of culverts:
 40% robust, 60% weak, 30% poor management
2. Cost effectiveness:
 60% cost effective, 40% non-cost-effective and 35% optimal
3. Capacity:
 40% full capacity, 60% overflowing and 50% working capacity
4. Size of culverts:
 60% correct size, 40% incorrect size, and 50% chance that size works

5. Flood resiliency:
 45% adapt to flood, 55% fail, and 60% overdesign
- C. Low Investment
1. Robustness:
 20% robust, 80% weak, and 30% poor management
2. Cost effectiveness:
 20% cost effective, 80% non-cost-effective, and 35% optimal
3. Capacity:
 20% full capacity, 80% overflowing, and 50% working capacity
4. Size of culverts:
 30% correct size, 70% incorrect size and 50% size works

Strategy	%Weak	%Robust	%No Capacity	%Full Capacity	%Cost effective	%Non-cost effective	%Correct size	%Incorrect size	%Adapt to Flood	%Non adapt to flood
High Investment (HI)	7,50 %	92,50 %	52,50 %	47,50 %	33,00 %	67,00 %	94,40 %	5,60 %	74,30 %	25,70 %
Medium Investment (MI)	45,00 %	55,00 %	75,00 %	25,00 %	60,00 %	40,00 %	67,00 %	33,00 %	27,00 %	73,00 %
Low Investment (LI)	120,00 %	-20,00 %	200,00 %	-100,00 %	-40,00 %	140,00 %	-17,00 %	117,00 %	-80,00 %	180,00 %

Table 7 Percentage probabilities of each criteria according to the type of investment.

5. Flood resiliency:
 25% adapt to flood, 75% fail, and 60% over design.
 The results obtained are shown in Table 7.

It shows that when it comes to cost effectiveness, the medium investment is at most optimal. Further computing for the probability of risk in consideration of the investments, we assume the following:

Table 8 The predictability of risk when using the different types of investments for the culverts.

	High Investment	Medium Investment	Low Investment
Predicted High Risk	0,5	0,2	0,3
Predicted Medium Risk	0,1	0,6	0,3
Predicted Low Risk	0,1	0,2	0,7

The risk associated when investing high could be high, as well. To think that it might be able to solve the flood problem, but

the risk that the investment could turn out to be a “waste” will be there especially if the investment would not be able to serve its intended purpose.

Table 9 The probability of each investment to happen.

	High Investment	Medium Investment	Low Investment
Cost of Investment (in nok)	1 598 820,00	1 085 570,00	570 320,00
Not Invest	0	0	0
Probability	0,2	0,5	0,3

Table 10 Predictability and probability of the different levels of risk according to the types of investment.

	Probability	High Investment this time	Medium Investment this time	Low Investment this time
Predicted High Risk	0,29	0,34	0,34	0,31
Predicted Medium Risk	0,41	0,049	0,732	0,22
Predicted Low Risk	0,33	0,061	0,303	0,636

Here, assuming the probability that a medium investment is most likely to happen than the low and high investments, respectively. It could be because of the risk

that can be associated with the investment and decision makers could be avoiding to take these risks. By using the Bayesian method to get the probability, the following were obtained.

The probabilities listed above were placed on top of each alternative on the decision tree (Figure 16). The figure shows the costs in red which represent the spending and/or capital costs or construction costs of culverts and other elements included (i.e. operation and maintenance) while the ones in black are the benefits. Others are part of annex of this thesis. Table 11 shows the summary of costs derived from the decision tree.

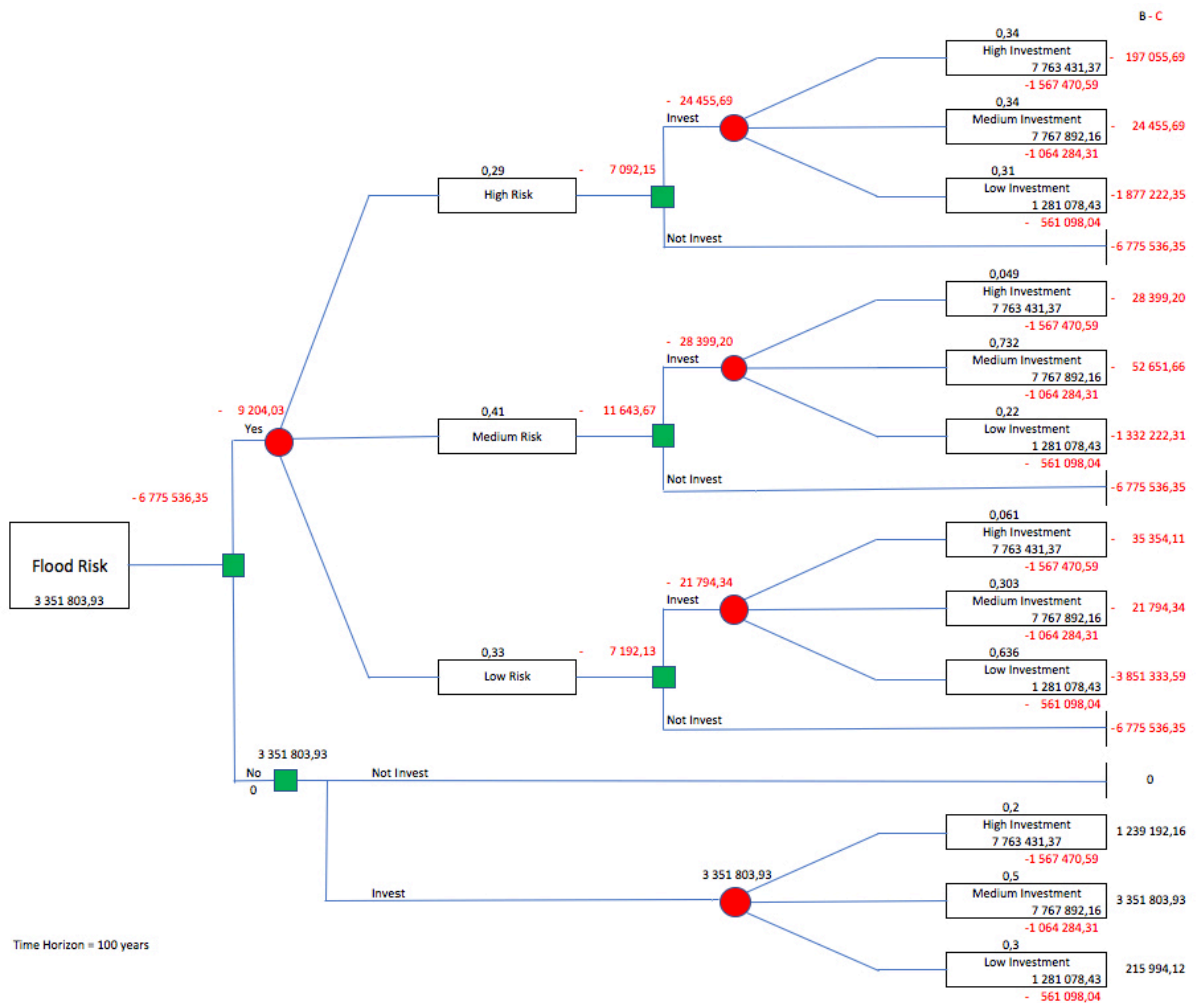


Figure 16 Decision tree of 100-year horizon showing 3 levels of probable risks and their probabilities with the 3 types of investments on each and their corresponding probabilities.

It is observed that investing even if there is no foreseen risk is still beneficial. When action is done if there is a probable risk on the culverts, the cost of investment on each risk diminishes the benefits.

High Risks could be closure of roads, damage costs, dissatisfied motorists, etc.

Medium risks could be partial closure of roads, minimum decrease in motorists. While low risk could be less effects of flood and satisfied motorists.

With 29% probability for a high risk of flood to happen, the high and medium investments have the same 34% probabilities and a low investment 31% probable. This could mean that when a high risk of flood happens, investment type is not a big issue because what is most important is the kind of mitigation that can be done to avoid or diminish that risk. It could be the possibility that decision makers could not decide whether to invest highly or just average since the effects of climate change is unpredictable and any investment could mean either “serving the purpose” or “just a waste”.

When medium risk should happen, the probability of investing high is extremely low while there is a big chance that a medium investment could happen. It could mean that decision-makers are quite sure that an average investment could suffice the medium risk.

While when there is a low risk, decision-makers are keen to invest as lowly as possible since there is confidence in the current structure and maintaining them only would suffice and could mitigate this low risk.

Stern (2007) explains that when investments are high while the climate change risk is low, there is a climate change adaptation response disproportion to the risks being faced. He adds that if both investment and risks are low, there is a small risk and downsides to the situation which in this case, flooding. High risks and high investments mean that both stakes and risks are reasonably high (Stern, 2007).

On the other hand, as shown on Table 11, having no flood risk at all and still investing in maintenance and improvement could be seen as more beneficial to the agency/government. It could also be observed that the 25th and 50th year show a positive benefit when there is flood risk probability. This could also address future impacts of climate change that are deemed to be uncertain.

Table 11 Summary of net present values of avoided damages for each investment according to the different specified time horizons and the probability of flooding.

Probability of flooding	Time horizon in years					
	20	25	40	50	80	100
A. Zero						
High Investment (in million nok)	1,215	1,215	1,215	1,227	1,239	1,239
Medium Investment (in million nok)	3,287	3,287	3,287	3,319	3,352	3,352
Low Investment (in million nok)	0,211	0,211	0,211	0,214	0,216	0,216
B. Low Risk (33% probability)						
High Investment (in million nok)	-0,024	-0,024	-0,026	-0,029	-0,034	-0,035
Medium Investment (in million nok)	0,033	0,029	0,022	0,011	-0,015	-0,022
Low Investment (in million nok)	-3,663	-3,671	-3,687	-3,746	-3,838	-3,851
C. Medium Risk (41% probability)						
High Investment (in million nok)	-0,019	-0,020	-0,021	-0,023	-0,027	-0,028
Medium Investment (in million nok)	0,080	0,071	0,052	0,026	-0,037	-0,053
Low Investment (in million nok)	-1,267	-1,270	-1,275	-1,269	-1,328	-1,332
D. High Risk (29% probability)						
High Investment (in million nok)	-0,132	-0,136	-0,145	-0,159	-0,190	-0,197
Medium Investment (in million nok)	0,037	0,033	0,024	0,012	-0,017	-0,024
Low Investment (in million nok)	-1,785	-1,789	-1,797	-1,826	-1,871	-1,877

Table 12 Summary of assumed benefits, costs, NPV (represents B-C), BCR (represents B/C) from the decision-tree analysis above and the corresponding adaptation measures for each type of investment.

Strategy	Benefit (in million kroner)	Cost (in million kroner)	NPV	BCR	Measures
High Investment (HI)	7,763	1,567	6,20	4,95	New construction of culverts
Medium Investment (MI)	7,768	1,064	6,70	7,30	Half construction and half maintenance
Low Investment (LI)	1,281	0,561	0,72	2,28	Maintenance only

Time horizon = 100 years

Table 12 above shows some assumptions on the benefits when investing in three types, high investment, medium investment and low investment. The costs, benefits, and disbenefits are also listed below. This conventional benefit cost ratio (BCR) shows that medium investment is deemed to be highly beneficial than both high and low investments. We must keep in mind, however that infrastructure damage costs will increase due to climate change. It could be because climate change will generate an increase in storms causing more flooding. In addition, higher temperatures that can cause more thawing in Norway can weaken soil conditions and can eventually cause severe damages to more infrastructures.

5.3 Sensitivity Analysis

To address and decrease uncertainties by these cost assumptions, a sensitivity analysis was done for the different factors such as the cost, benefits, useful life, discount rate on the three different types of investment. Other analyses done are shown on the annexes.

The sensitivity analyses showed that the “adaptation” is the most critical compared to the other factors (useful life, discount rate, costs, and damages). With this, the most likely

value should be used. And to further acquire precise present values of the benefits beyond the calculated 100 years, a polynomial regression was conducted.

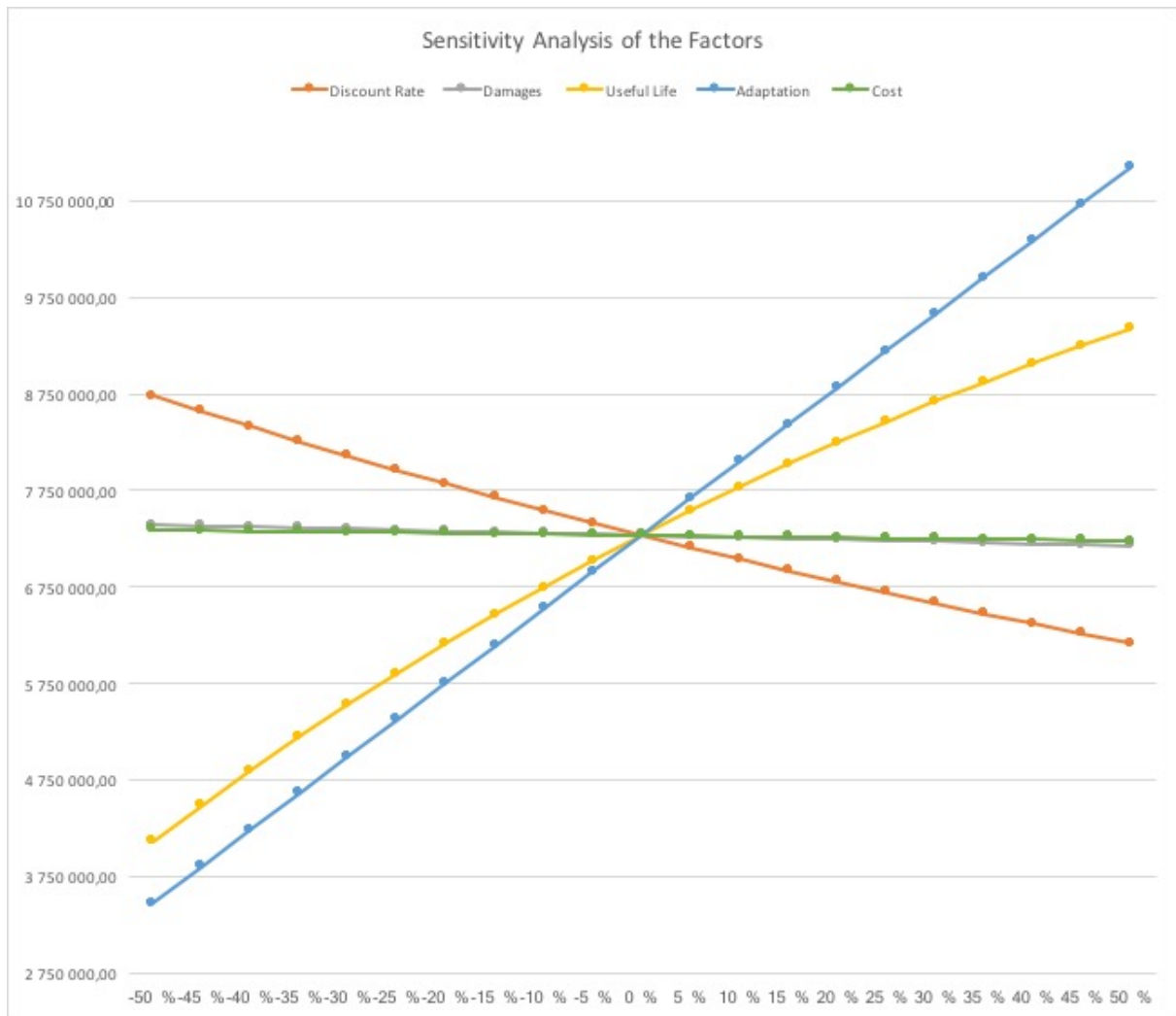


Figure 17 Sensitivity analysis of the different factors for high investment for the 20-year time horizon.

Table 13 shows an increasing trend in the net present values for each parameter as the year progresses. The sensitivity shows a huge increase in values compared to the net present values in the previous table. When damages are increased on A, the benefit decreases for each type of investment and vv. The sensitivity results also show that with an increased adaptation measure, there is an increased benefit and vv. However, when investment costs are increased, benefits are decreased.

Table 13 Sensitivity analysis of the net present values for each time horizon and the different parameters (million nok).

Parameters	Time horizon in years					
	20	25	40	50	80	100
A. Damages caused by flooding as increased by 50%						
High Investment (in million nok)	7,176	7,283	7,434	7,540	7,672	7,695
Medium Investment (in million nok)	7,216	7,318	7,463	7,564	7,689	7,711
Low Investment (in million nok)	1,179	1,195	1,217	1,236	1,260	1,264
B. Damages caused by flooding as decreased by 50%						
High Investment (in million nok)	7,393	7,438	7,502	7,599	7,707	7,716
Medium Investment (in million nok)	7,433	7,474	7,532	7,622	7,724	7,732
Low Investment (in million nok)	1,204	1,212	1,225	1,243	1,265	1,267
C. Adaptation measures as increased by 50%						
High Investment (in million nok)	11,091	11,167	11,275	11,413	11,571	11,587
Medium Investment (in million nok)	11,134	11,205	11,307	11,439	11,590	11,605
Low Investment (in million nok)	1,820	1,832	1,849	1,874	1,903	1,906
D. Adaptation measures as decreased by 50%						
High Investment (in million nok)	3,477	3,553	3,661	3,725	3,808	3,824
Medium Investment (in million nok)	3,515	3,587	3,688	3,747	3,822	3,838
Low Investment (in million nok)	1,212	0,575	0,592	0,606	0,622	0,625
E. Investment costs increased by 50%						
High Investment (in million nok)	7,228	7,311	7,429	7,539	7,670	7,687
Medium Investment (in million nok)	7,286	7,363	7,471	7,572	7,693	7,709
Low Investment (in million nok)	1,171	1,186	1,207	1,229	1,255	1,259
F. Investment costs decreased by 50%						
High Investment (in million nok)	7,341	7,410	7,507	7,599	7,709	7,724
Medium Investment (in million nok)	7,363	7,430	7,524	7,613	7,720	7,734
Low Investment (in million nok)	1,212	1,221	1,234	1,251	1,269	1,272

A polynomial regression was made in excel that generated a graph on Figure 18 showing the y-values to be the present most likely values of the benefits (in NOK) and the x-values represent the number of years. Here, it shows the years subjected for analysis, between 20 and 100 years. The polynomial regression produced an equation that can be used for the precise values after 100 years.

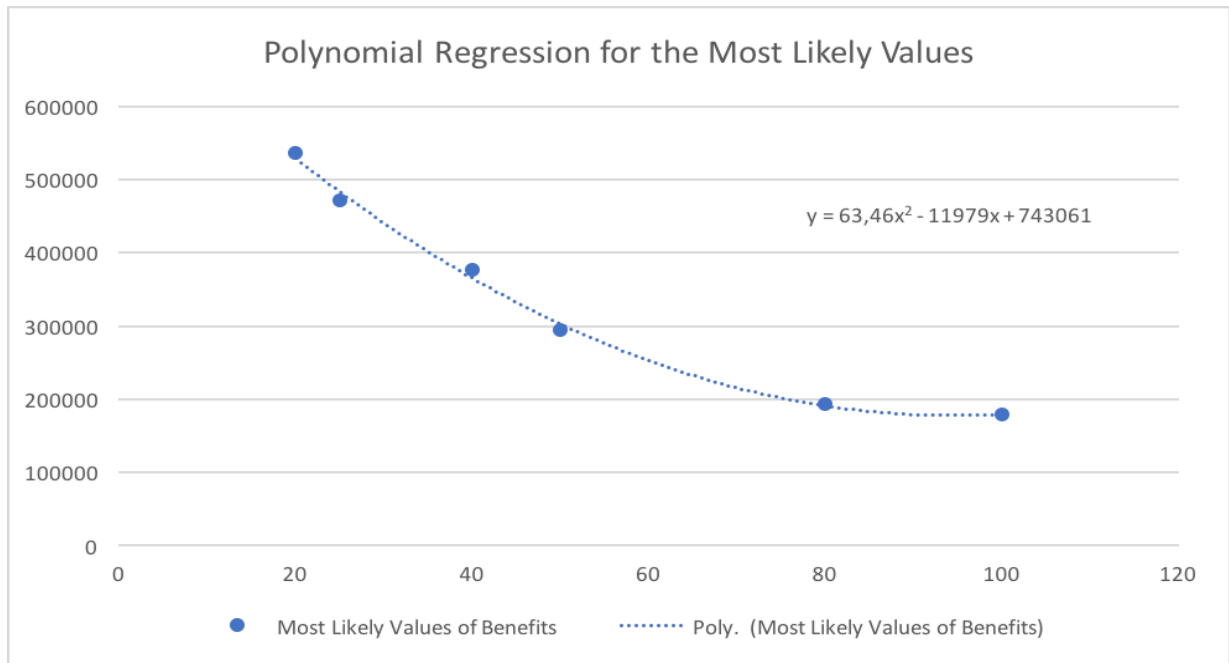


Figure 18 Polynomial regression using Excel for the most likely values of each time horizon for the high investment derived from the sensitivity analysis of the different parameters (damages, adaptation, costs, useful life, discount rate). Other two are attached as annex.

After performing the polynomial regression using the equations generated, below is the table for the corrected values of the annual worth of benefits for each investment type.

Table 14 The corrected values of the annual worth of benefits from the equations derived from the polynomial regression for each type of investment according to the different time horizons.

Useful Life in years	20	25	40	50	80	100
Discount rate	4 %	4 %	4 %	3 %	2 %	2 %
A. High Investment:		New construction				
Initial values	7,919	7,919	7,919	7,919	7,919	7,919
Adaptation Net present value	7,187	7,549	7,233	7,790	7,587	7,747
Annual worth	0,529	0,483	0,365	0,303	0,191	0,180
B. Medium Investment:		Half construction and half maintenance				
Initial values	7,923	7,923	7,923	7,923	7,923	7,923
Adaptation Net present value	7,226	7,587	7,262	7,815	7,596	7,764
Annual worth	0,532	0,486	0,367	0,304	0,191	0,180
C. Low Investment:		Maintenance Only				
Initial values	1,307	1,307	1,307	1,307	1,307	1,307
Adaptation Net present value	1,175	1,235	1,183	1,275	1,244	1,272
Annual worth	0,086	0,079	0,060	0,050	0,031	0,030

Annual worth and Net present values are corrected according to the polynomial regression

To summarize the costs and benefits, the following were considered for the overview of the costs and damages that can be taken from each scenario of investment (low, medium and high). The baseline scenario is the low investment where maintenance of the existing culvert system of the current E6 Soknedal road. The “do-minimum” is considered to be the medium type of investment where half construction and half replacement with maintenance costs. The high investment is considered to have an installation of new culverts on the new road project plus maintenance.

Option			Present value (in million nok)	Present value damage (in million nok)	
				Road Damage	Total
Base scenario: Low investment - Maintenance only			0,561	6,776	6,776
Do Minimum: Medium investment - Half new construction and maintenance			1,064	3,388	3,388
Do Something: High investment - New construction	1 in 20 (5%)	Adaptive management	7,187	0,726	0,726
	1 in 25 (4%)	Adaptive management	7,549	0,739	0,739
	1 in 40 (2,5%)	Adaptive management	7,233	0,766	0,766
	1 in 50 (2%)	Adaptive management	7,790	0,812	0,812
	1 in 80 (1,25%)	Adaptive management	7,587	0,912	0,912
	1 in 100 (1%)	Adaptive management	7,747	0,934	0,934

Road damage for "do minimum" is assumed half of the damage for the base scenario

Table 15 Overview of the net present values.

Table 16 Summary of costs and benefits.

	Baseline Scenario (in NOK)	Do Minimum (in NOK)	Adaptive Management (in NOK)					
			1 in 20 (5%)	1 in 25 (4%)	1 in 40 (2,5%)	1 in 50 (2%)	1 in 80 (1,25%)	1 in 100 (1%)
Total present value of costs	0,561	1,064	7,187	7,549	7,233	7,790	7,587	7,747
Total present value of damages	6,776	3,388	0,726	0,739	0,766	0,812	0,912	0,934
Total present value of benefits		3,388	6,050	6,037	6,010	5,964	5,864	5,842
Net present value (B-C)		2,324 -	1,137 -	1,512 -	1,223 -	1,826 -	1,723 -	1,905
Average benefit / cost ratio		3,18	0,84	0,80	0,83	0,77	0,77	0,75

Taking the values from tables 1 and 10, the summary of costs and benefits are shown above. It can be seen that taking the investment costs for both the base and the “do minimum” scenarios while the cost of adaptation for the “do something” were done to see if the adaptive management would be beneficial for the

different time horizons. From this table of summary of costs and benefits, it is shown that the “do minimum” would be more beneficial than the adaptive management up to 100 years. It could be because that the existing road has no threat of flooding from the adjacent river. The adaptive management of having a new construction is currently more expensive when compared to the benefits it would attain as the years are progressing. Benefits here mean the avoided damages when the adaptive management is implemented.

Investments on the adaptation measures are best assessed looking at their benefits and costs, and of course, to take into account future climate. The BCA gives insight into the economic effects of the different types of investment into attaining the sustainability and resiliency of the infrastructure system to climate change uncertainty. By assessing different types of investment which are low investment – maintenance only, medium investment – half new construction and half maintenance, and high investment – new construction of culverts, the results show that the medium type of investment is the most optimal among the three.

It must be noted, however, that BCA will always be sensitive to parameters such as the time horizon, uncertain long term costs and benefits and the discount rate. The future climate brings about uncertainties in terms of expressing the costs and benefits of certain investments or adaptation measures. With the aid of probability analysis, it would be possible to analyse the sensitivity of the analysis. The difficulty would be on the way that we can quantify future costs and benefits and the choice of discount rates that can work in the future. Whether the discount rate is given by the government, it should always be studied carefully.

5.4 Possible biases of decision-makers

One possible bias that decision-makers could be doing is to focus much on the 100-year flood return period which may result into assuming one kind of damage estimate corresponding to one value instead of taking into account several possible damages that depend on the range of the climate change impacts. This may result into an under investment in the adaptation measures.

Another possible bias is when decision-makers assume only one type of adaptation measure as opposed to many several possible measures. By doing so may result into a sub-optimal investment decision. To make an investment optimal is to consider different possible options that can be undertaken to combat or diminish the impacts of climate change on the infrastructures.

Uncertainties of climate change are unpredictable and thus, require a proactive type of approach. If not done so, another type of bias might be committed. These uncertainties may happen at the soonest possible time or at the far future, no one knows actually. It is

quite important that flexibility must be observed since information regarding the impacts of climate change may reduce these uncertainties but not completely, rather gradually.

Clearly, climate change is unpredictable and whether it is happening or will happen is something we have no idea about or if climate change may be true or not. This may result into decision-makers to under-invest. Thus, it is required that full range of climate change impacts must be considered to avoid this kind of bias.

6. Conclusion

This thesis presents a benefit cost analysis of adaptation measures to climate change of a transport infrastructure system, exploring it as a tool for sustainability and resiliency to support decision makers to take into account future climate uncertainties. In this chapter I will answer first the research questions presented in Chapter 1 and then, a recommendation for future studies.

6.1 Answers to the research questions

Q1: How do we determine a project's sustainable capacity when using benefit cost analysis methodology?

In Chapter 3 I presented the methodological approach using the benefit cost analysis as a tool for sustainability of a transport infrastructure system under future climate uncertainties. I have considered the adaptation and mitigation measures of a project in order to identify the possible values of costs and benefits of each. Included also in the analysis are the investment cost, benefits of reducing vulnerability (avoided damages in case of flood).

By looking at E6 Soknedal culvert system, I take into account a possible flood risk since the existing road is along the river Sokna and by examining the historical hydrological data from www.eklima.no. Several probability analyses by Bayesian method have been conducted which made me consider three possible probabilities of risks: low, medium and high flood risks.

By using the benefit cost analysis, I have considered six different possible useful years (20, 25, 40, 50, 80, and 100) for the culverts using different discount factors for each corresponding year as advised by the Norwegian Ministry of Finance. I have used three different benefit cost ratios. I have also considered three different scenarios: base scenario-maintenance only, "do minimum"-half new construction, half maintenance, and "do something"-new construction.

Benefit-Cost Analysis (BCA) is used here to assess the costs and benefits of the adaptation measures. There is no current study being conducted in Norway that is both related to BCA and climate change adaptation which makes this research contribute to the

knowledge gap present when talking about adaptation measures. It is, however, important that decision-makers must be conscious of the sensitivity of the results to the costs, benefits, discount rate, useful life and disbenefits, the data required to estimate probable climate change impacts, the monetary estimates of all relevant costs and benefits, and the different scenarios.

Though I made some probability assessments, but a thorough risk assessment to address all possible uncertainties brought about by climate change and other factors must be observed. This study makes a possible breakthrough into making sure that infrastructure projects can be sustained by observing different methods I have previously mentioned.

Q2: How will the type of investment derived from the BCA affect a transport infrastructure system's resiliency to climate change?

After conducting the BCA, I have managed to do the decision tree analysis considering the types of investments according to the probable risks associated whether low, medium or high. This reflects the flexibility required in order to address climate change impacts such as flood to culvert systems.

Although in dealing with climate change, a proactive decision making must be observed, I have identified the value of costs of possible damages to the infrastructure system and the benefit of avoiding the damage if three possible investment scenarios will be made.

Additionally, the Bayesian framework I have used for predicting probabilities and resulting into a posterior probability once a set of information is presented had been useful. By doing so, there is a high chance to make sure that uncertainties are resolved and the infrastructure/s will be climate resilient.

However, I have also identified several possible limitations involved in decision-making which could result into under- and/or sub-optimal investment/s which could result into creating more and bigger uncertainties. It is also a must to take into account the full range of possible benefits and costs associated to climate change impacts on transport infrastructure systems.

Q3: How do we minimize the possible future impacts of climate change on a public transport infrastructure system?

By aiding decision-makers the proper tools such as BCA in analysing the most economically efficient and effective adaptation measures that must be implemented, this reduces uncertainties on investments. There must also be an appropriate valuation of what costs and benefits can be derived from adaptation measures. This means taking into account net costs, avoided damages and additional benefits.

Moreover, a probability analysis that considers probable effects on the investments and the proper selection of adaptation measures would be useful. Climate scenarios must also be considered including socio-economic scenarios. Climate change impacts may not be predicted according to available historical meteorological and hydrological data which could create more uncertainties but probabilities of risks can resolve this issue. It is also crucial to take into account the different factors or criteria for the BCA for easy quantification.

6.2 Recommendation for future studies

In this thesis, I have only considered one uncertainty of climate change impacts – flood. In future studies, it would be best to look at other uncertainties of climate change impacts.

Also, it is not enough to look into the benefit cost analyses of projects. Professor Christian Riis of BI Oslo emphasized that “the time it takes for the government to decide on the approval of the cost of repair is long, which could create more risks. There should be flexibility and alternative options since it is hard to quantify the value and costs that should be used in this kind of analysis.” He added that a *Real Options Theory* would be an efficient and more effective way to measure more the sustainability and resiliency of infrastructures with consideration of the future climate uncertainties.

Uncertainties brought about by future climate are broad, so a more thorough risk management analysis should be done. For example, using the Fuzzy Cognitive Map Analysis where it uses several possible causes and effect relationships for each risk factor. These risks, however, should be clearly identified by experts in different areas. In this way, chances of errors are totally diminished or avoided.

Ranking the adaptation measures could also be done by involving the different stakeholders and use the Multi-Criteria Analysis in taking into considerations their judgements to rank according to importance the various criteria by putting relevant weights.

Collecting data pertaining to climate models must be technologically advanced which could give results fast of the expected period when the impacts of climate change will or is about to happen. This can aid decision-makers to decide in real time the type of investment required.

References

- AURSAND, P. O. & HORVLI, I. 2009. Effect of a changed climate on gravel roads. Oslo: NPRA.
- BLANK, L. & TARQUIN, A. 2005. *Engineering Economy*, New York, USA, McGraw-Hill.
- BORGONOVO, E. & PECCATI, L. 2004. Sensitivity analysis in investment project evaluation. *International Journal of Production Economics*, 90, 17-25.
- BORGONOVO, E. & PECCATI, L. 2006. Uncertainty and global sensitivity analysis in the evaluation of investment projects. *International Journal of Production Economics*, 104, 62-73.
- BREWER, D. J. & PICUS, L. 2014. *Encyclopedia of Education Economics and Finance*, 2455 Teller Road, Thousand Oaks, California 91320, SAGE Publications, Inc.
- BROOME, J. 1992. *Counting the Cost of Global Warming*, Cambridge, UK, The White Horse Press.
- BRYMAN, A. 2014. June 1989 and beyond: Julia Brannen's contribution to mixed methods research. *International Journal of Social Research Methodology*, 17, 121-131.
- BURTON, I. 2009. Economic aspects of adaptation to climate change: Costs, benefits and policy instruments. *Climate and Development*, 1, 98-99.
- COLIN, M., PALHOL, F. & LEUXE, A. 2016. Adaptation of Transport Infrastructures and Networks to Climate Change. *Transportation Research Procedia*, 14, 86-95.
- DEMIREL, H., KOMPIL, M. & NEMRY, F. 2015. A framework to analyze the vulnerability of European road networks due to Sea-Level Rise (SLR) and sea storm surges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, 62-76.
- DYRRDAL, A. V., ISAKSEN, K., HYGEN, H. O. & MEYER, N. K. 2012. Changes in the meteorological variables that can trigger natural hazards in Norway. *Climate Research*, 55, 153-165.
- ECCLESTON, C. H. & MARCH, F. 2011. *Global Environmental Policy: Concepts, Principles, and Practice*, USA, Taylor & Francis Group.
- GEONORGE. 2017. SVV vegnett [Online]. Oslo: Geonorge. Available: [http://www.norgeskart.no/geoportal/-/3/598205/7318827/l/wms/\[https://www.vegvesen.no/nvdbkart/geoserver/ows\]/+SVV:VEGNETT_R_TEKST_20000/+SVV:VEGNETT_R_TEKST_100000/+SVV:VEGNETT_F_TEKST_20000/+SVV:VEGNETT_F_TEKST_100000/+SVV:VEGNETT_E_TEKST_20000/+SVV:VEGNETT_E_TEKST_100000/+SVV:Oversikt/+SVV:FART_E_TEKST_100000](http://www.norgeskart.no/geoportal/-/3/598205/7318827/l/wms/[https://www.vegvesen.no/nvdbkart/geoserver/ows]/+SVV:VEGNETT_R_TEKST_20000/+SVV:VEGNETT_R_TEKST_100000/+SVV:VEGNETT_F_TEKST_20000/+SVV:VEGNETT_F_TEKST_100000/+SVV:VEGNETT_E_TEKST_20000/+SVV:VEGNETT_E_TEKST_100000/+SVV:Oversikt/+SVV:FART_E_TEKST_100000) [Accessed 28 February 2018].
- HALLEGATTE, S. 2009. Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global Environmental Change*, 19, 240-247.
- HALLEGATTE, S., HENRIET, F. & MORLOT, J. C. 2008. The Economics of Climate Change Impacts and Policy Benefits at City Scale: A Conceptual Framework. *Environment Working Papers*. France: OECD.
- HARRIS, J. M., ROACH, B. & CODUR, A.-M. 2017. *The Economics of Global Climate Change*. Massachusetts: Tufts University.
- HUDSON, W. R., HAAS, R. & UDDIN, W. 1997. *Infrastructure Management: Integrating Design, Construction, Maintenance, Rehabilitation, and Renovation*, New York, NY, USA, McGraw-Hill.

- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2007. Historical Overview of Climate Change Science. In: BAEDE, A. & GRIGGS, D. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*, 32 Avenue of the Americas, New York, NY 10013-2473, USA, Cambridge University Press.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2014a. Summary for Policymakers. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2014b. Technical Summary. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE 2014c. Transport. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- ISRAEL, N. D. 2013. Inaction on Climate Change-The Cost to Taxpayers. Boston: Ceres.
- JAEDICKE, C., LIED, K. & KRONHOLM, K. 2009. Integrated database for rapid mass movements in Norway. *Natural Hazards Earth System Science*, 9, 469-479.
- KLIMATILPASNING. 2016. *Infrastruktur og samferdsel* [Online]. Oslo: NVE, DSB, KSS, Landsbruksdirektoratet, Direktoratet for Byggekvalitet. Available: <http://www.klimatilpasning.no/sektorer/infrastruktur-og-samferdsel/> [Accessed 28 February 2018].
- KOLSHUS, K. E. 2015. Samferdsel og miljø 2015: Utvalget indikatorer for samferdssektoren. Oslo: SSB.
- LIU, Y. 2017. Lecture 10: Decision Tree. *TPK5115 Risk Management in Projects*. Trondheim: NTNU.
- MINISTRY OF TRANSPORT 2017. Nasjonal transportplan 2018-2029. Oslo: Ministry of Transport.
- MORENO, H. 2018. *Innlegg: Infrastruktur for fremtidens ekstremvær* [Online]. bygg.no. Available: <http://www.bygg.no/article/1339834> [Accessed 15 January 2018].
- MYRABØ, S., (JBV), VIKLUND, M., (JBV), ØVRELID, K., (NVE), ØYDVIN, E. K., (NVE), PETKOVIC, G., (SVV), HUMSTAD, T., (SVV), AUNAAS, K., (SVV), THAKUR, V., (SVV) & DOLVA, B. K., (NIFS) 2016. NIFS Final Report 2012 - 2016. In: DOLVA, B. K. (ed.) *The Natural Hazards program*. Oslo: Norwegian Water Resources and Energy Directorate.
- NEWSRX. 2017. Cost of not adapting to climate change would be at least five times higher.
- NORSK RISKRINGKASTING AS (NRK). 2017. *Flommen i Agder var dyrest i 2017* [Online]. Oslo: NRK. Available: <https://www.nrk.no/sorlandet/flom-forte-til-store-skader-i-2017-1.13857509> [Accessed 17 March 2018].
- NORWEGIAN ENVIRONMENT AGENCY. 2017. *Norway's Climate* [Online]. Oslo: NEA. Available: <http://www.environment.no/topics/climate/> [Accessed 02 February 2018].
- NORWEGIAN MINISTRY OF FINANCE 2012. Cost-Benefit Analysis. Oslo: Ministry of Finance.
- NORWEGIAN PUBLIC ROADS ADMINISTRATION 2011. ROS analyser mht vaerrelaterte hendelser - Prosessveileder. Oslo: NPRA.

- NORWEGIAN PUBLIC ROADS ADMINISTRATION 2012. Risiko- og Sårbarhetsanalyse: KVV Buskerudbypakke 2. Oslo: NPRA.
- NORWEGIAN PUBLIC ROADS ADMINISTRATION 2013a. Adaptation to Climate Change. Oslo: NPRA.
- NORWEGIAN PUBLIC ROADS ADMINISTRATION 2013b. Kostnader av klimaendringer: Behov for tilpasning og foreslåtte tiltak. Oslo: NPRA.
- NORWEGIAN PUBLIC ROADS ADMINISTRATION 2014. Vegbygging. Oslo: NPRA.
- NORWEGIAN PUBLIC ROADS ADMINISTRATION 2017. Klimatilpasning i Statens vegvesen. Oslo: NPRA.
- NORWEGIAN PUBLIC ROADS ADMINISTRATION. 2018. *Vegkart* [Online]. Oslo: NPRA. Available: [https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/-kartlag:geodata/hva:\(~\(id:445,filter:\(~\),farge:'0_0,category:\(type:'enum,id:2326\)\)\)/@261211,6989797,7/vegobjekt:847565963:58b02c:445](https://www.vegvesen.no/vegkart/vegkart/-kartlag:geodata/hva:(~(id:445,filter:(~),farge:'0_0,category:(type:'enum,id:2326)))/@261211,6989797,7/vegobjekt:847565963:58b02c:445) [Accessed 13 March 2018].
- NORWEGIAN WATER RESOURCES AND ENERGY DIRECTORATE (NVE). 2018. *Temperature annual average at 07AM 2014* [Online]. Oslo: NVE. Available: www.senorge.no/index.html?p=senorgeny&st=weather [Accessed 23 February 2018].
- OWEN, A. D. & HANLEY, N. 2004. *The Economics of Climate Change*, London, UK, Routledge
- RATTANACHOT, W., WANG, Y., CHONG, D. & SUWANSAWAS, S. 2015. Adaptation strategies of transport infrastructures to global climate change. *Transport Policy*, 41, 159-166.
- ROWAN, E., EVANS, C., RILEY-GILBERT, M., HYMAN, R., KAFALLENOS, R., BEUCLER, B., RODEHORST, B., CHOATE, A. & SCHULTZ, P. 2013. Assessing the Sensitivity of Transportation Assets to Extreme Weather Events and Climate Change. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2326, 16-23.
- SHAMSUTDINOVA, G., HENDRIKS, M. A. N. & JACOBSEN, S. 2017. Concrete-Ice Abrasion Test with Sliding Ice and Ice Spallation. *Nordic Concrete Research*, 57, 39-57.
- SHPAK, A. 2018. Characterization of surface frost damage: Application of laser scanner. Department of Structural Engineering: NTNU, Trondheim.
- SIMPSON, M., RAVNDAL, O., SANDE, H., NILSEN, J., KIERULF, H., VESTØL, O. & STEFFEN, H. 2017. Projected 21st Century Sea-Level Changes, Observed Sea Level Extremes, and Sea Level Allowances for Norway. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5.
- SNELL, M. 2011. Basic Principles of cost-benefit analysis. *Cost-benefit analysis - A practical guide*. London: ICE.
- STATENS VEGVESEN 2011. VD 24 RSO av stikkrenner mht værrelaterte hendelser. Oslo: Statens vegvesen.
- STATENS VEGVESEN 2014. Nasjonalt vegreferansesystem. Oslo.
- STATENS VEGVESEN 2015. Planbeskrivelse - Reguleringsplanforslag E6 Soknedal sentrum - Korporalsbrua. Trondheim, Norway: SVV.
- STERN, N. 2007. *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- SULLIVAN, W. G., WICKS, E. M. & LUXHOJ, J. T. 2006. *Engineering Economy*, New Jersey, USA, Pearson Prentice Hall.
- AURSAND, P. O. & HORVLI, I. 2009. Effect of a changed climate on gravel roads. Oslo: NPRA.

- THE NORWEGIAN TAX ADMINISTRATION. 2018. *Årsavgift og vektårsavgift for bil og andre kjøretøy* [Online]. Oslo: Skatteetaten. Available: <https://www.skatteetaten.no/en/person/duties/bil/arsavgift/> [Accessed 8 March 2018].
- TRAFIKKFORSIKRINGSFORENINGEN. 2018. *Trafikkforsikringsavgift* [Online]. Oslo: TFF. Available: <https://www.tff.no/informasjon/trafikkforsikringsavgift/> [Accessed 8 March 2018].
- UN. 2016. *Secretary-General's remarks at World Economic Forum Plenary Session: "The New Climate and Development Imperative"* [Online]. New York. Available: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2016-01-21/secretary-generals-remarks-world-economic-forum-plenary-session-new> [Accessed 28 February 2018].
- UNFCCC 2012. Assessing costs and benefits of adaptation options: An overview of approaches. *The Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change*. UN.
- VALLEJO, L. & MULLAN, M. 2017. Climate-resilient infrastructure: Getting the policies right. *Environment Working Papers*. OECD.
- VAR SOM.NO. 2017. *Naturfarevarsler* [Online]. Oslo: NVE. Available: <http://www.varsom.no/> [Accessed 28 February 2018].
- VATN, J. 2017. Compendium for TPK5115 - Risk Management in Projects. NTNU, Trondheim.
- VORMOOR, K., LAWRENCE, D., SCHLICHTING, L., WILSON, D. & WONG, W. K. 2016. Evidence for changes in the magnitude and frequency of observed rainfall vs. snowmelt driven floods in Norway. *Journal of Hydrology*, 538, 33-48.
- WAHL, T. 2017. Sea-level rise and storm surges, relationship status: complicated! *Environmental Research Letters*, 12.
- XGEO. 2017. *xgeo.no* [Online]. Oslo: NVE. Available: <http://www.xgeo.no/aboutXgeo.html> [Accessed 28 February 2018].
- XU, H., GUO, W. & TAN, Y. 2016. Permeability of asphalt mixtures exposed to freeze-thaw cycles. *Cold Regions Science and Technology*, 123, 99-106.
- YR. 2018. *Klimastatistikk for Norge* [Online]. Oslo: YR. Available: <https://www.yr.no/sted/Norge/klima.html-%C3%A5r> [Accessed 23 February 2018].
- UN. 2016. *Secretary-General's remarks at World Economic Forum Plenary Session: "The New Climate and Development Imperative"* [Online]. New York. Available: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/statement/2016-01-21/secretary-generals-remarks-world-economic-forum-plenary-session-new> [Accessed 28 February 2018].
- UNFCCC 2012. Assessing costs and benefits of adaptation options: An overview of approaches. *The Nairobi Work Programme on Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change*. UN.
- VALLEJO, L. & MULLAN, M. 2017. Climate-resilient infrastructure: Getting the policies right. *Environment Working Papers*. OECD.
- VAR SOM.NO. 2017. *Naturfarevarsler* [Online]. Oslo: NVE. Available: <http://www.varsom.no/> [Accessed 28 February 2018].
- VATN, J. 2017. Compendium for TPK5115 - Risk Management in Projects. NTNU, Trondheim.
- VORMOOR, K., LAWRENCE, D., SCHLICHTING, L., WILSON, D. & WONG, W. K. 2016. Evidence for changes in the magnitude and frequency of observed rainfall vs. snowmelt driven floods in Norway. *Journal of Hydrology*, 538, 33-48.

- WAHL, T. 2017. Sea-level rise and storm surges, relationship status: complicated!
Environmental Research Letters, 12.
- XGEO. 2017. *xgeo.no* [Online]. Oslo: NVE. Available: <http://www.xgeo.no/aboutXgeo.html>
[Accessed 28 February 2018].
- XU, H., GUO, W. & TAN, Y. 2016. Permeability of asphalt mixtures exposed to freeze–thaw
cycles. *Cold Regions Science and Technology*, 123, 99-106.
- YR. 2018. *Klimastatistikk for Norge* [Online]. Oslo: YR. Available:
[https://www.yr.no/sted/Norge/klima.html - %C3%A5r](https://www.yr.no/sted/Norge/klima.html-%C3%A5r) [Accessed 23 February 2018].

Annexes

Annex 1 Chapter 4 of NPRA Handbook N200 “Vegbygging”

40. Overordnet del

401. Generelt

401.1

Inndelingen av kapitlene 41.-47. følger i hovedsak inndelingen i prosesskoden, håndbok R761.

Se også NS 3420 (Ref. 8),. Standardens del F: *Grunnarbeider, del U: Rør- og sanitærinstallasjoner og del W: Elkraft og teleinstallasjoner* inneholder en stor mengde relevant stoff for de arbeidsprosesser som kapittel 4 omfatter. Det er også omfattende referanser til andre standarder, normer og publikasjoner.

401.21

Tiltak i vassdrag omfatter alle typer tiltak som kan virke inn på vassdragenes naturlige løp, grunnvann, miljøforhold, private eller allmenne interesser. Det gjelder også tiltak som er nærmere omtalt i kap. 475. t.o.m. 478.

Eksempler på tiltak som kan være konsesjonspliktige:

- Bygging i og over vassdrag
- Uttak av masse i/ved vassdrag
- Bekkelukking/-åpning
- Tiltak som påvirker grunnvann, avrenning, vannkvalitet, strømforhold, sedimenteringsforhold

401.1 Innholdsbeskrivelse

Kapittel 4 er delt i åtte delkapitler:

40. Overordnet del
41. Åpne grøfter (sidegrøfter, terrenggrøfter mv.)
42. Lukkede rørgrøfter
43. Rørledninger (drens- og overvannsledninger mv.)
44. Rørsystem for kabelanlegg
45. Stikkrenner/kulverter
46. Kummer, sluk, rister og lokk
47. Forsterkning av grøfter og elve- og bekkereguleringer

Delkapittel 40 omhandler planleggings- og prosjekteringsgrunnlag for kabler og ledninger, drems- og avvanningssystem. Funksjonskrav, dimensjonering, kvalitetssikring, m.v. er beskrevet. Generelle forhold vedrørende kabler og ledninger er omtalt dels i kapittel 40, dels i kap. 1.

Delkapitlene 41 t.o.m. 46 omhandler krav til utførelse, materialer, kontrollomfang, toleranser og dokumentasjon av utført kvalitet for grøfter, rør/ledninger og kummer.

Kapittel 47 omhandler forsterkning av grøfter og elve- og bekkereguleringer. Dette er i stor grad tilsvarende det som er omhandlet i prosesskode 1 og 2 (håndbøkene R761 og R762).

401.2 Forholdet til andre etater

401.21 Generelt om tiltak i vassdrag

Ved planlegging av veganlegg eller vegutbedringer i eller ved vassdrag, skal planene utarbeides i samråd med vassdragsmyndighetene. Det er viktig at det tas kontakt så tidlig som mulig, slik at det bl.a. kan avklares om det er nødvendig med konsesjonsbehandling.

Tiltakene skal planlegges og gjennomføres i samsvar med bestemmelsene i "Lov om vassdrag og grunnvann" (vannressursloven). Behandling i forhold til vannressursloven kommer i tillegg til normal planbehandling for vegprosjektet (se kap. 402).

For "vernede vassdrag" gjelder generelt strengere regelverk enn for øvrige vassdrag. Tiltak i en sone inntil 100 meter fra vannløpet er "vassdragstiltak" og må vurderes mot aktuelt regelverk som varierer fra vassdrag til vassdrag.

Det vises til mer omfattende omtale under kap. 408, der det også er referanse til NVEs veiledningshefte om behandling etter vannressursloven.

401.22 Kabler og ledninger

Med kabler og ledninger forstås tekniske anlegg som omfatter vann- og avløpsledninger, fjernvarme, el-, tele- og TV-kabler. Dette inkluderer kabler og ledninger som er nødvendig for vegens funksjon.

Disponering av vegens tverrprofil, kryssingsprinsipp for kabler/ledninger m.v. er omhandlet i kap. 401.3. Rørsystem (trekkerør) for kabelanlegg er omhandlet i kapittel 44.

401.3 Plassering av kabler/ledninger

401.31 Disponering av tverrprofilen, generelt

Som hovedregel skal grunnen under kjørebanelen holdes fri for kabler og ledninger.

Framføringen av kabler og ledninger skjer på den side av vegen det er hensiktsmessig ut fra stedlige forhold. Ved brede bygater med stor trafikk kan det være aktuelt å legge 2 sett ledninger og kabler, ett på hver side for å unngå kryssing. Langs reguleringslinjen skal det (på det regulerte området) normalt holdes en 0,60 m bred sone fri for kabler og ledninger. Unntatt er kabler som er nødvendige for vegens funksjon. Kablene bør generelt ikke spres for mye, men konsentreres til avgrensede områder.

På *hovedveger* skal kjørebanelen og skuldrene normalt være fri for langsående kabler og ledninger. Unntatt er kabler og ledninger i tilknytning til veg- og trafikktekniske tiltak.

Gater og veger uten fortau: Vann- og avløpsledninger plasseres normalt på den ene siden av kjørebanelen og kabler på den andre siden.

Gater og veger med separat gang-/sykkelveg: Vann- og avløpsledninger plasseres i gang-/sykkelveg. Kabler plasseres i trafikkdelene, eventuelt grøft. Se figurene 401.1 og 401.2.

Gang-/sykkelveger: Kabler plasseres normalt i gang-/sykkelvegen, mens ledninger delvis plasseres under gang-/sykkelvegen og delvis under skulderen og snølagringsarealet. Se figur 401.3.

Gater og veger med fortau: Kabler og ledninger skal primært plasseres under fortau. Når plassen er begrenset, plasseres ledningene i kjørebanelen og kablene i fortau/gangbane. Hvis plassen i fortau/gangbane ikke er tilstrekkelig eller tilrådelig for kabelanleggene, f.eks. på grunn av varmekabler i fortau, plasseres disse normalt på motsatt side av kjørebanelen som ledningene, se figur 401.4.

På skissene er det avsatt plass for sandfang, bredde 1,00-1,30 m. Lednings-traséen kan delvis legges inn på dette området.

401.22

De generelle retningslinjer i dette kapittel vil være mest aktuelle for adkomst- og samleveg i middels tett bebyggelse, men bør være utgangspunktet for de løsninger som er nødvendige ved andre standardklasser.

401.31

En vegtrasé er i større grad enn før også en korridor for mange typer infrastruktur. Dette gjelder først og fremst kommunale veier.

Vann- og avløpsledninger ligger relativt dypt, og de krever derfor ekstra avstand til andre anlegg for drift/reparasjoner. Ved vanskelige grunnforhold og ekstra dype grøfter vil også plassbehovet øke, med mindre det gjøres spesielle tiltak for å sikre tilgang.

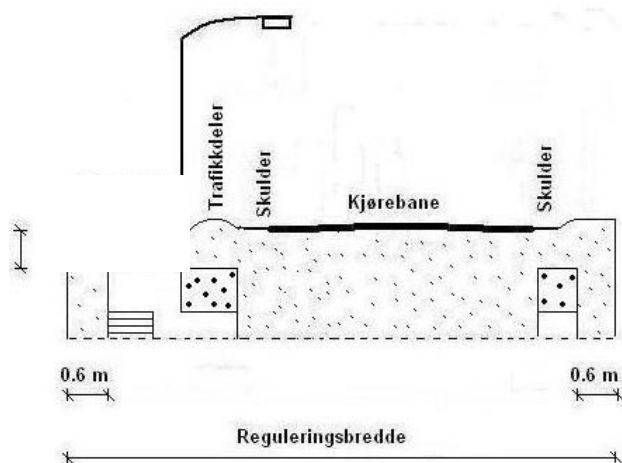
Kabler (kraftledninger) i eller ved veg bør utformes og plasseres slik at elektromagnetiske felt blir mest mulig redusert der det ferdes og oppholder seg mennesker, eksempelvis gang-/sykkelveger, fortau, skoleveg, etc.

Det bør tas kontakt med netteier og fagmyndigheter (Statens strålevern) for nærmere vurdering av plassering av kabler i forhold til arealbruken.

401.31

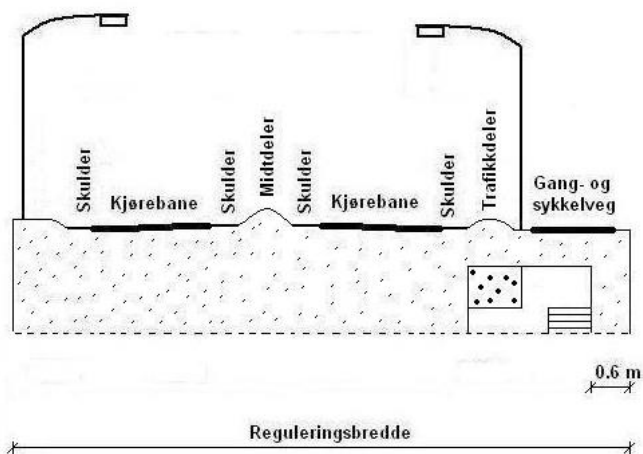
I prinsippkissene er det vist forslag til løsninger, men det er viktig at det ved detaljprosjekteringen tas hensyn til nødvendige sikkerhetsavstander og mulighet for å komme til ledningene for ulike situasjoner.

Generelt må man regne med stort plassbehov for infrastruktur-anlegg, spesielt i tettbygde strøk. I tillegg til kabel- og ledningstyper som vist her kan det være aktuelt å planlegge for utbygging av fjernvarme, avfallstransport ("bossug") mv.

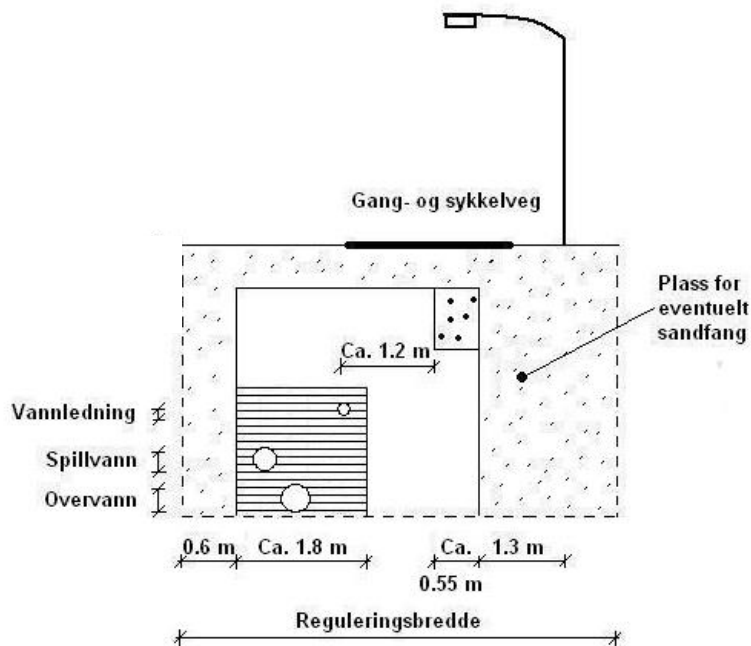


	Disponeres av vegetaten til f.eks. sandfang, overvanns- og drenasjeledninger, samt kabler for vegbelysning
	Disponeres av kabeltaten til fremføring av strøm og telefon / tele
	Disponeres av ledningsetaten til vann- og avløpsledninger

Figur 401.1 Prinsippkisse, plassering av kabler og ledninger i 2-feltsveg med separat G/S-veg



Figur 401.2 Prinsippkisse, plassering av kabler og ledninger i 4-feltsveg

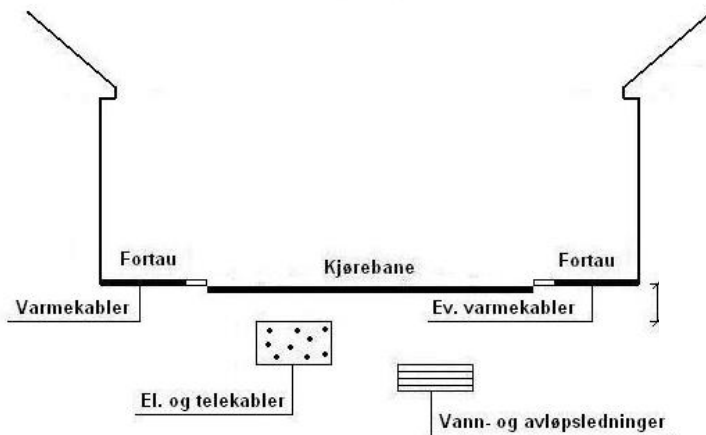


Figur 401.3 Prinsippkisse for kabler og ledninger i gang-/sykkelveg. I ledningsgrøften på figuren er det antatt plassert en 200 mm vann-, en 300 mm spillvann- og en 400 mm overvannsledning.

401.32 Varmekabler i fortau

Varmekabler i fortau bør ikke ligge nærmere kantsteinen enn 0,5-0,7 m.

Figur 401.4 viser plassering av varmekabler i fortau.



Figur 401.4 Prinsippkisse, plassering av kabler og ledninger i gate med mulighet for plassering av varmekabler i fortau

401.33 Masteplassering

Oppsetting av master innvirker på disponeringen av vegens tverrprofil. Trafikksikkerhet og vedlikehold bør vurderes ved plassering av master. 60 cm ved reguleringslinjen er disponibelt til master med fundamenter.

Mastetype	Plassering
Vegbelysning	Reguleringslinje/gjerdelinje ev. i trafikkdeler
Vanlig luftstrek (strøm og tele)	Reguleringslinje/gjerdelinje

Figur 401.5 Plassering av master

401.34 Kumpllassering

Der plassforholdene tillater det, bør kabler, ledninger og kummer plasseres utenfor kjørebanelen, eventuelt i vegskulder. Følgende anbefales for både nyanlegg og utbedringer:

- På ny veg med ÅDT > 5000 bør kumløkk ligge utenfor vegskulder
- På ny veg med ÅDT > 15000 bør fremmede installasjoner ligge helt utenfor vegområdet

Omfattende økonomiske eller trafikktekniske konsekvenser kan tilsi andre løsninger.

Ved kumpllassering i kryssområder skal det tas hensyn til trafikkenes framkommelighet ved eventuell reparasjon eller ettersyn av kummene. Kummer med brannventiler skal plasseres i brøytet område. Det skal påses at kumløkk ikke blir liggende i kantsteinslinje.

401.4 Kryssing av veg/gate

401.41 Generelt

Det bør ved nye kabelanlegg på alle vegtyper legges ned ekstra trekkerør for å dekke et antatt framtidig behov for veganlegget. Behov for rør til andre etater/aktører bør også vurderes (se kap. 44).

Ekstra trekkerør må dokumenteres mhp plassering og funksjon og informasjonen må lagres i et hensiktsmessig register.

Ved nyanlegg eller utbedring av eksisterende veg bør det framtidige behov for kryssing med kabler og ledninger, samt kryssingspunktene lokaliserings vurderes.

401.42 Kryssingsprinsipp

På veger med høyt fartsnivå (over 60 km/t) eller høy trafikkbelastning vil det normalt ikke bli gitt adgang til oppgraving. Dette må det tas hensyn til ved prosjektering av nye kabel- og ledningsanlegg.

Antall kryssingspunkter skal være færrest mulig. Spesielt i hovedveger og samleveger bør kryssingen skje vinkelrett på vegen og fortrinnsvis ved vegkryss. I de tilfeller hvor det foretas oppgravinger i eksisterende veg, i forbindelse med reparasjoner, utskiftninger, omlegginger etc., skal forholdene legges til rette for at framtidige gravearbeider skal unngås. Spesielt gjelder

401.34

Med fremmede installasjoner menes i denne sammenheng andre installasjoner enn de som eies av vegholder og som inngår i vegens funksjon

401.41

Spesielt på eksisterende veger representerer oppgravninger på tvers ulemper for trafikkavvikling og trafikksikkerhet, samt reduksjon av vegens kvalitet. Erfaringsmessig påløper det store kostnader til trafikkomlegging og reparasjon/flikking på gamle anlegg.

dette hvor det er naturlig å forvente ytterligere framføring av kabler og ledninger. Se forøvrig figur 401.6.

Ved større reparasjonsarbeider/omlegginger kan det settes krav som for nyanlegg av veg.

Vegtype	Nyanlegg av veg		Eksisterende veg	
	Kabler	Ledninger	Reparasjon, omlegging og nyanlegg	
			Kabler	Ledninger
Hovedveg	Kabelkanal/-trekkerør	Lukket kanal eller varerør	Boring, trykking av rør, ev. oppgraving	Boring, trykking av rør, ev. oppgraving
Samleveg	Trekkerør	Ikke spesielle krav	Boring, oppgraving samt nedlegging av ekstra rør	
Adkomstveg	Trekkerør	Ikke spesielle krav		
Gang-/sykkelveg	Ikke spesielle krav	Ikke spesielle krav		

Figur 401.6 Kryssingsprinsipp for kabler og ledninger

401.42

Det bør fortrinnsvis brukes kabelrør til all framføring av kabler

401.43 Kryssing med luftstrek

Kryssing med luftstrek over offentlig veg skal oppfylle kravene i *Forskrift om elektriske forsyningsanlegg* (Ref. 24), se www.lovdata.no. Kravene er konkretisert i den tilhørende *Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg*. Se <http://oppslagsverket.dsb.no/content/el-tilsyn/forskrifter/elektriske-forsyningsanlegg/>

401.5 Plassering i grøftetverrsnittet

401.51 Kabler

Plassering av de enkelte kabler og oppbyggingen av grøftetverrsnittet i kabelsonen utføres etter kabeletatens leggesbeskrivelser. Grøftetverrsnitt og leggesbeskrivelse skal forelegges vegholder.

Hovedregelen er at elektriske kabler, både høyspent og lavspent, skal ha en overdekning på min. 0,4 m. For øvrig skal krav oppfylles slik de er gitt i *Forskrift om elektriske forsyningsanlegg* (Ref. 24), se www.lovdata.no. Kravene er konkretisert i den tilhørende *Veiledning til forskrift om elektriske forsyningsanlegg*. Se bl.a. §4-4 og 5-3 i veiledningen, se <http://oppslagsverket.dsb.no/content/el-tilsyn/forskrifter/elektriske-forsyningsanlegg/> Utførelsen av vann- og avløpsnett vil også være bestemmende for plasseringen av kabler. Se pkt. 401.52, se også pkt. 401.22. Ved bruk av kabelkanaler bør faren for ujevne setninger på kjørebanelen søkes redusert, for eksempel ved å bruke avlastningsplater eller økt overdekning.

401.52

Det stilles forskjellig krav til de tekniske anlegg i grunnen. I tillegg til en primær mekanisk beskyttelse av anleggene kan det være en rekke sekundære effekter en ønsker å oppnå, f.eks. gunstige avkjølingsforhold for el-kabler, frostsikring av ledninger, magasinering av overvann o.l.

NS-EN 1610 gjelder trykkløse rørsystemer (utførelse og prøving av avløpsledninger). NS-EN 805 gjelder trykkør (Vannforsyning – krav til systemer og komponenter utenfor bygning).

På www.va-norm.no finnes generelle kravspesifikasjoner for VA-systemene i norske kommuner. En del kommuner har også lokale bestemmelser som framkommer ved valg av gjeldende kommune.

På www.va-blad.no finnes ytterligere tekniske detaljer og løsninger presentert i VA Miljøblad.

Andre nyttige nettsteder: www.kommunalteknikk.no (Norsk Kommunalteknisk Forening, NKF)

www.norskvann.no (Norsk Vann, interesseorganisasjon for VA-sektoren)

401.52

Stikkledninger er som oftest private anlegg.

401.52 VA-ledninger

Generelt

Topografi, grunnforhold, dimensjoner, frostbelastning og frostsikringsmetode vil være bestemmende for overdekning og arealbehov. Andre forhold som for eksempel magasinering av overvann kan også bidra til å fastlegge plasseringen av anleggene i forhold til vegbanen. Utførelse av kabler m.v. kan også ha innvirkning på plassering og utførelse av vann- og avløpsnett, bl.a. når det benyttes fellesanlegg. Se pkt. 401.22 og 401.51.

Krav til utforming og utførelse av ledningsanlegg for vann og avløp finnes bl.a. i standardene NS3420, NS-EN 1610 og NS-EN 805. For ytterligere informasjon, se også kravspesifikasjoner og VA-informasjon fra kommunale ledningseiere på www.va-norm.no. Se for øvrig kap. 42-43 i denne normalen.

Disponering av grøftetverrsnittet for VA-ledninger

Plasseringen av de enkelte ledninger og oppbyggingen av grøftetverrsnittet i ledningssonen utføres etter ledningsetatens leggesbeskrivelser. Grøftetverrsnitt og leggesbeskrivelse skal forelegges vegholder.

Nødvendig grøftebredde avhenger av antallet og dimensjonene på rørene, samt ledningsetatens krav til innbyrdes avstand mellom rørene og avstand rør-/ grøfteside. Ved eventuelle fellesanlegg med vegens avvanningsystem, se også kap. 42 om utførelse av rørgrøfter, kap. 43 om utførelse av rørledninger. Se også kap. 44 om utførelse av rørsystem for kabelanlegg.

Stabil skråningsvinkel vil ha betydning for nødvendig horisontal avstand mellom VA-ledninger og andre infrastrukturprosjekter, likedan spiller høydedifferanse inn. Det er også av betydning hvor robuste kabelanlegg og lignende er bl.a. med hensyn til undergraving, og hvor lange strekk de tåler uten forsterkning og andre spesielle tiltak.

Av kap. 401.3 framgår det hvordan de enkelte deler av vegens tverrprofil er disponert. Normalt gis ledningene rettlinjert føring mellom kummene. På svingete veg medfører dette redusert plass for andre installasjoner og kortere maksimalavstand mellom kummene. Det vil derfor være anledning til å legge ledningstraséen delvis inn på det området som er reservert for sandfang etc. Det skal påses at ledningstraséen ikke kommer i konflikt med eksisterende eller framtidige sandfang. Maks. tillatt vinkelavvik i rørskjøtene kan også utnyttes til å legge ledningene i kurve.

Kummer

Plassering av kummer er behandlet i pkt. 401.34. Vann- og avløpskummer bør markeres med kumskilt (kumanviser).

Stikkledninger (vann og avløp)

Omlegging eller fornyelse av stikkledninger skal forsøkes koordinert med omlegging av hovedledninger for vann og avløp eller større vegarbeider, og omvendt. Ved nyanlegg av hovedledninger bør det for ubebygde tomter medtas stikkledninger fram til stoppekran. Avløpsledning og stoppekran som ikke straks tas i bruk, skal plugges. Avløpsledning og stoppekran innmåles og avmerkes på stedet. Ved vegutvidelse skal eksisterende stoppekran flyttes utenfor veggrunnen.

402. Dimensjoneringsgrunnlag og forutsetninger, drenering

402.1 Generelt

Vann som avledes fra vegområdet skal ikke slippes ut over tilstøtende eiendommer uten at det er ervervet rett til dette ved avtale eller ekspropriasjon. Ved utforming av avløpssystem skal det tas hensyn til arealer og installasjoner utenfor vegområdet som vil bli berørt. Avrenningssituasjonen, både på overflaten og i bakken, skal i så stor grad som mulig være slik den var før tiltaket ble gjennomført.

402.2 Drensplan

402.21 Generelt

All drenering skal utføres i samsvar med forutgående planlegging. Prinsipp-løsninger bør vurderes på oversiktsplannivå, bl.a. ved valg av lengdeprofil.

For å få grunnlag for å presentere omfanget av så vel permanente som midlertidige inngrep bør drensløsningene føres så langt i reguleringsplanarbeidet (teknisk detaljplan) at også byggeproptørrelser er avklart.

402.22 Drensplanlegging på ulike plannivå

Ved planleggingen bør en bl.a. (bokstavene i parentes refererer til tema i figur 402.1):

- undersøke om veganlegget kan berøre forholdene i vassdrag og grunnvann. En utredning av disse forholdene legges fram for vassdragsmyndigheten som vil avklare om tiltaket er konsesjonspliktig i henhold til vannressursloven. (a, b, c, d og e)
- undersøke behov for avløp for eksisterende drensledninger. Enkeltledninger kan føres inn i veggrøftene. Større drenssystem bør gis avløp via separat samleledning. (c)
- undersøke behov for særskilt bortledning av overflatevann fra arealer som støter til vegen, som følge av inngrep i eksisterende avrenning fra disse arealene. Ofte kan dette vannet samles opp i veggrøftene og ledes bort sammen med vann fra vegområdet. Behov for tiltak som hindrer at inngrepene fører til forsumping, erosjon, ras m.v. bør også undersøkes. (d)
- undersøke behov for tiltak som hindrer uttørking eller forurensning av brønner og andre vannforsyningsanlegg. (e)
- undersøke og identifisere mulige flomvannveger

Figur 402.1 viser når ulike drensoppgaver bør behandles i plansammenheng.

402.1

Kravet gjelder ny, planlagt situasjon, og berører ikke etablerte forhold. Erverv av grunn og rettigheter skjer med hjemmel i godkjent detaljplan eller reguleringsplan. Hvis detaljplan/reguleringsplan ikke inneholder drensløsningene som senere skal bygges, finnes det ikke hjemmel for å erverve grunn og rettigheter til å gjennomføre dreneringen. Håndbok V740 *Eigedomsinngrep* (Ref. 2) gir retningslinjer for grunnervet.

402.21

Drenssystemet er en viktig del av planene. Eks.: Valg av lengdeprofil kan få stor betydning for hvordan dreneringssystemet må bli. Lite lengdefall kan skape store problemer med å føre vann langs vegen.

Planleggingen skjer med hjemmel i plan- og bygningsloven-(Ref. 1). Lov om vannressursloven, forurensningsloven og lov om laksefisk og innlandsfisk m.v. er også aktuelle. Vannressursloven trådte i kraft 01.01.2001 og omfatter både vassdrag ("alt stillestående og rennende vann med årssikker vannføring") og grunnvann. I følge denne loven kan ingen uten konsesjon iverksette tiltak som kan være til skade eller ulempe for allmenne interesser i vassdraget. I praksis vil dette trolig innebære at det for alle tiltak som kan berøre forholdene i vassdrag (og grunnvann) må avklares med vassdragsmyndigheten om tiltaket er konsesjonspliktig. NVE vil gi nærmere retningslinjer om saksbehandlingen.

Tema	Plannivå			
	Utredning	Oversiktsplan	Reguleringsplan	Byggeplan
	Konseptvalg (KVU)	Kommune(del)plan	Teknisk detaljplan, bebygg.plan	Konkurransegrunnlag
(a) Elve- og bekkereguleringer (I samarbeid med vassdrags- og miljømyndighetene)	P	P	D	B
(b) Avvanning av veg- og skråningsareal (sees i sammenheng med bl.a. linjepålegg og ev. behov for dypdrenering)		P	D	B
(c) Grøfting og avvanning for landbruk og øvrige tilstøtende arealer		P	D	B
(d) Hindre/begrense endring i grunnvannsnivå		P	D	B
(e) Sikre mot forurensning av drikkevann, grunnvann og andre sårbare omgivelser		P	D	B
(f) Vurdere endringer i normalprofilen, f.eks. ved nedføring mellom vegger, ramper, G/S-veger			D	B
(g) Detaljering og dimensjonering ut fra: <ul style="list-style-type: none"> – generelle og lokale erfaringer – minimumsløsninger – beregning av avrenning, vannføring 		P	D	B

Symboler: P = prinsipløsning
 D = detaljering som viser forholdene når planen er gjennomført
 B = fullstendig detaljering for byggefasen

Figur 402.1 Drensplanlegging på ulike nivå

402.23 Drensplan på byggeplannivå

Dreneringsplaner med detaljer (G-tegninger) bør omfatte:

- stikkrenner
- drensledninger
- andre ledninger utenfor vegområdet
- kummer, sluk
- terrenggrøfter
- nedføringsrenner
- bekkereguleringer

Detaljer vises på egne tegninger. Disse kan omfatte:

- kumtyper, sluk
- rister og lokk
- grøftesnitt, materialer og plassering
- utkiling for stikkrenner mv.
- spesielle drens løsninger

402.23

For utarbeidelse av drensplan inkl. bruk av symboler, eksempler på tegninger, detaljopplysninger for ledninger og kummer mv., se Håndbok R700 *Tegningsgrunnlag* (Ref. 7).

Byggeplanens C-tegninger, ev. D-tegninger, danner grunnlag for dreneringsplaner (G-tegninger). Dreneringsdetaljer kan også være aktuelle på andre tegninger, for eksempel F-, H-, J-, K-, U-, X- og Y-tegninger.

F-tegningene viser typiske tverrprofil (normalprofil). H-tegningene viser alle offentlige og private VA-ledninger. For enkelte anlegg kan det være aktuelt å slå sammen G-tegningene og H-tegningene.

Planer for større vanngjennomløp i betong og andre konstruksjoner som krever særskilte statiske beregninger hører inn under K-tegninger.

Drensplanen skal angi dimensjoneringsmetode og datagrunnlag for den hydrauliske dimensjoneringen.

403. Funksjonskrav og andre viktige krav

403.1 Funksjonskrav

Veganleggets avvannings- og dreningssystem skal være funksjonsdyktig under aktuelle vær- og klimaforhold året gjennom, og i hele veganleggets levetid. Dreneringen skal:

- sikre planlagt bæreevne
- sikre avrenning fra kjørebane/skuldre
- sikre mot skader ved oversvømmelse
- sikre mot ras, utglidning, erosjon som følge av overflatevann eller vann i grunnen

Risikonivå og returperiode, og behov for alternative flomveger
Sikkerhetskravene (risikonivå) til avvanningssystem, dreneringssystem og sikringstiltak som bygges inn i veganlegg skal differensieres avhengig av hvor alvorlige konsekvenser en kan få av oversvømmelse, erosjon eller andre skader på vegkonstruksjon og vegområdet og tilstøtende arealer. Kravene skal være avhengig av den enkelte vegrutes samfunnsmessige betydning (trafikkmengde, trafikktype, reelle omkjøringsmuligheter og vegens betydning som trafikkåre m.v.). Se også NVE retningslinjer nr. 2/2011 Flaum- og skredfare i arealplanar (Ref. 20).

Ved beregning av dimensjonerende avrenning og flomvannstand bør minimum returperiode være som vist i figur 403.1. Ut fra lokale forhold bør en kritisk vurdere valg av returperiode og nedbørintensitet ved utforming og dimensjonering av avvannings-, drenerings- og sikringssystemene. Det er viktig også å vurdere alternative flomveger for avrenningstilfeller med større vannføring enn den dimensjonerende. Alternative flomveger bør også vurderes for det tilfelle at deler av den valgte løsningen mister kapasitet (for eksempel dersom en stikkrenne går tett).

Veg-/dreneringselement	Valg av returperiode for nedbør ¹⁾	
	Veg med omkjøringsmuligheter	Veg uten omkjøringsmuligheter
Rister, sluk, overvannsledning, terrenggrøfter - LANGS VEIEN	50 år	100 år
Kulvert, innløp, utløp, nedføringsrenne - PÅ TVERS AV VEIEN	100 år	200 år
Sikring av nye eller justerte elve- eller bekkeløp ²⁾	100 år	200 år

- 1) I områder hvor overvann fra veg skal tilknyttes kommunale/lokale overvannssystemer skal kommunale/lokale dimensjoneringsregler følges.
- 2) NVE skal kontaktes ved endring av vassdrag.

Figur 403.1 Returperiode (gjentaksintervall)

403.1

Flomveg

Flomveg er et alternativt "løp" som vannet kan ta dersom det ordinære dreningssystemet ikke klarer å ta unna for eksempel på grunn av gjentetting, eller uforutsette vannmengder.

Returperioder

Returperiode (gjentaksintervall) er uttrykk for hvor ofte (hvert n-te år) det inntreffer flom til et visst nivå eller nedbør med en viss intensitet, ut fra statistiske vurderinger av nedbørs- og avrenningsobservasjoner.

Se også kap. 405.

Nedbørintensitet og avrenning

Om nedbørintensitet og beregning av avrenning, se kap. 405.

403.1

Klimaendringer

Historiske data må ikke alene legges til grunn for beregning av returperioder. Dimensjoneringen skal ta hensyn til forventede klimaendringer.

Konsekvensene for veg og vegtransport er belyst i et arbeidsdokument for Nasjonal Transportplan 2010-2019: *Virkninger av klimaendringer for transportsektoren* (Ref. 30).

Se også rapport nr. 162/2008 *Klimatilpasset overvannshåndtering* fra Norsk Vann. Nærmere opplysninger, se www.norskvann.no

403.3

Noen aktuelle referanser:

- Veiavrenning og vannforurensning, Internasjonale krav til utslipp av overvann fra vei. Statens vegvesen/Geofuturum AS, november 1996
- Utslipp av overvann fra vei – miljømessige konsekvenser og aktuelle tiltak. Rapport fra studier støttet av NVF. Svein Ole Åstebøl, mars 1998

403.31

Lokale forhold kan omfatte biologiske forhold, tungmetaller i vann og i slitasjeprodukter (fra stein, asfalt etc.), mekanisk forurensning (slam, sand, leire fra grøfter og skråninger, etc.).

Returperioder skal baseres på anerkjente statistiske metoder. Nedbørdata med tilhørende returperiode skal være kvalitetssikret av Meteorologisk institutt. Returperioder for flom skal være godkjent av NVE. Om beregning eller måling av avrenning, se kap. 405.

403.2 Eksisterende nedstrøms drencsystem og vegens drenering

Det skal vurderes om det er nødvendig med tiltak nedstrøms for å bremse eller fordele vannet til områder som tåler belastningene.

Tiltak som medfører endringer i vassdrag er konsesjonspliktig i henhold til Vannressursloven, kfr. pkt. 402.1 og 402.2.

Ved inngrep som fører til endring i avrenningsforholdene og mulighet for overbelastning av etablerte, lukkede drenc- eller overvannssystemer nedstrøms, kan det være aktuelt å:

- opprettholde samme avrenningsforhold etter utbygging som før utbygging ved hjelp av avrenningshindrende tiltak som for eksempel fordrøyningsbasseng (åpent eller lukket), infiltrasjon osv.
- øke kapasiteten for nedstrøms system, for eksempel ved å anlegge parallell ledning langs kortere eller lengre deler av systemet eller ved å lede vannet via ledning til vassdrag.

403.3 Miljøtiltak

403.31 Generelt

Overvann fra veger er ofte forurenset. Mengden av forurensning varierer over året med trafikkbelastning, saltingsrutiner, type vegdekke, piggedekkbruk, klimatiske forhold mv. Forurensningen er vesentlig bundet til partikler. Forholdene i resipienten og trafikkmengden vil være viktige kriterier som utløser behov for rensing av overvann, og valg av løsninger.

Vannbeskyttelsestiltak iverksettes der avrenning fra veganlegget kommer i konflikt eller kan komme i konflikt med nasjonale lover og forskrifter, internasjonale konvensjoner, verneområder, områder med spesiell betydning mht. bruk av vannressurser kommersielt, potensielle drikkevannskilder eller områder med stor lokal betydning for dyrelivet.

Vannbeskyttelse skal skje i forståelse med lokale eller regionale forureningsmyndigheter.

Funksjonskrav for det enkelte anlegg skal fastsettes ut fra de lokale forhold og det formelle lov- og regelverk som er aktuelt på stedet.

403.32 Typer av tiltak

Rensetiltak

De mest aktuelle renssetiltak er naturbaserte løsninger som sedimentasjonsbasseng og infiltrasjon. I tillegg til rensseffekten gir slike basseng mulighet for å fange opp eventuelle uhellutslipp og har en avdempende virkning på videreført vannføring. Det kan også være aktuelt med renssetiltak for av-

renning under anleggsperioden, for eksempel partikkelavrenning fra massedeponier.

Salting av veger kan gi høye saltkonsentrasjoner i overvannet under mildværsperioder og snøsmelting. Salt fjernes ikke fra vannet ved vanlige rensesiltak. I tillegg vil salt øke løseligheten for mange metaller.

Krav til anleggsdrift og utslipp av overvann i anleggsfasen behandles av miljøvernmyndigheten og fastsettes i medhold av forurensningsloven. (For tunneler kreves det normalt tillatelse for utslipp fra anleggsfasen/drivingen og for utslipp av avløpsvann fra renhold i driftsfasen.)

Bortledning

Der hvor kravene til beskyttelse er spesielt strenge samtidig som det finnes en motstandsdyktig resipient med stor fortynningskapasitet i nærheten kan vannet ledes i grøfter eller rør utenom det området som skal beskyttes. Dette tiltaket kan kombineres med rensaneanlegg.

Sedimentasjonsanlegg

Sedimentasjonsbasseng er dammer eller grøfter hvor hovedpoenget er å gjennom dammens/grøftens utforming maksimere sedimentasjon av partikler. Sedimentasjonsbasseng består av et forkammer hvor de tyngste partiklene felles ut, og et hovedkammer hvor vannhastigheten er lav nok til at også små og lette partikler synker til bunnen.

Våtmarksanlegg

Våtmarksanlegg er i prinsippet et sedimentasjonsbasseng/grøft kombinert med en våtmark hvor vannet blir renses både gjennom sedimentasjon og biologisk rensing.

Infiltrasjon

Infiltrasjonsanlegg kan deles i to grupper: infiltrasjon i grunn (filtrering gjennom sandmasser) og filterløsninger (for eksempel filter av spesialbehandlet tremasse, bark, kull eller lignende i kummer eller andre steder med begrenset og klart avgrenset vannstrøm).

Der hvor det er spesielle krav til rensing eller det er liten plass til andre typer rensaneanlegg kan tekniske løsninger som for eksempel filterløsninger eller lignende velges.

Tilrettelegging for fisk og småvilt

Langs vassdragene er det ofte forekomster av fisk og småvilt. Ved omlegging av bekkeløp og bekkelukking kan det være nødvendig å legge forholdene til rette for å opprettholde fiskeforekomsten og etablere passeringsmulighet for småvilt. Løsninger kan for eksempel bestå i å etablere strykstrekninger og kulper i bekkeløp og strømkonsentratorer og gangbar hylle ("catwalk") for mindre viltarter i kulverter.

Mange kulverter og stikkrenner står tørre i lengre perioder og kan gi utmerkede passeringsmuligheter for mindre viltarter som ellers ville ha krysset på vegbanen. Plassering og dimensjonering av stikkrenner/kulverter

403.32

Se også DN håndbok 22-2002 *Slipp fisken fram!* (Ref. 22). Håndboken gir mye nyttig informasjon:

- Lover og regelverk
- Fiskearter og –biologi
- Tiltak for å sikre at vanngjennomløp utformes slik at de ikke hindrer fiskens vandringsmuligheter
- Beregningsmodeller for vannføring og vannhastigheter
- Forslag til praktiske løsninger

403.33

Beskyttelse kan være aktuelt for eksempel for gyteplass for fisk, drikkevannskilde, vanningsplass for husdyr.

403.41

Overvann fra vegger er forurenset. Graden av forurensning varierer med blant annet trafikkmengde, type vegdekke, piggdekkbruk, saltingsrutiner og klimaforhold.

samt bruk av inntaksgitter og viltgjerder bør tilpasses en slik funksjon der dette er ønskelig.

403.33 Dimensjonering

Dimensjonering av vannbeskyttelsestiltak gjøres på bakgrunn av følgende kriterier:

- Behovet for beskyttelse/grad av beskyttelse (hva skal beskyttes)
- Vegens areal
- Forventet nedbør, avrenningsmengder
- Trafikkbelastning og kjemikaliebruk (for eksempel salt)
- Forventet masseføring (slam, sand mv.)
- Eventuelle spesielle forhold

Om utforming og dimensjonering av rensetiltak, se pkt. 403.4.

403.4 Rensetiltak: Utforming og dimensjonering

403.41 Generelt, grunnlag for valg av renseløsning

Rensetiltak for overvann etableres når avrenning fra veg kommer i konflikt med naturverdier som vassdrag, dyre- og planteliv. Avklaringer omkring tiltaksbehovet gjøres i planfasen for nye veganlegg.

I etterfølgende tekst beskrives den tekniske utformingen av aktuelle renseløsninger:

- Vått overvannsbasseng
- Infiltrasjons- og filterløsninger
- Våtmark
- Tekniske renseanlegg (lukkede, underjordiske anlegg)

Alle de omtalte renseløsninger har potensial for høy renseeffekt og lavt driftsbehov med unntak av drift av tekniske anlegg. Anleggstypene fjerner ikke vegsalt i overvannet. Renseløsninger for overvann fra veg er ytfyllende beskrevet i Statens vegvesens rapport nr. 295 (Ref. 31).

Valg av type løsning er avhengig av de stedlige forholdene. De våte løsningene (vått basseng og våtmark) forutsetter at anleggene har tett bunn for å opprettholde permanente vannspeil enten basert på stedege tette masser eller bruk av membran. Våtmark er mer arealkrevende enn vått basseng og det kan være gunstig å benytte fuktige arealer til dette formålet.

Infiltrasjonsløsning forutsetter stedege løsmasser med tilfredsstillende infiltrasjonskapasitet (egnet korngradering). Valg av infiltrasjon forutsetter at det ikke medfører konflikter med andre nærliggende brukere av grunnvann (vannforsyning etc). Filteranlegg forutsetter tilkjøring av filtermasse. Tekniske renseanlegg er særlig aktuelle i byområder med arealknapphet. Her vil hensynet til annen infrastruktur og behovet for driftstilsyn påvirke løsningsvalg.

403.42 Grunnlag for dimensjonering

Dimensjoneringen av anleggene baserer seg på data om tilrenningsareal (feltareal) og nedbørdata (kfr. kap 405). Dimensjonering av renseanlegg skal gi vannvolum (m^3) i motsetning til dimensjonering av ledninger som opererer med vannføring (l/s). Tilrenningsareal er det arealet (A) som har avrenning (tilfører vann) til renseløsningen. Dimensjoneringen baserer seg på en faktor kalt redusert areal (A_{red} , i hektar, ha).

$$\text{redusert areal } (A_{red}) = \text{tilrenningsareal } (A) \times \text{avrenningsfaktor } (C)$$

hvor C er lik avrenningsfaktor dvs. andel av nedbøren som renner av fra en flate. C varierer for ulike arealstyper (kfr. figur 405.2, C velges i nedre del av intervallene).

403.43 Funksjonskrav til renseløsninger

Viktige funksjonskrav til renseløsninger:

- Dimensjonering for fordrøyning tilpasses forholdene i nedstrøms vassdrag eller ledningsnett.
- Dimensjonering for rensing tilpasses resipientkravene
- Anlegget skal ha enkel adkomst for maskinelt utstyr for drift og vedlikehold. Anlegget utformes slik at drift kan utføres på en enkel og effektiv måte. Ordinær drift vil bestå av kontroll av inn- og utløpets funksjon, kontroll av overløp og fjerning av sediment fra forsedimenteringsbasseng.
- Anlegget skal fungere gjennom hele året (det må tas hensyn til betydningen av snø/is).
- Utforming av anlegg skal ivareta hensynet til sikkerhet for barn
- Utforming av anlegg skal gis en god landskapsmessig tilpasning - anleggene skal fremstå som naturlige elementer og ikke som tekniske anlegg. Masseforflytning, terrengforming og vegetasjonsetablering er sentrale faktorer i utformingen.
- Funksjonskrav til anleggselementer skal testes i anleggsfasen.
- Overvannssystemet skal sikre at alt vegvannet transporteres frem til renseanlegget. Transportsystemets tetthet testes i anleggsfasen
- Overvann fra naturområder (rent vann) avskjæres fra tilrenning til renseanlegget.
- Anlegget utformes med nødoverløp i forkant av anlegget for å beskytte anlegget ved ekstreme avrenningsforhold og overløp i anlegget som trer i funksjon når magasineringsvolumet er fullt.

403.44 Vått overvannsbasseng

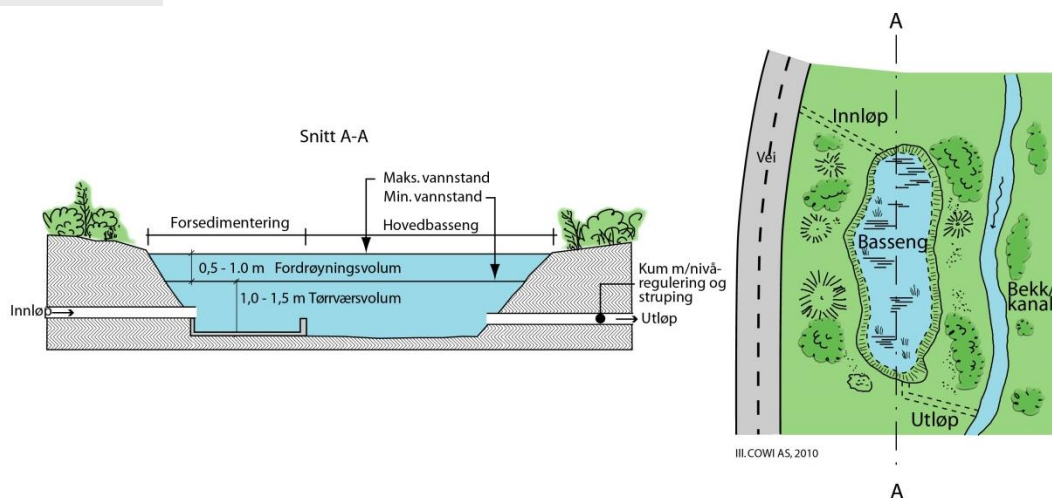
403.441 Utforming

Et vått overvannsbasseng består av 2 volum; tørrværsvolum og fordrøyningsvolum (magasineringsvolum), se figur 403.2. Tørrværsvolum er det permanente vannvolum i dammen (viktigst for rensingen). Fordrøyningsvolum er det volum som kan magasinere/fordrøye vann mellom høyeste og laveste vannstand.

403.42

Tilrenningsareal er det arealet som har avrenning til et gitt punkt (= nedbørfelt).

Nedbørdata kan hentes fra <http://eKlima.met.no>



Figur 403.2 Utforming av vått overvannsbasseng

Krav til utforming:

- Dybde 1-1,5 m i tørrvær
- Dykket inn- og utløp (islegging, oljeavskilling akutte utslipp), struping av utløp (kfr. VA/miljøblad nr 70)
- Forsedimentering m/energidreper (med utforming og tilgjengelighet som muliggjør slamfjerning), integreres i hoveddammen eller anlegges separat
- Lengde/breddeforhold 3:1 – 4:1
- Fall sideskråninger over vannspeil 1:4 (pga. sikkerhet for barn)
- Tett bassengbunn
- Landskapsmessig tilpasning av dammen
- Overløp i forkant av bassenget og fra selve bassenget

403.441

God landskapsmessig tilpasning er viktig. Alt for mange anlegg har dårlig utforming pga. dårlig landskapstilpasning.

403.442 Dimensjonering av tørrvæsvolum

Bestemmelse av hovedbassengets tørrvæsvolum (permanente vannvolum) baseres på midlere regnepisode på det stedet anlegget skal plasseres. Sammenhengen mellom tørrvæsvolum (V), avrenningsvolum fra middelregn (v) og renseseffekt er vist i figur 403.3. Middelregn (midlere regnepisode) beregnes ut fra flerårige målinger av enkeltregnepisoder som er tilgjengelig fra met.no sitt stasjonsnett for korttids nedbørmålinger. Definisjonen av regnhendelse som grunnlag for beregning av middelregnet er at hendelsen er $>0,4$ mm og at oppholdet mellom to hendelser er minimum 1 time.

Bestemmelse av tørrvæsvolum skjer ved at man for utvalgt stofftype (TSS eller TP) bestemmer ønsket rensesgrad og ut fra dimensjoneringskurven figur 403.3 bestemmer volumfaktoren $n=V/v$. Med kjennskap til middelregnet kan man følgelig bestemme tørrvæsvolumet $V = n \times v$. Med nevnte dimensjonering vil forventet klimautvikling bare marginalt redusere renseseffekten i våte basseng.

I situasjoner med begrenset arealtilgang og/eller moderate resipientkrav, kan det være aktuelt å redusere volumet i hovedbassenget og samtidig oppnå en tilstrekkelig rensesgrad.

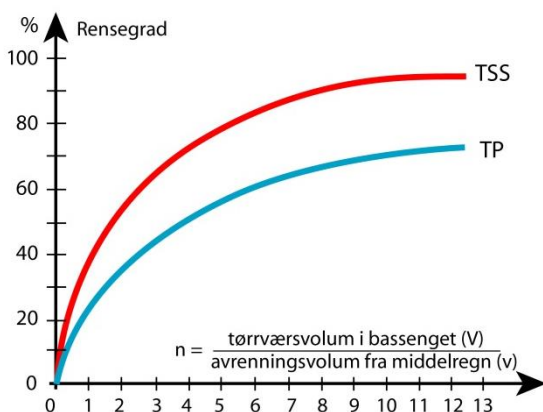
Rensegrad for suspendert stoff (TSS) ved redusert tørrværsvolum:

- Anbefalt volum for høy rensing (n=6) gir rensing på 80-85%
- 50 % av anbefalt volum (n=3) gir 65 % rensing
- 25 % av anbefalt volum (n=1,5) gir 45 % rensing

Tørrværsvolumet i forsedimenteringsenheten beregnes normalt til 10% av hovedbassengets tørrværsvolum.

Rensegrad for andre typer forurensningsstoffer (figur 403.3):

- PAH og olje tilsvarende kurven for TSS
- tungmetaller tilsvarende kurven for TP



Figur 403.3 Sammenheng mellom volumfaktor (n) og rensing (%) for ulike typer forurensning, TSS (suspendert stoff, partikkelmengde) og TP (total fosformengde). 1 mm nedbør gir avrenningsvolum 10 m³ pr. redusert ha.

403.443 Dimensjonering av fordrøyningsvolum

I forhold til rensfunksjonen er det ikke behov for fordrøyningsvolum i et vått basseng. Behovet er hydraulisk betinget av forholdet til nedenforliggende resipient eller ledningsanlegg. Utløpsmengden fra bassenget tilpasses den naturlige avrenningen fra feltet før utbygging eller til kapasiteten til nedstrøms ledningsanlegg. Volumet bestemmes av forskjellen mellom dimensjonerende innløps- og utløpsmengde. Det henvises til beregningsmetode i VA-miljøblad nr 69.

403.45 Infiltrasjon i stedlige masser

403.451 Utforming

Et infiltrasjonsbasseng består av en infiltrasjonsflate og et magasineringsvolum. Overvannet infiltreres og renses i stedegne løsmasser (figur 403.4).

403.442

middelregn = midlere regneperiode (Meteorologisk Institutt kan bistå med å beregne middelregnet).

Hvilken rensing som skal velges avhenger av de lokale forhold.

Eksempel på bruk av middelregnet

Basert på tilrenningsareal og avrenningskoeffisient beregner man det reduserte arealet (A_{red}) for rensanlegget.

Ønsker man eksempelvis en dimensjonering som svarer til høy rensing tilsvarende 80-85% rensing av suspendert stoff (TSS), fremgår det av figur 403.3 at n=6. Figuren viser at økning av n (>6) gir relativt sett liten økning i rensingen i forhold til økningen i volum.

For Oslo (nedbørstasjon Øvrevoll) og Vestfold (nedbørstasjon Torp) er middelregnet henholdsvis 3,6 mm og 4,5 mm ($v = 36$ og 45 m^3 avrenning pr redusert ha).

Beregnet tørrværsvolum blir:

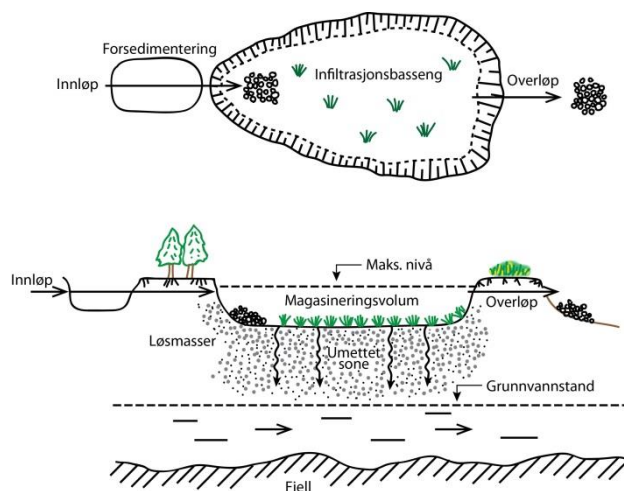
Oslo:

$$V = n \times v = 6 \times 36 = 220 \text{ m}^3 \text{ pr red. ha}$$

Vestfold:

$$V = n \times v = 6 \times 45 = 270 \text{ m}^3 \text{ pr red. ha}$$

Hovedbassengets tørrværsvolum (m^3) = $V (\text{m}^3/\text{ha}_{red}) \times A_{red} (\text{ha}_{red})$

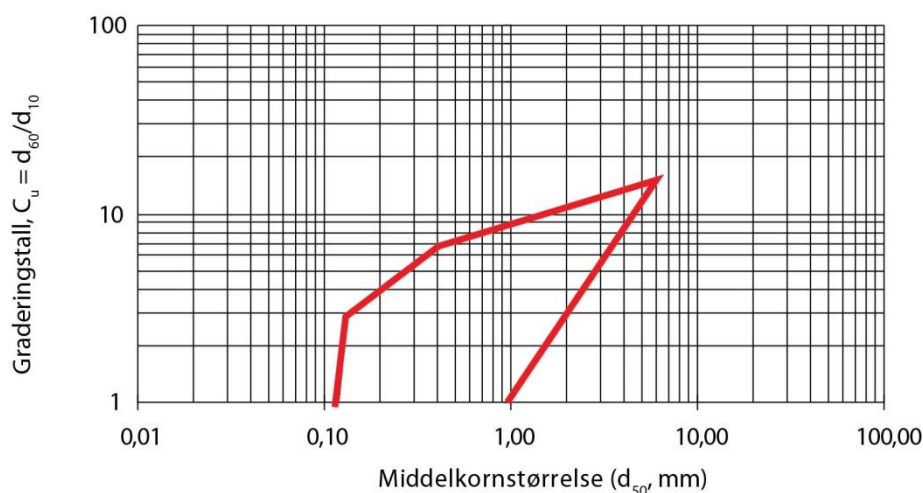


Figur 403.4. Utforming av infiltrasjonsbasseng (plan og tverrsnitt)

Krav til utforming:

- Infiltrasjonsmasser i grunnen iht. infiltrasjonsdiagram (figur 403.5)
- Grunnavannet bør ligge min. 1 m under infiltrasjonsflaten
- Forsedimenteringsdam m/dykket utløp for tilbakeholdelse av slam og olje
- Overløp fra bassenget (flomveg)
- Grasdekt infiltrasjonsflate
- 5 volum-% organisk materiale blandes inn i øverste jordsjiktet (30 cm)
- Landskapsmessig tilpasning av anlegget
- Infiltrasjonsoverflaten må ikke pakkes under bygging

Infiltrasjonsdiagram



Figur 403.5 Grensekurver for anbefalte filtermasser i infiltrasjonsanlegg. Filtermasser som ligger innenfor rød grensekurve samt har $d_{10} > 0,1$ mm og maks 2-3 % $< 0,063$ mm, er tilfredsstillende.

403.452 Dimensjonering

Dimensjoneringen av magasineringsvolumet baseres på tilført overvannsmengde fra regneepisode med et gjentakintervall på 1-2 år. Bassengets over-

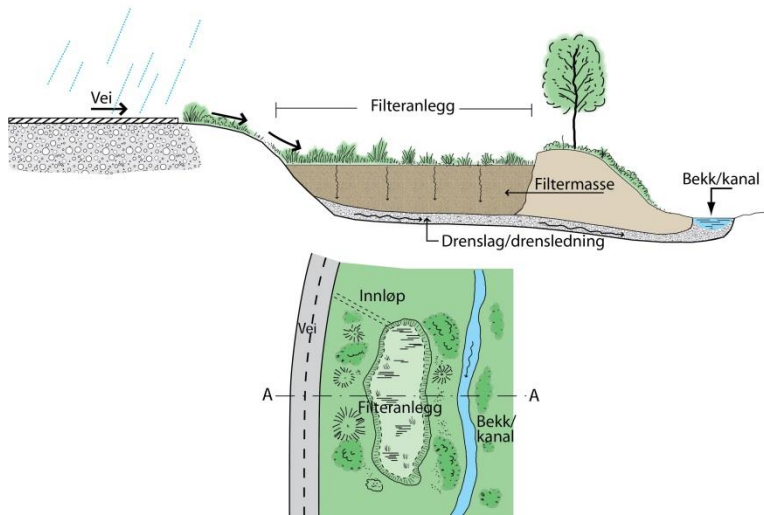
flateareal er bestemt av magasineringsvolum og vanddybden i bassenget. I beregningene kan infiltrasjonskapasiteten settes til 2-4 m/døgn. I denne faktoren er det tatt hensyn til virkningen av tilslamming av infiltrasjons-overflaten over tid.

I figur 403.5 er det tatt hensyn til at massene innenfor grensekurven skal ha minst like høy infiltrasjonskapasitet som overflatelaget. Infiltrasjonskapasiteten avtar mot venstre i diagrammet, mens renseevnen øker.

403.46 Åpen filterløsning

403.461 Utforming

Et åpent filterbasseng har samme utforming, funksjon og dimensjonering som et infiltrasjonsbasseng. Forskjellen er at filteret er bygd opp av tilførte masser i stedet for stede egne masser. Normalt må det rensede vannet dreneres ut under filteret hvis undergrunnen ikke har tilstrekkelig dreneringsevne (figur 403.6). For øvrig beskrivelse, se pkt. 403.45.



Figur 403.6. Utforming av åpent filterbasseng (plan/snitt)..

403.47 Filtergrøft

403.471 Utforming

I filtergrøfter infiltreres overflatevannet i grøfta. Toppsjiktet i grøfta bygges opp av jordmasser med god dreneringsevne (figur 403.7). Kravet til filtermassenes sammensetning fremgår av figur 403.5. Filtermassen tilsettes vekstmedium bestående av 5 volum-% næringsfattig lite omdannet torv. Grøfta tilsås med gras. Grasdekke er viktig for å opprettholde infiltrasjons-evnen over tid. Mellom filtermassen og underliggende masser legges det et separasjonslag/filterlag (se kap. 521). Det anbefales å benytte naturlige masser som separasjonslag. Bruk av fiberduk kan medføre fare for gjentetting av duken og redusert infiltrasjonskapasitet.

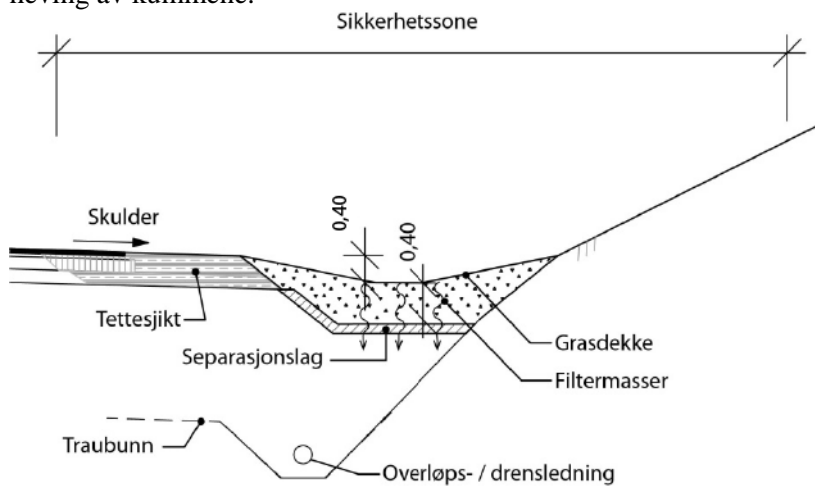
I byggefasen må man unngå at filtermassen i grøfta komprimeres (pakking ved utlegging, kjøring med maskiner etc). Det er viktig å få til vegetasjons-etablering i skjæringer før filtermassen legges ut slik at man unngår

403.452

Infiltrasjonsevne eller vann-gjennomtrengelighet navnesettes ulikt, her er det valgt å benytte *infiltrasjonskapasitet*. Vanlig enhet er lengde pr tidsenhet (mm/time, m/døgn = synkehastighet for et fritt vannspeil). Dette kan omregnes til arealbelastning: $1 \text{ m/døgn} = 1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{døgn})$.

tilslamming med erosjonsmateriale. I skjæringer må terregnvann avskjæres på skjæringstopp for å begrense tilrenningen til grøfta.

Grøfta må ha overløp som trer i funksjon når avrenningen til grøfta overskrider grøftas infiltrasjonskapasitet. Overløpet kan bestå av utledning til terreng i lavbrekk eller overløp via sandfang som er tilknyttet kombinert overløps- og drensledning. For å oppnå fordrøyning (magasinerings) utformes grøfta med lave terskler i grøfta nederst i hvert kumstrek kombinert med heving av kummene.



Figur 403.7. Eksempel på utforming av infiltrasjonsgrøft

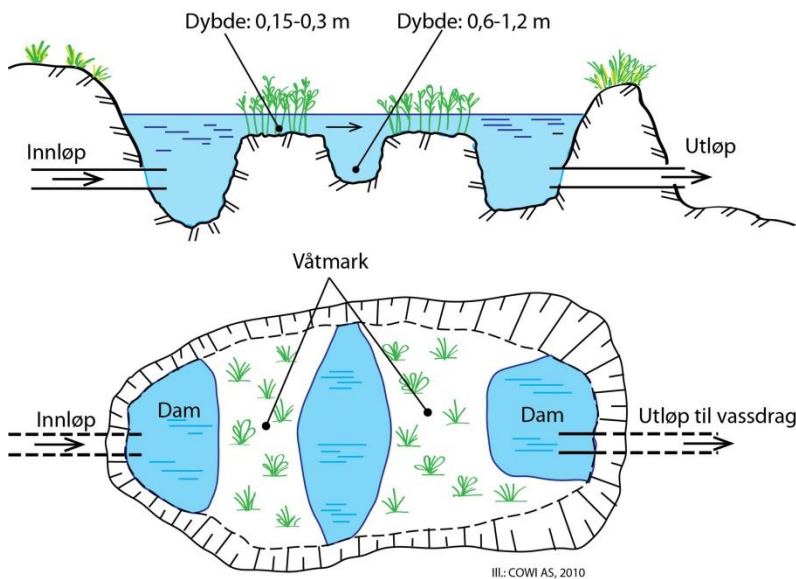
403.472 Dimensjonering

Grøftearealet (bredde/dybde) er bestemt av gjeldende krav til grøfte-utforming (sikkerhetskrav mv). Infiltrasjonskapasiteten kan økes ved å øke bunnbredden i grøfta. Fordrøyningsvolumet bestemmes av grøftetverrsnittet, høyden på terskler i grøfta og lengdefallet i grøfta.

403.48 Våtmark

403.481 Utforming

En våtmark er kjennetegnet ved tett vegetasjon på våte områder med generell liten og varierende vandedybde (15-30 cm). I en våtmark kan det forekomme arealer med fritt vannspeil og dybder tilsvarende vått basseng og arealer over vannspeilet, men de våte grunne områdene med tett vegetasjon er dominerende (60-80% av overflaten) (figur 403.8).



Figur 403.8. Prinsippskisse av kunstig anlagt våtmark (plan/snitt).

403.482 Dimensjonering

I en våtmark er det store variasjoner i de fysiske og biologiske forhold. En våtmark er komplisert mht renseprosesser og dette gjør løsningen vanskeligere dimensjonerbar som rensetiltak. Anleggstypen er mer arealkrevende enn vått basseng. Anleggets overflateareal dimensjoneres tilsvarende minimum det dobbelte av arealet for vått overvannsbasseng. Ved en slik dimensjonering vil rensegraden ligge på minst samme nivå som for vått basseng. Fordrøyningsvolumet dimensjoneres tilsvarende som for vått basseng.

403.483 Landskapsutforming

Anlegget tilpasses de lokale omgivelsene mht. landskapsutforming og vegetasjonstyper. Våtmarka skal ha et magasineringsvolum og det er hensiktsmessig at anlegget har en bassenglignende utforming. Anleggstypen er egnet til å utnytte lavtliggende og forsumpede områder.

403.49 Tekniske rensanlegg

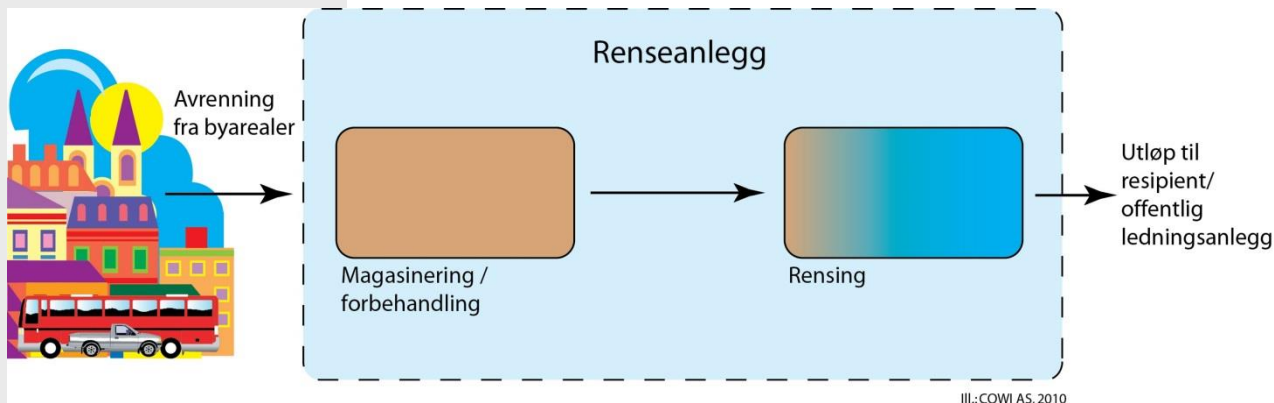
403.491 Generelt

Situasjoner med arealknapphet som i byområder, setter krav om kompakte løsninger for rensing. Løsningene får en mer teknisk utforming og vil for enkelte løsninger kreve mer vedlikehold. Følgende hovedtyper av renseløsninger er aktuelle i områder med begrenset arealtilgang (figur 403.9):

- Vått overvannsbasseng og filterløsning (sandfilter) utformet som lukkede tekniske løsninger
- Ballastet flokkulering (kjemisk felling) utformet som lukket kompakt rensanlegg

403.481

Figuren har noe forregnede proporsjoner. Andelen grunne områder må være relativt store.



Ill.: COWI AS, 2010

Figur 403.9. Rensing av vegvann i byområde.

403.492

Man vil ofte kunne få god effekt av å behandle kun "first flush"-mengdene dersom det er vanskelig å få til rensing av etterfølgende avrenning.

403.492 Dimensjonering

Vått basseng og filterløsning kan dimensjoneres som beskrevet under pkt. 403.44 og 403.46. Der arealkravet blir kritisk, anbefales at fenomenet "first flush" legges til grunn for dimensjoneringen dvs. at første del av avrenningen fra vegen er mer forurenset enn den senere avrenningen. Første del av avrenningen ledes til rensing mens etterfølgende avrenning ledes i overløp uten rensing eller bare gjennomgår forbehandling.

Dimensjoneringen av magasineringsvolumet baseres på arealmulighetene på stedet og kravet til rensing (resipientkravet):

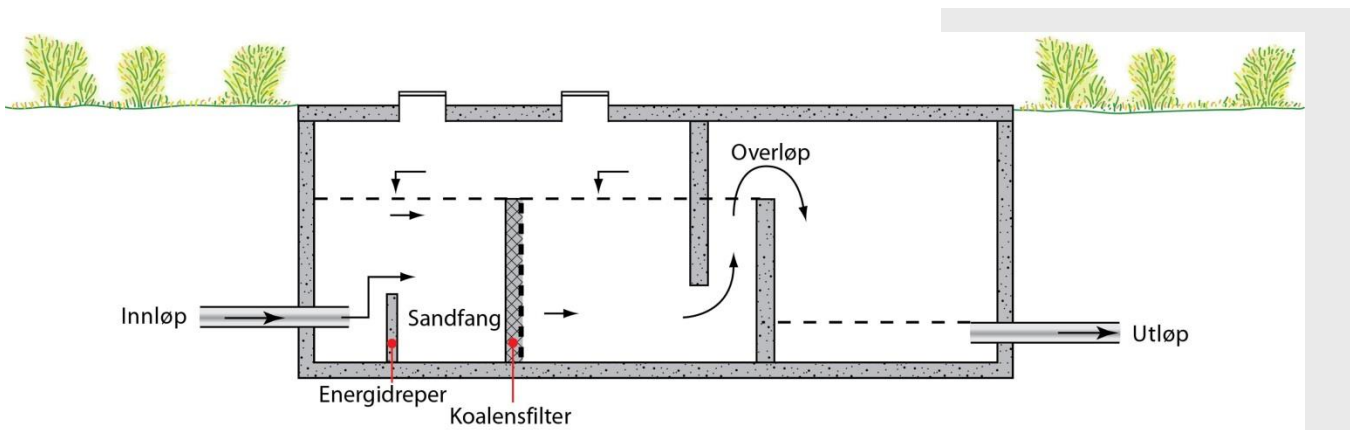
- *Begrenset rensing er påkrevet (moderate resipientkrav).*
De første 6-8 mm av regnmengden renses.
- *Utvidet rensing er påkrevet (høye resipientkrav).*
Minimum de første 10-15 mm av regnmengden renses.
- *Rensing i forhold til valgt gjentakperiode (høyt nivå for rensing).*
Kapasiteten i anlegget bestemmes ut fra rensing av alt avløp for en valgt gjentakperiode (for eksempel 1 år).

403.493 Forbehandling

Tekniske renseløsninger krever en forbehandling av overvannet før hovedrensetrinnet. I forbehandlingen tilbakeholdes partikler og olje som bidrar til å redusere vedlikeholdsbehovet i hovedrenseløsningen. Aktuelle forbehandlingensløsninger er olje- og sandfang og hvirveloverløp.

Olje- og sandfang:

Løsningen utformes som et lukket bassenganlegg (figur 403.10).

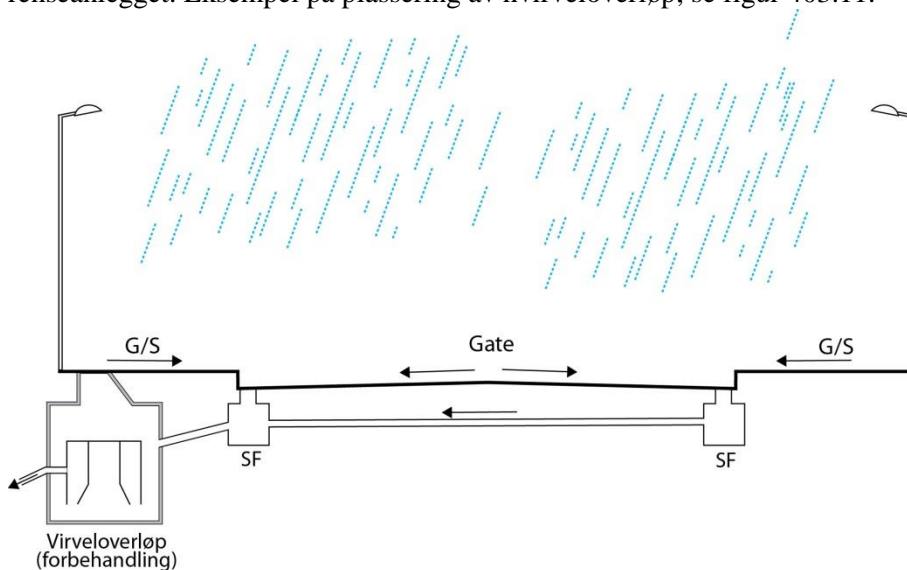


Figur 403.10. Skisse av et sentralt olje- og sandfang med koalensfilter for fjerning av oljepartikler i vannet.

Dimensjoneringen av sandfanget baseres på en oppholdstid på 3-5 minutter under de dimensjonerende betingelser som legges til grunn for rensenanlegget. Dette tilsvarer en vannhastighet på 0,5-0,7 m/minutt.

Hvirveloverløp:

Hvirveloverløp benyttes til fjerning av suspendert stoff (partikler). Det finnes to hovedtyper av løsninger og en rekke undertyper. Dimensjoneringen av anlegget baseres på de dimensjonerende betingelser som legges til grunn for rensenanlegget. Eksempel på plassering av hvirveloverløp, se figur 403.11.



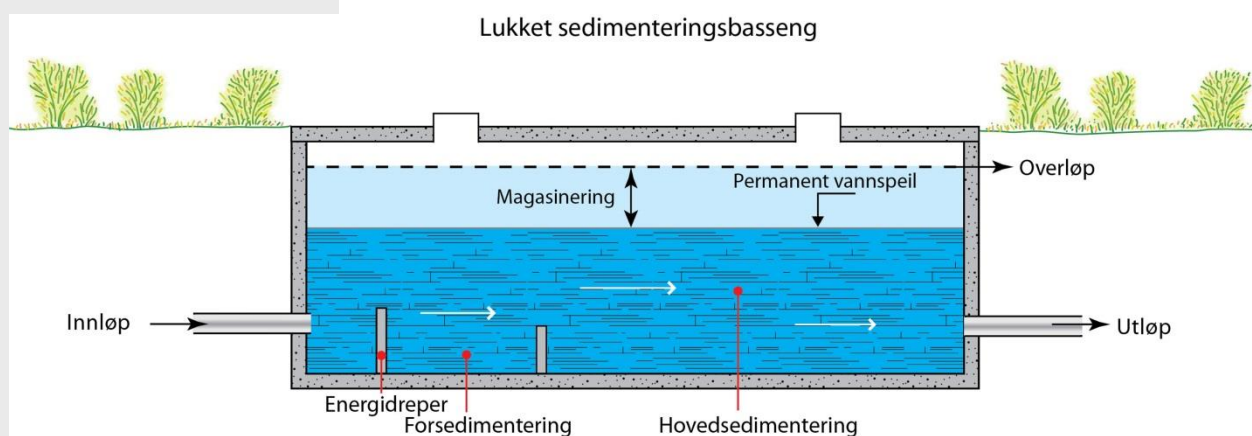
Figur 403.11. Eksempel på plassering av hvirveloverløp i gatesnitt.

403.494 Renseløsning

Lukket overvannsbasseng:

Disse anleggene fungerer etter samme prinsipp som de åpne løsningene (pkt. 403.44), men bygges som tekniske lukkede løsninger (figur 403.12).

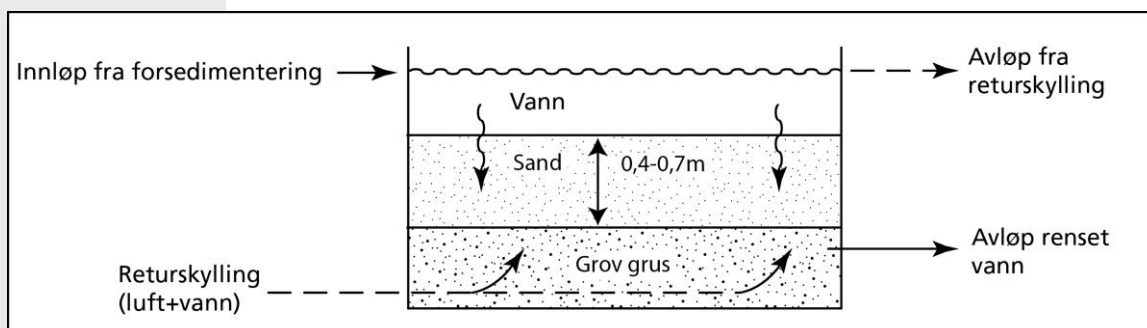
Tørrværsvolumet i bassenget vil tilsvare avrenningsmengden (first flush) multiplisert med det reduserte tilrenningsarealet. Forutsettes rensing av de første 10 mm av regnmengden vil tørrværsvolumet være 10 mm multiplisert med det reduserte tilrenningsarealet. Pr. ha redusert areal blir volumet i dette eksemplet $10 \text{ (mm)} \times 1,0 \text{ (ha)} = 100 \text{ m}^3$.



Figur 403.12. Skissemessig utforming av lukket basseng i betong. Forbehandlingsenhet er integrert i renseløsningen.

Lukket filterløsning:

Lukket sandfilter utformes i prinsippet som åpen filterløsning (figur 403.13). Sand er vanligste filtermateriale, men aktive filtermedier kan kombineres med sand for å binde oppløste forurensninger (tungmetaller). Driften som følge av tilslamming av filteret reduseres ved en effektiv forbehandling og returskylling av filteret. Med returskylling vil den hydrauliske overflatebelastningen ligge på 5-15 m/time, avhengig av forbehandling og rensekraft. Vann fra returskyllinger vil inneholde forurensninger som er samlet opp og må håndteres ut fra dette.



Figur 403.13. Prinsipp for et enkelt nedstrøms sandfilter med returskylling.

Ballastet flokkulering:

Renseløsningen fjerner partikulære og løste forurensninger i overvannet. Metoden består av kjemisk felling med koagulering og flokkulering og etterfølgende sedimentasjon av partiklene. Renseløsningen er basert på tilsetning av fellingskjemikalier. Slike anlegg er normalt automatiserte og

rensprosessene er optimalisert slik at arealkravet til anlegget er lite. Anlegget kan bygges for høy kapasitet og igangsettingen av anlegget til effektiv funksjon (ved regn) oppnås i løpet av få minutter. Vannets oppholdstid i anlegget er ca 10-20 minutter. Anleggstypen kan gi høy renseeffekt. Anlegget krever daglig tilsyn under drift.

Referanser for pkt. 403.4

- COWI AS, 2007: Rensing av overvann i byområder - kompakte renseløsninger (Rapport utarbeidet for Statens vegvesen Vegdirektoratet)
- COWI AS, 2008: Undersøkelse av infiltrasjon og forurensing i veggrøft. Rapport utarbeidet for Statens vegvesen Region øst, E6-prosjektet Gardermoen – Biri
- COWI AS, 2009: Rensing av overvann fra vei i fremtidens klima, 2071 – 2100.
- VA/Miljø-blad nr 69: Dimensjonering av fordrøyningsvolum i dammer (Stiftelsen VA/Miljøblad).
- VA/Miljø-blad nr 70: Utforming av inn- og utløpsarrangementer i overvannsdammer (Stiftelsen VA/Miljøblad).

404. Kvalitetssikring

404.1

Grunnlaget for kvalitetssikring ligger, i plansammenheng, bl.a. i Håndbok R700 *Tegningsgrunnlag* (Ref. 7).

404.2

Konsekvensområder ved valg av dreussystem:

- anleggskostnader
- vedlikeholdskostnader
- trafiksikkerhet
- miljø
- andre konsekvenser
- arealinngrep
- naboforhold
- levetid

Konsekvensområder ved valg av rør- og kumtyper:

- anleggskostnader
- vedlikeholdskostnader
- levetid

404.3

Kontrollomfanget er i prinsippet uavhengig av vegtype og område-type, men vanligvis vil flere forhold berøres i områder med tett og middels tett bebyggelse enn i områder med spredt eller ingen bebyggelse.

404.1 Generelt

Følgende elementer vurderes spesielt:

Prinsippavklaringer

Det skal kontrolleres at valgt løsning er i samsvar med prinsippene i pkt. 401. og 406. Konsekvensvurderinger, se pkt. 404.2. Se også pkt. 402.

Miljøtiltak

Det skal kontrolleres at miljøtiltak er ivaretatt, se pkt. 403.3.

Utsetting og innmåling

Kabler og ledninger legges etter en plan godkjent av vegholder. Kabel- og ledningsanlegg skal innmåles og registreres før grøftene lukkes. Vann- og avløpskummer bør markeres med kumskilt.

404.2 Konsekvensvurdering

Ved valg mellom alternative løsninger (dreussystem, materialer, utførelse) bør det gjennomføres konsekvensvurderinger. Generelt om konsekvensvurderinger og beregning av levetidskostnader, se kap. 032. og 012. Metodikk for beregning av levetidskostnader er gitt i vedlegg 11.

Eksempler på konsekvensvurderinger:

Valg av dreussystem, se pkt. 406.1

- åpent dreussystem
- lukket dreussystem
- fellesanlegg eller separate anlegg for kabler og ledninger

Valg av rør- og kumtyper:

- betong
- plast
- stål
- andre typer

404.3 Kontrollomfang og toleranser

Dokumentasjon av materialer til drenering (rørmateriell, materialer til fundament, sidefylling, beskyttelseslag m.v.) skal foreligge innen de leveres til anlegget.

Drenselementene skal kontrolleres mht. krav og toleranser i byggeplanen (materialer, dimensjoner, prosjektert plassering, høyder, fall, fundamentering, tetthet). Om akseptkriterier, se kap. 0.

Kontrollomfang (hyppighet av kontroll) og toleranser ved bygging er angitt i de enkelte delkapitler 41 t.o.m. 47. Det skal foretas en konkret vurdering av om prosesskodens kontrollomfang (hyppighet av kontroll) og toleranser er de

mest egnede for det aktuelle arbeid, eller om det bør suppleres med spesiell beskrivelse. Spesiell beskrivelse kan utarbeides på grunnlag av kontrollomfang og toleranser gitt i denne normalen.

404.4 Dokumentasjon av utført kvalitet

Om krav til dokumentasjon og datalagring generelt, se kap. 0.

Hvilke data og forhold som skal dokumenteres ved bygging av drenssystemet er gitt i delkapitlene 41-47. I tillegg til dokumentasjon fra byggefase bør de viktigste grunnlagsdata og plandata dokumenteres og lagres, så som:

- hydrauliske data og dimensjoneringsforutsetninger
- beregninger ved store og kompliserte konstruksjoner
- avrenningsberegning (ved store felt) for bekkelukking, stikkrenne etc. hvor beregninger er utført pga. nedslagsfeltets størrelse
- spesielle løsninger/forhold

405. Hydraulisk dimensjonering

405.1 Generelt

Ulike beregningsbehov

Hydraulisk dimensjonering utføres med ulike metoder:

- Forenklet dimensjonering, bruk av minimumsdimensjoner.
- Beregning av vannmengder og dimensjoner med standard formler, kjent risiko og pålitelige inngangsdata.
- Spesielle beregninger:
 - ved store, kompliserte konstruksjoner dersom konsekvensene av feildimensjonering er store.
 - for kulverter i store bekker med sterkt varierende vannføring

Dimensjonerende vannmengder varierer med avrenningsegenskapene til nedbørfeltet. Ved dimensjonering bør det foretas undersøkelser om det foreligger utbyggingsplaner som det må tas hensyn til i dimensjoneringen av overvannsanlegget. Se også neste avsnitt som gir ytterligere grunnlag som kan øke sikkerheten i vannføringsberegninger.

Vannføringsmålinger kan øke sikkerheten i beregningene

I vegprosjekter blir ofte større og mindre bekker berørt og må legges om eller føres i rør over en strekning. Nedslagsfeltene har varierende størrelse, opp mot 10 km² eller enda større. Det er ofte problematisk å bestemme dimensjonerende vannføring i slike vassdrag fordi det er store usikkerheter i alle ledd i beregningsgrunnlaget. For å øke sikkerheten ved valg av dimensjonerende vannføring bør det benyttes flere metoder.

Registrering av vannføring i det aktuelle vassdraget vil være til god hjelp for å "kalibrere" vassdraget mot andre vassdrag hvor det foreligger målinger over lengre tid. Derved er det mulig å utnytte statistiske data fra det målte vassdraget til å få sikrere bestemmelse av vannføring ved en ønsket retur-

405.2

Bruk av minimumsdimensjoner og forenklet dimensjonering i henhold til pkt. 405.2 benyttes bare når konsekvenser ved underdimensjonering er små, eller det er åpenbart at minimumsdimensjon vil være tilstrekkelig.

periode. Måling av korttidsnedbør som kan sammenholdes med målt nedbør i nedbørstasjoner i nærheten kan sammen med vannføringsmåling være en annen metode å sammenlikne opptredende vannføring mot statistiske nedbørdata.

Det er en fordel med så lang måleperiode som mulig og det er viktig at man får med nedbørepisoder med mye nedbør og stor vannføring. Måling kan utføres med enkle metoder, f.eks. innløpsvannstand for stikkrenner (med innløpskontroll). I en bekk/kanal med rolig strøm kan vannføringen beregnes på grunnlag av hastighet, vått tverrsnitt.

405.2 Minimumsdimensjoner for korte stikkrenner

For følgende overvannsanlegg kan det benyttes minimumsdimensjoner i henhold til figur 405.1:

- stikkrenner som dimensjoneres på grunnlag av eksisterende ledningsanlegg med tilstrekkelig kapasitet
- stikkrenner for små nedbørfelt (< 1 ha) i eller nær vegområdet og hvor konsekvenser av underdimensjonering er små

I tvilstilfeller foretas en vanlig dimensjonering i henhold til kap. 405.3 t.o.m. 405.5. Korte stikkrenner bør legges med fall som angitt i figur 405.4

Vegtype	Minimumsdimensjon (innvendig diameter)
H, S	600 mm
A, G/S	400 mm
Avkjørsler	300 mm

Figur 405.1 Anbefalt minimumsdimensjon, stikkrenner

Anbefalingen om minimumsdimensjon som vist i figur 405.1 er begrunnet ut fra kapasitetsmessige og vedlikeholdsmessige forhold. Dimensjonene bør ikke reduseres med mer enn 5 %. Av hensyn til vedlikehold og rensking kan det være aktuelt å øke dimensjonen ved stikkrenner som er lengre enn ca. 15-20 m.

En skjønnsmessig dimensjonering må baseres på god oversikt over og kjennskap til lokale forhold. En bør være oppmerksom på forutsetninger som kan ha endret seg siden eldre/opprinnelig anlegg ble dimensjonert. Øket avrenning kan oppstå ved inngrep og endringer i tilstøtende områder (ulike former for utbygging, bl.a. skogsbilveger, snauhogst, omlegging av bekker o.l.). Øket nedbør avrenning i forhold til dagens dimensjoneringsgrunnlag på grunn av klimavariasjon bør vurderes (se kap. 403.1 og 405.4).

Kulverter og stikkrenner for større bekker o.l. med sterkt varierende vannføring bør alltid dimensjoneres særskilt.

Minimumsdimensjon for overvannsledninger og slukledninger, se pkt. 405.7.

405.2

Spesielle grunner for å bruke mindre dimensjoner enn angitt i figur 405.1 kan f.eks. være:

- at visse rørtyper leveres i standarddimensjoner som er fastsatt i de ulike produktstandarder, f.eks. Norsk Standard eller andre standarder/normer, og som ikke angis i hele 100 mm
- at stikkrennens kapasitet og mulighet for vedlikehold ikke blir vesentlig nedsatt som følge av mindre dimensjon, ev. at det gjennomføres tiltak for å sikre kapasitet og vedlikeholdsmulighet (f.eks. mindre avstand mellom rennene, god utforming av innløp mv.)
- nødvendig tilpasning til eksisterende anlegg
- når sidegrøftens dybde medfører at stikkrenne under avkjørsel ikke får avløp.

405.3 Avrenning fra store felt

For store felt baseres flomberegning på målte vassføringer og statistiske metoder i flomfrekvensanalyser. Ved behov for flomberegninger for større nedslagsfelt anbefales å kontakte NVE's nærmeste distriktskontor eller andre med hydrologisk kompetanse (rådgivende ingeniører mv).

Ved felt større enn 10 km² kan dimensjonering med den rasjonelle formel gi store usikkerheter.

Tiltak i vassdrag kommer inn under vannressursloven og skal utredes og behandles av NVE, evt. konsesjonsbehandles. Kfr. nærmere orientering i kap. 408.

405.4 Avrenning fra små felt

Generelt

Ved avrenningsfelt mindre enn 2-5 km² kan den rasjonelle formel brukes. Den rasjonelle formelen baserer seg på målt nedbør. Avrenningen (Q) er gitt ved:

$$Q = C \times i \times A \times K_f$$

der C = avrenningsfaktor, ubenevnt
i = dimensjonerende nedbørintensitet, l/(s × ha)
A = feltareal, ha (1 hektar = 10 000 m²)
K_f = klimafaktor

Avrenningsfaktoren skal velges ut fra sannsynlig arealbruk i framtida. Det vil si at dersom det er utbyggingsplaner for området så skal det reflektere valget av C-verdi. Figur 405.2 gir noen veiledende verdier for C. Ved sammensatte felt finnes en avrenningsfaktor for hvert enkelt delfelt, og en midlere, veiet avrenningsfaktor beregnes for hele feltet. Se kommentarfeltet.

Overflatetype	Avrenningsfaktor, C
– Betong, asfalt, bart fjell og lignende	0,6 – 0,9
– Grusveger	0,3 – 0,7
– Dyrket mark og parkområder	0,2 – 0,4
– Skogsområder	0,2 – 0,5

Figur 405.2 Avrenningsfaktor C for ufrosset overflate, returperiode 10 år.

For nedbør med returperiode lengre enn n = 10 år økes C-verdiene etter følgende retningslinjer (opp til en maks. koeffisient C = 0,95):

25 år: legg til 10%
50 år: legg til 20%
100 år: legg til 25%
200 år: legg til 30%

Regn på frosset og islagt område og vannmettet grunn, f.eks. etter lengre nedbørsperioder, kan gi avrenning som for "bart fjell".

405.3

Den rasjonelle formel, som ofte brukes for små felt, har svakheter og begrensninger ved store felt. Andre metoder må derfor brukes.

I store nedbørfelt er det ønskelig å ha avrenningsmålinger, eller bygge på tidligere erfaringer fra flomsituasjoner, og sammenligne dette mot forventet nedbørv utvikling.

405.4

Avrenningsfaktor

Valg av avrenningsfaktor C, se figur 405.2. For nærmere vurdering av faktorene kan følgende framgangsmåte brukes:

1. For flate og permeable overflater med stor avstand ned til grunnvannet brukes de laveste verdier i figuren. For mer bratte og tette overflater eller der grunnvannspeilet ofte går opp til overflaten brukes de høyeste verdiene.
2. De lave C-verdiene i figur 405.2 gjelder for regn med varighet kortere enn 1 time og de høye verdiene gjelder for regn med varighet lengre enn 3 timer.

Midlere avrenningsfaktor

Midlere, veiet avrenningsfaktor C for et felt med totalt areal A:

$$C = (C_1 \cdot A_1 + \dots + C_n \cdot A_n) / A$$

der C₁, ..., C_n er avrenningsfaktorene og A₁, ..., A_n er arealene for de ulike delfelt.

405.4**Konsentrasjonstid t_c**

Konsentrasjonstid for naturlige felt (f.eks. skogsområder, ikke utbygde felt):

$$t_c = 0,6 \times L \times H^{-0,5} + 3000 \times A_{se}$$

Konsentrasjonstid for urbane felt (utbygde felt):

$$t_c = 0,02 \times L^{1,15} \times H^{-0,39}$$

der

t_c = konsentrasjonstid, minutter

L = lengde av feltet, m

H = høydeforskjellen i feltet, m

A_{se} = andel innsjø i feltet, forholdstall

Lengden og høydeforskjellen i feltet regnes fra hhv. fjerneste punkt i feltet til utløpet og fra høyeste punkt i feltet til utløpet. Veiledning i bruk av formlene er gitt i litteraturen (Ref. 15).

Nedbørintensitet, IVF-kurver

Om returperioder og klimaendringer, se kap. 403.1. I dag er det få intensitet-varighet-frekvenskurver (IVF-kurver) som går lengre enn til 100 år. Data for 200 års returperiode må i tilfelle bestilles fra Meteorologisk institutt (met.no).

Ved overslagsberegninger kan nedbørintensitet for 200 års returperiode finnes ved å legge til 10% på 100 års nedbørintensitet.

Uansett bør met.no kontaktes for å få opplysninger om nyere, oppdaterte IVF-kurver som er representative for området som skal dimensjoneres. Usikkerheten er stor ved lange returperioder. Det er også viktig å sjekke at nedbørstasjonen som brukes er representativ for det aktuelle området.

Som figur 405.3 viser er nedbørstatistikken for den aktuelle stasjonen basert på en periode på 25 sesonger (1970-1995). Met.no arbeider kontinuerlig med å øke antall nedbørmålere som publiseres på eKlima. En generell regel er at god statistikk for 100-års nedbør kan utarbeides dersom det er basert på nedbørobservasjoner for en periode på minst 25 år (dvs. 25 sesonger).

Dimensjonerende nedbørintensitet (i) finnes på eKlima (se framgangsmåte nedenfor). En forutsetning for å bruke den rasjonelle formel for beregning av maksimalavrenning er at regnvarigheten, t_r , settes lik konsentrasjonstiden, t_c .

Klimafaktoren (K_f)

For hvert prosjekt må det tas et standpunkt til hva klimafaktoren skal være. Klimafaktoren kan ha verdier fra 1,0 og oppover. Klimafaktorer for installasjoner som har en forventet levetid på 100 år er 1,3 for 10 år returperiode for nedbør, 1,4 for 100 år og 1,5 for 200 år returperiode for nedbør. Enkelte kommuner har tatt et aktivt valg om klimastrategi som bør legges til grunn ved valg av klimafaktor for det aktuelle prosjektet.

Usikkerheter ved bruk av den rasjonelle metoden

Det må tas hensyn til usikkerheter når den rasjonelle formelen benyttes. Jo mindre feltet er desto mindre blir usikkerheten. Derfor er metoden best egnet for små felt.

Usikkerhet i frekvenskurven for nedbør:

- Korte dataserier gir usikkerhet for lange returperioder
- De fleste stasjonene måler ikke korttidsnedbør om vinteren

Usikkerhet i overføring av frekvenskurver for nedbørintensitet fra nedbørstasjon til aktuelt felt:

- Kan være lokale forskjeller selv innenfor et relativt begrenset område

Usikkerhet i fastsettelse av avrenningsfaktoren (C):

- Faktoren varierer avhengig av helning på feltet, innsjøareal, avstand til grunnvannet mv.

Usikkerhet fordi frekvenskurvene for nedbør er forskjellige fra frekvenskurvene for avrenning:

- Det er ikke alltid en direkte sammenheng mellom nedbør og avrenning slik formelen viser

Nedbørintensiteter

Nedbørintensiteter som skal benyttes ved dimensjonering av veganlegg skal være kvalitetsgodkjente data fra Meteorologisk institutt (met.no). Nedbørdata hentes fra eKlima (www.eklima.no) dersom representative data for det aktuelle området er tilgjengelig.

For å velge den aktuelle nedbørintensiteten som skal benyttes gjelder følgende inngangsparametere;

- Returperiode i år (n , se figur 403.1)
- Regnvarighet i minutter (regnvarigheten settes lik feltets konsentrasjonstid for beregning av maksimalavrenningen).

Eksempel på utskrift/nedbørdata fra eKlima er vist i figur 405.3.

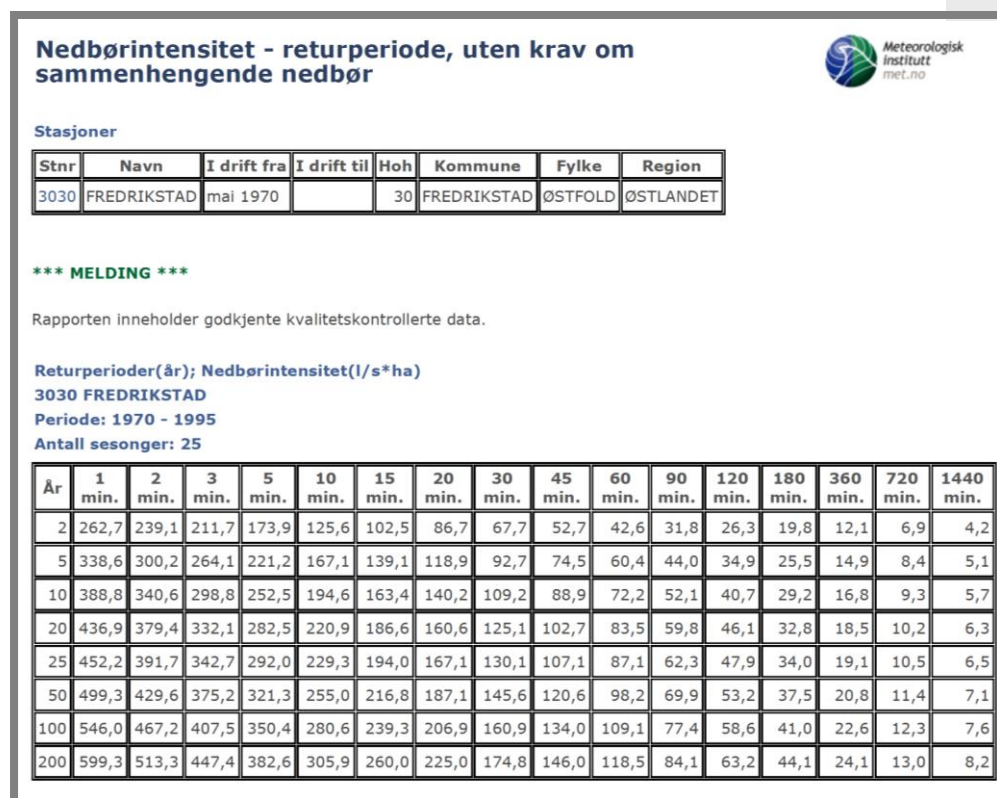
For å komme i gang med eKlima kan man bruke følgende framgangsmåte:

Kort beskrivelse for bruk av eKlima

Denne framgangsmåten gjelder for å hente IVF kurver / tabeller for bruk ved dimensjonering av overvannssystemer for veganlegg.

1. Gå til www.eklima.no og velg "Ny bruker" øverst til venstre. Brukernavn (= din e-postadresse) og passord blir sendt til din e-postadresse.
2. Logg inn på www.eklima.no med e-post og passord mottatt til din e-postadresse. Det vises at du er logget inn øverst til venstre skjermbilde.
3. Velg "Statistikk" i fanene øverst i skjermbildet, velg deretter "Hyppighet for nedbør"
4. Under 1. Velg rapport I nedtrekksmenyen; velg: "*Nedbørintensitet – returperiode, uten krav om sammenhengende nedbør".
5. Under 2. Tilpass rapporten Intervall og Returperiode skal være merket "Alle". Trykk "Neste"
6. Under 3a. Velg fylke/... Velg fylke og trykk på "Hent stasjoner fra fylker".
7. Under 3b. Velg stasjoner Velg stasjonen du ønsker data fra ved å klikke i boks til venstre for stasjonsnavn. Trykk "Neste"
8. Under 4. Velg egenskaper... Ikke gjør endringer her, trykk "Neste".
9. Under 5. Velg bestillings... Ikke gjør endringer her, trykk på "Fullfør - > Kjør rapport"
10. Trykk "Lukk vinduet"
11. Oppe til venstre i det bildet du nå er i vil du finne valgt IVF kurve/tabell under "Resultat" eller "Rapportliste".

Dersom det velges mer enn en stasjon vil IVF-kurve ikke være tilgjengelig, kun tabell.



Figur 405.3 Eksempel på nedbørintensiteter (Fredrikstad), fra eKlima.

Sjekkliste for avrenningsberegninger

Følgende sjekkliste kan være nyttig ved avrenningsberegninger:

1. Undersøk først med Meteorologisk institutt / eKlima hva som finnes av nedbørobservasjoner i nærheten av feltet som skal beregnes. Har de oppdaterte IVF-kurver (intensitet/varighet-frekvenskurver) som er representative for det aktuelle feltet?
2. Finn feltarealet og avrenningsfaktoren (C) for feltet. Dersom feltet er større enn ca. 10 km² bør ikke den rasjonelle formel brukes. Avrenningsfaktoren er et mål for hvor mye av den totale nedbøren som dreneres gjennom det aktuelle stedet. Den C-verdi som velges skal være en veiet middelerverdi for hele feltet. Ved store variasjoner av avrenningsfaktorene innen feltet kan det tenkes at avrenning fra bare en del av nedslagsfeltet (med høy avrenningsfaktor) kan være dimensjonerende.
3. Vurder hva som vil skje ved en eventuell underdimensjonering (for eksempel når det kommer regn på frossen mark). Er det en alternativ flomveg som kan ta unna vannet slik at skader ikke oppstår?

Eksempel på bruk av den rasjonelle formel

Det skal beregnes dimensjonerende vannmengde for en kulvert med returperiode (fra figur 403.1) på 100 år.

Feltets areal (A) er målt til 150 ha (1,5 km²). For å finne arealet må man ha kart i egnert målestokk slik at nedslagsfeltet kan avgrensnes og måles opp.

Avstand (L) fra fjerneste punkt i feltet til utløpet er 1,5 km = 1500 m. Høydeforskjellen (H) er 25 meter. Feltet består hovedsakelig av skog, med noe dyrket mark. Det er ingen innsjøer i feltet ($A_{se} = 0$).

Nærmeste nedbørstasjon er sjekket med Meteorologisk institutt / eKlima som har oppgitt at dette er stasjon 3030 Fredrikstad.

Ut fra figur 405.2 velges en avrenningsfaktor på 0,3. Siden returperioden (n) er satt til 100 år økes avrenningsfaktoren med 25 % opp til 0,38.

Tidsfaktoren bestemmes:

$$t_c = 0,6 \times 1500 \times 25^{-0,5} + 3000 \times 0 = 180 \text{ minutter}$$

Returperioden (n) er 100 år og med tidsfaktor på 180 minutter finnes intensiteten fra IVF-tabellen / -kurven for Fredrikstad (se figur 405.4): $i = 41$ liter / (sekund \times hektar).

Avrenningen (Q) korrigeret for klimaendring blir da:

$$Q = C \times i \times A \times K_f = 0,38 \times 41 \times 150 \times 1,4 = 3272 \text{ liter/sekund}$$

405.5 Dimensjonering - kulverter og stikkrenner

Generelt

Kapasitet avhenger bl.a. av utforming av innløp. Ved utforming av innløp og utløp er det flere forhold som tillegges vekt, se kap. 453.

Sirkulære renner med innløpskontroll

Rette kulverter (rørstikkrenner) med lengde mindre enn ca. 15-20 m bør dimensjoneres slik at man får strømmingssituasjon med innløpskontroll. Minimum fall bør da være som angitt i figur 405.4. Kapasitet, se figur 405.5.

Rørmaterial	Mannings tall, M	Diameter (mm)	Fall (‰)	
			Min. ¹⁾	Maks. ²⁾
Betong	80	400 – 600	6	10 – 15
		> 600	5	
Plast	100	400 – 800	4 – 5	10 – 15
		> 800	4	
Korrugert stål	40	> 800	4 ³⁾	20 ³⁾

- 1) Min. fall ut fra krav til innløpskontroll og selvrensing.
- 2) Maks. fall mht. erosjon. Sikring er som regel nødvendig.
- 3) Min. fall gir ikke innløpskontroll. Maks. fall pga. fare for stor vannhastighet og rørsliktasje.

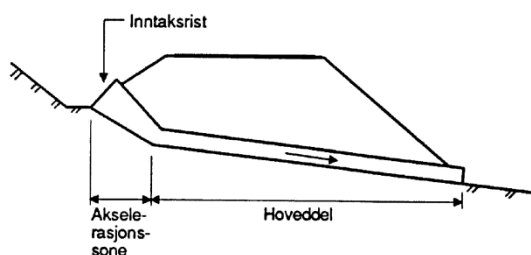
Figur 405.4 Anbefalt fall for korte stikkrenner

Stikkrenner og kulverter uten innløpskontroll

Dimensjonering av kulverter med fall mindre enn vist i figur 405.4 og kulverter med helt eller delvis dykket utløp, samt kulverter med ikke-sirkulært tverrsnitt, dekkes ikke av figur 405.5. Særskilt dimensjonering bør foretas.

Kulverter med spesialutforming

Store og lange kulverter med store rørkostnader og kompliserte strømningsforhold (retningsendringer o.l.) bør dimensjoneres individuelt og skreddersys for å gi øket innløpskapasitet og best mulig utnyttelse av hovedløpets kapasitet. Dersom forholdene ligger til rette, kan kulverten bygges med traktformet, bratt innløp (akselerasjonssone) for å øke kapasiteten, slik at hovedløpet kan reduseres i tverrsnitt. Inntaket bør sikres med rist (varegrind). Prinsippskisse for slik kulvert er vist i figur 405.6. Vannhastighetene kan bli store, og det vil oftest være nødvendig å bygge hastighetsdemper ved utløpet (energisdreper).



Figur 405.6 Kulvert med akselerasjonssone (eksempel, se Ref. 15)

405.5

Hydraulisk dimensjonering av stikkrenner og kulverter er beskrevet mer fullstendig i litteraturen (Ref. 15). Dersom stikkrennene bygges med minimum fall som vist i figur 405.4, vil man som regel få innløpskontroll. Kapasiteten for rennene (se figur 405.5) vil da bare være avhengig av diameteren og innløpsutformingen. Ved dimensjonering ut fra nomogrammer (innløpskontroll) kan innløpsvannstand (IV) vanligvis settes lik innvendig rørdiameter (D), dvs. IV/D = 1,0. Stikkrennene har da en viss reservekapasitet, idet kulverten først dykkes ved IV/D = 1,2.

Innløps- utforming	Diameter (mm)				
	300	400	500	600	800
A	67	135	232	361	726
B	65	132	228	357	723
C	57	117	204	320	652
	1000	1200	1400	1600	
A	1247	1940	2818	3895	
B	1250	1954	2851	3956	
C	1133	1780	2607	3628	

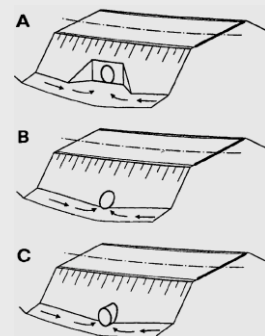
Figur 405.5 Hydraulisk kapasitet (l/s) for rørstikkrenne med innløpskontroll og IV/D = 1,0 (Ref. 15).

Innløpsutforming:

A = frontmur, ca. vinkelrett på rørets lengdeakse, rett rør. (Utforming tilsvarende A og med vingemurer gir ikke vesentlig kapasitetsøkning for rørformede kulverter).

B = Innløpet formet etter helningen på grøfteskråningen.

C = Utstikkende rørende.



Kapasitet for andre kulverttyper (firkantkulverter etc.) og andre strømmingssituasjoner finnes i litteraturen (Ref. 15). Ved store og kompliserte kulverter kan det spares betydelige beløp ved spesialutformede innløpselement og redusert dimensjon i hovedløpet (Ref. 15). Beregning med alternative utforminger er aktuelt for å finne den gunstigste løsning.

405.6

Maks. vannhastighet (m/s) i rør kan illustreres som vist i figur 405.7 (omtrentlige verdier).

Fall ‰	Kulvertlengde		
	15 m	20 m	25 m
5	1,2	1,4	1,6
10	1,7	2,0	2,2
15	2,1	2,4	2,7
20	2,4	2,8	3,1

Figur 405.7 Maks. vannhastighet i rør med innløpskontroll (m/s)

Stikkrenner/kulverter av korrugert stål legges med lite fall for at ikke vannhastigheten og slitasjen på røret blir for stor. Eventuelt kan rørene beskyttes spesielt, f.eks. ved utstøping i bunnen.

405.7

Om prosjektering og utførelse av avløpsledninger, se også (Ref. 9).

Dimensjonsområde 200-400 mm er mest aktuelt.

Selvrensing kan oppnås ved mindre fall enn angitt, men av hensyn til normal nøyaktighet ved utførelsen anbefales minimum fall å være som vist i figur 405.4. Maks. fall vil avhenge av dimensjoner og utforming av systemet forøvrig (skjøter, avvinkling, inn- og utføring i kum, erosjonsbeskyttelse).

Ved eksisterende systemer vil det ofte være nødvendig å vurdere utbedring av eventuelle "flaskehals" og begrensende deler av systemet.

405.8

Ved ujevne grunnforhold anbefales det å legge drensledningene med minst 10 ‰ fall.

Spyling av betongrør som er mindre enn 150 mm, kan være vanskelig fordi spyleutstyret kan kile seg fast.

Ved drenering av skråninger med grøfter i fiskebeinsmønster kan rør med diameter 50-100 mm være nok.

405.6 Sikring mot slitasje og erosjon

Dimensjoner, fall, rørmaterialer m.v. skal velges slik at det ikke oppstår fare for unormal slitasje i rør (stikkrenner/kulverter) som følge av at sand og grus transporteres gjennom rørene. Se figur 405.4. Om nødvendig må rørene beskyttes spesielt mot slitasje.

Behov for erosjonssikring ved innløp og utløp skal vurderes. Ved vannføring tilsvarende rørets kapasitet, vil det ofte være behov for erosjonssikring. Om vannhastighet og erosjon, se figurene 405.7 og 405.8. Se også håndbok V220 *Geoteknikk i vegbygging* (Ref. 4).

405.7 Dimensjonering av overvannsledninger og slukledninger

For avvanningssystemer som også kan inneholde kommunale ledninger, eller der drens- og overvann fra vegen skal ledes inn på kommunalt system, må det avklares om kommunene har egne regler og krav for dette.

Nødvendig rørdimensjon velges ut fra dimensjoneringsnomogram (finnes i litteraturen) med basis i dimensjonerende vannføring for vedkommende ledningsstrekning. Fall og dimensjoner skal velges slik at ledningene i størst mulig grad blir selvrensende og slik at det ikke oppstår problemer med erosjon ved utløp eller turbulens i kummer.

Minimumsdimensjon for slukledninger fra ett enkelt sandfang i lukket avvanningssystem er 150 mm. Minimumsdimensjon for overvannsledning i lukket avvanningssystem er 200 mm.

Fall for overvannsledninger og kombinerte drens- og overvannsledninger bør være minimum 5 ‰. Der det er mulig økes minimum fall til 10 ‰.

Fallforholdene bør vurderes med hensyn på mulige setninger. Ved risiko for setninger bør fallet velges slik at setningene ikke vil få vesentlig betydning for systemets funksjon.

Toleranser for fall er gitt i kap. 43.

405.8 Dimensjonering av drensledninger

Separate drensledninger av betong bør ha diameter minst 150 mm.

Separate drensledninger av plast bør ikke ha mindre diameter enn ca. 100 mm. Ved forhold med mye vann i grunnen bør dimensjonen økes til ca. 150 mm.

Kombinerte ledninger for drensvann og overvann bør ikke ha mindre diameter enn ca. 200 mm.

Fall for drensledninger skal være minimum 5 ‰. Toleranser er som for overvannsledninger.

405.9 Dimensjonering av åpne grøfter og kanaler

Normalprofilene for sidegrøft gir vanligvis tilstrekkelig kapasitet for bortledning av overvann. Er kapasiteten for liten, bør enten grøftas tverrsnitt økes, stikkrenner plasseres tettere, eller det legges overvannsledning.

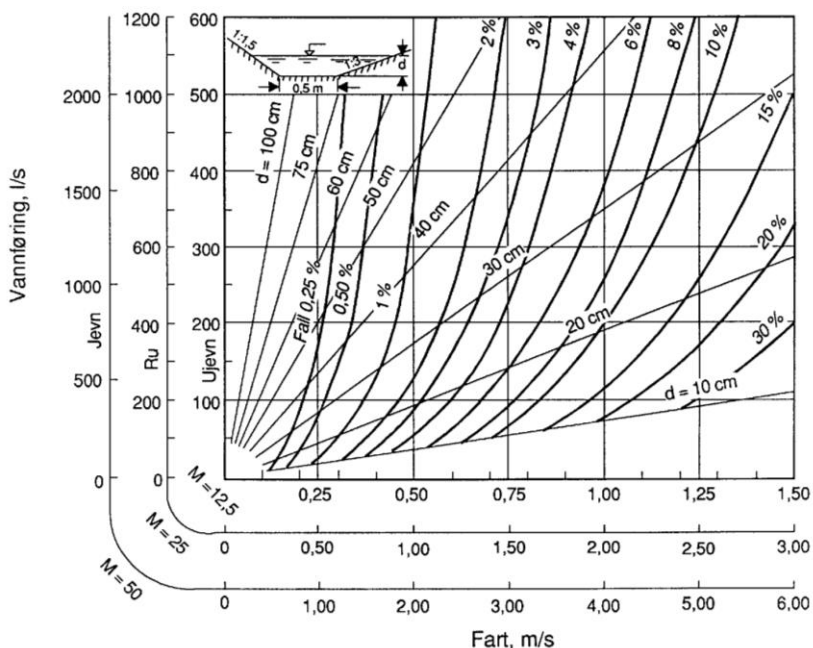
Kontrollberegning av kapasitet og vannhastighet bør foretas ved store avrenningsflater og ved særlig stort eller lite lengdefall på grøfta. Lengdefall bør være minimum 5 ‰.

For renner, kanaler og bekkeomlegginger foretas kontrollberegning av tverrsnittet for å sikre tilstrekkelig kapasitet.

Figur 405.8 og figur 405.9 kan benyttes til kontrollberegningene. Diagram for andre typer grøfter finnes i litteraturen.

Kledningsmateriale i grøft	Mannings tall, M	Vannhastighet uten fare for erosjon
	m ^{1/3} /s	m/s
Betongkledning	50 – 80	2,5 – 5,0
Asfaltert dekke	60 – 75	2,0 – 5,0
Steinsetting (jevnt utlagt)	30 – 60	2,0 – 5,0
Grus	30 – 50	1,0 – 1,5
Småstein	30 – 50	1,2 – 2,0
Jord uten vegetasjon	25 – 30	0,5 – 0,8
Jord med lett vegetasjon	20 – 30	0,5 – 1,2
Ujevn steinkledning	25 – 30	1,5 – 3,0
Jord med kraftig vegetasjon	15 – 25	1,0 – 2,0
Naturlig bekk og elv	5 – 40	–

Figur 405.8 Mannings tall for grøfter. Vannhastighet uten fare for erosjon



Figur 405.9 Vannføringsdiagram for grøft med flat bunn

405.9

Åpne sidegrøfter dimensjoneres og bygges slik at vann ikke trenger inn i overbygningen. Vannhastigheten (v , m/s) beregnes etter formelen $v = Q/(A \times 1000)$. Kapasiteten (Q) beregnes med Mannings formel:

$$Q = M \times A \times R^{2/3} \times I^{1/2} \times 1000$$

Der

Q = grøftens vannføring, l/s

M = Mannings tall, m^{1/3}/s

A = tverrsnitt av grøfta, m²

R = hydraulisk radius = A/P , m

I = lengdefall av grøfta, m/m

P = våt omkrets av grøfta, m

Mannings tall og tillatt vannhastighet for forskjellige kledningsmaterialer, se figur 405.8. Kontroll av kapasitet og vannhastighet kan også foretas med diagram, se figur 405.9.

Verdier for Mannings tall finnes for en rekke ulike erosjonssikringsprodukter. Disse kan benyttes til tilsvarende dimensjonering.

NVE kan kreve vannlinjeberegning.

406. Dreneringsprinsipper

406.1

Det skilles mellom åpent drens-system (dyp sidegrøft) og lukket drens-system. Et lukket system kombinerer ofte åpne overvanns-grøfter og lukkede drens- og transportledninger (overvanns-ledninger). Noen fordeler med henholdsvis lukket system og åpent system er vist i figur 406.1. Figur 406.2 antyder hvilket drens-system som kan velges avhengig av vegens standardklasse og trafikkmengde.

406.1 Valg av drens-system

Valg av drens-system, dimensjonering og detaljutforming bør foretas for det enkelte prosjekt etter vurdering av:

- trafikkmengde, trafiksikkerhet
- vanntilsg og behov for frostsikker avrenning
- nedbørmengder, snø og snøsmelting
- bebyggelse
- terrengforhold, avrenning
- grunnforhold
- kostnader, anlegg og vedlikehold
- estetikk

Noen fordeler med de ulike drens-system (åpen eller lukket drenering) er vist i figur 406.1.

Drens-system	Fordeler
Lukket system	<ul style="list-style-type: none"> – bedre trafiksikkerhet (slake grøfteskråninger) – redusert arealinngrep og mindre masseuttak – redusert erosjon over lengre grøftestrekninger ved bruk av nedføringskummer – gunstigere mht. estetikk og miljø – bedre mht. innspenningsforhold (kantbæreevne)
Åpent system	<ul style="list-style-type: none"> – generelt lite vedlikehold ved stabile grøfteskråninger – ofte lavere anleggskostnader – ekstra sikt i kurver pga. større terrenginngrep – bedre plass til snølagring – mindre behov for tilførsel av byggematerialer, som rør og gjenfyllingsmasser – lettere å fastslå behov for eventuelt vedlikehold – normalt har åpent system bedre reservekapasitet og sikkerhet ved flom

Figur 406.1 Åpent eller lukket system - fordeler med de ulike systemene

Vegtype	ÅDT	Bebyggelse		
		Spredt	Middels	Tett
H	> 5000	Å/L	L	L
H	< 5000	Å	Å	L
S, A	< 5000	Å	Å/L	L
G/S		Å/L	Å/L	L

Å= Åpent system
L= Lukket system

Figur 406.2 Veiledning for valg av drens-system

406.2 Utforming av tverrprofil, generelt

Utforming av skjæringsprofiler i fjell og jord er omhandlet i kap. 2, som viser normalprofiler, skråningshelninger og grøftebredder i fjellskjæring og jordskjæring. Dypsprengning er også omtalt.

Plassering av drenggrøfter, ledninger m.v. er omhandlet i kap. 406.3 t.o.m. kap. 406.7.

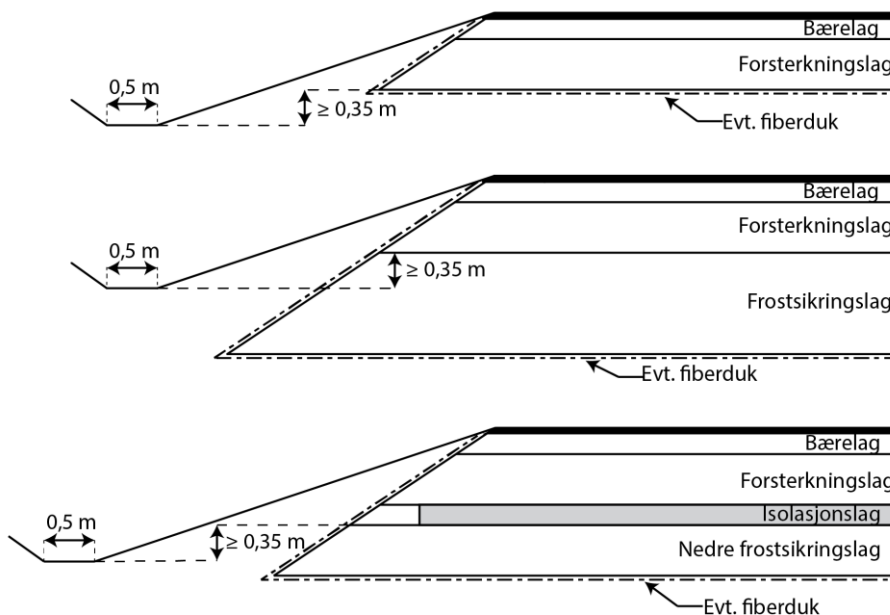
406.3 Drenering av vegoverbygning

406.31 Åpen drenering - dyp sidegrøft

Minimum grøftebredde er avhengig av overbygningstykkelsen. Skråningshelningen skal ikke være brattere enn 1:2. Grøfta skal ha dybde 0,35 m under bunnen av forsterkningslaget.

Ved anvendelse av isolasjonslag som en del av frostsikringen, skal bunnen av grøften ligge 0,35 m under isolasjonslaget. Bunnen av grøften skal være horisontal i tverrprofilen og være 0,5 m bred, se figur 406.3.

Det skal ikke stå igjen terskler i grøfta som demmer opp og som kan lede vann inn i trauret eller overbygningen.



Figur 406.3 Åpen drenggrøft ved ulike overbygninger

406.2

Se kap. 2, samt Håndbok N101 Rekkverk og vegens sideområder.

406.3

Kontrollberegning av kapasitet og vannhastighet, se pkt. 405.9. Sidegrøftens utforming angis i byggeplanen med normalprofiler på F-tegning og detaljutforming på G-tegning (kledningsmaterialer, lengdefall mv.).

Sidegrøftens dybde kan innvirke på frostdimensjoneringen av vegoverbygningen, se kap 511.

406.32

Plasseringen av drenggrøfter avhenger bl.a av vegens skulderbredde og geotekniske forhold. I middels tett og bebygelse hvor det nyttes kantstein plasseres dreng- og avløpsledning/overvannsledning normalt under skulder/kantstein.

For beregning av frostdybden h_{10} se kap 511.

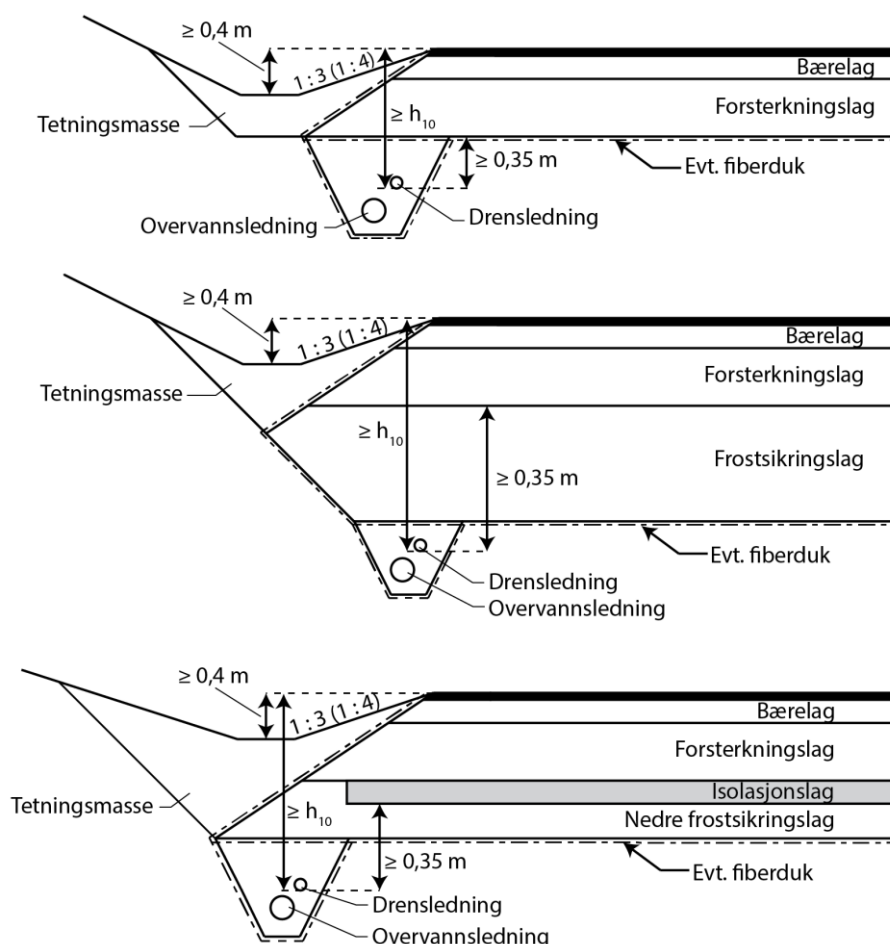
406.32 Lukket drenering

Lukket drenggrøft skal legges i frostfri dybde.

Eksempler på utforming av lukket, dyp drenggrøft er vist i figur 406.4. Drengledningens dybde (h), og utførelse forøvrig skal planlegges ut fra lokale forhold for hvert enkelt tilfelle. Bunnen av grøften skal være horisontal i tverrprofil og være 0,5 m bred, se figur 406.4.

Ved bruk av fiberduk i stedet for filterlag i overbygningen bør fiberduken og forsterkningslaget legges slik at det blir god forbindelse mellom overbygningen og drenggrøften.

Hvis det ikke er spesielle grunner for andre løsninger, skal avløps-/overvannsledning normalt plasseres lavere enn drengledning og eventuelle andre typer ledninger.



Figur 406.4 Grunne overvannsgrøfter og lukket drenering

Figur 406.4 viser drenggrøft som er plassert under sidegrøften. Dersom drengledning og overvannsledning er plassert lenger inn i vegkonstruksjonen, regnes frostdybden h_{10} fra veg-/terrengoverflaten over ledningsgrøften.

Grøften kan utvides avhengig av:

- massebalanse
- siktforhold
- faren for nedfall, utglidning, iskjøving
- behov for snølagring

406.4 Drenering i fjellskjæring

Normalprofiler for overvannsgrøfter (sidegrøfter) i fjellskjæring er vist i kap. 225.

Ved korte skjæringer (< ca. 50 m) og halvskjæringer vil dypsprengning til forutsatt dybde normalt gi tilstrekkelig drenering. Ved stor avrenning og lange dreinsveger bør det legges egne ledninger.

406.5 Drenering ved forsterkning

406.51 Generelt

Forsterkning bør vurderes i sammenheng med effekten av eventuell drenering. Dersom dreneringen blir omfattende, kan det være aktuelt å utsette øvrige forsterkningsarbeider til effekten av dreneringen kan bedømmes.

For å vurdere dreneringsbehov og mulig bedring av vegens bæreevne ved drenering bør det skaffes data om vegens tilstand mht. bl.a. telehiv, grunnvannstand, massetyper, bæreevne.

Dreneringen skal utføres slik at det ikke oppstår utilsiktet senking av grunnvannstanden der dette kan gi skade, f.eks. drenering av brønner og setninger på nærliggende byggverk.

Dreneringen bør utføres ett år før det eventuelt iverksettes andre tiltak, for eksempel forsterkning eller dekkefornyelse. Utdreneringen bestemmes i noen grad av overbygningens materialkvalitet. Teleskader kan dempes, men som oftest ikke elimineres. Drenstiltak er aktuelt på steder med oppbløtt overbygning og derav følgende bæreevnesvikt.

Noen aktuelle drenstiltak er beskrevet i kap. 406.52 og 406.53. For andre drenstiltak og generelle forsterkningstiltak, se vedlegg 9.

406.52 Åpen drenering

Åpen, grunn sidegrøft vil være tilstrekkelig for å lede bort overvannet der vegen har ligget lenge uten skader.

Etablering av åpen, dyp sidegrøft krever god kartlegging av forholdene langs vegen mht. mulige partier som har behov for sikring slik at vann fra grøfta ikke trenger inn i traue og overbygning.

I forbindelse med større utbedringsarbeid bør åpen drenering bygges med normalprofil som for nye anlegg.

406.53 Lukket drenering, dypdrenering

Lukket dreinsgrøft bør plasseres og utformes avhengig av om grøfta drenerer underbygningen, overbygningen eller grunnvann fra sideområdene.

Ved avskjæring av grunnvann bør det vurderes om det er nødvendig med ytterligere tiltak for drenering og sikring av skråninger, se kap. 2. Det kan være nødvendig å etablere åpen, grunn sidegrøft for å lede bort overvannet.

406.4

I korte skjæringer vil løssprengt fjell sørge for drenering. Overvannsgrøft tettes med subbus eller andre tette materialer, eventuelt med filter.

406.5

Generelt om forsterkning av veg, se kap. 53 og vedlegg 9.

406.51

Effekten av drenering ved forsterkningsarbeid er vanskelig å forutsi. Den bæreevnemessige effekt av dreneringen vil ofte vise seg først etter 1-2 år.

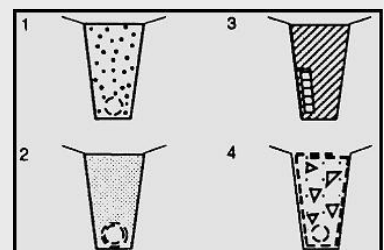
OBS: Telehiv forårsaket av kapillært vann kan ikke fjernes med drenering, men det kan ventes en reduksjon av telehivet.

406.52

Dyp sidegrøft kan redusere bæreevnen og innspenningen på vegskuldrene.

406.53

Aktuelt graveutstyr er fresehjul, kjedegraver eller gravemaskin med smal skuff. Laserstyring e.l. for kontroll av grave dybde/fall er ønskelig.



Figur 406.5 Eksempler på utforming av dreinsgrøft - utførelser ifølge figur 406.6.

Utførelse nr. 1 er ofte egnet i morenemasser. Ved utførelse nr. 2 og nr. 4 kan det brukes fiberduk klasse 2 (gjenfylling av grøfta må ikke skade duken). Ved utførelse nr. 4 fylles det pukk med $D_{maks} = 50$ mm i grøfta ($D_{maks} = 22$ mm inntil rør); rør brukes ved grøftelengde >ca. 25 m. Filterkriterier, se kap. 521.

Fall for lukket drengroft bør være minimum 10 ‰.

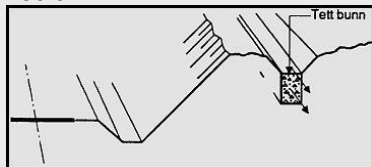
Tilbakefyllingsmasser bør velges i forhold til masser i grunnen og type dren, se figur 406.6. Filterkriteriene mellom drengsrør, tilbakefyllingsmaterialer, materialer i grunnen og eventuell fiberduk bør kontrolleres (se kap. 521).

Utførelse nr.	Type dren	Tilbakefyllingsmasse
1	Drengsrør	Grus
2	Drengsrør med fiberduk omkring røret	Finsand
3	Drengmatte (drengskjerne + fiberduk)	Stedlig masse
4	Pukkfylt fiberduk ev. med rør	Pukk

Figur 406.6 Tilbakefyllingsmasser for drenggrøfter

For utførelse nr. 3 (bruk av drengmatte), se kap. 433.5. Metoden forutsetter bl.a. at man har kjennskap til overbygningens tykkelse og materialkvalitet for vurdering av nødvendig elementhøyde og forventet effekt. Drengt bør ha minst 5 ‰ lengdefall (ved flate strekninger kan det om nødvendig anlegges synkekummer). Drengt bør være i kontakt med overbygningen og bør stikke 5-10 cm ned i undergrunnen for å få utdrenering av traubunn og bedre kanalisering av drengsvann.

406.61



Figur 406.7 Kombinert åpen/lukket terrenggrøft.

406.62

Vannressurslovens § 7 annet ledd angir at utbygging og annen grunnutnyttning bør fortrinnsvis skje slik at nedbøren fortsatt kan få avløp gjennom infiltrasjon i grunnen. Vassdragsmyndigheten kan gi pålegg om tiltak som vil gi bedre infiltrasjon i grunnen dersom dette kan gjennomføres uten urimelige kostnader”

Infiltrasjonsanlegg kan f.eks. bestå av:

- sidegrøfter fylt med grus eller stein (ev. større steinreir) som danner lokale magasin før vannet infiltreres i grunnen, og som består av permeable masser.
- spesielle infiltrasjonsgrøfter i terrenget ved siden av vegen
- infiltrasjonskummer eller infiltrasjonsbrønner, ev. i kombinasjon med spesiell infiltrasjonsgrøft (singel- eller pukkstreng) under bunn av vegggrøft.
- fordrøyningsmagasiner med infiltrasjon

406.6 Drenering av vegens sideområder

406.61 Lukket drenering

Behovet for lukket drenering av sideområder bør vurderes av hensyn til:

- stabilitet av skråninger, erosjon og undervasking, se kap. 2.
- iskjøving
- eksisterende drenganlegg

I spesielle tilfeller kan det være behov for å sikre at vannet ikke fryser før det kommer fram til nedføringsrenner og stikkrenner (hindre kjøving). Det kan da bygges terrenggrøft med en lukket del og en åpen del.

For den lukkede delen er det krav til materialer og utførelse som for vanlig lukket drenering. Øverste del av grøfta utføres som åpen grøft. Behov for erosjonssikring bør vurderes som for vanlig åpen terrenggrøft.

406.62 Infiltrasjon

Infiltrasjon av avløpsvann (overvann og grunnvann) bør vurderes f.eks. ved:

- ønske om å opprettholde grunnvannstanden i området
- lang veg for avløpsmulighet via overvannsledning
- liten fallhøyde, dårlig «avtrekk»
- relativt små mengder avløpsvann

Infiltrasjon skal ikke brukes slik at det bidrar til ustabilitet eller skade på vegkonstruksjonen og omgivelsene, f.eks. pga. undervasking av fyllinger eller vannansamling i forsenkninger under vegen som øker risiko for telehiv og iskjøving.

Infiltrasjonsanlegg skal bygges slik at det ikke oppstår fare for forurensning av grunnvannet (drikkevannskilder mv.) eller fare for flom og ukjent strømming ut fra anlegget.

Massene som det infiltreres i, bør bestå av sterkt oppsprukket eller løssprengt fjell, grus, sand eller siltig sand uten spesielt tette lag.

Anlegget bør bygges slik at utskifting eller vedlikehold (rensing) av infiltrasjonsmassene er mulig. Alternativt anlegges nye synkbrønner mellom de gamle (kan være vanskelig ved flatt terreng der fallet er dårlig fra før).

406.63 Terrenggrøfter, nedføringsrenner

Hvor naturlige dreinsveger i terrenget skjæres over av vegskjæring eller for å hindre avrenning fra terrenget ovenfor skjæringen, skal det anlegges langsående terrenggrøft langs skjæringstopp for å hindre erosjonsskader ved at vann renner ut over skjæringsskråningen. Terrenggrøften føres til naturlig vassdrag eller føres ned over skråningen i en nedføringsrenne.

Nedføringsrenner utføres med solid steinsetting for å sikre mot erosjon og redusere hastigheten til vannet. Steinsetting i et armert betongfundament gir en stabil og solid nedføringsrenne. Ved sterkt fall og/eller stor vannføring kan det bli aktuelt med særskilt energidreper foran innløpet til stikkrenne.

Terrenggrøft og nedføringsrenne bør gis rikelige dimensjoner for å sikre varig hydraulisk kapasitet. Bunnbredde bør være minimum 0,5 m.

Om bygging av åpne grøfter, bl.a. terrenggrøfter, se kap. 41. Om kontrollberegning av kapasitet og vurdering av fare for erosjon, se kap. 405.9.

406.7 Avvanning av kjørebane og vegområde

406.71 Kjørebane

Om krav til tverrfall generelt, se håndbok N100 (Ref. 5). Om krav til tverrfall på grusdekker og asfaltdekker, se kap. 6.

406.72 Kantstein og sluk

På gater og veger med fortau bør vannet ledes til sluk eller rist ved hjelp av renne (rennestein). Slukrist plasseres normalt i flukt med fallet på vegoverflaten. Risten og rammen skal ikke stikke over omkringliggende belegning (dekke).

Slukavstand og utforming av rennestein bør velges ut fra bl.a. vannmengder (avrenning), vegens lengdefall og tverrfall. Ved moderate vannmengder kan 2-3 sandfang seriekoples før vannføringen avlastes til overvannsledning. Stor vannføring gir liten avsetning av partikler i sandfanget.

Slukene plasseres med inntil ca. 70 m avstand. Ved avvanning av større arealer reduseres slukavstanden i samsvar med slukristens kapasitet. Kapasiteten avhenger av gjennomløpsarealet og tillatt oppstuvning over risten. (Vanlige gatesluk har kapasitet på ca. 15 l/s.)

406.62

Massenes infiltrasjonsevne vurderes ut fra kornkurve eller infiltrasjonstest. Kapasiteten for magasinet avhenger bl.a. av volum, avstand mellom eventuelle synkbrønner samt avstand til grunnvannstand.

Tilslamming av infiltrasjonsmassene vil etter hvert redusere kapasiteten for anlegget. Det er nødvendig med klausuler som sikrer arealdisponering f.eks. til vedlikehold og oppgraving. Arealbehovet er større enn ved vanlig grøfterensik (viktig for ytterpunkt på grunnervervet).

406.71

For å oppnå tilfredsstillende avvanning bør tverrfall på rettlinjé være min. 4 % for grusdekker. For asfalt- og betongdekker bør tverrfallet være min. 3 % ved ÅDT < 5000 og økes til min. 4 % ved ÅDT > 5000. Det er viktig at tilsvarende tverrfall blir ivaretatt i bærelaget. Om krav til tverrfall på traubunn, se kap. 2.

Krav til minste resulterende tverrfall S_R (0,5-1,0 % avhengig av vegtype, se Håndbok N100) i overgangssone (overhøyderampe) mellom strekninger med forskjellige tverrfall blir ikke oppfylt dersom vegen har lengdefall (S) mindre enn ca. 12-15 ‰.

406.72

Av sluk/rist finnes det flere typer. Det er rennesteinsrister med flytende ramme beregnet på å ligge i rennesteinsområdet, tilpasset både asfalt og brostein/storgatestein. Alternativt kan kjeftsluk eller en kombinasjon av kjeftsluk og rennesteinsrist benyttes. Kjeftsluket er beregnet på montering i kantsteinsområdet, mens kombinasjonen kjeftsluk og rennesteinsrist – såkalt kjeftsluk med frontrist – monteres med en del i kantsteinsområdet og en del i rennesteinsområdet. Hvilken type sluk eller rist som velges har betydning for kumklasseringen.

Type sluk/rist som velges bør også ses i forhold til bruken av den ferdige vegen. Kjeftsluk er aktuelt der det er sykkelfelt langs kjørebanelen. Velges sluk/rist i flukt med vegdekket bør ristene ha skråstilte åpninger.

406.72

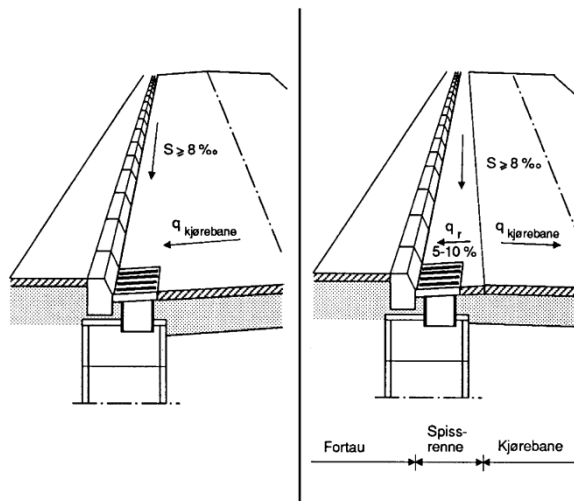
Om bruk av kantstein, se håndbok N100 (Ref. 5). Se også kap. 7 i denne normalen. Enkel rennestein har samme tverrfall som kjørebaneldekket. Spissrenne med tverrfall ca. 5-10 % kan brukes for å unngå at vann fra fortau og sideområde renner til motsatt side av vegen.

På gate eller veg med lengdefall mindre enn 8 ‰ kan det være behov for rennestein med pendelende fall, dvs. delstrekninger med lengdefall 8 ‰ og vekslende fallretning, se figur 406.10. Kantsteinhøyden kan da varieres mellom ca. 80 og 180 mm, som tilsvarer 25 m slukavstand ved horisontal veg. Slukavstanden økes ved økende lengdefall på vegen.

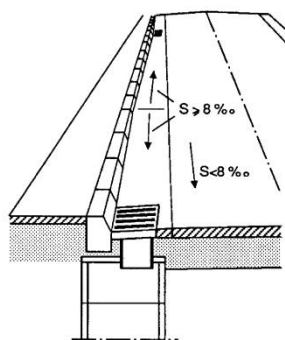
406.73

Krav til fall på skulder i ytterkurve, se Håndbok N100 (Ref. 5).

Lengdefall for renne (rennestein) anbefales å være minimum 8 ‰. Eksempler på utforming av rennestein er vist i figur 406.8, 406.9 og 406.10.



Figur 406.8 Enkel rennestein Figur 406.9 Spissrenne



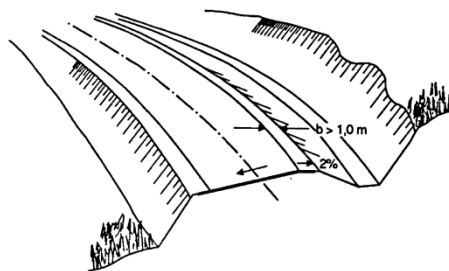
Figur 406.10 Pendelrenne

406.73 Vegskulder

Skulder

Skulderen skal ha samme fall som kjørebanelen, med følgende unntak:

- I ytterkurver med asfaltert skulder bredere enn 1 m, bør skulderen ha 2 % fall utover, se figur 406.11.



Figur 406.11 Knekking av skulder i kurve.

406.74 Parkeringsplasser og terminalanlegg

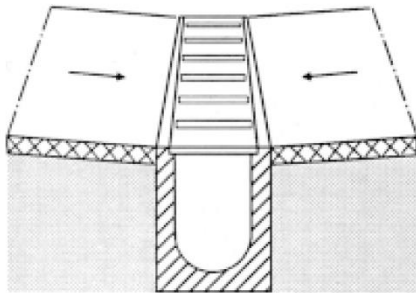
Tverrfall på dekke

På plasser med slitelag av asfalt bør fallet være 3 %.

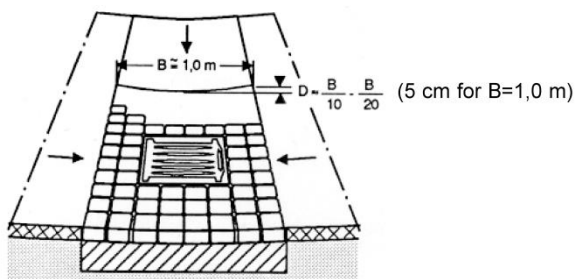
Store plasser bør deles opp i mindre områder med fall som for alle deler sikrer god avrenning til overvannsystemet. Der grunnen ikke er godt drenerende og i tilfeller hvor slitelaget består av grus eller drensasfalt kombinert med et drenerende bærelag bør det bygges lukket drensssystem.

Møtende avrenningsflater

I grunne forsenkninger mellom møtende avrenningsflater kan vannet ledes til sluk/rist ved hjelp av kasserenne eller renne formet som sirkelsegment, se figur 406.12 og 406.13.



Figur 406.12 Kasserenne



Figur 406.13 Grunn overflaterenne for åpne plasser

407. Frostsikring av drensssystem

407.1 Frostsikring av kulverter/stikkrenner

Frostsikring foretas for å redusere/eliminere problemer med iskjøving og telehiving under/rundt røret.

Frostdybder, materialer og utforming for eventuell frostsikring bestemmes for den aktuelle situasjon.

406.74

Kasserenner kan være et effektivt tiltak for å sikre god avrenning for parkeringsplasser, lagerarealer o.l.

Kasserenner kan driftsmessig være krevende på grunn av komplisert slamtømming.

407.1

Stikkrenner med diameter 600 mm eller mindre krever normalt ikke frostsikring. Isingsfare pga. kaldlufttrekk gjennom lengre kulverter/ledninger med stort lengdefall (skorsteinseffekt) kan reduseres ved tiltak som reduserer luftgjennomstrømning. Eksempel på slike tiltak er:

- ledningen “brytes opp” med noen åpne grøfter
- montering av gardiner av plaststrimler e.l. ved innløp og utløp

Det er viktig å utforme utløpet slik at det er rom for iskjøving uten at røret stenges.

407.2

Frostsikring kan i mange tilfeller bestå i å utforme systemene slik at minst mulig skader og ulemper oppstår selv om vannet fryser i systemet. Det anbefales å unngå at vann kan renne fra et frostfritt system til et system som i perioder kan være frosset.

Stikkrenner og kulverter med diameter større enn 600 mm bør frostsikres. En bør regne med at frosten virker i hele gjennomløpets lengde.

Tykkelsen av frostsikringen (h_f) bør beregnes som vist i figur 407.1. Inngangsparameteren (h_{10}) er avhengig av frostmengde og type frostsikringsmateriale, se kap 511.

Kulvert diameter , d (m)	Tykkelse på frostsikringen, h_f (m)
$0,6 < d \leq 1,0$ $d > 1,0$	$0,3 \times d \times h_{10}^{1)}$ $(0,3 + 0,1 \times d) \times h_{10}^{1)}$

1) h_{10} og d innsettes med tallverdien i meter (m)

Figur 407.1 Nødvendig tykkelse på frostsikring, h_f , for kulverter

Utforming av stikkrenner og kulverter er vist i figur 407.2. Ved isolasjon med plater bør det legges et avrettingslag av sand, inntil 50 mm tykt, som underlag for platene. Ved større konstruksjoner bør underlaget vurderes spesielt (f.eks. mager betong avrettet med et tynt sandlag).

407.2 Frostsikring av overvannsledning

Overvannsledninger bør bygges frostfritt. Lukkede drenggrøfter som forutsettes å drenere også om vinteren, skal ha frostfri dybde. Det skal sikres at vannet fra drenggrøftene får avløp.

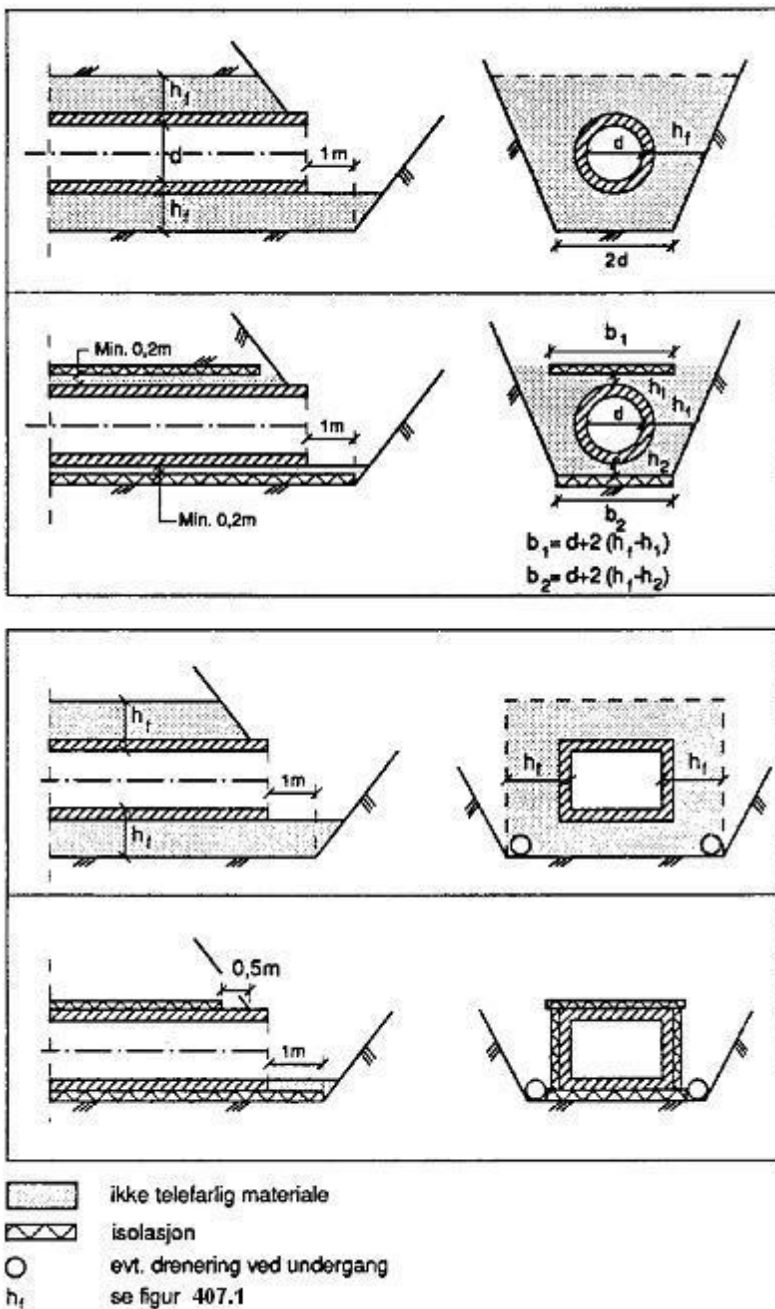
Frysedybder, materialer og utforming for eventuell frostsikring bestemmes for den aktuelle situasjon.

407.3 Kryssende ledningsgrøfter, sikring mot telehiv

Stikkrenner/kulverter, underganger, overvannsledninger og ledninger for øvrig, som krysser veg skal sikres mot ujevne telehiv. Utførelsesmetoder er vist i kap. 5, figurene 512.5 til 512.7.

Ved tilbakefylling med ikke telefarlige masser der undergrunnen ellers består av telefarlige masser bør utkilingslengden være som vist i kap. 5, figur 512.8.

Stikkrenner som legges under frostsone og som overfylles med stedlige masser bør ha et beskyttelseslag på minst 300 mm over topp rør dersom tilbakefyllingsmassene inneholder stein som kan skade røret.



Figur 407.2 Frosstikring av underganger og kulverter/stikkrenner

407.4 Materialer til frosstikring

Se kap. 5, pkt. 511 og 524.

Materialer til frosstikring av kulverter og stikkrenner bør være:

- sand, grus, steinmaterialer
- skumglass, lettklinker (ekspandert leire)
- skumplast (vanligvis ekstrudert polystyren, XPS)

Andre materialer kan vurderes spesielt.

407.4

Om valg av isolasjonsmaterialer, se kap. 51 og 52.

Ved bruk av varmeisolasjonsmaterialer er det særlig viktig å kontrollere minstetykkelsen. For ekstrudert polystyren (XPS) forutsettes minimumstykkelse 40 mm på platene, se vedlegg 1.

408.1

Se NVEs Veileder nr 1/2002 *Behandling etter vannressursloven m.v. av vassdragstiltak og tiltak som kan påvirke vassdrag og grunnvann*. Veilederen har som målgruppe den offentlige forvaltning og de som planlegger og utfører vassdragstiltak og tiltak som kan påvirke vassdrag og grunnvann. Nytt i forhold til tidligere, er behandling av grunnvann og tiltak utenfor vassdragene. Veilederen gir oversikt over vassdragsretten generelt og vannressursloven spesielt. Videre gir den oversikt over en del andre lover som tiltakshavere kan komme i berøring med. Hovedinnholdet er en beskrivelse av hvilke tiltak som er konsesjons-pliktige og framgangsmåten ved vurdering av om en del andre nærmere angitte tiltak trenger konsesjon etter vannressursloven § 8. Det omtales også krav til søknader og rutinene for søknadsbehandlingen, og forholdet til plan- og bygningsloven.

Veilederen ligger på internett, se <http://www.nve.no/no/Konsesjoner/Andre-vassdragsinnrep/Grunnvann/>

På NVEs nettsider finnes også forskrifter og annen relevant informasjon om saksområdet.

408.2

De aktuelle regler for det enkelte vernede vassdrag kan skaffes gjennom miljøvern avdelingen i fylket (fylkesmannen).

Materialene skal velges og brukes slik at vanlige krav til fundament, sidestøtte og beskyttelse av ledningskonstruksjonene oppfylles.

408. Tiltak i vassdrag

408.1 Generelt

Alle arbeider i vassdrag med årssikker vannføring er *vassdragstiltak* og skal planlegges og gjennomføres i samsvar med bestemmelsene i ”*Lov om vassdrag og grunnvann*” (vannressursloven). Tiltakene skal planlegges og gjennomføres slik at de er til minst mulig skade eller ulempe i vassdraget for private eller allmenne interesser. Tiltakene skal fylle alle rimelige krav til sikkerhet for mennesker, miljø eller eiendom.

Praktisk og eventuell formell behandling i forhold til ”*Lov om vassdrag og grunnvann*” kommer i tillegg til normal planbehandling for vegprosjektet.

Planer for vegutbedringer eller nybygging som medfører behov for større eller mindre justeringer av vassdragenes naturlige løp som: omlegging, opprensning, erosjonsforebygging, terskler, fangdammer eller andre provisoriske omlegginger bør utarbeides i samråd med vassdragsmyndighetene, som tar stilling til om allmenne interesser berøres i slik grad at det kreves konsesjonsbehandling av tiltaket, jfr. vannressurslovens §§ 8 og 18.

”*Vassdragstiltak*” i gjeldende lovverk er mer omfattende enn tidligere. Det omfatter nå grunnvann og konsekvenser for grunnvann. Tiltak som foretas utenfor selve vassdraget, men som kan ha virkninger for vassdraget eller for interesser som er knyttet til vassdraget, er *vassdragstiltak* og skal behandles i forhold til vannressursloven. Dette vil være spesielt viktig for vernede vassdrag der ”*vassdraget*” også omfatter en 100 meter bred sone på hver side av det naturlige vannløpet.

§ 11 i vannressursloven skal sikre hensynet til kantvegetasjon langs vassdragene. Langs bredden av vassdrag med årssikker vannføring skal det opprettholdes et begrenset naturlig vegetasjonsbelte som motvirker avrenning og gir levested for planter og dyr. Dette betyr at fyllingsskråninger ikke kan legges direkte ut i vassdraget, unntatt der det er gitt spesiell tillatelse fra vassdragsmyndighetene.

408.2 Vernede vassdrag

”*Vernede vassdrag*” er vassdrag som er vernet mot kraftutbygging ved Stortingets vedtak om ”*Verneplan for vassdrag*” eller ved annet stortingsvedtak. Bestemmelser om vernede vassdrag er forankret i vannressurslovens kap. 5 (§§32, 33, 34 og 35). Det er gitt ”*Rikspolitiske retningslinjer for vernede vassdrag*” hjemlet i Plan- og bygningsloven (hovedmålet er å unngå inngrep som reduserer verneverdiene i vassdraget). Det kan også være bestemmelser i vedtak etter lov om naturvern.

Generelt gjelder strengere regelverk for ”*vernede vassdrag*” enn for andre vassdrag. Hvilke regler som gjelder for det enkelte vassdrag må undersøkes i

hvert tilfelle. Vegbygging eller vegutbedring innenfor 100-metersbeltet langs et vernet vassdrag er tiltak som skal vurderes i forhold til gjeldende bestemmelser for det aktuelle vassdraget.

”Vannressursloven” har bl.a. også bestemmelser om sikring mot skade (vedlikehold av vassdragstiltak), grunnvann, erstatningsansvar, hjemmel for forskrifter o.a. Ved planlegging og gjennomføring av tiltak på vegnettet som berører vassdrag, skal tiltakene utformes slik at både vegkonstruksjonene, vassdraget og alle private og allmenne interesser sikres mot skader og ulemper.

Ved planlegging langs alle vernede vassdrag og ved øvrige vassdrag der deler av planene får klar karakter av *vassdragstiltak*, er det viktig at planene utarbeides i samråd med vassdragsmyndighetene, som tar stilling til om allmenne interesser berøres i slik grad at det kreves konsesjonsbehandling. Det er viktig at vassdragsmyndighetene blir varslet på et tidlig stadium i planleggingsprosessen.

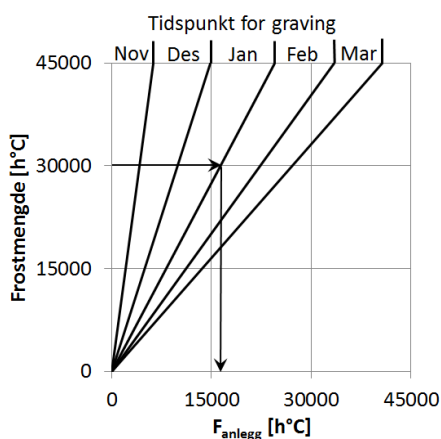
409. Anleggsmessige grep

409.1 Midlertidig vinterdekking

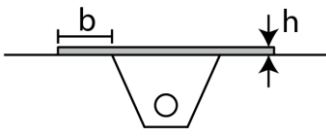
Ved beregning av isolasjonsbehovet for vinterdekking for en bestemt tidsperiode benyttes figur 409.1. Frostmengde F_2 , F_5 eller F_{10} (se vedlegg 2) for hele vintersesongen antas etter den sikkerhet som velges. Ved isolasjon fra start av vintersesongen fram til en bestemt dato brukes figur 409.1 til å bestemme dimensjonerende frostmengde F_{anlegg} med utgangspunkt i for eksempel F_2 . En viss gjennomfrysing kan tillates avhengig av graveutstyr og grunnforhold. Isolasjonstykkelse ved bruk av ekspandert polystyren samt nødvendig isolasjonsbredde er vist i figur 409.2. Korreksjon av isolasjonstykkelse for andre materialer er vist i figur 409.3.

409.1

Lokal frostmengde finnes i kommunetabellen (vedlegg 2). De oppgitte verdier er vanligvis knyttet til kommunesenteret. Innen de enkelte kommuner kan det være store lokale variasjoner som man bør ta hensyn til, se maks. og min.verdier i tabellen.



Figur 409.1 Bestemmelse av F_{anlegg} ut fra frostmengde og tidspunkt for graving

F _{Anlegg} (h°C)		10.000	20.000		Merknad
Årsmiddeltemperatur (°C)		3 - 6	3	4 - 7	
Jordart	Tillatt frostdybde, (m)	Isolasjonstykkelse h, (mm)			
Leire	0,1	40	80	70	
Silt	0,3	25	45	45	
Sand	0,1	60	110	100	
Grus	0,3	40	80	70	
Isolasjonsbredde utenfor grøftkant b, (m)		0,75			

Figur 409.2 Isolasjonstykkelse for ekspandert polystyren og nødvendig isolasjonsbredde utenfor grøft

Materiale	Korreksjonsfaktor
Halm	4
Flis	3
Snø, løs	2
Vintermatte	1

Figur 409.3 Korreksjonsfaktor ved bruk av andre isolasjonsmaterialer enn ekspandert polystyren

409.2 Drenering under vegfylling

Pukkstreng som midlertidig drenering

Ved fylling i bekkedaler, raviner o.l. (høye fyllinger) kan det i anleggsperioden være aktuelt å legge en drenerende pukkstreng i bunnen av fyllingen, gjerne i kombinasjon med transportveg som legges oppå pukkstrengen.

Pukkstrengen legges f.eks. i gammelt bekkeleie og dimensjoneres med et tverrsnitt som kan ta unna vannmengdene som dreneres ut under anleggsperioden. Pukkstrengen skal ligge med filter mot omgivende masser, f.eks. fiberduk. Til pukkstreng kan brukes:

- rundstein og fiberduk kl. 3
- kult/pukk og fiberduk kl. 4

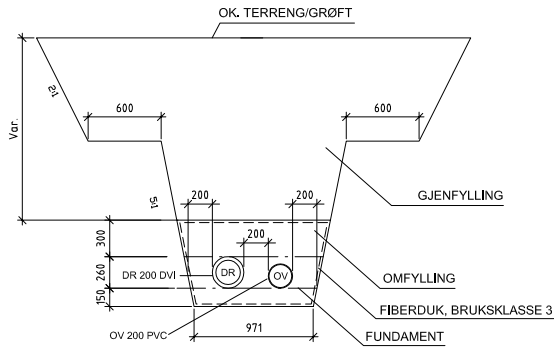
Pukkstreng skal ikke brukes som permanent vanngjennomløp. Når fyllingen er ført så langt opp at vannet kan ledes til permanent gjennomløp (kulvert), skal pukkstrengen tettes oppstrøms f.eks. med leire.

409.2

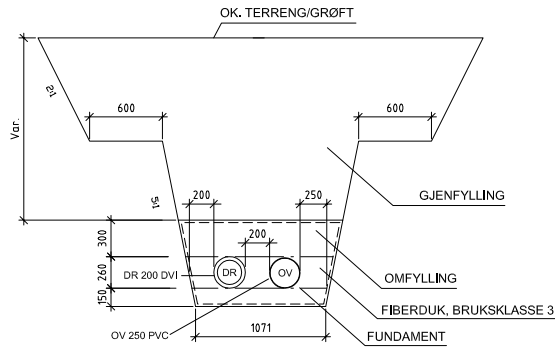
Tverrsnitt for pukkstreng kan være f.eks. 2-5 m².

Om valg av fiberduk, se også kap. 52.

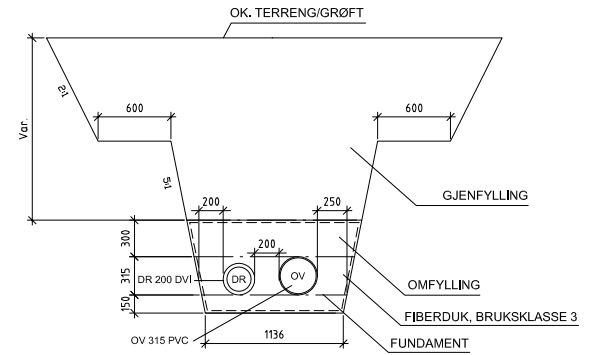
Annex 2 Cross-sections of Culverts at E6 Soknedal project



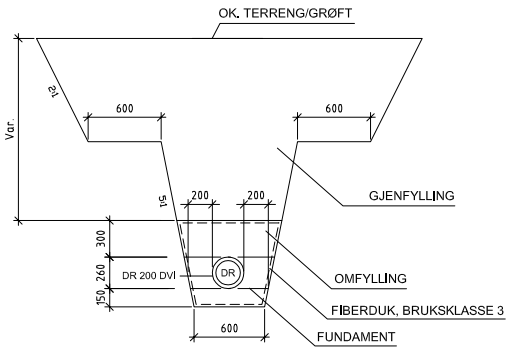
OV200-DR200 DVI-LØSMASSE-FJELL
TYPISK SNITT



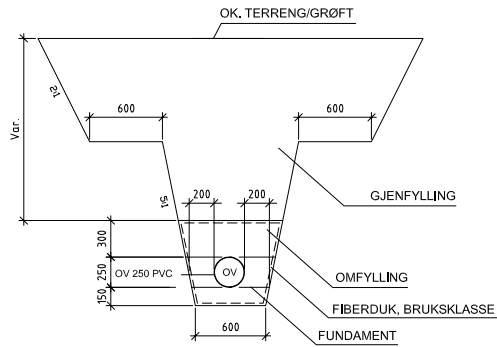
OV250-DR200 DVI-LØSMASSE-FJELL
TYPISK SNITT



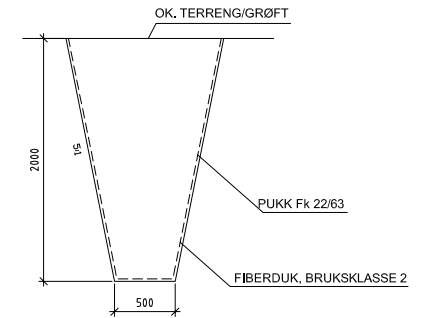
OV315-DR200 DVI-LØSMASSE-FJELL
TYPISK SNITT



DR200 DVI-LØSMASSE-FJELL
TYPISK SNITT

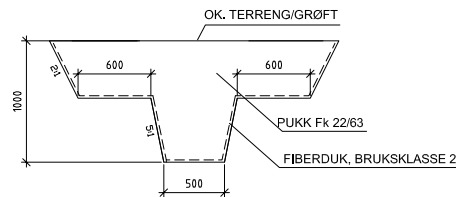


OV250 DVI-LØSMASSE-FJELL
TYPISK SNITT

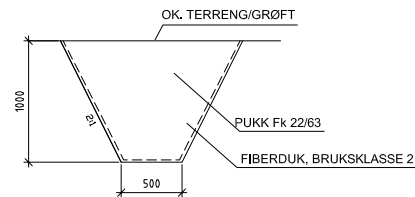


SKRANINGSDREN

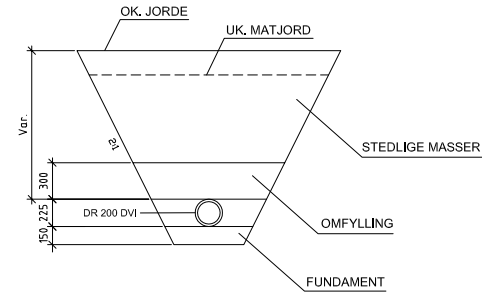
Rørdiameter (mm)	Minste avstand	
	Til grøfteside A	Mellom rør B
DN≤225	200	200
225<DN≤350	250	200
350<DN≤700	350	250
700<DN≤1200	425	400
1200<DN	500	500



AVSKJÆRINGSGRØFT LØSMASSE-FJELL

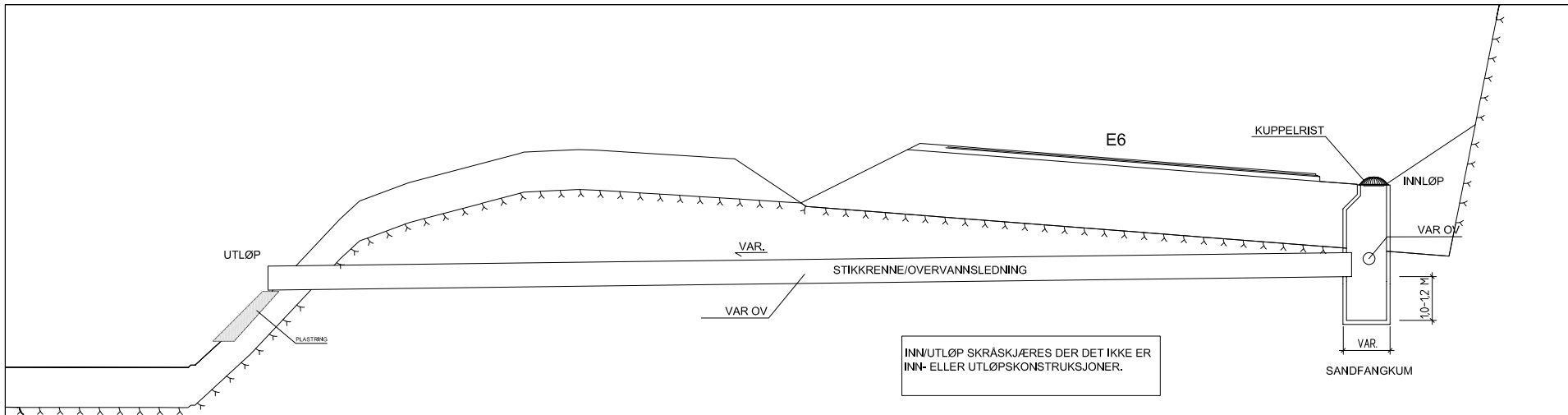


AVSKJÆRINGSGRØFT LØSMASSE

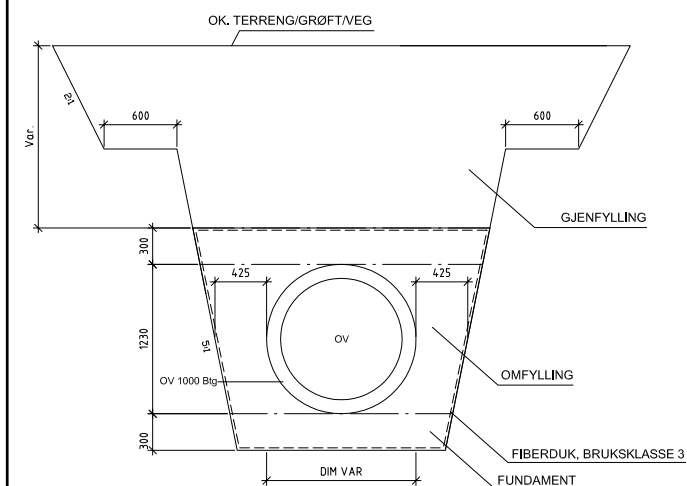


LANDBRUKSDRENERING-LØSMASSE
TYPISK SNITT

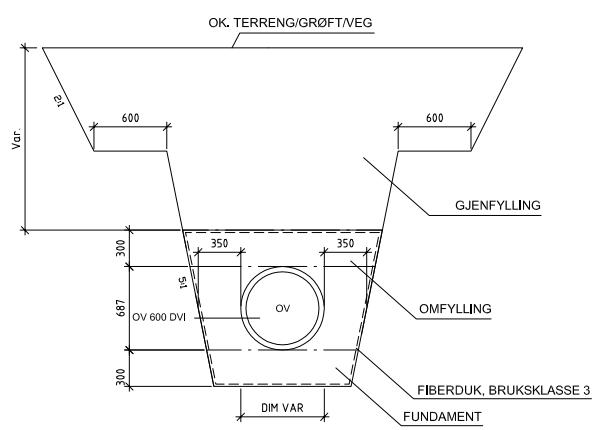
Revisjon	Revisjonens gjøter	Utart	Kontroll	Gjødert	Rev. dato
		Utgivelsesdato	15.04.2016		
Budsjett-regulering		Kunde	Slor Littero		
		Prosjekt for	Region midt		
Prosjekt: E6 Utsberg-Melhus		Prosjektansvar	Sweco Norge AS		
Parsell: E6 Sokedal		Prosjektleder	L&L S&L		
Grøftesnitt		Prosjektreferanse	16505058_037		
		Arkivreferanse	2015033200		
		Midtstans AI-forslag	120		
Konkurransegrunnlag					
Utarbeidet av	Kontrollert av	Gjødert av	Konsekvenser	Fagansvarlig	EUR/189 NTH H - 160200
NORAJA	NOOVJO	NOJADV	12564001	revisjonsleder	G4 110



TYPISK SNITT STIKKRENNE/OVERVANNsledNINGER MED SANDFANGKUMMER
M=1:50



GRØFTER STIKKRENNE/OV
LØSMASSE/FJELL TYPISK SNITT
M=1:20



GRØFTER STIKKRENNE/OV
LØSMASSE/FJELL TYPISK SNITT
M=1:20

Revisjon	Revisjons grunner	Utdatt	Konstr	Godkjent	Rev. dato
		Lagingsdato		15.04.2016	
Bidragsregulator		Revisor		Idar Lillebo	
Prosjekt: E6 Utberg-Melhus Parsell: E6 Soknedal Grøftsnitt stikkrenner		Produkt for		Region midt	
		Prosjekt nr		Sweco Norge AS	
		Prosjektnummer		644244	
		Prosjektreferanse		1650508_037	
		Arkivreferanse		2015033200	
		Måstetakk Al-først		1:20/1:50	
Konkurranseregulering					
Uttildelse av		Kontrollert av		Godkjent av	
NORAJA		NOJAOV		NOJAOV	
				Konsulentreferanse	
				12504.001	
				Tegningsnummer	
				revisjonsnotat	
				Konstruksjons	
				EUREF09-NTH 16 - M0200	
				G4 111	

Annex 3 Road Directorate Report VD No. 24 "Risiko- og sårbarhetsanalyse av stikkrenner mht værrelaterte hendelser



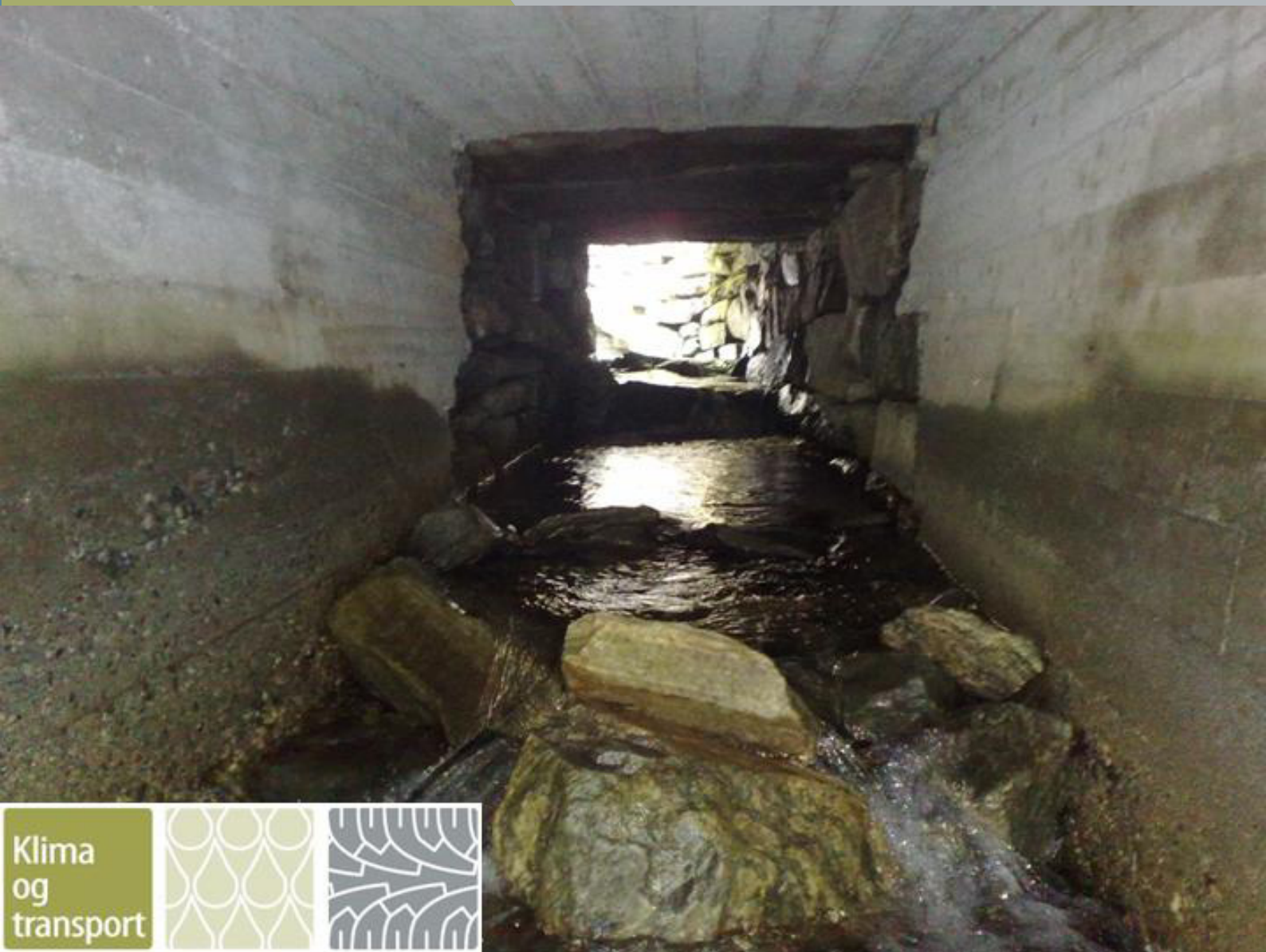
Statens vegvesen

Risiko- og sårbarhetsanalyser av stikkrenner mht værrelaterte hendelser

VD rapport

Vegdirektoratet

Nr. 24



Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø og teknologi
Geoteknikk og skred
Mai 2011

VD rapport

Tittel

Risiko- og sårbarhetsanalyser av stikkrenner mht værrelaterte hendelser

Undertittel

Forfatter

Skuli Thordarson, et.al

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø og teknologi

Seksjon

Geoteknikk og skred

Prosjektnummer

601995

Rapportnummer

Nr. 24

Prosjektleder

Gordana Petkovic

Emneord

Klima og transport, risiko- og sårbarhetsanalyser, drenering, stikkrenner

Sammendrag

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet "Klima og transport", etatsprosjekt 2007-2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for planlegging, prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av vegnettet som svar på endrede klimaforhold.

Rapporten gir en anbefaling til fremgangsmåten, datagrunnlag og dokumentasjon for risiko- og sårbarhetsanalyse av stikkrenner (kulverter) mht værrelaterte hendelser. Risikoanalyse, risikovurdering og risikohåndtering foregår på tre plan: (1) den første utvelgelsen av utsatte områder og stikkrenner på vegnettet, (2) utvidet analyse, som inkluderer inspeksjon og noen vurderinger av vannføring og kapasitet; og (3) spesiell analyse som forutsetter detaljerte beregninger av vannføring og vurdering av effekten av klimaendringer.

Antall sider 22

Dato Mai 2011

VD report

Title

Risk- and susceptibility analyses og culverts with respect to weather related events

Subtitle

Author

Skuli Thordarson et al.

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Geotechnical Section

Project number

601995

Report number

No. 24

Project manager

Gordana Petkovic

Key words

Climate and Transport, risk- and susceptibility analyses, drainage, culverts

Summary

This report belongs to a series of reports from the R&D programme "Climate and Transport", carried out by the Norwegian Public Roads Administration 2007-2010. The main objectives of the programme are to investigate the effect of climate change on the road network and recommend remedial actions concerning planning, design, construction and maintenance. This report offers recommendations for the procedure, necessary data and documentation for performing risk- and susceptibility analyses of culverts with respect to weather related events. Risk analysis, evaluation and management are described for three levels of assessment: (1) General recognition of vulnerable areas and individual culverts, (2) more elaborate investigation including inspection and estimates of runoff and hydraulic capacity, and (3) special analysis, including detailed calculation of water flow and estimate of the effects of climate change.

Pages 22

Date May 2011

Forord

Rapporten inngår i en serie rapporter fra FoU-prosjektet 'Klima og transport', etatsprosjekt 2007 – 2010. Hensikten med prosjektet er å forbedre rutiner og regelverk for prosjektering, bygging og drifting av veg som svar på endrede klimaforhold.

Klimaforskningen konkluderer med at vi etter all sannsynlighet vil få endring til et varmere klima, som antas å føre til en økning i nedbørmengde og intensitet, parallelt med økt stormfrekvens og stormstyrke. Effektiviteten og sikkerheten av vegnettet påvirkes av nedbør, vind og temperaturforholdene. Dette er elementer som har innvirkning på steinsprang, fjellskred og snøskred, overflatevann, flom og erosjon, frysing og tining samt snø og is på vegbanen.

'Klima og transport' jobber etter beskrivelser av klimaendringer og deres effekt på transportsektoren slik de er nedfelt i følgende dokumenter:

- NTP-rapport ”Virkninger av klimaendringer for transportsektoren”, laget av en tverretattlig gruppe i transportsektoren: Jan Otto Larsen (leder) og Pål Rosland (sekretær), Statens vegvesen Vegdirektoratet, Kjell Arne Skoglund, Jernbaneverket, Eivind Johnsen, Kystverket og Olav Mosvold Larsen, Avinor.
- Vedleggsrapport ”Regionale klimascenarier for transportsektoren i Norge – en oppdatering”, av Jan Erik Haugen og Jens Debernard, Det Norske Meteorologiske institutt, februar 2007. (Rapporten er basert på scenarier fra RegClim prosjektet.)
- ”Klima i Norge 2100”, utarbeidet for NOU Klimatilpassing av meteorologisk institutt, Bjerknessenteret, Nansensenteret, Havforskningsinstituttet og NVE, juni 2009.

'Klima og transport' består av følgende delprosjekter:

- Dp 1 Premisser og implementering
- Dp 2 Innsamling, lagring og bruk av data
- Dp 3 Flom- og erosjonssikring
- Dp 4 Snø-, stein-, jord- og flomskred
- Dp 5 Tilstandsutvikling på vegnettet
- Dp 6 Konsekvenser for vinterdrift
- Dp 7 Sårbarhet og beredskap

Prosjektleder for 'Klima og transport' er Gordana Petkovic og prosjektsekretær Reidun Svendsen. Mer informasjon om prosjektet: <http://www.vegvesen.no/klimaogtransport>

Denne rapporten er 'Klima og transport' sin anbefaling for metodikken og datagrunnlaget for risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser) av stikkrenner (kulverter) med hensyn til værrelaterte hendelser. Rapporten bygger på arbeidet og resultatene fra flere delprosjekter i 'Klima og transport', mest delprosjekt 3 Flom- og erosjonssikring (ansvarlig Frode Oset), spesielt pilotprosjekter på stikkrenner (rapport nr. 2566, VD17, VD18), og delprosjekt 7 Sårbarhet og beredskap (ansvarlig Arne Gussiås). Se vedlegg 5 og 6 for mer informasjon om disse delprosjektene.

Rapporten er skrevet av Skuli Thordarson (Vegsýn, Island), med bidrag fra Steinar Myrabø (JBV), Øystein Myhre og Kristine Flesjø, Vegdirektoratet, med flere fra prosjektgruppen. Tilsvarende anbefalinger er laget for bruer (prosjekt rapport VD23) og for vegoverbygning (prosjektrapport VD 25). For oversikt over andre rapporter fra 'Klima og transport', se vedlegg 7.

1	Innledning.....	2
1.1	Bakgrunn	2
1.2	Metode.....	3
1.2.1	Generelt	3
1.2.2	Kompetanse	3
1.2.3	Trinnvis ROS-analyse	4
1.2.4	Grunnlagsdata.....	5
2	ROS-analyse.....	6
2.1	Enkel ROS-analyse	6
2.1.1	Identifisering av sårbare stikkrenner og kulverter.....	7
2.1.2	Analyse og risikoevaluering	7
2.1.3	Rapportering	7
2.2	Utvidet ROS-analyse.....	8
2.2.1	Grunnlagsdata.....	8
2.2.2	Beregning av dimensjonerende vannmengder	9
2.2.3	Risikoanalyse	11
2.2.4	Rapportering	11
2.3	Spesiell ROS-analyse	11
2.3.1	Flomberegningsmetodenes anvendbarhet og usikkerhet.....	11
2.3.2	Hvordan innarbeide effekt av klimaendringer	12
2.3.3	Dokumentasjon og rapportering.....	12
3	Risikohåndtering	12
3.1	Utbedringstiltak	12
3.2	Overvåking	13
	Referanser.....	14
	Registreringsskjema for stikkrenner.....	15
	Veiledning til registreringsskjema for stikkrenner.....	16
	Utsatte stikkrenner – faktorer for sårbarhetsvurdering	21
	Aktuelt datagrunnlag og mulige kilder.....	22

1 Innledning

Hensikten med notatet er å beskrive ROS analyse av stikkrenner og kulverter i vegnettet slik at hensyn til klimaendringer blir ivaretatt. Denne beskrivelsen kan brukes ved vurdering av den enkelte konstruksjonen eller som input til analysen av sårbare punkter på en større del av vegnettet.

1.1 Bakgrunn

ROS analysen har fokus på vær- og klimarelaterte hendelser ved stikkrenner og kulverter som kan føre til redusert fremkommelighet eller stenging, eller har økonomiske konsekvenser som følge av redusert bæreevne.

Krav og anbefalinger til dimensjonering og utforming av stikkrenner og kulverter er blant annet gitt i håndbok 018 Vegbygging [1], 016 Geoteknikk i vegbygging [2] og 274 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger [3]. Figur 1 viser krav til returperioder gitt i Figur 403.1 i håndbok 018 (utg. 2011). Denne figuren er revidert fra tidligere utgaver av håndbok 018 bl.a. for å ta høyde for større vannmengder.

Veg-/dreneringselement	Valg av returperiode for nedbør ¹⁾	
	Veg med omkjøringsmuligheter	Veg uten omkjøringsmuligheter
Rister, sluk, overvannsledning, terrenggrøfter - LANGS VEIEN	50 år	100 år
Kulvert, innløp, utløp, nedføringsrenne - PÅ TVERS AV VEIEN	100 år	200 år
Sikring av nye eller justerte elve- eller bekkeløp ²⁾	100 år	200 år

¹⁾ I områder hvor overvann fra veg skal tilknyttes kommunale/lokale overvannssystemer skal kommunale/lokale dimensjoneringsregler følges.

²⁾ NVE skal kontaktes ved endring av vassdrag.

Figur 1 Returperioder for veganleggets avvannings- og drens system og sikringstiltak (Hb 018)

Underdimensjonering / manglende kapasitet og skader på stikkrenner kan føre til ulike hendelser:

- Vann i kjørebane
- Reduksjon av bæreevnen pga infiltrasjon, utvasking og erosjon av løsmasser i vegen
- Oversvømmelse med påfølgende skader på vegnett og andres eiendom
- Ras og utglidning
- Utvasking og kollaps av hele veibanen
- Problem med telehiv og iskjøving

1.2 Metode

1.2.1 Generelt

Generelle beskrivelser for risikoanalyser finner man bl.a. i NS 5814 Krav til risikovurderinger [4], NS-ISO 31000 Risikostyring: prinsipper og retningslinjer [5] og [6].

Som underlag for risikoanalyser er det viktig å definere indikatorene som er viktige for sannsynligheten for de ulike hendelser.

Viktige indikatorer for vurdering av sannsynlighet for hendelser ved stikkrenner er:

- Flomskred/stor sedimenttransport og endret arealbruk/inngrep oppstrøms
- Endret arealbruk/inngrep oppstrøms
- Nedbørfeltets størrelse og egenskaper i forhold til eksisterende kapasitet
- Oppslamming/oppsamling av sedimenter innløp/utløp og i røret
- Skader på stikkrennen eller området rundt (f.eks. erosjon ved inn-/utløp)
- Driftsmessige forhold, som tidligere hendelser og vedlikehold

Konsekvensene av en hendelse kan være store eller små og de kan inntreffe umiddelbart eller over tid. De viktigste konsekvensene er de som påvirker trafikantenes sikkerhet og fremkommelighet eller kan føre til stenging av veg.

Risiko er produktet av sannsynlighet og konsekvens. Sannsynlighet og konsekvens av en hendelse kan fremstilles sammen ved hjelp av en risikomatrix (Figur 2). ROS-analyse for stikkrenner og kulverter beskrevet her vil benytte denne metodikken.

Konsekvens \ Sannsynlighet	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4	Nivå 5
5	Yellow	Red	Red	Red	Red
4	Green	Yellow	Red	Red	Red
3	Green	Green	Yellow	Red	Red
2	Green	Green	Green	Yellow	Red
1	Green	Green	Green	Green	Yellow

Figur 2 Risikomatrix

Beregning av vannmengde, metodeutvikling for vannmengdeestimering og dimensjonering gjennomføres i samarbeid med fagpersoner innen vann og avløp og hydrologi. Oppdragsgiver må likevel gi hovedpremissene, velge sikkerhetsnivå og eventualiteter det skal dimensjoneres for. I følgende tekst er det gitt noen føringer for valg av metoder og inngangsdata.

1.2.2 Kompetanse

De som deltar i risikovurderingen, skal samlet ha:

- Kunnskap om og erfaring med bruk av risikoanalytiske metoder;
- Kunnskap om samspillet mellom analyseobjektet og vegnettets funksjon
- Fagkunnskap om:
 - Geologi og geoteknikk

- Hydrologi,
- Vegteknologi
- Stikkrenner/drenssystem,
- Erosjon og massetransport,
- Flom- og erosjonssikring og aktuelle farer;

1.2.3 Trinnvis ROS-analyse

Ved gjennomføring av ROS-analyser av stikkrenner og kulverter som underlag for strekningsvise ROS-analyser anbefales det at det gjennomføres en trinnvis analyse (analogt til inspeksjonsprosessene for bruer [7]).

- 1 **Enkel ROS-analyse** for å identifisere områder eller enkelte objekter hvor en vil kunne forvente skader på objektet eller tilstøtende veg som gir redusert fremkommelighet ved flomsituasjoner eller som et resultat av langvarig slitasje eller erosjon. Mulige konsekvenser av hendelser bør også ligge til grunn for identifiseringen.
- 2 **Utvidet ROS-analyse** av utsatte stikkrenner. En innhenter da mer detaljert informasjon om objektet og nedbørfeltet og gjennomfører forenklete kvantitative analyser. Dette inkluderer f.eks. kontroll av gjennomløpsarealer/kapasitet og tilstand ved befaring, samt enkel beregning av vannmengder.
- 3 **Spesiell ROS-analyse** av utsatte stikkrenner. Her gjøres en grundigere analyse av aktuelle nedbørsdata som gjelder for området og/eller en mer grundig inspeksjon av stikkrennens funksjon, samt større vekt på å få med effekten av klimaendringer.

I Figur 3 er det illustrert hvordan ROS-analysen kan gjennomføres på tre nivåer.



Figur 3 Eksempel på nivåer for ROS-analyser

Prosedyren tar utgangspunkt i at den kan bli avsluttet etter hvert av de tre trinnene, etter det som resultatene tillater dette. Dette vil si at et objekt kan bli godkjent på ”grønt” i risikomatriksen allerede ved gjennomført første eller annet trinn av analysen. Analysen og rapportering fra denne skjer ved hjelp av VegCIM systemet som brukes i Statens vegvesen for ROS-analyser av vegnettet.

1.2.4 Grunnlagsdata

En oversikt over aktuelt datagrunnlag og mulige kilder er gitt i Vedlegg 4. De viktigste dataene gjelder grunnlag for identifikasjon av område som skal inngå i undersøkelsen, bl.a. data om aktuell vegstrekning med tilhørende drens-system og avrenningsområde.

Datagrunnlaget bør defineres og avgrenses ved oppstart. Datagrunnlaget inkluderer:

- Geografiske data
- Tekniske/geotekniske data
- Driftsdata
- Meteorologiske og hydrologiske data

Pr i dag er det mangel på informasjon om stikkrenner i NVDB. Om NVDB inneholdt mer informasjon om stikkrenner kunne den forenklede analysen, eller utvelgelse av stikkrenner som trenger nærmere tilsyn, gjennomføres på kontoret /uten befarings. Bedre dekning med data i NVDB vil kunne oppnås i løpet av en funksjonskontraksperiode hvis alle stikkrenner inspiseres og registreres i NVDB. Det kan derfor hende at nødvendig informasjon er tilgjengelige først i trinn 2 i ROS analysen, dvs. etter gjennomført befarings. I første omgang kan en enkel befarings foretas langs strekningen hvis det ikke finnes data på stikkrenner i NVDB. Det vil kun være aktuelt å befare et utvalg av stikkrenner på vegnettet i forbindelse med ROS analysen.

Under befaringsen kan skjemaet i Vedlegg 1 benyttes. De viktigste informasjonene som bør registreres under befarings av stikkrenner og kulverter er:

- Stikkrenne/kulvert
 - tverrsnittsform (sirkulær/kvadr./rektang.)
 - dimensjon (diameter, lysåpning)
 - lengde
 - helning
 - materialtype
 - innløpsarrangement (kum/ikke kum, vingemurer ell annet)
 - erosjonsbeskyttelse ved innløp/utløp
 - evt. fordrøynings- / sedimentasjons basseng i tilløpsområdet
 - oppslammingstilstand (=> restkapasitet)
 - ev. synlig erosjon (både oppstrøms og nedstrøms, ev. gjennom fyllinga)
 - ev. skader på selve stikkrenna
- Grøfter
 - tverrprofil (bredde, dybde, sidehelning)
 - lengdehelning
 - kledningsmateriale/erosjonsbeskyttelse

- grunnforhold (infiltrasjonsmulighet eller tett), se også ”kledningsmateriale”
- oppslammingstilstand (=> restkapasitet)
- flommerker
- synlig erosjon

Krav til data og metode for beregning av vannføring varierer med nedbørfeltets størrelse og responstid. En anbefaling for dette er gitt i Tabell 1.

Tabell 1 Anbefalt datagrunnlag og metode for beregning av vannføring

Betegnelse på nedbørfelt	Omtrentlig areal	Datagrunnlag / beregningsmetode
Store felt / vassdrag Bruer	Større enn 100 km ²	Store felt / vassdrag er godt dekket med flomfrekvensanalyser, enten i selve vassdraget eller i nærliggende vassdrag (større usikkerhet jo kortere tidsserier)
Mellomstore felt / elver Små – mellomstore bruere	5 / 20 – 100 km ² Responstid avgjør hvor grensen går	Beste løsning, men svært sjeldent: Flomfrekvensanalyse og/eller klimastasjon med korttidsnedbør finnes i feltet. Akseptabelt, men sjeldent: Vannføringsdata finnes for et felt i nærheten med lignende feltegenskaper og/eller klimastasjon med korttidsnedbør finnes i nærheten. Problem, stor usikkerhet: Ikke data på vannføring i rimelig nærhet og heller ikke korttidsnedbør. Best egnede data for vannføring og nedbør benyttes av erfarne fagpersoner.
Små felt / bekker Stikkrenner	Mindre enn 5 / 20 km ²	Rasjonell formel. Egnert for kort responstid. Man må ha korttidsnedbør fra en representativ klimastasjon (som ikke nødvendigvis er den nærmeste)

2 ROS-analyse

2.1 Enkel ROS-analyse

Under den forenklete ROS-analysen er det hensiktsmessig å kunne hente ut mest mulig av data for stikkrenner og kulverter fra NVDB og/eller andre kilder og gjennomføre analysen uten å måtte inspisere objektene på befaring.

2.1.1 Identifisering av sårbare stikkrenner og kulverter

Aktuelle punkter som vil kunne karakterisere stikkrenner og kulverter som kan være utsatt og identifiseres i første trinn av analysen vil være:

- Skader på stikkrenner. Avhengig av materialegenskaper, sediment transport, alder og eventuelle korrosive materialer i vannet.
- Bratt terreng. Dette gir større fare for diverse skader knyttet til stikkrenner.
 - Masseførende bekkeløp, gjentetting av inntak: se etter sandfang eller fordrøyningsbasseng ved innløpet
 - Vann på avveie
 - Setninger på veggen, kan føre til rørutglidning
 - Erosjon i fyllingsfot
- Elv nedstrøms veg. Dette kan ved stor vannføring føre til:
 - Knusing/blokkering av utløpskonstruksjon
 - Tilbakeslag i stikkrenne, oppstuvning
- Påskjøtet stikkrenne i forbindelse med breddeutvidelse av veg.
 - Vann på avveie, lekker i skjøter og overganger
- Erosjonsutsatte skråninger/sideterreng. Gjentetting av stikkrenne (slam, vegetativt materiale etc.)
- Driftsrutiner. Manglende oppfølging
- Anleggsvirksomhet og nyåpning av veg. Erosjonsutsatte områder som fører til gjenslamming av drencsystem.
- Ising. Hindrer vannet i å strømme under/vekk fra vegbanen, fører til oppstuvning.
- Feil eller mangler ved innløps- eller utløpskonstruksjon til stikkrenner. Kan være tilfelle at rørdimensjonen er stor nok men blir ikke fullt utnyttet.
- Alternative vannveier, dvs. hvor går vannet hvis renna blir tett?

2.1.2 Analyse og risikoevaluering

Stikkrenner som har mangler iht. til listen her ovenfor kan tenkes å være utsatte mht. klima og klimaendringer. Disse bør vurderes med hensyn til mulige hendelser og sannsynlige konsekvenser. Ved evalueringen tas det spesielt hensyn til:

- Trafikkmengde på veggen
- Vegens viktighet, bl.a. omkjøringsmuligheter
- Generell usikkerhet om det samlede risikobildet, bla annet mengde og kvalitet på relevante data.

Resultatet av denne evalueringen avgjør om stikkrennen bør behandles iht. trinn to i analysen eller om analysen kan avsluttes allerede på nivå 1 med stikkrenne merket på ”grønt” i risikomatriksen, se Figur 2.

2.1.3 Rapportering

Rapporten skal følge disposisjonen som gis i VegCIM systemet (VegCIM er Statens vegvesens risikoanalyseverktøy). Det gis oppsummering av grunnlagsdata som er innhentet

og brukt under analysen. Kvaliteten på dataene og usikkerhet ved analysen diskuteres. Stikkrenner og kulverter som analysen omfatter listes opp strekningsvis og tildeles fargekode i samsvar med plassering i risikomatriksen. Resultat for enkelte objekter begrunnes.

Etter den enkle ROS-analysen vil stikkrenner og kulverter i hovedsak havne på ”grønt” i risikomatriksen uten merknader, eller på ”rødt” og dermed bli behandlet videre under den utvidede ROS-analysen. I tilfelle manglende data i NVDB er det eventuelt nødvendig med en overflatisk befarung i området. Da er det mulig at noen objekter blir plassert på ”gult” med anmodning om enkle tiltak før godkjenning på ”grønt”.

2.2 Utvidet ROS-analyse

Den utvidede ROS-analysen innebærer tilstandskontroll ved befarung, kapasitetsberegning av stikkrenne eller kulvert og forenkla dimensjonerende flomberegninger for det aktuelle nedbørfeltet.

2.2.1 Grunnlagsdata

Det brukes data som er innhentet under befarungen iht. registreringsskjema i Vedlegg 1 og evt. data fra NVDB om objektet er registrert der fra før, samt data om nedbør eller vannføring som anses å være godt nok for å gjennomføre en enkel kapasitets- og dimensjoneringskontroll. Befarungen har to hovedhensikter. For det første skal det samles inn materiale for å kunne gjennomføre den utvidete ROS-analysen, for det andre skal den sørge for at nødvendig data om stikkrenner og kulverter blir registrert i NVDB for fremtidig bruk.

Inspeksjon på stedet i forbindelse med ROS- analysen bør være mest mulig lik de inspeksjonsrutiner som benyttes iht. Håndbok 111 (registrering/datainnsamling for d/v-formål). Når formålet er å få data til kapasitetsberegning bør det legges spesiell vekt på:

- Objektets detaljerte dimensjoner og geometriske forhold.
- Tilrenningsforhold – grøfter og sideterreng.
- Spor i området etter spesielle forhold eller nylige endringer som kan gi uventet ugunstige avrenningsforhold, evt. fare for erosjon og/eller tilslamming og dermed nedsette drencsystemets funksjonsevne.

Det er vanskelig å få tatt nok bilder både før, etter og under en eventuell hendelse (flom etc.). Har man innmålingsdata/digitale kart kan dette gi mye god informasjon i tillegg til bildene. Ved befarung i forbindelse med (eller etter) flom bør man se etter flommerker og andre tegn, erosjon/massetransport etc. som kan bidra til å fastslå flommens størrelse mest mulig eksakt. Nedbørsdata for aktuelt tidsrom (flomhendelse) bør innhentes.

Allerede etter befarungen kan det tas stilling til om stikkrennen trenger vedlikehold for at den skal fungere som forutsatt. Det kan være nødvendig med rensk eller reparasjon. I tillegg kommer vurdering av tilstrekkelig kapasitet i forhold til dimensjonerende vannmengder.

2.2.2 Beregning av dimensjonerende vannmengder

For å kunne gjøre dimensjonsberegninger og kontrollere om eksisterende dimensjon på stikkrennen er tilstrekkelig, er det nødvendig å fastslå vannmengdene. Vannmengdene kan beregnes med ulike gjentakintervall (for eksempel 5, 10, 25, 50, 100, 200 år) som skal ledes gjennom dreneringssystemet.

Flere metoder kan brukes for beregning av dimensjonerende vannmengde.

I de små nedbørfeltene til stikkrennene vil man sjelden finne langtidsdata over vannføring i eller nær feltet, jfr. Tabell 1. Da vil flomberegning ved hjelp av nedbørsdata og den rasjonelle metoden være aktuell fremgangsmåte. Den er beskrevet i 2.2.2.1

For mellomstore nedbørfelt (kulverter eller korte bruer) har man, i den ideelle situasjon, data for vannføring og lang nok tidsserie for å gjennomføre en flomfrekvensanalyse. Dette er tilfelle for et fåtall felt i Norge, men denne situasjonen vil kunne forbedres med økt satsing på vannmålinger i små felt. Alternativt kan man noen ganger ha tilgjengelig vannføringsdata fra et annet felt med lignende feltegenskaper, som størrelse, responstid og avrenningsforhold m.m.

Overføring av data fra et annet felt innebærer imidlertid at man gjør en rekke antakelser som kan føre til store avvik i resultatene. Derfor er det spesielt viktig at det gjøres av erfarne fagpersoner, og at utfallet av beregninger bør sees i forhold til restkapasiteten på stikkrennen beregnet etter prinsippene omtalt i 2.2.2.3. Som en pekepinn kan en restkapasitet på 50 % eller mer anses å være tilstrekkelig.

Ved tilgang på vannføringsmålinger i feltet eller ved bruk av vannføringsdata fra nærliggende felt gis det flere muligheter for gjennomføring av flomfrekvensanalysen. Da vil fremgangsmåten kunne bli på linje med det som er beskrevet i tilsvarende notat om ROS-analyse av bruer i vegnettet.

2.2.2.1 Flomberegning med den rasjonelle metode

Den forenklete flomberegningen utføres ved hjelp av den rasjonelle metoden. Metoden kan benyttes ved beregning av overvannsmengder og dimensjonering av stikkrenner og ledninger for små, homogene nedbørsfelt med kort responstid. (Areal opp til ca. 20 km², avhengig av responstid, se Tabell 1).

Bruk av den rasjonelle metoden er beskrevet i håndbok 018, kapittel 405.4 Avrenning fra små felt.

Den rasjonelle formel:

$$Q = C * i * A * K_f$$

Q = avrenning (l/s)

C = avrenningskoeffisient

i = nedbørsintensitet (l/s ha)

A = areal (ha)

K_f = klimafaktor

Merk at klimafaktoren (Kf) ikke erstatter andre forutsetninger for å ta hensyn til klimaendringer. Den er kun ment får å veie opp mot usikkerheten av andre antakelser om klimaendringene.

Ofte vil nærmeste nedbørsstasjon med korttidsdata (times oppløsning, evt. mindre) ligge i stor avstand fra det aktuelle nedbørsfeltet. Dette er en kilde til usikkerhet. Det er en forutsetning at man tar hensyn til usikkerheten ved å vurdere utfallet av beregninger i forhold til restkapasiteten på stikkrennen beregnet etter dimensjoneringsprinsippene omtalt i 2.2.2.3. Forhold som påvirker nøyaktigheten vil bl.a. være selve datagrunnlaget og resultat fra følsomhetsanalyse (se 2.2.2.2).

Nedbørsintensitet basert på målinger fra enkelte klimastasjoner hentes fra IVF-kurver. Nedlasting av disse fra portalen *eklima.no* beskrives i håndbok 018. Eventuelt kan det sjekkes med *met.no* om mer oppdaterte data finnes. Stikkrennens kapasitet evalueres med hensyn til beregnede vannmengder for forskjellige returperioder.

Dersom resultatene fra de forenklede beregningene viser at stikkrennen/kulverten har liten restkapasitet i forhold til det beregnede behovet, bør en utføre detaljerte flomberegninger under den spesielle ROS- analysen. En restkapasitet på 50 % eller mer anses å være tilstrekkelig.

2.2.2.2 Følsomhetsanalyser og usikkerhet

Med følsomhetsanalyser menes at man for et gitt beregningsobjekt foretar beregninger med ulike gjentaksintervall (returperioder) og variasjon av øvrige parametere for å se hvordan det påvirker beregningsresultatet. Følsomhetsanalyser kan også omfatte studiet av hvordan ulike klimaendringsscenarioer påvirker beregningene.

Dersom klimaendringer medfører stor usikkerhet i beregningene kan det bety at man må velge et annet gjentaksintervall enn man i utgangspunktet ville valgt.

Avrenningskoeffisienten (C) i den rasjonelle formelen, bestemmes av fordrøyningen innenfor nedbørsfeltet. Den tar med andre ord hensyn til terrengets infiltrasjons- og vannlagringsevne. Om vinteren vil frost trenge ned i grunnen og redusere infiltrasjon. Ved brått mildvær og regn midt på vinteren vil derfor avrenningen bli større enn om sommeren. Å variere infiltrasjonen kan bli en del av følsomhetsanalysen, men mer detaljert behandling av fryse-tine vekslinger vil ellers bli en del av den spesielle ROS-analysen i neste trinn. Her kan det også tenkes å ta hensyn til eventuell snøsmelting på toppen av tilrenning fra nedbør.

2.2.2.3 Kapasitetsberegning

Prosedyre for kapasitetsberegninger for stikkrenner og kulverter gis i håndbok 018 (Kapittel 405.5 Dimensjonering – kulverter og stikkerenner). Ved befaring må nødvendige informasjon som trengs for å gjennomføre kapasitetsberegning kontrolleres, i tillegg til stikkrennens generelle tilstand.

2.2.3 Risikoanalyse

På samme måte som etter den enkle risikoanalysen bør stikkrennen plasseres i risikomatriksen. Objekter med god restkapasitet og funksjon iht. resultater fra inspeksjon på stedet vil da få en ”grønn” karakter. Eventuelt behov for enkle tekniske tiltak betegnes med ”gult”, mens objekter med liten restkapasitet eller dårlig teknisk tilstand føres videre til den spesielle ROS-analysen. Ved stor usikkerhet med kvaliteten på inngangsdataene og liten restkapasitet på stikkrennen i forhold til de beregnede vannmengdene bør en spesiell ROS-analyse gjennomføres for stikkrenner og kulverter som vil gi større konsekvenser enn normalt ved oversvømmelse eller sammenbrudd.

2.2.4 Rapportering

Rapporten skal følge disposisjonen som gis i VegCIM systemet. Oppsummering av grunnlagsdata og de beregningene som er foretatt rapporteres, sammen med beskrivelse av antakelser, følsomhetsanalyser og resultater fra befaringen. Her bør det også gis eventuelle anbefalinger for rensk eller annet vedlikehold, eller skjerpede inspeksjonsrutiner om dette er aktuelt.

2.3 Spesiell ROS-analyse

Den spesielle ROS-analysen er tenkt på objekter som havner på ”rødt” under den utvidede analysen. Den kan også tenkes for viktige objekter på vegnettet når det under forrige trinn hersker tvil om kvaliteten på inngangsdata eller at klimaendringene antas å kunne ha stor innvirkning på vannføringen. Fremgangsmåten blir i stor grad den samme som i kapittel 2.2, men her blir det lagt større vekt på kvaliteten på dataene, innarbeiding av klimaendringer og følsomhetsanalyse for både kapasitets- og dimensjoneringsberegninger. I tillegg kan det være oppdaget ting som krever en mer omfattende teknisk inspeksjon av en stikkrenne eller kulvert, som da blir gjennomført under den spesielle ROS-analysen.

Hensikten med den spesielle ROS-analysen er å gjennomføre detaljerte kapasitets- og flomberegninger for stikkrenner ut fra et bedre datagrunnlag og identifisere mulige utbedringstiltak samt å vurdere effekten av disse tiltakene. Dette inkluderer å gi anbefalinger for overvåking, regelmessig inspeksjon og vedlikehold eller tekniske utbedringstiltak.

2.3.1 Flomberegningsmetodenes anvendbarhet og usikkerhet

For hver metode skal man finne ut best mulige anvendelse, gyldighetsområde og hvilke usikkerheter den kan medføre ved estimeringen av dimensjonerende flommer. Metodevalg vil være avhengig av datatilgang, feltstørrelse og flomgenererende prosesser som antas å være viktige. I felt med forholdsvis lange tidsserier med vannføringsmålinger vil man bruke dataserier for å gjennomføre en flomfrekvensanalyse. I umålte felt kan man basere seg på observasjoner og kunnskaper fra målte felt som er sammenlignbare når det gjelder størrelse, responstid og feltform, samt har lignende klimaforhold. Det er viktig å samle opplysninger om mest ugunstige situasjon (nedbør, snøsmelting, temperaturforhold) for avrenning, dvs. hvilke forhold eller ”hendelser” som utløser de dimensjonerende flommene.

2.3.2 Hvordan innarbeide effekt av klimaendringer

Et viktig punkt er å få mer kunnskap om klimaendringer og flomrisiko i små felt. Målet må være å komme fram til hvor mye de ulike gjentaksnivåene endres, d.v.s. hvor mye endres en 200-års flom. I forbindelse med den rasjonelle metoden kan man f.eks. beregne IVF-kurver for klimascenarier. Gjennomfører man slik analyse for små felt over hele landet vil man få en god indikasjon på hvordan flomfrekvensen kan endres. Det finnes pr i dag ikke praktiske rutiner for anvendelse av nedskalerte klimaendringsscenarier til dette formålet, og i tillegg skjer det stadig oppdatering og utbedring av det regionale klimamodellene.

En må først få bedre datagrunnlag for de aktuelle områdene og teste ut ulike beregningsmetoder.

- Det er da ønskelig å velge ut noen sårbare områder, sårbare punkter på vegnettet og/eller punkter som er rimelig godt dekket med nedbør- og avrenningsdata.
- Videre kan det være aktuelt å gjennomføre dimensjonering av et utvalg stikkrenner ved hjelp av den rasjonelle formellen (med "gammelt" og oppdatert datagrunnlag) og basert på flomfrekvensanalyser.
- Utføre andre beregningsmetoder som kan være aktuelle, bl.a. NVE's flomberegningsprogram PQFLOM, slik at de kan testes ut og sammenlignes med resultatene fra flomfrekvensanalysene og/eller den rasjonelle formel.

En annen ting er at mulige konsekvenser av klimaendringer kan være større massetransport og tilslamning. Dette bør det tas hensyn til under ROS-analysen. Mulige tiltak ved utsatte stikkrenner kan være i form av et høyere liggende, eller et forskjøvet reserveløp i kombinasjon med en utvidet grøft eller et fordrøyningsbasseng som tar i mot sedimenter og mindre jordskred.

2.3.3 Dokumentasjon og rapportering

Som tidligere bør rapporteringen følge VegCIM-målet. Det gis oppsummering av grunnlagsdata og de beregningene som er foretatt. Antakelser og følsomhetsanalyser drøftes, og resultater fra befaringen gjengis. Kvaliteten på informasjonen om de aktuelle objektene som var tilstede i NVDB før analysen, skal beskrives i tillegg til hvordan registreringer i data basen ble oppdatert under analysen.

Tiltak som blir anbefalt skal beskrives og effekten av disse drøftes. Her bør det også gis eventuelle anbefalinger for rensk eller annet vedlikehold, eller skjerpede inspeksjonsrutiner om dette er aktuelt, for eksempel når stikkrennens plassering i risikomatriksen er usikker.

3 Risikohåndtering

3.1 Utbedringstiltak

Når analysen viser at sannsynlighet for en uønsket hendelse og konsekvensen av denne medfører en uakseptabel risiko bør tiltak iverksettes. Tiltak kan enten dreie seg om å redusere objektets sårbarhet eller å minske de negative konsekvensene av hendelsen.

Utbedringstiltak kan deles opp i fire kategorier ifølge RIMAROCC metoden [Referanse] for risikohåndtering av vegnettet med hensyn til klimaendringer. Disse tiltakstypene er:

- A. (Resistance) Tiltak som øker objektets motstand eller kapasitet mot den forventede belastningen. Dette vil for stikkrenner og bruer være for eksempel å bygge fordrøynings- og sedimentasjonsbasseng og/eller alternative flomveier og ekstra stikkrenner høyere opp i fyllinga, eller forbedre erosjonssikring.
- B. (Consequence reduction) Tiltak som reduserer de negative konsekvensene i tilfelle en uønsket hendelse skjer. Tilrettelegging av omkjøringsmuligheter i forkant av hendelse kan være et eksempel på dette.
- C. (Recovery capacity) Økt kriseberedskap. Tilrettelegge for rask utførelse av midlertidige reparasjoner kan være eksempel på dette.
- D. (Adaptive capacity) Her tar man utgangspunkt i mer langsiktig planlegging for å redusere sårbarheten. Dette kan være planlegging av tiltak i forbindelse med rutinemessig vedlikehold eller gjenbygging, for eksempel det å planlegge utskifting av stikkrenne med større kapasitet i forbindelse med fremtidig restaurering.

Man kan tenke seg strategier som inkluderer et eller flere av disse tiltakene i kombinasjon. Det er en fordel å satse på fleksible løsninger i og med at det er stor usikkerhet forbundet med virkningene av klimaendringer. Det er gunstig når tiltak medfører en gevinst, uavhengig av klimaendringer ("no-regret" løsninger).

Valg av løsninger og anbefalinger skal beskrives og rapporteres (se 2.3.3). Ved tiltak som innebærer tekniske utbedringer bør "restrisikoen" evalueres, dvs. objektet får en ny plass i risikomatrisen.

3.2 Overvåking

Noen ganger kan det være oppdaget forhold som gjør det aktuelt å innskjerpe rutinemessig inspeksjon eller vedlikehold. I slike tilfeller bør det sikres at driftskontraktene gir rom for dette. Uansett om ROS-analysen har ført til iverksettelse av tiltak eller ikke, vil det kunne bli endringer på et senere tidspunkt som påvirker risikobildet. Dette kan for eksempel være nye opplysninger om klimaendringer, rapporterte hendelser eller andre driftsrelaterte forhold. Nye og oppdaterte data, samt forbedrede analysemetoder o.l. vil også kunne føre til andre resultat. ROS analysen bør derfor tas opp igjen og evalueres etter en viss tid.

Referanser

- 1 Vegbygging / Statens vegvesen. - Oslo: Vegdirektoratet. Håndboksekretariatet, 2011. (Vegvesenets håndbokserie; håndbok 018).
- 2 Geoteknikk i vegbygging / Statens vegvesen. - Oslo: Vegdirektoratet. Håndboksekretariatet, 2010. (Vegvesenets håndbokserie; håndbok 016).
- 3 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger: veiledning / Statens vegvesen. - Oslo: Vegdirektoratet, 2008. (Vegvesenets håndbokserie; håndbok 274).
- 4 Krav til risikovurderinger (NS 5814:2008), Standard Norge, 2008 15 s.
- 5 Risikostyring: prinsipper og retningslinjer, Norsk standard NS-ISO 31000:2009, 2010, Standard Norge, 30 s.
- 6 Risikoanalyse: teori og metoder, Rausand og Utne, 2009, Trondheim, Tapir akademisk forlag, 389 s.
- 7 Inspeksjonshåndbok for bruer / Statens vegvesen. - Oslo: Vegdirektoratet. Håndboksekretariatet, 2000. - 352 s.. - (Vegvesenets håndbokserie; håndbok – 136).

Vedlegg 1

Registrerings skjema for stikkrenner

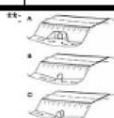
DATA	STIKKRENNE			Veg:	Hp:	m:	Leggear:	
	VENSTRE	MIDT	HØYRE	Fundamenteringstype:	Naturstein	Utgravd grop	Helstøpt	Halvstøpt
	Lengde (i meter):			Fyllingsmasser*:	Blokk/Stein	Grus/Sand	Silt/Leire	
	Endrede tilrenningsforhold:			Arealbruk	Hogst	Grofter	Veg	Annet
Tidligere tiltak:								

OPPSTRØMS	Terrengformasjoner:	Flatmark	Rasvifte	Skjæring:		Annet
	Stedlige masser *:	Blokk/Stein	Grus/Sand	Fjell	Løsmasse	Hav/innsjø/elv
	Skråningsoverflate:	Vegetasjon	Løsmasser	Murt	Trær/vegetasjon	Annet
	Fyllingshøyde (i meter):					
	Avsatte masser:	Nei	Litt	Mye		
	Fare for flomskred:	Nei	Liten	Stor		
	Synlig erosjon:	Nei	Ja	Bekkeløp		
	Erosjonsbeskyttelse:	Konstruert	Naturlig	Nei		
	Demping: (naturlig og konstruert)	Nei	Ja			
	Fordrøyning: (naturlig og konstruert)	Nei	Ja (volum:)	Fare for oppstuvning		
Vannføring:	Kontinuerlig:		Arsvanasjon	Stående vann	Tørrlagt	
	Liten	Stor				

KULVERT	Antall løp:					
	Type innløp**:	A/B/C	Naturstein:		Betong:	
		Grop (naturlig)	Frontmur	Kum	Frontmur	Kum
			Rist	Annet		
	Materialtype innløp:	Naturstein	Betong	Stål	Plast	
	Geometri innløp (i mm):	Rektangulært, b x h:	Sirkulært, diameter:	Halvsirkel, diameter:	Annet	
	Materialtype utløp:	Naturstein	Betong	Stål	Plast	
	Geometri utløp (i mm):	Rektangulært, b x h:	Sirkulært, diameter:	Halvsirkel, diameter:	Annet	
	Tilknyttet lukket drenering:	Inn	Ut	Nei		
	Fall:	OK	Dårlig			
Vinkel ift. vegretning: (90° er vinkelrett gulstripen)						
Retnings-/fallendring:						
Behov for vedlikehold:	Ja, reparasjon	Ja, rensk	Nei			

NEDSTRØMS	Terrengformasjoner:	Flatmark	Rasvifte	Fylling:		Annet
	Stedlige masser *:	Blokk/Stein	Grus/Sand	Stein	Løsmasse	Hav/innsjø/elv
	Synlig erosjon:	Nei	Ja	Bekkeløp		
	Erosjonsbeskyttelse:	Konstruert	Naturlig	Nei		

*: Blokk (>800mm), Stein (600-800mm)
Grus (80-2mm), Sand (2-0,6mm)
Silt/Leire (<0,06mm)



Firma:	Person:		
Dato:	Tid:		
Grønn/Gul/Rød:			
Gjentetningsstilstand:			
Innløp	Midt	Utløp	
Tegn inn strek for høyde, og angi % oppfyllingsgrad:			
Masser:	Slam	Slam	Slam
	Stein/grus	Stein/grus	Stein/grus
	Trær/kvister	Trær/kvister	Trær/kvister
Kommentarer:			
Groftedybde (i meter):			

Vedlegg 2

Veiledning til registreringsskjema for stikkrenner

DATA

Veg:

Vegnavn

Hp:

Hovedparsellnummer

m:

Meterverdi i hovedparsell

Leggeår:

År stikkrenna er lagt

VENSTRE, MIDT, HØYRE

Kryss av for venstre-, midt- eller høyrerenne. Venstre- og høyrerenner ligger i grøfta langsmed vegen. Midtrenner går på tvers under vegen.

Fundamenteringstype: Naturstein, Utgravd grop, Helstøpt, Halvstøpt

Fundamenteringstype som stikkrenna ligger på. Vanskelig å se. Må antakelig innhente informasjon.

Lengde (i meter):

Notér omtrentlig lengde på stikkrenna. Innhentet informasjon, eventuelt måles (laser, målebånd, øyemål).

Fyllingsmasser*: Blokk/Stein, Grus/Sand, Silt/Leire

Masser som vegfyllingen består av. Kan muligens observeres, ellers innhent informasjon.

* gir definisjonen på kornstørrelse.

Endrede tilrenningsforhold: Arealbruk, Hogst, Grøfter, Veg, Annet

Endringer i terreng som medfører endrede tilrenningsforhold. Fra eventuelt innhentet informasjon.

Tidligere tiltak:

Endringer som er gjort på stikkrenna tidligere. For eksempel rensk, utskiftning av deler, påbygg og lignende.

OPPSTRØMS

Terrengformasjoner: Flatmark, Rasvifte, Fjellskjæring, Løsmasseskjæring, Annet

Hva slags terreng oppstrøms. Flere alternativer mulig. Skriv for eksempel flatmark 100 meter, så fjellskjæring. Dersom høyre-/venstrerenne, er terrengformasjonen ”grøft”, skriv under Annet.

Stedlige masser *: Blokk/Stein, Grus/Sand, Silt/Leire, Trær/vegetasjon, Hav/innsjø/elv

Masser i terreng oppstrøms. Flere alternativer mulig. * gir definisjonen på kornstørrelse.

Skråningsoverflate: Vegetasjon, Løsmasser, Murt, Annet

Overflata på vegfyllingen over innløpet. Flere alternativer mulig.

Fyllingshøyde (i meter):

Cirka høyde på vegfyllingen. Målt fra bunn av innløpet til vegkanten.

Avsatte masser: Nei, Litt, Mye

Avsatte masser oppstrøms ned mot innløpet. For eksempel stein, grus eller finere stoffer. Mye = så mye at det kan bli et problem for innløpet til stikkrenna.

Fare for flomskred: Nei, Liten, Stor

Er det potensielt fare for flomskred oppstrøms ned til denne stikkrenna? Mange, runde steiner som har rast nedover kan tyde på dette.

Synlig erosjon: Nei, Ja, Bekkeløp

Tegn på erosjon i området rundt stikkrenna oppstrøms. Et naturlig bekkeløp (tørt eller vått) oppstrøms regnes ikke som erosjon.

Erosjonsbeskyttelse: Konstruert, Naturlig, Nei

Om det finnes konstruerte (for eksempel murt, steinsatt) eller naturlige (for eksempel vegetasjon) anordninger oppstrøms/ved innløp som hindrer erosjon av området oppstrøms og rundt innløpet til stikkrenna.

Demping: Nei, Ja

Om det finnes konstruerte eller naturlige anordninger som bremser vannets hastighet ned mot innløpet. For eksempel bremsende steiner oppstrøms eller rett foran innløpet.

Fordrøyning: Nei, Ja (volum:), Fare for oppstuvning

Om det finnes konstruerte eller naturlige anordninger som fordrøyer vannets volum inn i innløpet. For eksempel basseng eller grop rett foran innløpet. Fare for oppstuvning – er det potensielt fare for at stikkrennas innløp kan tette seg, for så at det dannes en stor ”innsjø” foran innløpet? Problemet kan oppstå i flatt terreng.

Vannføring: Liten kontinuerlig, Stor kontinuerlig, Årsvariasjon, Stående vann, Tørrlagt

Vannføring ned mot stikkrenna. Dersom det er vann ned mot stikkrenna utenom nedbørs- og smelteperioder, tyder det på at vannføringen er kontinuerlig året rundt. Stor kontinuerlig = forholdsvis mye vann. Årsvariasjon = tegn på vannføring ned til stikkrenna i perioder, observeres for eksempel som et tørt bekkeløp. Stående vann = ved innløpet, for eksempel på grunn av høyere ellevann på nedstrøms side, eller på grunn av tett stikkrenne.

KULVERT

Antall løp:

Antall løp stikkrenna består av. Sjelden mer enn 3 løp, i de fleste tilfeller kun 1 løp.

Type innløp:** A/B/C, Naturstein frontmur, Naturstein kum, Betong frontmur, Betong kum, Grop (naturlig), Kuppelrist, Flatrist, Annet

** gir skissetegning av innløp type A, B eller C (skriv om aktuelt riktig bokstav i ruta).

Naturstein frontmur = En mur av naturstein rundt innløpet. Innløpet kan for eksempel være en rektangulær/kvadratisk/halvsirkel åpning i muren, eller et betong-/stålrør med oppbygd naturstein rundt.

Naturstein kum = En oppbygd grop av steiner foran innløpet, må ha fire sider samt bunn (slags basseng). Kummen ligger under nedre kant av innløpet. Overflaten er ikke dekt av rist.

Betong frontmur = Samme som naturstein frontmur, men støpt i betong.

Betong kum = Samme som naturstein kum, men støpt i betong.

Grop (naturlig) = Nesten som kum, bare ikke støpt i betong eller steinsatt. Slags hull/basseng av jord-/steinmasser foran innløp. Kan være gravd ut naturlig av vannet, eller med for eksempel gravemaskin.

Kuppelrist = Rist over kum/sandfang med kuppelform. Innløp ligger under rist, nede i kummen.

Flatrist = Flat rist over kum/sandfang. Innløp ligger under rist, nede i kummen.

Ved annen type innløp er det viktig å dokumentere med bilder og eventuelt skissetegning i kommentarfeltet.

Materialtype innløp: Naturstein, Betong, Stål, Plast

Materiale brukt i innløp. Legg merke til at stikkrenna kan være annerledes utformet i utløp enn i innløp. Det kan for eksempel bety at en tredjedel av stikkrenna fra innløpet er utført i naturstein, de siste to tredjedeler av stikkrenna ut mot utløpet er betongrør.

Geometri innløp (i mm): Rektangulært b x h, Sirkulært diameter, Halvsirkel diameter, Annet
Mål i innløpet. Mål på rektangulære innløp føres bredde x høyde. Før tallet/tallene i millimeter, selv om målingen bare er nøyaktig til centimeter.

Materialtype utløp: Naturstein, Betong, Stål, Plast

Materiale brukt i utløp. Legg merke til at stikkrenna kan være annerledes utformet i utløp enn i innløp. Det kan for eksempel bety at en tredjedel av stikkrenna fra innløpet er utført i naturstein, de siste to tredjedeler av stikkrenna ut mot utløpet er betongrør.

Geometri utløp (i mm): Rektangulært b x h, Sirkulært diameter, Halvsirkel diameter, Annet
Mål i utløpet. Mål på rektangulære utløp føres bredde x høyde. Før tallet/tallene i millimeter, selv om målingen er bare nøyaktig til centimeter.

Tilknyttet lukket drenering: Inn, Ut, Nei

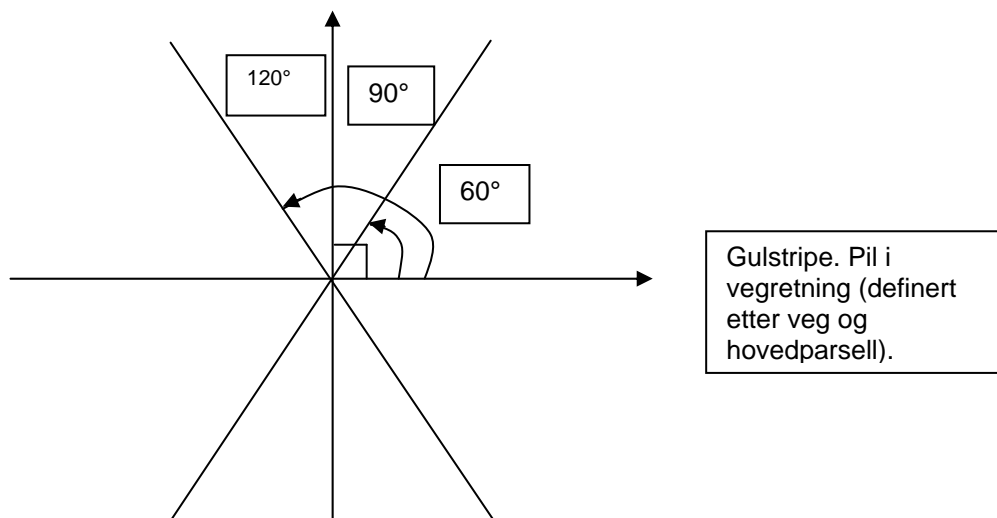
Om stikkrenna er tilknyttet lukket kum i inn- og/eller utløp, eller om det er plassert rør ned mot innløpet. Flere alternativer er mulig (både Inn og Ut).

Fall: OK, Dårlig

Om fallet på stikkrenna er OK slik at vannet renner tilfredsstillende (og i riktig retning). I motsatt tilfelle er det dårlig fall.

Vinkel ift. vegretning:

Definerer 90° som vinkelrett gulstripa. Se tegning.

**Retnings-/fallendring:**

Om det har skjedd endringer i stikkrennas retning eller fall (for eksempel knekk) etter at den har blitt lagt.

Behov for vedlikehold: Ja reparasjon, Ja rensk, Nei

Oppsummerer stikkrennas tilstand. Rød er behov for reparasjon, utskiftning eller omfattende utgraving av stikkrenna. Gul betyr behov for rensk av stikkrenne, enten for trær/kvister, stein/grus eller slam. Grønn er OK tilstand.

NEDSTRØMS

Terrengformasjoner: Flatmark, Rasvifte, Steinfylling, Løsmassefylling, Annet

Hva slags terreng nedstrøms. Flere alternativer mulig. Skriv for eksempel flatmark 20 meter, så annet (elv). Dersom høyre-/venstrestenne, er terrengformasjonen ”grøft”, skriv under Annet.

Stedlige masser *:

Masser i terreng nedstrøms. Flere alternativer mulig. * gir definisjonen på kornstørrelse.

Synlig erosjon: Nei, Ja, Bekkeløp

Tegn på erosjon i området rundt stikkrenna nedstrøms. Et naturlig bekkeløp (tørt eller vått) nedstrøms regnes ikke som erosjon.

Erosjonsbeskyttelse: Konstruert, Naturlig, Nei

Om det finnes konstruerte (for eksempel murt, steinsatt) eller naturlige (for eksempel vegetasjon) anordninger nedstrøms/ved utløp (for eksempel energidreperbasseng) som hindrer erosjon av området nedstrøms stikkrenna.

VENSTRE MARG**Firma:**

Statens vegvesen (SVV)

Person:

Initialene til personen som har ført registreringene.

Dato:

Dato registreringene er ført.

Tid:

Tidspunkt registreringene er ført.

Grønn/Gul/Rød:

Farg ruten til høyre for denne teksten grønn, gul, eller rød, avhengig av tilstand registrert under KULVERT, behov for vedlikehold. For at man skal kunne se det tydelig for hver stikkrenne om den er i orden eller ikke.

Gjentettingstilstand: Innløp, Midt, Utløp

Tegn inn strek for høyde av det som tetter igjen innløp, midt i renna og utløp (alle tre). Skriv i tillegg prosent oppfyllingsgrad (anslå cirka) i alle tre ruter. Bruk sirklene om det er et rør, rektanglene om stikkrenna er i rektangulær/kvadratisk form. Kryss av for hva slags masser som tetter for hver av de tre stedene (innløp, midt, utløp). Hvis gjentettingstilstanden er null, skriv 0 % i aktuelle sirkler/rektangler.

Kommentarer:

Felt for å skrive kommentarer og andre tilføyninger.

Vedlegg 3

Utsatte stikkrenner – faktorer for sårbarhetsvurdering

Faktor/objekt	Konsekvens	Tiltak
Registrerte skader på stikkrenner.	Stålrør ruster (hull, kollaps)	Inspeksjon, Utskiftning
Finkornige løsmasser	Finkorning materiale(eksempel siltig sand) gir større utfordring for drenering av vannet hvis det er forekommer en kollaps eller hull enn grovt materiale (eksempel puk).)	Inspeksjon, Utskiftning
Bratt terreng	<ul style="list-style-type: none"> • Masseførende bekkeløp • Vann på avveie • Setninger på vegen (rørutglidninger) • Erosjon i fyllingsfot 	Inspeksjon, rensk, reserveløp, erosjonssikring, utskiftning
Elv nedstrøms veg	<ul style="list-style-type: none"> • Om vannstand ved stor vannføring når opp til utløpskonstruksjonen kan man få knusing/blokkering av utløpskonstruksjon ved masseførende elv. • Tilbakeslag i stikkrenne, oppstuvning 	inspeksjon
Påskjøtet stikkrenne i forbindelse med breddeutvidelse av veg	Vann på avveie - lekkasje i skjøter/overganger	Gjennomgående stikkrennekonstruksjon
Erosjonsutsatte skråninger/sideterreng	Gjentetting av stikkrenne (slam, vegetativt materiale, etc)	Sikring, eventuelt jevnlig inspeksjon og drifting
Driftsrutiner som ikke er tilfredsstillende	Oppstuvning, gjentetting, vann på avveie, dreneringssystem som ikke fungerer etter hensikten	Bedre driftsrutiner, oppfølging og erfaringsoverføring
Anleggsvirksomhet og nyåpning av veg	Erosjonsutsatte områder som fører til gjenslamming av drens-system, skjer ofte før vegetasjonsetableringen.	Erosjonskontroll anleggsfase
Ising	Hindrer vannet i å strømme under/vekk fra vegbanen, fører til oppstuvning	Drift, utskifting av stikkrenne til en med iskontroll.
Ingen alternative vannveier	Oversvømmelse	Reserveløp

Vedlegg 4

Aktuelt datagrunnlag og mulige kilder

Type data		Kilde
Geografiske data	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikasjon av område som skal inngå i undersøkelse • - vegstrekning m/tilhørende drencsystem og avrenningsområde • - for eksempel identifikasjon av alle stikkrenner og grøfter mv. som skal kontrollberegnes 	Data defineres og avgrenses før omfanget av andre data fastlegges
	<ul style="list-style-type: none"> • Kartgrunnlag, flyfotos, satellittbilder o.a. som viser topografiske forhold, vassdrag og sjøer, skog/vegetasjon, jordbruksareal, bebyggelse, etc (grunnlag for å fastsette data med ønskelig nøyaktighet til bruk ved avrenningsberegninger) 	NVDB og/eller vanlig brukt prosjekteringsgrunnlag
	<ul style="list-style-type: none"> • Grunnforhold (grunnundersøkelser for veglinja) 	NVDB
Tekniske data	<ul style="list-style-type: none"> • Data om antall/plassering av stikkrenner, kummer mv. • Innmålingsdata/digitale kart. 	NVDB, andre kilder/arkiv
	<ul style="list-style-type: none"> • Data om dimensjon/utforming av eksisterende enkeltobjekter som skal kontrollregnes, for eksempel: • <u>Stikkrenner/kulverter</u>: Detaljerte data om dimensjoner og utforming, så som rørdiameter, helning, lengde, innløps- og utløpsutforming, oppslammingstilstand, sandfang-/kumtype, erosjonsbeskyttelse ved inn- og utløp. • <u>Grøfter (sidegrøfter, terrenggrøfter mv.)</u>: Grøfteprofil (dvs. bredde, dybde, sidehelning mot veg og mot terreng), lengdehelning, kledningsmateriale/erosjonsbeskyttelse, oppslammingstilstand. • Eksisterende fordrøyningsløsninger: 	Det sjekkes i det enkelte prosjekt om det finnes data i NVDB
	<ul style="list-style-type: none"> • Bilder (fotos) som enkeltobjektene kan identifiseres og vurderes ut fra. Bilder sier utrolig mye. I tillegg til det som fins i arkiver bør det tas rikelig med bilder ved befaring/inspeksjon. 	NVDB (Vidkon) og diverse prosjekterrelaterte arkiv.
Driftsdata	<ul style="list-style-type: none"> • Drifts- og vedlikeholdsdata, rapporter etc. Bl.a.: • - eldre arkiv, data fra før 2003 (delingen av SVV) • - nyere arkiv • (data om inspeksjon, tilstandsrapportering, hendelseshistorikk så som flomhendelser, utførte tiltak som rensk, reparasjoner og utbedringer, oppgradering og skifting av rør, etc.) 	Eldre arkiv, samt nyere arkiv i forb. med funksjonskontrakter
	<ul style="list-style-type: none"> • Kartlegging av hendelser/endringer i nær- eller fjerntliggende deler av tilrenningsområdet (nedbørfeltet) som over tid (flere tiår) kan ha endret avrenningsforholdene (skoghogst, dyrking, feltutbygging, veger, VA-systemer, etc.) 	Kommunale arkiver og etater
Meteorologiske og hydrologiske data	<ul style="list-style-type: none"> • Nedbørsmålinger, temperaturdata etc. 	DNMI (eklima.no)
	<ul style="list-style-type: none"> • Vannføringsmålinger 	NVE m.fl. sjekkes mht. om det fins data.

Vedlegg 5



Delprosjekt 3 Sikring mot flom og erosjon

Delprosjektet omfatter utredning av behov og muligheter for tilpasning til endret klima, både gjennom dimensjonering av drenering, erosjonssikring eller vegen og ved endringer i kriterier for valg av løsninger. Målet er å formulere forslag til endringer i retningslinjer for prosjektering, tilstandsvurdering og vedlikehold. Et titalls pilotprosjekter brukes til utprøving og demonstrasjon.

Delprosjektet er organisert i følgende aktiviteter:

- 3-1 Drenering
- 3-2 Erosjonssikring mot strømmende vann
- 3-3 Sikring mot bølgeerosjon
- 3-4 Miljøeffekt av endret klima
- 3-5 Overvann: fordrøyning, drenering og vanngjennomløp (2010)

Drenering ser på følgende tema:

- metoder og datagrunnlag for beregning av nødvendig dreneringskapasitet,
- for nye veger: bedre verktøy for prosjektering og valg av drensløsninger for vegkroppen og omgivelsene
- for drift/vedlikehold og eventuell oppgradering av eksisterende veger: tilstandsvurdering, tilstandsdata til bruk i kontrakter

Erosjonssikring mot strømmende vann ser på utfordringer knyttet til prosjektering og sikring av brufundamenter samt beskyttelse av vegens omgivelser og sikring av vegskråninger.

Sikring mot bølgeerosjon ser på utfordringer knyttet til veger, ferjekaier, tilløpsfyllinger for bruer og deres sikring mot bølgeerosjon og overskylling.

Miljøeffekt av endret klima har som mål å utvikle et bedre og klimatilpasset grunnlag for valg og prosjektering av renseløsninger for avrenningsvann fra veg.

Overvann: fordrøyning, drenering og vanngjennomløp er en koordinerende aktivitet i 2010 som har som mål å utvikle grunnlag for en håndbok med vannhåndtering som tema.

Delprosjektleder: Frode Oset, Vegdirektoratet.

Fagsekretær for delprosjektet: Kristine Flesjø, Vegdirektoratet

Vedlegg 6



Delprosjekt 7 **Sårbarhet og beredskap**

Alt som ikke kan forbygges må takles med funksjonell beredskap, tilpasset klimaforhold. Delprosjektet omfatter rutine, krav og kontraktsmal for varsling, beredskapssystem inkludert kriterier for tiltak (stenging eller annet) for både flom og skred ut fra beredskapstrinn.

Delprosjektet er organisert i følgende aktiviteter:

- 7-1 Beredskapssystem
- 7-2 Risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS)
- 7-3 Beredskapskurs for entreprenører

Beredskapssystem og dets funksjonalitet er viktig for klimatilpasning. Prosjektet skal kartlegge og vurdere Statens vegvesens beredskap under hendelser som skyldes ugunstige væreforhold, samt utarbeide forslag til endrede beredskapsrutiner under endrede klimaforhold og ugunstig vær. Fokuset er på trinnvis beredskap. Inkludere faglig grunnlag i forhold til ulike typer hendelser samt utprøve bruken av webportalen "Føre var" (delprosjekt 2). Trinnvis beredskap

ROS-analyser av vegnettet mht alvorlige hendelser som kan føre til stengning av vegen, utføres av Statens vegvesen som oppfølging av SAMROS prosjektet. Arbeidet utføres i regionene /distriktene. 'Klima og transport' bidrar med en veiledning til hvordan dette arbeidet skal inkludere hensyn til mulig effekt av klimaendringer.

Beredskapskurs for entreprenører gjennomføres i Statens vegvesens regi ved oppstarten av hver kontraktsperiode. 'Klima og transport' tar sikte på å utvide kurset til flere typer skred og til beredskap mot flom. Kursene var opprinnelig utformet med tanke på snøskred. Arbeidet utføres av Jan Otto Larsen og arbeidsgruppen. Tankegangen for trinnvis beredskap følges og muligheter som webportalen "Føre var" kan gi på sikt presenteres.

Delprosjektleder: Arne Gussiås, Statens vegvesen, Region midt

Vedlegg 7



Prosjektrapporter fra 'Klima og transport' - pr mai 2011

Rapportnr.	Tittel	Utarbeidet av
2519	Klimapåvirkning av vegbyggingsmaterialer State of the art studie	Bjørn Ove Lerfald og Inge Hoff, SINTEF Byggforsk
2520	Vurdering av EDB-system for beregning av nedbrytning av veg	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2542	Status og problemstillinger for grusvegnettet ved endret klima	Per Otto Aursand og Joralf Aurstad, Statens vegvesen og Ivar Horvli, ViaNova Plan og Trafikk AS
2566	Pilotprosjekt på stikkrenner E 136 Dombås - Ålesund	Kristine Flesjø og Hilde Hestangen, Statens vegvesen og Than Ngan Nguyen, NTNU student
2573	Rensing av overvann fra vei i fremtidens klima, 2071-2100	Thorkild Hvitved-Jacobsen, Jes Vollertsen og Svein Åstebøl, COWI
2582	Modellforsøk med flomskred mot bruer Virkning av bruåpning og ledevoller	Priska Heller og Lars Jenssen Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU
2586	Utvikling og uttesting av skredrisikomodel for vegnettet i Norge	Heidi Bjordal og Martin Weme Nilsen, Statens vegvesen
2560	Erosjonsskader ved Middøla bru: årsak og tiltak	Lars Jenssen, NTNU, Erik Holmqvist og Kari Svelle Reistad, NVE
2599	Klimaets påvirkning på tilstandsutvikling for vegdekker – E136	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS
2600	Risikovurdering av steinsprangfare på Oppdølsstranda Samling av bakgrunnsmateriale	Heidi Bjordal, Statens vegvesen
2609	RV362 Bitu bru, Vinje kommune, Telemark, Pilotprosjekt erosjonssikring	Øyvind Armand Høydal,NGI
2610	Veger og drivsnø Håndbok om planlegging og drift av veger i drivsnøområder - Høringsutgave	Harald Norem og Espen Thøring, Statens vegvesen, Skuli Thordarson, Vegsýn
VD 4	Ny prioriteringsmodell for rassikringsplanene	Viggo Aronsen, Statens vegvesen m.fl.
VD 17	Pilotprosjekt på stikkrenner Casestudier Bulken, Sagelva og Neveråa	Jon Erling Einarsen, ViaNova Plan og Trafikk AS, Lena Tøfte, SINTEF, Øyvind Simonsen og Eivind Hesselberg, COWI AS
VD 18	Pilotprosjekt på stikkrenner Kapasitetsberegning E136 Dombås - Ålesund	Espen Arntzen, Egil Andersen, Multiconsult AS
VD 19	Databehov ved trinnavis varsling av snøskredfare Erfaringer fra lokal og regional varsling i Møre og Romsdal mars 2010	Tore Humstad, Statens vegvesen
VD 20	NVDB som grunnlag for klimatilpasning Vurdering av datamodeller og data	Knut Jetlund, Statens vegvesen

VD 21	Samordning av vær- og klimadata Hvordan oppnå bedre utnyttelse av data fra statens værstasjoner?	Tore Humstad, Statens vegvesen m.fl.
VD 22	Kartportal FørVar Oppsummering ved prosjektets slutt	Tore Humstad, Statens vegvesen
VD 23	ROS-analyser av bruer mht værrelaterte hendelser	Arne Gussiås, Hans Olav Hagen, Statens vegvesen
VD 24	ROS-analyser av stikkrenner mht værrelaterte hendelser	Skuli Thordarson, Vegsýn, Steinar Myrabø, Jernbaneverket og Øystein Myhre, Statens vegvesen
VD 25	ROS-analyser av vegoverbygning mht værrelaterte hendelser	Ivar Horvli, ViaNova Plan og trafikk AS /Statens vegvesen
VD 26	Tilstandsutvikling på vegnettet Virkninger av endret klima på sporutvikling på veger med bituminøst dekke	Ragnar Evensen, ViaNova Plan og trafikk AS
VD 27	Veger og snøskred Håndbok om sikring mot snøskred - Høringsutgaven	Harald Norem, Statens vegvesen
VD 28	Beredskapsplan for driftskontraktene Forslag til ny mal for beredskapsplan ved uvær og naturfarer	Tore Humstad, Solveig Kosberg, Statens vegvesen
VD 30	Miljøeffekt av endret klima Oversikt over mulige problemstillinger	Ola Nordal, Asplan Viak AS



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Boks 8142 Dep.
N-0033 Oslo
Tlf. (+47 915)02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN: 1892-3844

Annex 4 Values

No.	Useful Life in years	Discount Rate (%)	Initial Values			Net Present Value			Future Worth			Annual Worth			IRR
			Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	

A. HIGH INVESTMENT: New construction and maintenance

1	20	4%	7 918 700,00	1 598 820,00	6 714 875,65	7 614 134,62	1 537 326,92	6 456 611,20	16 683 506,57	3 368 472,60	14 147 230,23	560 261,35	-113 119,21	-475 088,75	2,73 %
2	25	4%	7 918 700,00	1 598 820,00	6 726 981,51	7 614 134,62	1 537 326,92	6 468 251,45	20 298 036,69	4 098 261,96	17 243 299,72	487 395,70	-98 407,31	-414 045,47	2,82 %
3	40	4%	7 918 700,00	1 598 820,00	6 751 831,88	7 614 134,62	1 537 326,92	6 492 146,04	36 555 617,35	7 380 738,27	31 168 927,04	384 692,65	-77 671,12	-328 005,87	2,98 %
4	50	3%	7 918 700,00	1 598 820,00	6 787 206,42	7 688 058,25	1 552 252,43	6 589 520,80	33 703 724,84	6 804 928,76	28 887 839,90	298 800,19	-60 329,06	-256 104,98	3,22 %
5	80	2%	7 918 700,00	1 598 820,00	6 870 710,93	7 763 431,37	1 567 470,59	6 735 991,11	37 850 137,30	7 642 107,48	32 840 914,79	195 333,41	-39 438,67	-169 482,29	3,79 %
6	100	2%	7 918 700,00	1 598 820,00	6 890 694,20	7 763 431,37	1 567 470,59	6 755 582,55	56 243 312,96	11 355 769,71	48 941 804,90	180 132,91	-36 369,62	-156 748,05	3,92 %

No.	Useful Life in years	Discount Rate (%)	Initial Values			Net Present Value			Future Worth			Annual Worth			IRR
			Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	
B. MEDIUM INVESTMENT - Half construction and maintenance															
1	20	4%	7 923 250,00	1 085 570,00	6 724 408,81	7 618 509,62	1 043 817,31	6 465 777,71	16 693 092,73	2 287 132,26	14 167 315,17	560 583,27	-76 805,90	-475 763,24	-0,77 %
2	25	4%	7 923 250,00	1 085 570,00	6 737 259,66	7 618 509,62	1 043 817,31	6 478 134,28	20 309 699,72	2 782 646,10	17 269 645,74	487 675,75	-66 816,79	-414 678,09	-0,68 %
3	40	4%	7 923 250,00	1 085 570,00	6 763 639,29	7 618 509,62	1 043 817,31	6 503 499,32	36 576 621,82	5 011 388,43	31 223 434,40	384 913,69	-52 737,29	-328 579,48	-0,50 %
4	50	3%	7 923 250,00	1 085 570,00	6 801 190,76	7 692 475,73	1 053 951,46	6 603 097,82	33 723 090,64	4 620 424,13	28 947 360,29	298 971,87	-40 962,34	-256 632,66	-0,25 %
5	80	2%	7 923 250,00	1 085 570,00	6 889 834,05	7 767 892,16	1 064 284,31	6 754 739,26	37 871 885,58	5 188 853,42	32 932 320,29	195 445,65	-26 778,14	-169 954,01	0,35 %
6	100	2%	7 923 250,00	1 085 570,00	6 911 047,07	7 767 892,16	1 064 284,31	6 775 536,35	56 275 629,76	7 710 363,22	49 086 363,10	180 236,41	-24 694,32	-157 211,03	0,50 %

No.	Useful Life in years	Discount Rate (%)	Initial Values			Net Present Value			Future Worth			Annual Worth			IRR
			Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	Adaptation	Cost	Damages	

C. LOW INVESTMENT - Maintenance Only

1	20	4%	1 306 700,00	572 320,00	755 241,98	1 256 442,31	550 307,69	726 194,21	2 753 019,82	1 205 791,92	1 591 180,94	92 451,22	-40 492,60	-53 434,64	1,02 %
2	25	4%	1 306 700,00	572 320,00	768 837,80	1 256 442,31	550 307,69	739 267,12	3 349 469,55	1 467 030,24	1 970 765,14	80 427,34	-35 226,28	-47 321,94	1,67 %
3	40	4%	1 306 700,00	572 320,00	796 746,71	1 256 442,31	550 307,69	766 102,61	6 032 205,44	2 642 038,58	3 678 074,42	63 479,85	-27 803,46	-38 706,18	3,00 %
4	50	3%	1 306 700,00	572 320,00	836 475,09	1 268 640,78	555 650,49	812 111,74	5 561 601,94	2 435 919,51	3 560 221,54	49 306,35	-21 595,63	-31 563,12	4,85 %
5	80	2%	1 306 700,00	572 320,00	930 257,17	1 281 078,43	561 098,04	912 016,83	6 245 819,95	2 735 599,35	4 446 482,58	32 232,84	-14 117,62	-22 946,99	9,07 %
6	100	2%	1 306 700,00	572 320,00	952 699,95	1 281 078,43	561 098,04	934 019,56	9 280 959,89	4 064 956,73	6 766 641,15	29 724,53	-13 019,01	-21 671,82	10,05 %

Annex 5 Sensitivity Analysis (results)

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$113 119)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages	(\$475 089)				
5	Useful Life =	20	years			
6	Adaptation	\$560 261				
7	High Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 8 728 236	\$ 7 392 603	\$ 4 110 149	\$ 3 477 124	\$ 7 340 751
10	-45 %	\$ 8 566 139	\$ 7 381 762	\$ 4 486 429	\$ 3 857 831	\$ 7 335 095
11	-40 %	\$ 8 408 310	\$ 7 370 921	\$ 4 848 236	\$ 4 238 537	\$ 7 329 439
12	-35 %	\$ 8 254 613	\$ 7 360 080	\$ 5 196 127	\$ 4 619 244	\$ 7 323 783
13	-30 %	\$ 8 104 922	\$ 7 349 238	\$ 5 530 638	\$ 4 999 951	\$ 7 318 127
14	-25 %	\$ 7 959 110	\$ 7 338 397	\$ 5 852 284	\$ 5 380 657	\$ 7 312 471
15	-20 %	\$ 7 817 058	\$ 7 327 556	\$ 6 161 558	\$ 5 761 364	\$ 7 306 815
16	-15 %	\$ 7 678 650	\$ 7 316 715	\$ 6 458 937	\$ 6 142 071	\$ 7 301 159
17	-10 %	\$ 7 543 775	\$ 7 305 874	\$ 6 744 878	\$ 6 522 778	\$ 7 295 503
18	-5 %	\$ 7 412 323	\$ 7 295 032	\$ 7 019 822	\$ 6 903 484	\$ 7 289 847
19	0 %	\$ 7 284 191	\$ 7 284 191	\$ 7 284 191	\$ 7 284 191	\$ 7 284 191
20	5 %	\$ 7 159 278	\$ 7 273 350	\$ 7 538 392	\$ 7 664 898	\$ 7 278 535
21	10 %	\$ 7 037 487	\$ 7 262 509	\$ 7 782 816	\$ 8 045 605	\$ 7 272 879
22	15 %	\$ 6 918 724	\$ 7 251 667	\$ 8 017 839	\$ 8 426 311	\$ 7 267 223
23	20 %	\$ 6 802 897	\$ 7 240 826	\$ 8 243 823	\$ 8 807 018	\$ 7 261 567
24	25 %	\$ 6 689 920	\$ 7 229 985	\$ 8 461 115	\$ 9 187 725	\$ 7 255 911
25	30 %	\$ 6 579 707	\$ 7 219 144	\$ 8 670 049	\$ 9 568 431	\$ 7 250 255
26	35 %	\$ 6 472 176	\$ 7 208 303	\$ 8 870 948	\$ 9 949 138	\$ 7 244 599
27	40 %	\$ 6 367 248	\$ 7 197 461	\$ 9 064 120	\$ 10 329 845	\$ 7 238 943
28	45 %	\$ 6 264 848	\$ 7 186 620	\$ 9 249 862	\$ 10 710 552	\$ 7 233 287
29	50 %	\$ 6 164 899	\$ 7 175 779	\$ 9 428 460	\$ 11 091 258	\$ 7 227 632

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$98 407)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$414 045)				
5	Useful Life =	25	years			
6	Adaptation =	\$487 396				
7	High Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 9 164 868	\$ 7 438 070	\$ 4 370 041	\$ 3 553 345	\$ 7 409 616
10	-45 %	\$ 8 957 240	\$ 7 430 304	\$ 4 739 223	\$ 3 934 051	\$ 7 404 695
11	-40 %	\$ 8 756 281	\$ 7 422 538	\$ 5 090 742	\$ 4 314 758	\$ 7 399 775
12	-35 %	\$ 8 561 737	\$ 7 414 772	\$ 5 425 443	\$ 4 695 465	\$ 7 394 854
13	-30 %	\$ 8 373 366	\$ 7 407 007	\$ 5 744 131	\$ 5 076 172	\$ 7 389 934
14	-25 %	\$ 8 190 936	\$ 7 399 241	\$ 6 047 571	\$ 5 456 878	\$ 7 385 014
15	-20 %	\$ 8 014 223	\$ 7 391 475	\$ 6 336 494	\$ 5 837 585	\$ 7 380 093
16	-15 %	\$ 7 843 014	\$ 7 383 709	\$ 6 611 594	\$ 6 218 292	\$ 7 375 173
17	-10 %	\$ 7 677 106	\$ 7 375 943	\$ 6 873 532	\$ 6 598 998	\$ 7 370 253
18	-5 %	\$ 7 516 301	\$ 7 368 178	\$ 7 122 938	\$ 6 979 705	\$ 7 365 332
19	0 %	\$ 7 360 412	\$ 7 360 412	\$ 7 360 412	\$ 7 360 412	\$ 7 360 412
20	5 %	\$ 7 209 259	\$ 7 352 646	\$ 7 586 524	\$ 7 741 119	\$ 7 355 492
21	10 %	\$ 7 062 668	\$ 7 344 880	\$ 7 801 818	\$ 8 121 825	\$ 7 350 571
22	15 %	\$ 6 920 475	\$ 7 337 115	\$ 8 006 811	\$ 8 502 532	\$ 7 345 651
23	20 %	\$ 6 782 521	\$ 7 329 349	\$ 8 201 997	\$ 8 883 239	\$ 7 340 730
24	25 %	\$ 6 648 652	\$ 7 321 583	\$ 8 387 845	\$ 9 263 946	\$ 7 335 810
25	30 %	\$ 6 518 722	\$ 7 313 817	\$ 8 564 801	\$ 9 644 652	\$ 7 330 890
26	35 %	\$ 6 392 592	\$ 7 306 051	\$ 8 733 291	\$ 10 025 359	\$ 7 325 969
27	40 %	\$ 6 270 126	\$ 7 298 286	\$ 8 893 719	\$ 10 406 066	\$ 7 321 049
28	45 %	\$ 6 151 194	\$ 7 290 520	\$ 9 046 473	\$ 10 786 772	\$ 7 316 129
29	50 %	\$ 6 035 674	\$ 7 282 754	\$ 9 191 918	\$ 11 167 479	\$ 7 311 208

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$77 671)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$328 006)				
5	Useful Life =	40	years			
6	Adaptation =	\$384 693				
7	High Investment					
8	% Change	Discount Rate	Disbenefits	Useful Life	Benefits	Cost
9	-50 %	\$ 10 297 230	\$ 7 502 303	\$ 5 000 730	\$ 3 661 076	\$ 7 506 979
10	-45 %	\$ 9 948 570	\$ 7 498 887	\$ 5 343 163	\$ 4 041 783	\$ 7 503 095
11	-40 %	\$ 9 616 842	\$ 7 495 471	\$ 5 659 761	\$ 4 422 490	\$ 7 499 212
12	-35 %	\$ 9 301 077	\$ 7 492 055	\$ 5 952 475	\$ 4 803 196	\$ 7 495 328
13	-30 %	\$ 9 000 366	\$ 7 488 639	\$ 6 223 104	\$ 5 183 903	\$ 7 491 445
14	-25 %	\$ 8 713 859	\$ 7 485 223	\$ 6 473 317	\$ 5 564 610	\$ 7 487 561
15	-20 %	\$ 8 440 759	\$ 7 481 807	\$ 6 704 652	\$ 5 945 317	\$ 7 483 678
16	-15 %	\$ 8 180 318	\$ 7 478 391	\$ 6 918 535	\$ 6 326 023	\$ 7 479 794
17	-10 %	\$ 7 931 833	\$ 7 474 975	\$ 7 116 281	\$ 6 706 730	\$ 7 475 911
18	-5 %	\$ 7 694 648	\$ 7 471 559	\$ 7 299 109	\$ 7 087 437	\$ 7 472 027
19	0 %	\$ 7 468 143	\$ 7 468 143	\$ 7 468 143	\$ 7 468 143	\$ 7 468 143
20	5 %	\$ 7 251 740	\$ 7 464 727	\$ 7 624 425	\$ 7 848 850	\$ 7 464 260
21	10 %	\$ 7 044 891	\$ 7 461 311	\$ 7 768 917	\$ 8 229 557	\$ 7 460 376
22	15 %	\$ 6 847 087	\$ 7 457 895	\$ 7 902 507	\$ 8 610 264	\$ 7 456 493
23	20 %	\$ 6 657 844	\$ 7 454 479	\$ 8 026 019	\$ 8 990 970	\$ 7 452 609
24	25 %	\$ 6 476 711	\$ 7 451 063	\$ 8 140 213	\$ 9 371 677	\$ 7 448 726
25	30 %	\$ 6 303 262	\$ 7 447 647	\$ 8 245 791	\$ 9 752 384	\$ 7 444 842
26	35 %	\$ 6 137 097	\$ 7 444 231	\$ 8 343 405	\$ 10 133 091	\$ 7 440 959
27	40 %	\$ 5 977 837	\$ 7 440 815	\$ 8 433 653	\$ 10 513 797	\$ 7 437 075
28	45 %	\$ 5 825 130	\$ 7 437 399	\$ 8 517 094	\$ 10 894 504	\$ 7 433 191
29	50 %	\$ 5 678 639	\$ 7 433 983	\$ 8 594 239	\$ 11 275 211	\$ 7 429 308

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$60 329)				
3	Discount Rate	3 %				
4	Damages =	(\$256 105)				
5	Useful Life =	50	years			
6	Adaptation =	\$298 800				
7	High Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 10 275 933	\$ 7 598 520	\$ 5 020 406	\$ 3 725 281	\$ 7 599 474
10	-45 %	\$ 9 946 130	\$ 7 595 599	\$ 5 367 969	\$ 4 109 684	\$ 7 596 458
11	-40 %	\$ 9 631 423	\$ 7 592 678	\$ 5 690 775	\$ 4 494 087	\$ 7 593 441
12	-35 %	\$ 9 331 000	\$ 7 589 757	\$ 5 990 586	\$ 4 878 489	\$ 7 590 425
13	-30 %	\$ 9 044 100	\$ 7 586 836	\$ 6 269 041	\$ 5 262 892	\$ 7 587 409
14	-25 %	\$ 8 770 006	\$ 7 583 915	\$ 6 527 661	\$ 5 647 295	\$ 7 584 392
15	-20 %	\$ 8 508 042	\$ 7 580 994	\$ 6 767 858	\$ 6 031 698	\$ 7 581 376
16	-15 %	\$ 8 257 573	\$ 7 578 073	\$ 6 990 946	\$ 6 416 101	\$ 7 578 359
17	-10 %	\$ 8 017 999	\$ 7 575 152	\$ 7 198 143	\$ 6 800 504	\$ 7 575 343
18	-5 %	\$ 7 788 755	\$ 7 572 231	\$ 7 390 580	\$ 7 184 907	\$ 7 572 326
19	0 %	\$ 7 569 310	\$ 7 569 310	\$ 7 569 310	\$ 7 569 310	\$ 7 569 310
20	5 %	\$ 7 359 161	\$ 7 566 389	\$ 7 735 308	\$ 7 953 713	\$ 7 566 293
21	10 %	\$ 7 157 835	\$ 7 563 468	\$ 7 889 482	\$ 8 338 116	\$ 7 563 277
22	15 %	\$ 6 964 886	\$ 7 560 547	\$ 8 032 673	\$ 8 722 519	\$ 7 560 260
23	20 %	\$ 6 779 892	\$ 7 557 626	\$ 8 165 665	\$ 9 106 921	\$ 7 557 244
24	25 %	\$ 6 602 456	\$ 7 554 705	\$ 8 289 183	\$ 9 491 324	\$ 7 554 228
25	30 %	\$ 6 432 203	\$ 7 551 784	\$ 8 403 903	\$ 9 875 727	\$ 7 551 211
26	35 %	\$ 6 268 777	\$ 7 548 863	\$ 8 510 451	\$ 10 260 130	\$ 7 548 195
27	40 %	\$ 6 111 844	\$ 7 545 942	\$ 8 609 409	\$ 10 644 533	\$ 7 545 178
28	45 %	\$ 5 961 088	\$ 7 543 021	\$ 8 701 318	\$ 11 028 936	\$ 7 542 162
29	50 %	\$ 5 816 209	\$ 7 540 100	\$ 8 786 681	\$ 11 413 339	\$ 7 539 145

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$39 439)				
3	Discount Rate	2 %				
4	Damages =	(\$169 482)				
5	Useful Life =	80	years			
6	Adaptation	\$195 333				
7	High Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 10 605 605	\$ 7 706 611	\$ 5 227 243	\$ 3 807 515	\$ 7 708 950
10	-45 %	\$ 10 246 490	\$ 7 704 873	\$ 5 569 938	\$ 4 195 686	\$ 7 706 978
11	-40 %	\$ 9 904 715	\$ 7 703 135	\$ 5 886 535	\$ 4 583 858	\$ 7 705 006
12	-35 %	\$ 9 579 303	\$ 7 701 397	\$ 6 179 022	\$ 4 972 029	\$ 7 703 034
13	-30 %	\$ 9 269 337	\$ 7 699 659	\$ 6 449 234	\$ 5 360 201	\$ 7 701 062
14	-25 %	\$ 8 973 958	\$ 7 697 921	\$ 6 698 869	\$ 5 748 372	\$ 7 699 090
15	-20 %	\$ 8 692 357	\$ 7 696 183	\$ 6 929 492	\$ 6 136 544	\$ 7 697 118
16	-15 %	\$ 8 423 775	\$ 7 694 445	\$ 7 142 553	\$ 6 524 716	\$ 7 695 146
17	-10 %	\$ 8 167 500	\$ 7 692 706	\$ 7 339 388	\$ 6 912 887	\$ 7 693 174
18	-5 %	\$ 7 922 862	\$ 7 690 968	\$ 7 521 233	\$ 7 301 059	\$ 7 691 202
19	0 %	\$ 7 689 230	\$ 7 689 230	\$ 7 689 230	\$ 7 689 230	\$ 7 689 230
20	5 %	\$ 7 466 014	\$ 7 687 492	\$ 7 844 433	\$ 8 077 402	\$ 7 687 258
21	10 %	\$ 7 252 655	\$ 7 685 754	\$ 7 987 817	\$ 8 465 573	\$ 7 685 286
22	15 %	\$ 7 048 632	\$ 7 684 016	\$ 8 120 281	\$ 8 853 745	\$ 7 683 314
23	20 %	\$ 6 853 449	\$ 7 682 278	\$ 8 242 658	\$ 9 241 917	\$ 7 681 343
24	25 %	\$ 6 666 644	\$ 7 680 540	\$ 8 355 715	\$ 9 630 088	\$ 7 679 371
25	30 %	\$ 6 487 780	\$ 7 678 802	\$ 8 460 162	\$ 10 018 260	\$ 7 677 399
26	35 %	\$ 6 316 445	\$ 7 677 063	\$ 8 556 656	\$ 10 406 431	\$ 7 675 427
27	40 %	\$ 6 152 252	\$ 7 675 325	\$ 8 645 800	\$ 10 794 603	\$ 7 673 455
28	45 %	\$ 5 994 836	\$ 7 673 587	\$ 8 728 156	\$ 11 182 774	\$ 7 671 483
29	50 %	\$ 5 843 852	\$ 7 671 849	\$ 8 804 240	\$ 11 570 946	\$ 7 669 511

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$36 370)				
3	Discount Rate	2 %				
4	Damages =	(\$156 748)				
5	Useful Life =	100	years			
6	Adaptation =	\$180 133				
7	High Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 11 259 254	\$ 7 716 244	\$ 5 565 820	\$ 3 823 710	\$ 7 723 610
10	-45 %	\$ 10 803 018	\$ 7 715 162	\$ 5 886 755	\$ 4 211 881	\$ 7 721 792
11	-40 %	\$ 10 373 496	\$ 7 714 080	\$ 6 177 436	\$ 4 600 053	\$ 7 719 973
12	-35 %	\$ 9 968 857	\$ 7 712 998	\$ 6 440 715	\$ 4 988 224	\$ 7 718 155
13	-30 %	\$ 9 587 405	\$ 7 711 916	\$ 6 679 174	\$ 5 376 396	\$ 7 716 336
14	-25 %	\$ 9 227 571	\$ 7 710 834	\$ 6 895 155	\$ 5 764 568	\$ 7 714 518
15	-20 %	\$ 8 887 903	\$ 7 709 753	\$ 7 090 775	\$ 6 152 739	\$ 7 712 699
16	-15 %	\$ 8 567 055	\$ 7 708 671	\$ 7 267 954	\$ 6 540 911	\$ 7 710 881
17	-10 %	\$ 8 263 782	\$ 7 707 589	\$ 7 428 430	\$ 6 929 082	\$ 7 709 062
18	-5 %	\$ 7 976 929	\$ 7 706 507	\$ 7 573 779	\$ 7 317 254	\$ 7 707 244
19	0 %	\$ 7 705 425	\$ 7 705 425	\$ 7 705 425	\$ 7 705 425	\$ 7 705 425
20	5 %	\$ 7 448 277	\$ 7 704 344	\$ 7 824 662	\$ 8 093 597	\$ 7 703 607
21	10 %	\$ 7 204 563	\$ 7 703 262	\$ 7 932 658	\$ 8 481 768	\$ 7 701 788
22	15 %	\$ 6 973 427	\$ 7 702 180	\$ 8 030 473	\$ 8 869 940	\$ 7 699 970
23	20 %	\$ 6 754 075	\$ 7 701 098	\$ 8 119 068	\$ 9 258 112	\$ 7 698 151
24	25 %	\$ 6 545 767	\$ 7 700 016	\$ 8 199 310	\$ 9 646 283	\$ 7 696 333
25	30 %	\$ 6 347 818	\$ 7 698 934	\$ 8 271 989	\$ 10 034 455	\$ 7 694 514
26	35 %	\$ 6 159 588	\$ 7 697 853	\$ 8 337 816	\$ 10 422 626	\$ 7 692 696
27	40 %	\$ 5 980 484	\$ 7 696 771	\$ 8 397 437	\$ 10 810 798	\$ 7 690 878
28	45 %	\$ 5 809 952	\$ 7 695 689	\$ 8 451 438	\$ 11 198 969	\$ 7 689 059
29	50 %	\$ 5 647 477	\$ 7 694 607	\$ 8 500 349	\$ 11 587 141	\$ 7 687 241

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$76 806)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$475 763)				
5	Useful Life =	20	years			
6	Adaptation =	\$560 583				
7	Medium Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 8 769 359	\$ 7 433 138	\$ 4 148 618	\$ 3 515 317	\$ 7 362 975
10	-45 %	\$ 8 607 180	\$ 7 422 281	\$ 4 525 124	\$ 3 896 242	\$ 7 359 134
11	-40 %	\$ 8 449 269	\$ 7 411 424	\$ 4 887 149	\$ 4 277 168	\$ 7 355 294
12	-35 %	\$ 8 295 494	\$ 7 400 568	\$ 5 235 250	\$ 4 658 093	\$ 7 351 454
13	-30 %	\$ 8 145 726	\$ 7 389 711	\$ 5 569 963	\$ 5 039 019	\$ 7 347 613
14	-25 %	\$ 7 999 839	\$ 7 378 855	\$ 5 891 802	\$ 5 419 944	\$ 7 343 773
15	-20 %	\$ 7 857 714	\$ 7 367 998	\$ 6 201 262	\$ 5 800 870	\$ 7 339 933
16	-15 %	\$ 7 719 235	\$ 7 357 141	\$ 6 498 820	\$ 6 181 795	\$ 7 336 092
17	-10 %	\$ 7 584 289	\$ 7 346 285	\$ 6 784 934	\$ 6 562 721	\$ 7 332 252
18	-5 %	\$ 7 452 770	\$ 7 335 428	\$ 7 060 043	\$ 6 943 646	\$ 7 328 412
19	0 %	\$ 7 324 572	\$ 7 324 572	\$ 7 324 572	\$ 7 324 572	\$ 7 324 572
20	5 %	\$ 7 199 594	\$ 7 313 715	\$ 7 578 926	\$ 7 705 497	\$ 7 320 731
21	10 %	\$ 7 077 739	\$ 7 302 858	\$ 7 823 497	\$ 8 086 423	\$ 7 316 891
22	15 %	\$ 6 958 914	\$ 7 292 002	\$ 8 058 661	\$ 8 467 348	\$ 7 313 051
23	20 %	\$ 6 843 027	\$ 7 281 145	\$ 8 284 781	\$ 8 848 274	\$ 7 309 210
24	25 %	\$ 6 729 991	\$ 7 270 289	\$ 8 502 204	\$ 9 229 199	\$ 7 305 370
25	30 %	\$ 6 619 720	\$ 7 259 432	\$ 8 711 264	\$ 9 610 124	\$ 7 301 530
26	35 %	\$ 6 512 133	\$ 7 248 575	\$ 8 912 284	\$ 9 991 050	\$ 7 297 690
27	40 %	\$ 6 407 150	\$ 7 237 719	\$ 9 105 572	\$ 10 371 975	\$ 7 293 849
28	45 %	\$ 6 304 696	\$ 7 226 862	\$ 9 291 426	\$ 10 752 901	\$ 7 290 009
29	50 %	\$ 6 204 695	\$ 7 216 006	\$ 9 470 132	\$ 11 133 826	\$ 7 286 169

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$66 817)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$414 678)				
5	Useful Life =	25	years			
6	Adaptation =	\$487 676				
7	Medium Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 9 201 540	\$ 7 473 916	\$ 4 403 958	\$ 3 586 885	\$ 7 429 548
10	-45 %	\$ 8 993 805	\$ 7 466 139	\$ 4 773 363	\$ 3 967 811	\$ 7 426 208
11	-40 %	\$ 8 792 741	\$ 7 458 361	\$ 5 125 095	\$ 4 348 736	\$ 7 422 867
12	-35 %	\$ 8 598 096	\$ 7 450 584	\$ 5 459 999	\$ 4 729 662	\$ 7 419 526
13	-30 %	\$ 8 409 627	\$ 7 442 806	\$ 5 778 880	\$ 5 110 587	\$ 7 416 185
14	-25 %	\$ 8 227 101	\$ 7 435 028	\$ 6 082 504	\$ 5 491 513	\$ 7 412 844
15	-20 %	\$ 8 050 295	\$ 7 427 251	\$ 6 371 602	\$ 5 872 438	\$ 7 409 503
16	-15 %	\$ 7 878 997	\$ 7 419 473	\$ 6 646 869	\$ 6 253 364	\$ 7 406 163
17	-10 %	\$ 7 713 001	\$ 7 411 695	\$ 6 908 965	\$ 6 634 289	\$ 7 402 822
18	-5 %	\$ 7 552 111	\$ 7 403 918	\$ 7 158 523	\$ 7 015 215	\$ 7 399 481
19	0 %	\$ 7 396 140	\$ 7 396 140	\$ 7 396 140	\$ 7 396 140	\$ 7 396 140
20	5 %	\$ 7 244 907	\$ 7 388 362	\$ 7 622 389	\$ 7 777 066	\$ 7 392 799
21	10 %	\$ 7 098 239	\$ 7 380 585	\$ 7 837 814	\$ 8 157 991	\$ 7 389 458
22	15 %	\$ 6 955 971	\$ 7 372 807	\$ 8 042 931	\$ 8 538 917	\$ 7 386 118
23	20 %	\$ 6 817 943	\$ 7 365 030	\$ 8 238 236	\$ 8 919 842	\$ 7 382 777
24	25 %	\$ 6 684 003	\$ 7 357 252	\$ 8 424 196	\$ 9 300 768	\$ 7 379 436
25	30 %	\$ 6 554 004	\$ 7 349 474	\$ 8 601 259	\$ 9 681 693	\$ 7 376 095
26	35 %	\$ 6 427 806	\$ 7 341 697	\$ 8 769 851	\$ 10 062 618	\$ 7 372 754
27	40 %	\$ 6 305 275	\$ 7 333 919	\$ 8 930 377	\$ 10 443 544	\$ 7 369 413
28	45 %	\$ 6 186 279	\$ 7 326 141	\$ 9 083 222	\$ 10 824 469	\$ 7 366 073
29	50 %	\$ 6 070 697	\$ 7 318 364	\$ 9 228 755	\$ 11 205 395	\$ 7 362 732

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$52 737)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$328 579)				
5	Useful Life =	40	years			
6	Adaptation =	\$384 914				
7	Medium Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 10 327 951	\$ 7 531 553	\$ 5 028 406	\$ 3 688 078	\$ 7 523 701
10	-45 %	\$ 9 979 104	\$ 7 528 131	\$ 5 371 049	\$ 4 069 003	\$ 7 521 065
11	-40 %	\$ 9 647 197	\$ 7 524 709	\$ 5 687 842	\$ 4 449 929	\$ 7 518 428
12	-35 %	\$ 9 331 262	\$ 7 521 287	\$ 5 980 734	\$ 4 830 854	\$ 7 515 791
13	-30 %	\$ 9 030 388	\$ 7 517 865	\$ 6 251 530	\$ 5 211 780	\$ 7 513 154
14	-25 %	\$ 8 743 727	\$ 7 514 443	\$ 6 501 896	\$ 5 592 705	\$ 7 510 517
15	-20 %	\$ 8 470 478	\$ 7 511 021	\$ 6 733 373	\$ 5 973 631	\$ 7 507 880
16	-15 %	\$ 8 209 895	\$ 7 507 599	\$ 6 947 387	\$ 6 354 556	\$ 7 505 243
17	-10 %	\$ 7 961 276	\$ 7 504 177	\$ 7 145 255	\$ 6 735 482	\$ 7 502 607
18	-5 %	\$ 7 723 961	\$ 7 500 755	\$ 7 328 195	\$ 7 116 407	\$ 7 499 970
19	0 %	\$ 7 497 333	\$ 7 497 333	\$ 7 497 333	\$ 7 497 333	\$ 7 497 333
20	5 %	\$ 7 280 811	\$ 7 493 911	\$ 7 653 711	\$ 7 878 258	\$ 7 494 696
21	10 %	\$ 7 073 849	\$ 7 490 489	\$ 7 798 291	\$ 8 259 184	\$ 7 492 059
22	15 %	\$ 6 875 936	\$ 7 487 067	\$ 7 931 963	\$ 8 640 109	\$ 7 489 422
23	20 %	\$ 6 686 589	\$ 7 483 645	\$ 8 055 551	\$ 9 021 035	\$ 7 486 785
24	25 %	\$ 6 505 357	\$ 7 480 223	\$ 8 169 814	\$ 9 401 960	\$ 7 484 148
25	30 %	\$ 6 331 812	\$ 7 476 801	\$ 8 275 458	\$ 9 782 886	\$ 7 481 512
26	35 %	\$ 6 165 555	\$ 7 473 379	\$ 8 373 131	\$ 10 163 811	\$ 7 478 875
27	40 %	\$ 6 006 207	\$ 7 469 957	\$ 8 463 435	\$ 10 544 737	\$ 7 476 238
28	45 %	\$ 5 853 415	\$ 7 466 535	\$ 8 546 926	\$ 10 925 662	\$ 7 473 601
29	50 %	\$ 5 706 843	\$ 7 463 113	\$ 8 624 119	\$ 11 306 588	\$ 7 470 964

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$40 962)				
3	Discount Rate	3 %				
4	Damages =	(\$256 633)				
5	Useful Life =	50	years			
6	Adaptation =	\$298 972				
7	Medium Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 10 301 058	\$ 7 622 244	\$ 5 042 510	\$ 3 746 736	\$ 7 613 455
10	-45 %	\$ 9 971 079	\$ 7 619 317	\$ 5 390 286	\$ 4 131 360	\$ 7 611 407
11	-40 %	\$ 9 656 202	\$ 7 616 390	\$ 5 713 289	\$ 4 515 983	\$ 7 609 359
12	-35 %	\$ 9 355 618	\$ 7 613 463	\$ 6 013 284	\$ 4 900 607	\$ 7 607 310
13	-30 %	\$ 9 068 563	\$ 7 610 536	\$ 6 291 909	\$ 5 285 231	\$ 7 605 262
14	-25 %	\$ 8 794 321	\$ 7 607 609	\$ 6 550 687	\$ 5 669 855	\$ 7 603 214
15	-20 %	\$ 8 532 216	\$ 7 604 682	\$ 6 791 032	\$ 6 054 479	\$ 7 601 166
16	-15 %	\$ 8 281 611	\$ 7 601 755	\$ 7 014 256	\$ 6 439 102	\$ 7 599 118
17	-10 %	\$ 8 041 907	\$ 7 598 828	\$ 7 221 579	\$ 6 823 726	\$ 7 597 070
18	-5 %	\$ 7 812 539	\$ 7 595 901	\$ 7 414 135	\$ 7 208 350	\$ 7 595 022
19	0 %	\$ 7 592 974	\$ 7 592 974	\$ 7 592 974	\$ 7 592 974	\$ 7 592 974
20	5 %	\$ 7 382 710	\$ 7 590 047	\$ 7 759 073	\$ 7 977 597	\$ 7 590 926
21	10 %	\$ 7 181 274	\$ 7 587 120	\$ 7 913 342	\$ 8 362 221	\$ 7 588 877
22	15 %	\$ 6 988 219	\$ 7 584 193	\$ 8 056 621	\$ 8 746 845	\$ 7 586 829
23	20 %	\$ 6 803 124	\$ 7 581 266	\$ 8 189 694	\$ 9 131 469	\$ 7 584 781
24	25 %	\$ 6 625 591	\$ 7 578 339	\$ 8 313 288	\$ 9 516 093	\$ 7 582 733
25	30 %	\$ 6 455 244	\$ 7 575 412	\$ 8 428 077	\$ 9 900 716	\$ 7 580 685
26	35 %	\$ 6 291 728	\$ 7 572 485	\$ 8 534 691	\$ 10 285 340	\$ 7 578 637
27	40 %	\$ 6 134 709	\$ 7 569 558	\$ 8 633 709	\$ 10 669 964	\$ 7 576 589
28	45 %	\$ 5 983 869	\$ 7 566 631	\$ 8 725 675	\$ 11 054 588	\$ 7 574 541
29	50 %	\$ 5 838 910	\$ 7 563 704	\$ 8 811 089	\$ 11 439 212	\$ 7 572 492

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$26 778)				
3	Discount Rate	2 %				
4	Damages =	(\$169 954)				
5	Useful Life =	80	years			
6	Adaptation =	\$195 446				
7	Medium Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 10 624 213	\$ 7 723 684	\$ 5 242 761	\$ 3 822 309	\$ 7 719 644
10	-45 %	\$ 10 264 905	\$ 7 721 941	\$ 5 585 665	\$ 4 210 703	\$ 7 718 305
11	-40 %	\$ 9 922 945	\$ 7 720 198	\$ 5 902 456	\$ 4 599 098	\$ 7 716 966
12	-35 %	\$ 9 597 357	\$ 7 718 456	\$ 6 195 122	\$ 4 987 493	\$ 7 715 627
13	-30 %	\$ 9 287 224	\$ 7 716 713	\$ 6 465 500	\$ 5 375 887	\$ 7 714 288
14	-25 %	\$ 8 991 684	\$ 7 714 970	\$ 6 715 287	\$ 5 764 282	\$ 7 712 949
15	-20 %	\$ 8 709 930	\$ 7 713 227	\$ 6 946 052	\$ 6 152 676	\$ 7 711 610
16	-15 %	\$ 8 441 201	\$ 7 711 484	\$ 7 159 243	\$ 6 541 071	\$ 7 710 272
17	-10 %	\$ 8 184 786	\$ 7 709 741	\$ 7 356 199	\$ 6 929 466	\$ 7 708 933
18	-5 %	\$ 7 940 014	\$ 7 707 998	\$ 7 538 155	\$ 7 317 860	\$ 7 707 594
19	0 %	\$ 7 706 255	\$ 7 706 255	\$ 7 706 255	\$ 7 706 255	\$ 7 706 255
20	5 %	\$ 7 482 916	\$ 7 704 512	\$ 7 861 553	\$ 8 094 649	\$ 7 704 916
21	10 %	\$ 7 269 440	\$ 7 702 769	\$ 8 005 024	\$ 8 483 044	\$ 7 703 577
22	15 %	\$ 7 065 304	\$ 7 701 026	\$ 8 137 570	\$ 8 871 439	\$ 7 702 238
23	20 %	\$ 6 870 014	\$ 7 699 283	\$ 8 260 022	\$ 9 259 833	\$ 7 700 899
24	25 %	\$ 6 683 106	\$ 7 697 540	\$ 8 373 148	\$ 9 648 228	\$ 7 699 560
25	30 %	\$ 6 504 143	\$ 7 695 797	\$ 8 477 659	\$ 10 036 622	\$ 7 698 221
26	35 %	\$ 6 332 714	\$ 7 694 054	\$ 8 574 211	\$ 10 425 017	\$ 7 696 882
27	40 %	\$ 6 168 430	\$ 7 692 311	\$ 8 663 411	\$ 10 813 412	\$ 7 695 544
28	45 %	\$ 6 010 926	\$ 7 690 568	\$ 8 745 817	\$ 11 201 806	\$ 7 694 205
29	50 %	\$ 5 859 858	\$ 7 688 825	\$ 8 821 948	\$ 11 590 201	\$ 7 692 866

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$24 694)				
3	Discount Rate	2 %				
4	Damages =	(\$157 211)				
5	Useful Life =	100	years			
6	Adaptation =	\$180 236				
7	Medium Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 11 277 282	\$ 7 732 348	\$ 5 580 575	\$ 3 837 551	\$ 7 733 845
10	-45 %	\$ 10 820 796	\$ 7 731 263	\$ 5 901 708	\$ 4 225 946	\$ 7 732 610
11	-40 %	\$ 10 391 040	\$ 7 730 178	\$ 6 192 568	\$ 4 614 341	\$ 7 731 375
12	-35 %	\$ 9 986 179	\$ 7 729 093	\$ 6 456 009	\$ 5 002 735	\$ 7 730 141
13	-30 %	\$ 9 604 518	\$ 7 728 008	\$ 6 694 615	\$ 5 391 130	\$ 7 728 906
14	-25 %	\$ 9 244 485	\$ 7 726 923	\$ 6 910 728	\$ 5 779 524	\$ 7 727 671
15	-20 %	\$ 8 904 630	\$ 7 725 838	\$ 7 106 469	\$ 6 167 919	\$ 7 726 436
16	-15 %	\$ 8 583 605	\$ 7 724 753	\$ 7 283 757	\$ 6 556 314	\$ 7 725 202
17	-10 %	\$ 8 280 164	\$ 7 723 668	\$ 7 444 332	\$ 6 944 708	\$ 7 723 967
18	-5 %	\$ 7 993 152	\$ 7 722 583	\$ 7 589 770	\$ 7 333 103	\$ 7 722 732
19	0 %	\$ 7 721 498	\$ 7 721 498	\$ 7 721 498	\$ 7 721 498	\$ 7 721 498
20	5 %	\$ 7 464 206	\$ 7 720 413	\$ 7 840 807	\$ 8 109 892	\$ 7 720 263
21	10 %	\$ 7 220 357	\$ 7 719 328	\$ 7 948 870	\$ 8 498 287	\$ 7 719 028
22	15 %	\$ 6 989 092	\$ 7 718 242	\$ 8 046 745	\$ 8 886 681	\$ 7 717 793
23	20 %	\$ 6 769 617	\$ 7 717 157	\$ 8 135 394	\$ 9 275 076	\$ 7 716 559
24	25 %	\$ 6 561 193	\$ 7 716 072	\$ 8 215 686	\$ 9 663 471	\$ 7 715 324
25	30 %	\$ 6 363 133	\$ 7 714 987	\$ 8 288 409	\$ 10 051 865	\$ 7 714 089
26	35 %	\$ 6 174 798	\$ 7 713 902	\$ 8 354 277	\$ 10 440 260	\$ 7 712 855
27	40 %	\$ 5 995 593	\$ 7 712 817	\$ 8 413 935	\$ 10 828 654	\$ 7 711 620
28	45 %	\$ 5 824 965	\$ 7 711 732	\$ 8 467 969	\$ 11 217 049	\$ 7 710 385
29	50 %	\$ 5 662 399	\$ 7 710 647	\$ 8 516 910	\$ 11 605 444	\$ 7 709 150

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$40 493)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$53 435)				
5	Useful Life =	20	years			
6	Adaptations =	\$92 451				
7	Low Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 1 435 257	\$ 1 203 756	\$ 673 271	\$ 563 342	\$ 1 211 809
10	-45 %	\$ 1 407 864	\$ 1 202 537	\$ 734 714	\$ 626 164	\$ 1 209 785
11	-40 %	\$ 1 381 200	\$ 1 201 318	\$ 793 794	\$ 688 986	\$ 1 207 760
12	-35 %	\$ 1 355 244	\$ 1 200 098	\$ 850 601	\$ 751 808	\$ 1 205 735
13	-30 %	\$ 1 329 972	\$ 1 198 879	\$ 905 224	\$ 814 630	\$ 1 203 711
14	-25 %	\$ 1 305 363	\$ 1 197 660	\$ 957 746	\$ 877 452	\$ 1 201 686
15	-20 %	\$ 1 281 396	\$ 1 196 440	\$ 1 008 247	\$ 940 274	\$ 1 199 661
16	-15 %	\$ 1 258 052	\$ 1 195 221	\$ 1 056 806	\$ 1 003 096	\$ 1 197 637
17	-10 %	\$ 1 235 311	\$ 1 194 002	\$ 1 103 498	\$ 1 065 919	\$ 1 195 612
18	-5 %	\$ 1 213 154	\$ 1 192 782	\$ 1 148 394	\$ 1 128 741	\$ 1 193 587
19	0 %	\$ 1 191 563	\$ 1 191 563	\$ 1 191 563	\$ 1 191 563	\$ 1 191 563
20	5 %	\$ 1 170 521	\$ 1 190 343	\$ 1 233 071	\$ 1 254 385	\$ 1 189 538
21	10 %	\$ 1 150 011	\$ 1 189 124	\$ 1 272 984	\$ 1 317 207	\$ 1 187 514
22	15 %	\$ 1 130 017	\$ 1 187 905	\$ 1 311 361	\$ 1 380 029	\$ 1 185 489
23	20 %	\$ 1 110 524	\$ 1 186 685	\$ 1 348 262	\$ 1 442 851	\$ 1 183 464
24	25 %	\$ 1 091 515	\$ 1 185 466	\$ 1 383 744	\$ 1 505 673	\$ 1 181 440
25	30 %	\$ 1 072 977	\$ 1 184 247	\$ 1 417 861	\$ 1 568 496	\$ 1 179 415
26	35 %	\$ 1 054 895	\$ 1 183 027	\$ 1 450 666	\$ 1 631 318	\$ 1 177 390
27	40 %	\$ 1 037 256	\$ 1 181 808	\$ 1 482 209	\$ 1 694 140	\$ 1 175 366
28	45 %	\$ 1 020 047	\$ 1 180 589	\$ 1 512 539	\$ 1 756 962	\$ 1 173 341
29	50 %	\$ 1 003 254	\$ 1 179 369	\$ 1 541 702	\$ 1 819 784	\$ 1 171 317

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$35 226)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$47 322)				
5	Useful Life =	25 years				
6	Adaptation =	\$80 427				
7	Low Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 1 506 149	\$ 1 212 340	\$ 714 995	\$ 575 244	\$ 1 221 078
10	-45 %	\$ 1 471 276	\$ 1 211 453	\$ 775 300	\$ 638 066	\$ 1 219 317
11	-40 %	\$ 1 437 533	\$ 1 210 565	\$ 832 720	\$ 700 888	\$ 1 217 555
12	-35 %	\$ 1 404 878	\$ 1 209 678	\$ 887 392	\$ 763 710	\$ 1 215 794
13	-30 %	\$ 1 373 269	\$ 1 208 790	\$ 939 449	\$ 826 532	\$ 1 214 033
14	-25 %	\$ 1 342 666	\$ 1 207 903	\$ 989 016	\$ 889 354	\$ 1 212 271
15	-20 %	\$ 1 313 031	\$ 1 207 015	\$ 1 036 210	\$ 952 176	\$ 1 210 510
16	-15 %	\$ 1 284 327	\$ 1 206 127	\$ 1 081 147	\$ 1 014 998	\$ 1 208 749
17	-10 %	\$ 1 256 521	\$ 1 205 240	\$ 1 123 934	\$ 1 077 821	\$ 1 206 987
18	-5 %	\$ 1 229 577	\$ 1 204 352	\$ 1 164 674	\$ 1 140 643	\$ 1 205 226
19	0 %	\$ 1 203 465	\$ 1 203 465	\$ 1 203 465	\$ 1 203 465	\$ 1 203 465
20	5 %	\$ 1 178 153	\$ 1 202 577	\$ 1 240 400	\$ 1 266 287	\$ 1 201 703
21	10 %	\$ 1 153 612	\$ 1 201 690	\$ 1 275 567	\$ 1 329 109	\$ 1 199 942
22	15 %	\$ 1 129 814	\$ 1 200 802	\$ 1 309 053	\$ 1 391 931	\$ 1 198 181
23	20 %	\$ 1 106 731	\$ 1 199 915	\$ 1 340 936	\$ 1 454 753	\$ 1 196 420
24	25 %	\$ 1 084 338	\$ 1 199 027	\$ 1 371 293	\$ 1 517 575	\$ 1 194 658
25	30 %	\$ 1 062 610	\$ 1 198 139	\$ 1 400 199	\$ 1 580 397	\$ 1 192 897
26	35 %	\$ 1 041 522	\$ 1 197 252	\$ 1 427 721	\$ 1 643 220	\$ 1 191 136
27	40 %	\$ 1 021 052	\$ 1 196 364	\$ 1 453 927	\$ 1 706 042	\$ 1 189 374
28	45 %	\$ 1 001 178	\$ 1 195 477	\$ 1 478 879	\$ 1 768 864	\$ 1 187 613
29	50 %	\$ 981 879	\$ 1 194 589	\$ 1 502 637	\$ 1 831 686	\$ 1 185 852

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$27 803)				
3	Discount Rate	4 %				
4	Damages =	(\$38 706)				
5	Useful Life =	40	years			
6	Adaptation =	\$63 480				
7	Low Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 1 691 189	\$ 1 224 608	\$ 817 243	\$ 592 356	\$ 1 234 479
10	-45 %	\$ 1 633 128	\$ 1 224 205	\$ 873 219	\$ 655 178	\$ 1 233 088
11	-40 %	\$ 1 577 903	\$ 1 223 802	\$ 924 971	\$ 718 000	\$ 1 231 698
12	-35 %	\$ 1 525 349	\$ 1 223 398	\$ 972 819	\$ 780 822	\$ 1 230 308
13	-30 %	\$ 1 475 313	\$ 1 222 995	\$ 1 017 058	\$ 843 644	\$ 1 228 918
14	-25 %	\$ 1 427 653	\$ 1 222 592	\$ 1 057 958	\$ 906 466	\$ 1 227 528
15	-20 %	\$ 1 382 235	\$ 1 222 189	\$ 1 095 773	\$ 969 288	\$ 1 226 137
16	-15 %	\$ 1 338 932	\$ 1 221 786	\$ 1 130 736	\$ 1 032 110	\$ 1 224 747
17	-10 %	\$ 1 297 628	\$ 1 221 383	\$ 1 163 060	\$ 1 094 933	\$ 1 223 357
18	-5 %	\$ 1 258 210	\$ 1 220 980	\$ 1 192 946	\$ 1 157 755	\$ 1 221 967
19	0 %	\$ 1 220 577	\$ 1 220 577	\$ 1 220 577	\$ 1 220 577	\$ 1 220 577
20	5 %	\$ 1 184 629	\$ 1 220 174	\$ 1 246 123	\$ 1 283 399	\$ 1 219 187
21	10 %	\$ 1 150 277	\$ 1 219 771	\$ 1 269 742	\$ 1 346 221	\$ 1 217 796
22	15 %	\$ 1 117 433	\$ 1 219 367	\$ 1 291 580	\$ 1 409 043	\$ 1 216 406
23	20 %	\$ 1 086 018	\$ 1 218 964	\$ 1 311 769	\$ 1 471 865	\$ 1 215 016
24	25 %	\$ 1 055 955	\$ 1 218 561	\$ 1 330 436	\$ 1 534 687	\$ 1 213 626
25	30 %	\$ 1 027 173	\$ 1 218 158	\$ 1 347 694	\$ 1 597 509	\$ 1 212 236
26	35 %	\$ 999 604	\$ 1 217 755	\$ 1 363 650	\$ 1 660 332	\$ 1 210 846
27	40 %	\$ 973 187	\$ 1 217 352	\$ 1 378 403	\$ 1 723 154	\$ 1 209 455
28	45 %	\$ 947 861	\$ 1 216 949	\$ 1 392 042	\$ 1 785 976	\$ 1 208 065
29	50 %	\$ 923 570	\$ 1 216 546	\$ 1 404 653	\$ 1 848 798	\$ 1 206 675

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$21 596)				
3	Discount Rate	3 %				
4	Damages =	(\$31 563)				
5	Useful Life =	50	years			
6	Adaptation =	\$49 306				
7	Low Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 1 689 119	\$ 1 243 445	\$ 821 908	\$ 605 525	\$ 1 250 643
10	-45 %	\$ 1 634 335	\$ 1 243 085	\$ 878 897	\$ 668 957	\$ 1 249 563
11	-40 %	\$ 1 582 068	\$ 1 242 725	\$ 931 827	\$ 732 389	\$ 1 248 484
12	-35 %	\$ 1 532 183	\$ 1 242 365	\$ 980 986	\$ 795 821	\$ 1 247 404
13	-30 %	\$ 1 484 551	\$ 1 242 005	\$ 1 026 644	\$ 859 253	\$ 1 246 324
14	-25 %	\$ 1 439 054	\$ 1 241 645	\$ 1 069 049	\$ 922 685	\$ 1 245 244
15	-20 %	\$ 1 395 578	\$ 1 241 285	\$ 1 108 434	\$ 986 117	\$ 1 244 164
16	-15 %	\$ 1 354 016	\$ 1 240 925	\$ 1 145 013	\$ 1 049 549	\$ 1 243 085
17	-10 %	\$ 1 314 269	\$ 1 240 565	\$ 1 178 986	\$ 1 112 981	\$ 1 242 005
18	-5 %	\$ 1 276 241	\$ 1 240 205	\$ 1 210 540	\$ 1 176 413	\$ 1 240 925
19	0 %	\$ 1 239 845	\$ 1 239 845	\$ 1 239 845	\$ 1 239 845	\$ 1 239 845
20	5 %	\$ 1 204 997	\$ 1 239 485	\$ 1 267 064	\$ 1 303 277	\$ 1 238 766
21	10 %	\$ 1 171 616	\$ 1 239 125	\$ 1 292 343	\$ 1 366 709	\$ 1 237 686
22	15 %	\$ 1 139 629	\$ 1 238 765	\$ 1 315 822	\$ 1 430 141	\$ 1 236 606
23	20 %	\$ 1 108 965	\$ 1 238 405	\$ 1 337 628	\$ 1 493 574	\$ 1 235 526
24	25 %	\$ 1 079 558	\$ 1 238 045	\$ 1 357 881	\$ 1 557 006	\$ 1 234 446
25	30 %	\$ 1 051 345	\$ 1 237 685	\$ 1 376 691	\$ 1 620 438	\$ 1 233 367
26	35 %	\$ 1 024 268	\$ 1 237 325	\$ 1 394 162	\$ 1 683 870	\$ 1 232 287
27	40 %	\$ 998 270	\$ 1 236 965	\$ 1 410 388	\$ 1 747 302	\$ 1 231 207
28	45 %	\$ 973 298	\$ 1 236 605	\$ 1 425 458	\$ 1 810 734	\$ 1 230 127
29	50 %	\$ 949 303	\$ 1 236 245	\$ 1 439 454	\$ 1 874 166	\$ 1 229 048

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$14 118)				
3	Discount Rate	2 %				
4	Damages =	(\$22 947)				
5	Useful Life =	80	years			
6	Adaptation =	\$32 233				
7	Low Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 1 744 733	\$ 1 264 607	\$ 857 235	\$ 621 715	\$ 1 269 313
10	-45 %	\$ 1 685 302	\$ 1 264 372	\$ 913 611	\$ 685 769	\$ 1 268 607
11	-40 %	\$ 1 628 745	\$ 1 264 137	\$ 965 694	\$ 749 823	\$ 1 267 901
12	-35 %	\$ 1 574 900	\$ 1 263 901	\$ 1 013 811	\$ 813 877	\$ 1 267 195
13	-30 %	\$ 1 523 616	\$ 1 263 666	\$ 1 058 263	\$ 877 931	\$ 1 266 489
14	-25 %	\$ 1 474 749	\$ 1 263 431	\$ 1 099 331	\$ 941 985	\$ 1 265 784
15	-20 %	\$ 1 428 165	\$ 1 263 195	\$ 1 137 270	\$ 1 006 038	\$ 1 265 078
16	-15 %	\$ 1 383 738	\$ 1 262 960	\$ 1 172 321	\$ 1 070 092	\$ 1 264 372
17	-10 %	\$ 1 341 351	\$ 1 262 725	\$ 1 204 702	\$ 1 134 146	\$ 1 263 666
18	-5 %	\$ 1 300 891	\$ 1 262 489	\$ 1 234 617	\$ 1 198 200	\$ 1 262 960
19	0 %	\$ 1 262 254	\$ 1 262 254	\$ 1 262 254	\$ 1 262 254	\$ 1 262 254
20	5 %	\$ 1 225 343	\$ 1 262 019	\$ 1 287 787	\$ 1 326 308	\$ 1 261 548
21	10 %	\$ 1 190 064	\$ 1 261 783	\$ 1 311 374	\$ 1 390 362	\$ 1 260 842
22	15 %	\$ 1 156 331	\$ 1 261 548	\$ 1 333 166	\$ 1 454 416	\$ 1 260 137
23	20 %	\$ 1 124 061	\$ 1 261 313	\$ 1 353 298	\$ 1 518 470	\$ 1 259 431
24	25 %	\$ 1 093 179	\$ 1 261 077	\$ 1 371 897	\$ 1 582 524	\$ 1 258 725
25	30 %	\$ 1 063 612	\$ 1 260 842	\$ 1 389 080	\$ 1 646 578	\$ 1 258 019
26	35 %	\$ 1 035 291	\$ 1 260 607	\$ 1 404 954	\$ 1 710 632	\$ 1 257 313
27	40 %	\$ 1 008 152	\$ 1 260 371	\$ 1 419 619	\$ 1 774 686	\$ 1 256 607
28	45 %	\$ 982 135	\$ 1 260 136	\$ 1 433 167	\$ 1 838 739	\$ 1 255 901
29	50 %	\$ 957 182	\$ 1 259 901	\$ 1 445 684	\$ 1 902 793	\$ 1 255 195

	A	B	C	D	E	F
1	Nominal Values					
2	Cost	(\$13 019)				
3	Discount Rate	2 %				
4	Damages =	(\$21 672)				
5	Useful Life =	100	years			
6	Adaptation =	\$29 725				
7	Low Investment					
8	% Change	Discount Rate	Damages	Useful Life	Adaptation	Cost
9	-50 %	\$ 1 852 473	\$ 1 266 564	\$ 912 981	\$ 624 529	\$ 1 271 577
10	-45 %	\$ 1 777 041	\$ 1 266 414	\$ 965 793	\$ 688 583	\$ 1 270 927
11	-40 %	\$ 1 706 032	\$ 1 266 265	\$ 1 013 627	\$ 752 637	\$ 1 270 276
12	-35 %	\$ 1 639 141	\$ 1 266 115	\$ 1 056 951	\$ 816 691	\$ 1 269 625
13	-30 %	\$ 1 576 087	\$ 1 265 965	\$ 1 096 191	\$ 880 744	\$ 1 268 974
14	-25 %	\$ 1 516 611	\$ 1 265 816	\$ 1 131 732	\$ 944 798	\$ 1 268 323
15	-20 %	\$ 1 460 473	\$ 1 265 666	\$ 1 163 923	\$ 1 008 852	\$ 1 267 672
16	-15 %	\$ 1 407 448	\$ 1 265 517	\$ 1 193 079	\$ 1 072 906	\$ 1 267 021
17	-10 %	\$ 1 357 331	\$ 1 265 367	\$ 1 219 487	\$ 1 136 960	\$ 1 266 370
18	-5 %	\$ 1 309 930	\$ 1 265 218	\$ 1 243 405	\$ 1 201 014	\$ 1 265 719
19	0 %	\$ 1 265 068	\$ 1 265 068	\$ 1 265 068	\$ 1 265 068	\$ 1 265 068
20	5 %	\$ 1 222 581	\$ 1 264 918	\$ 1 284 689	\$ 1 329 122	\$ 1 264 417
21	10 %	\$ 1 182 316	\$ 1 264 769	\$ 1 302 461	\$ 1 393 176	\$ 1 263 766
22	15 %	\$ 1 144 130	\$ 1 264 619	\$ 1 318 557	\$ 1 457 230	\$ 1 263 115
23	20 %	\$ 1 107 894	\$ 1 264 470	\$ 1 333 136	\$ 1 521 284	\$ 1 262 464
24	25 %	\$ 1 073 484	\$ 1 264 320	\$ 1 346 340	\$ 1 585 338	\$ 1 261 813
25	30 %	\$ 1 040 786	\$ 1 264 171	\$ 1 358 300	\$ 1 649 392	\$ 1 261 162
26	35 %	\$ 1 009 696	\$ 1 264 021	\$ 1 369 132	\$ 1 713 445	\$ 1 260 511
27	40 %	\$ 980 114	\$ 1 263 871	\$ 1 378 943	\$ 1 777 499	\$ 1 259 860
28	45 %	\$ 951 949	\$ 1 263 722	\$ 1 387 829	\$ 1 841 553	\$ 1 259 209
29	50 %	\$ 925 116	\$ 1 263 572	\$ 1 395 878	\$ 1 905 607	\$ 1 258 558

Annex 6 Decision Tree results

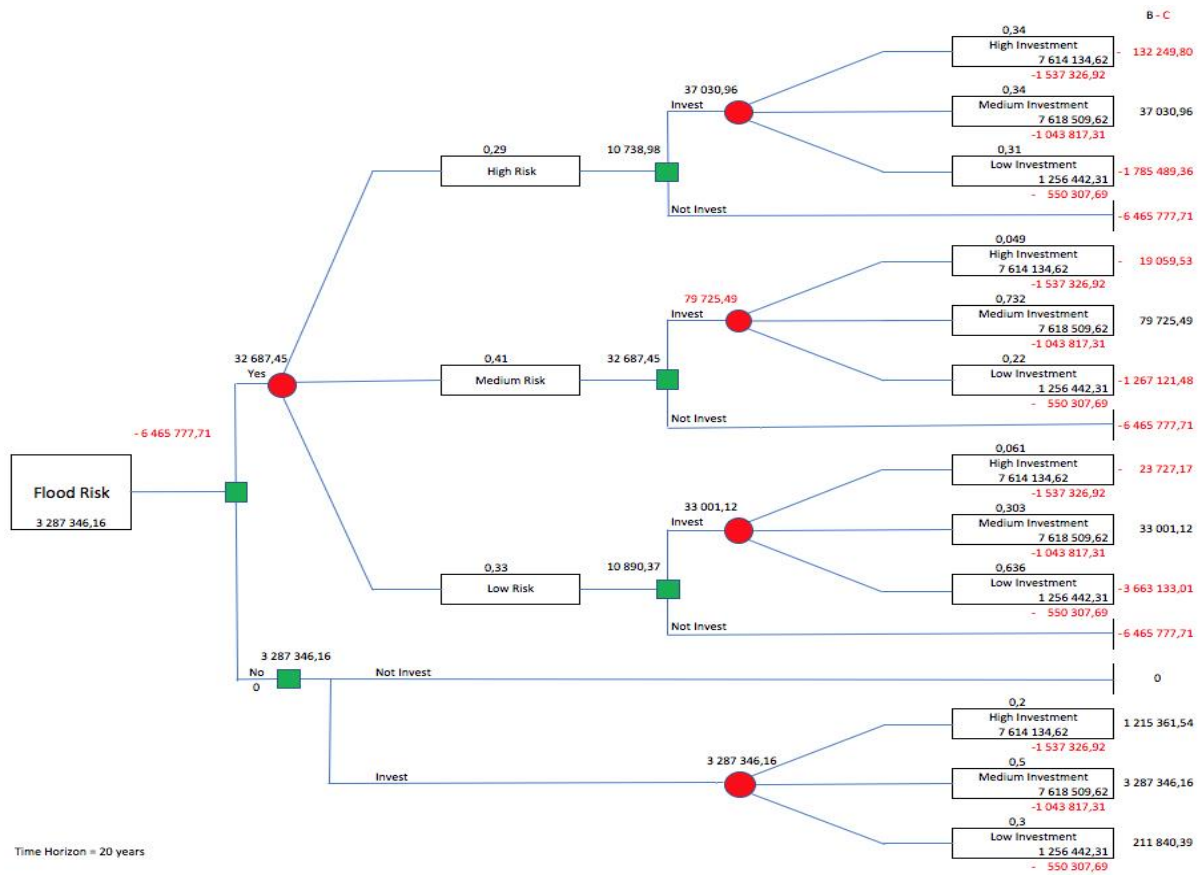


Figure 1 Decision tree analysis for 20-year time horizon

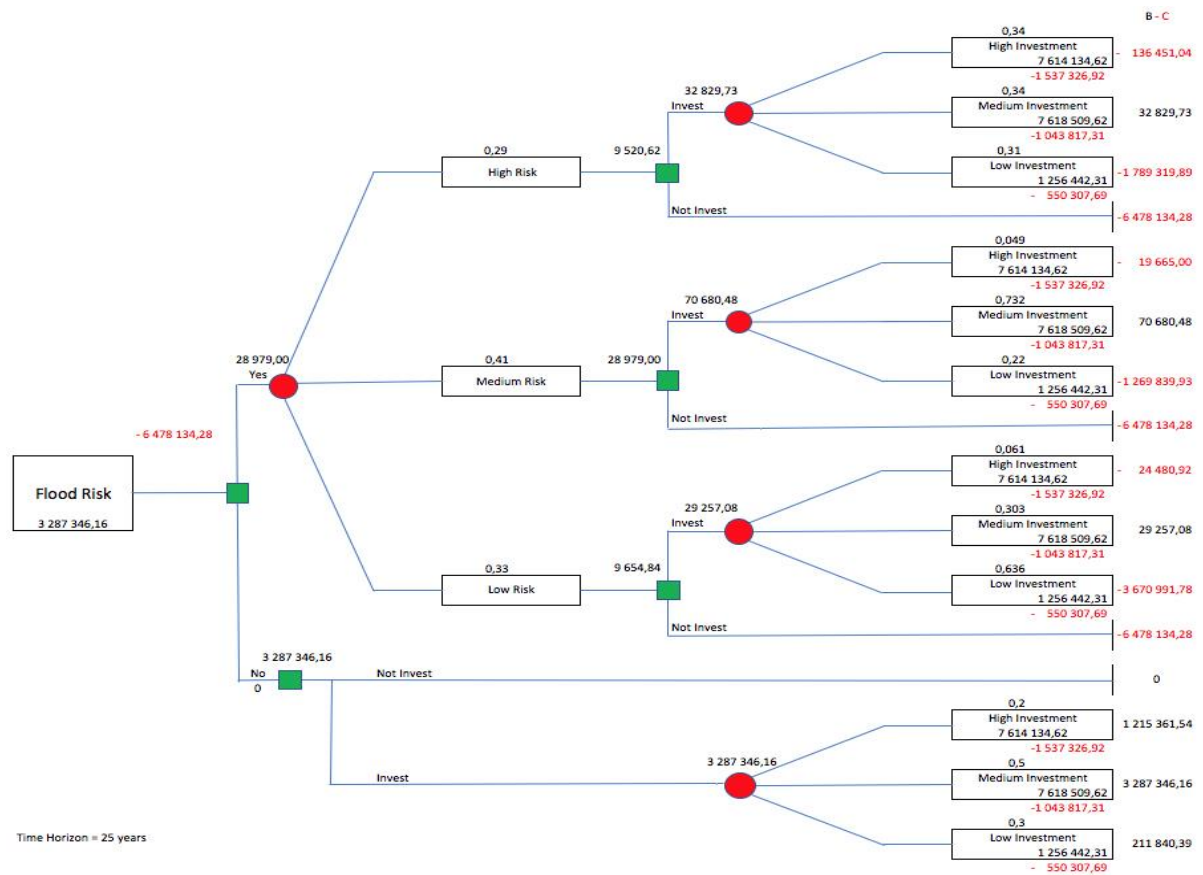
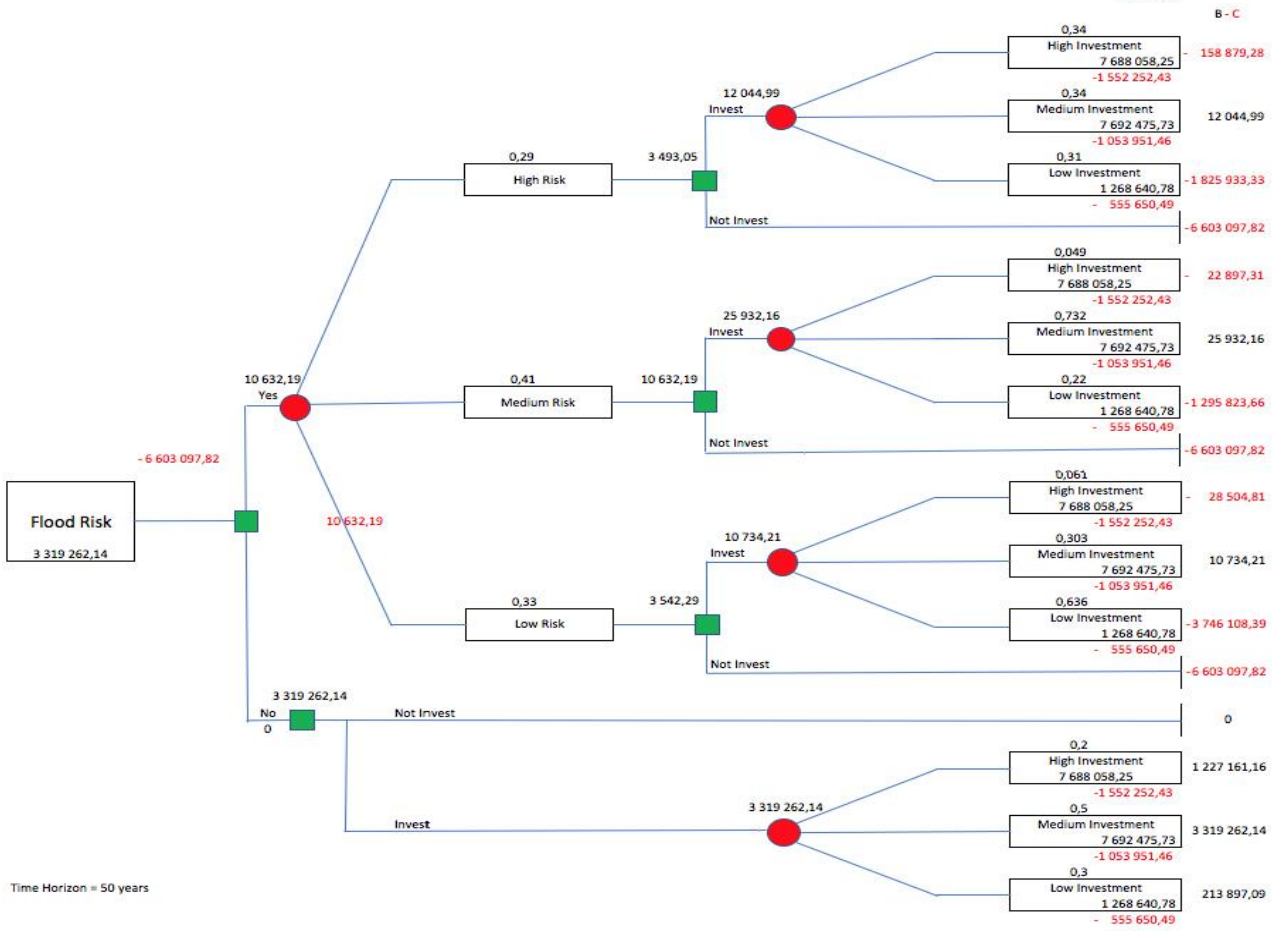
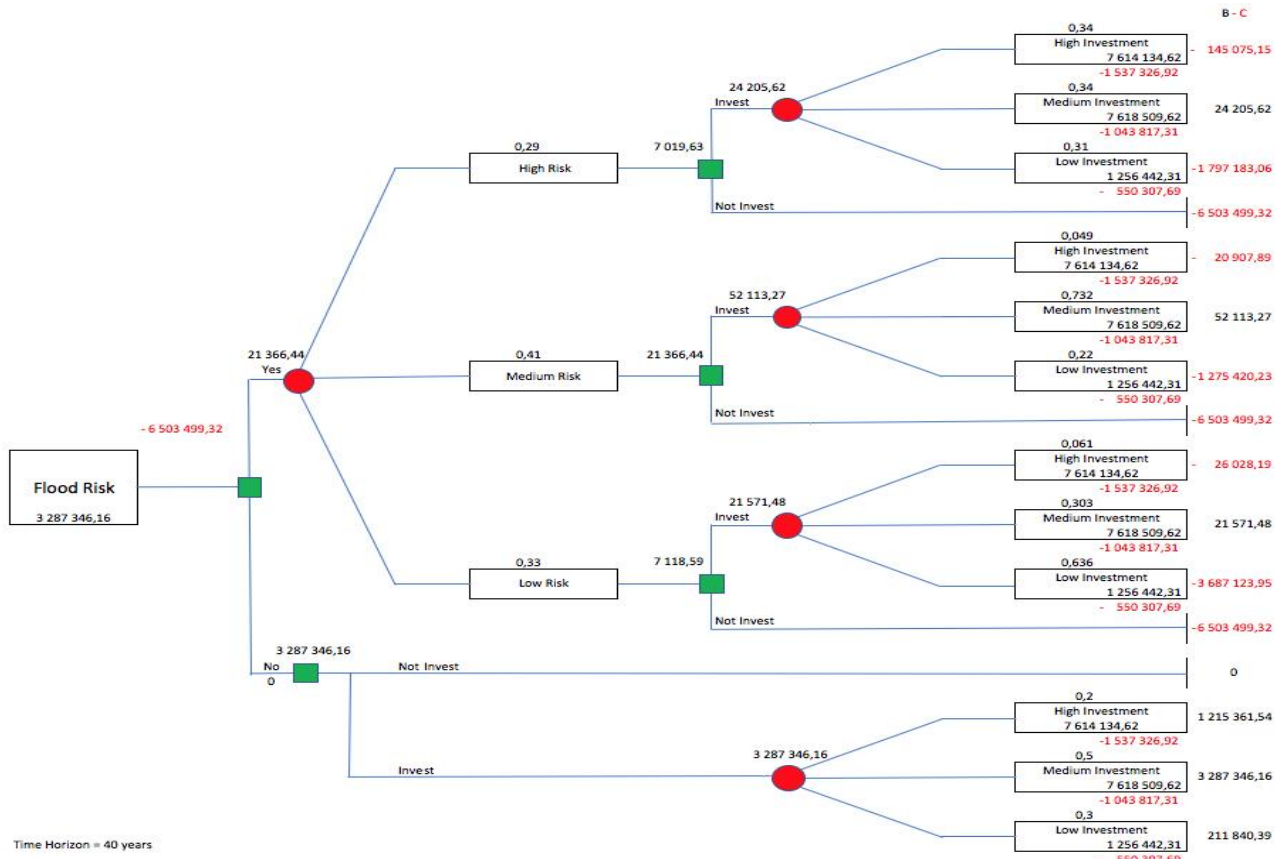
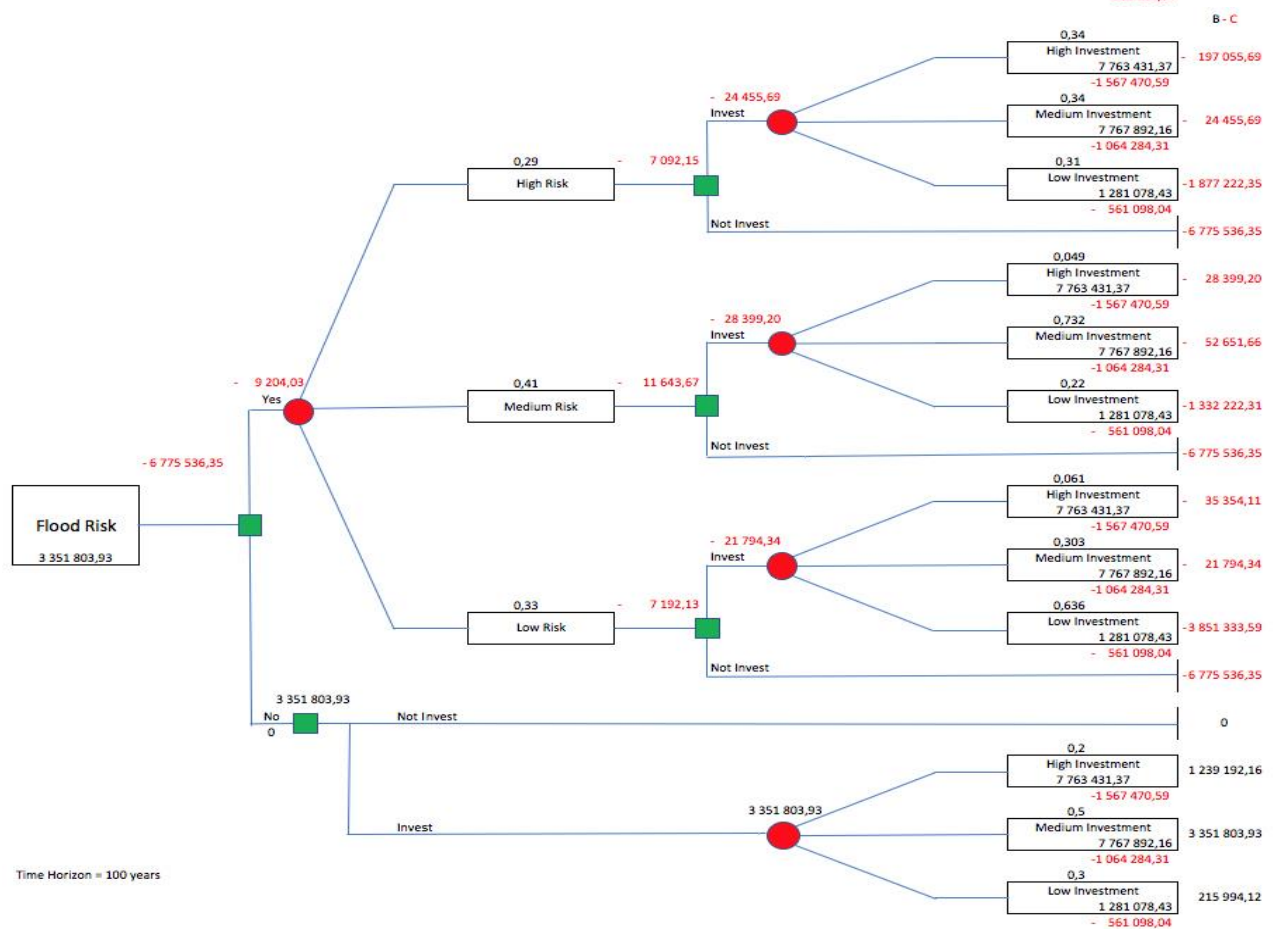
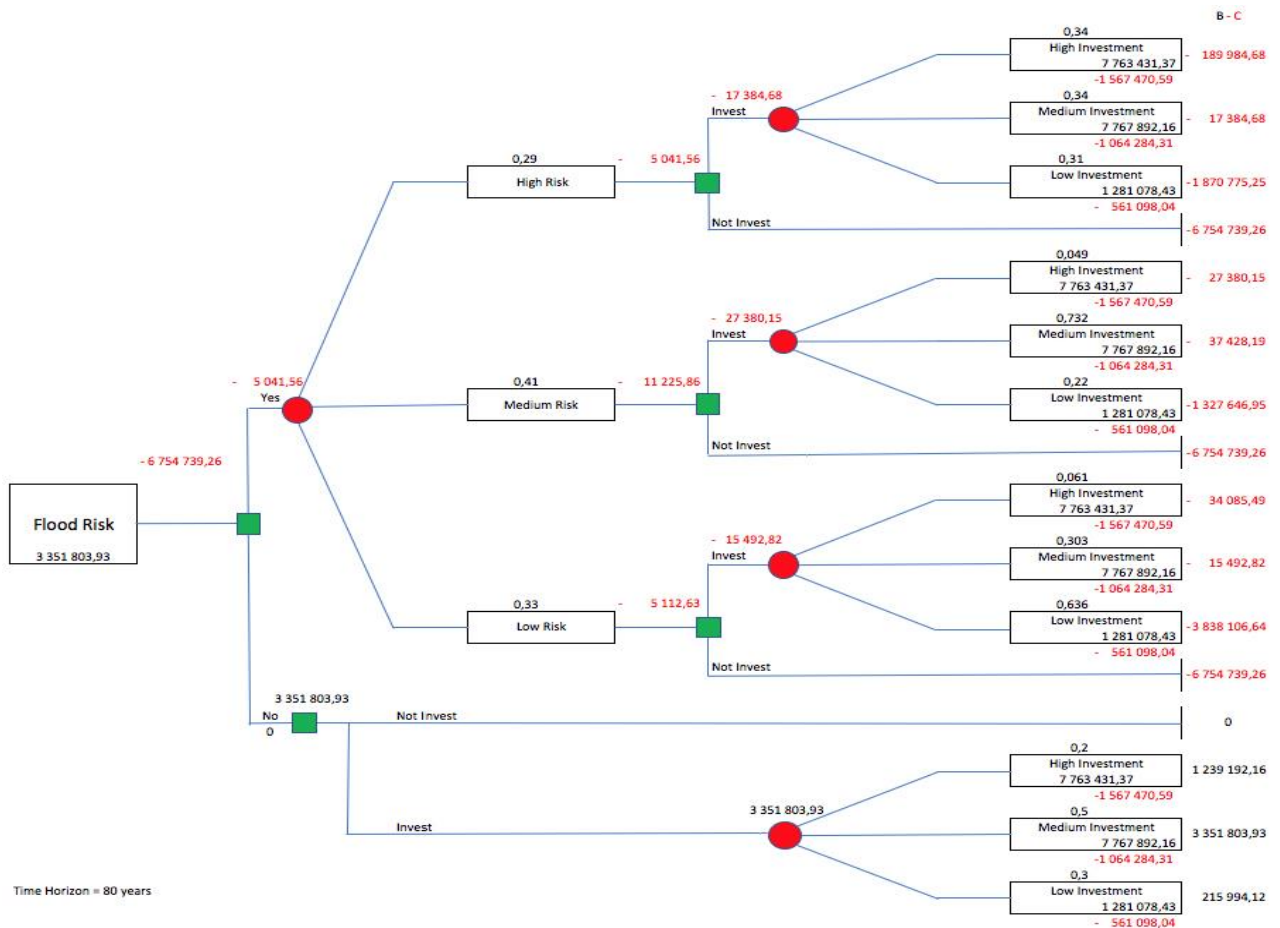


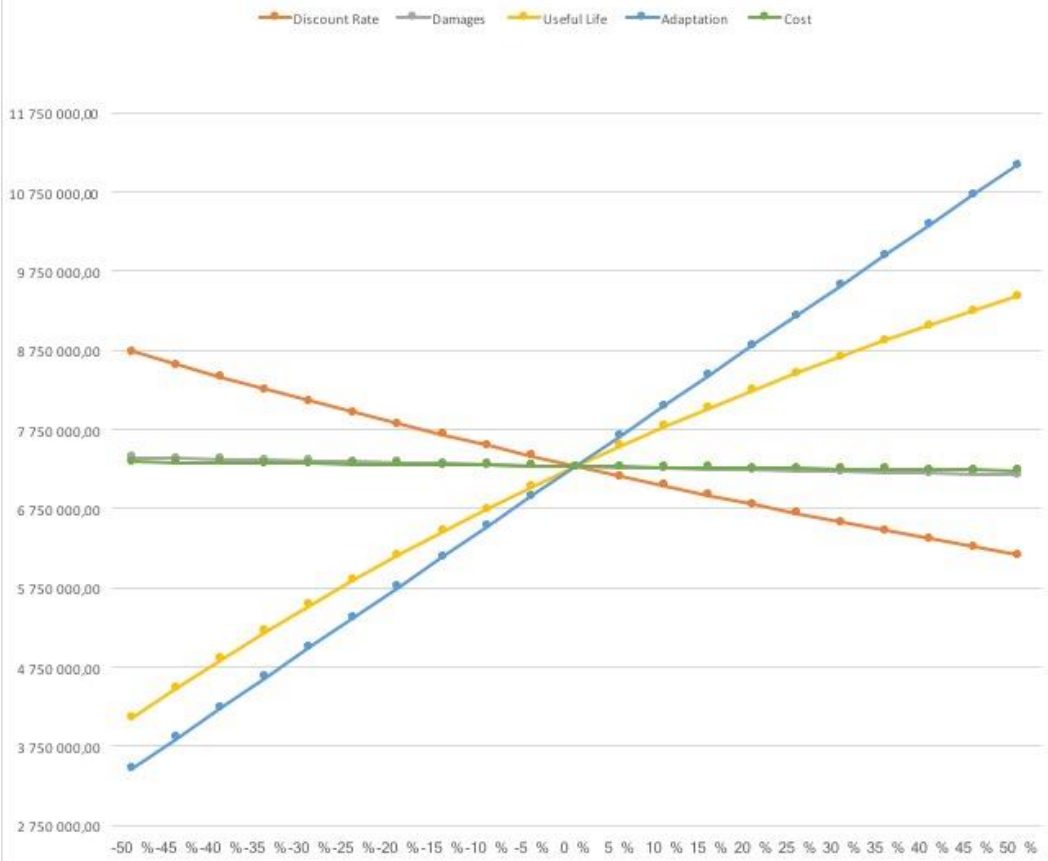
Figure 2 Decision tree analysis for 25-year horizon.



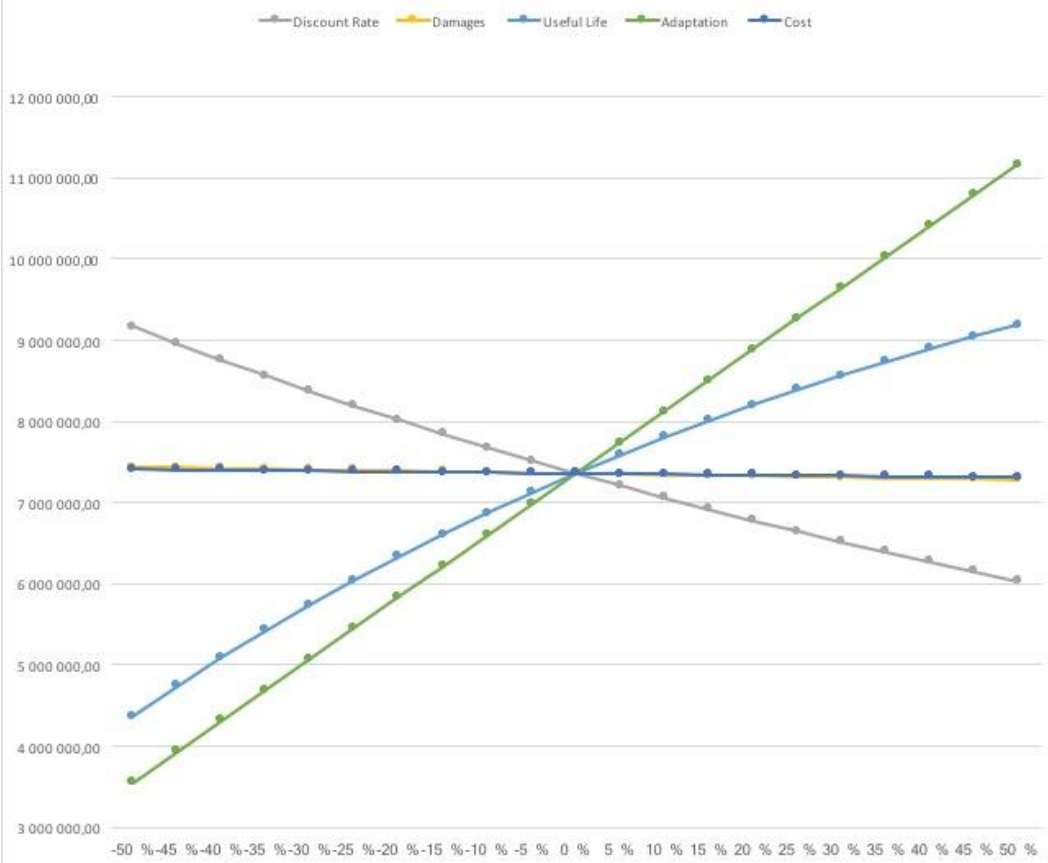


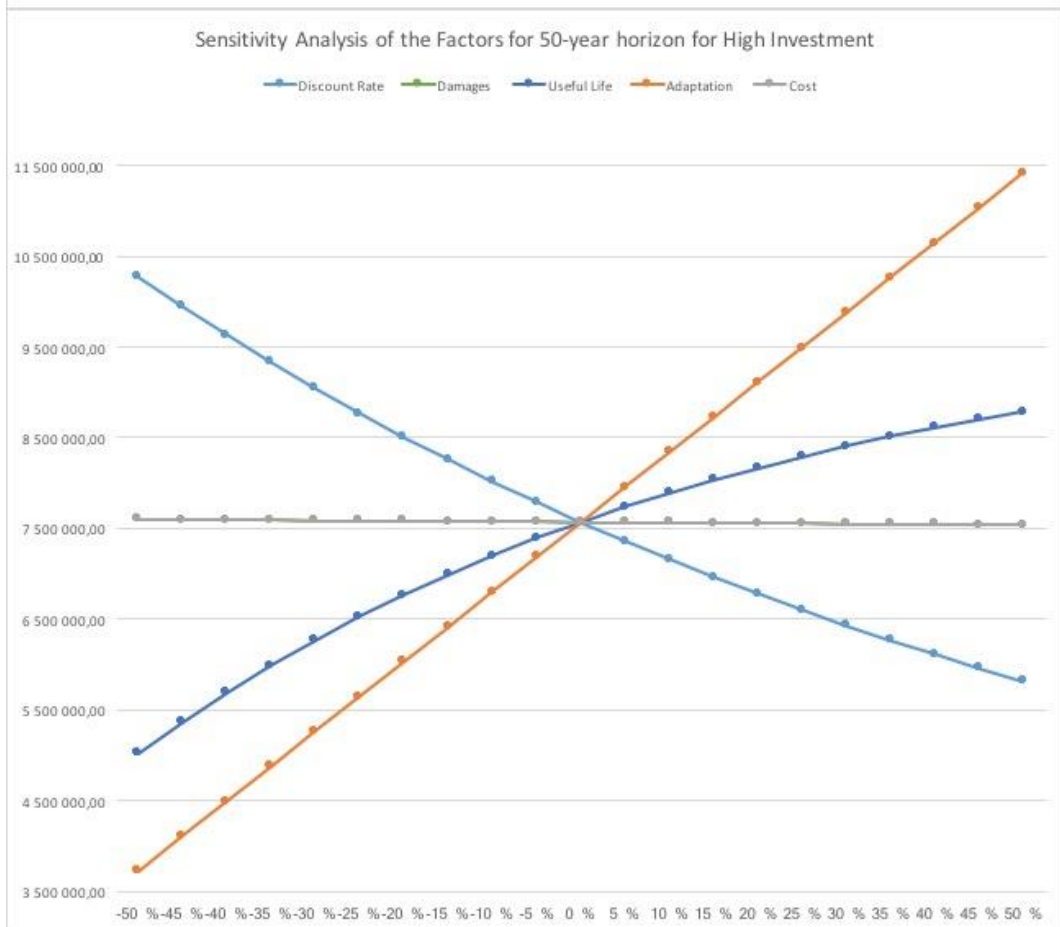
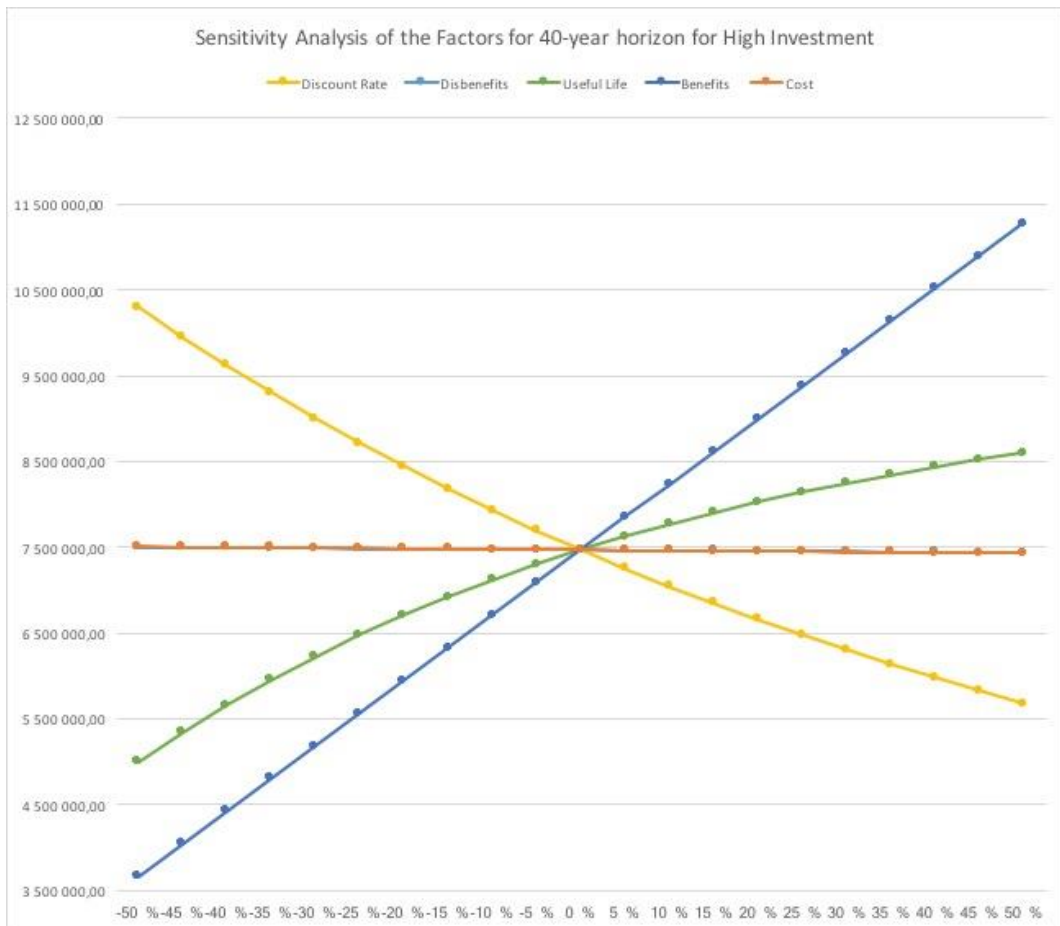
Annex 7 Graphs of Sensitivity Analysis

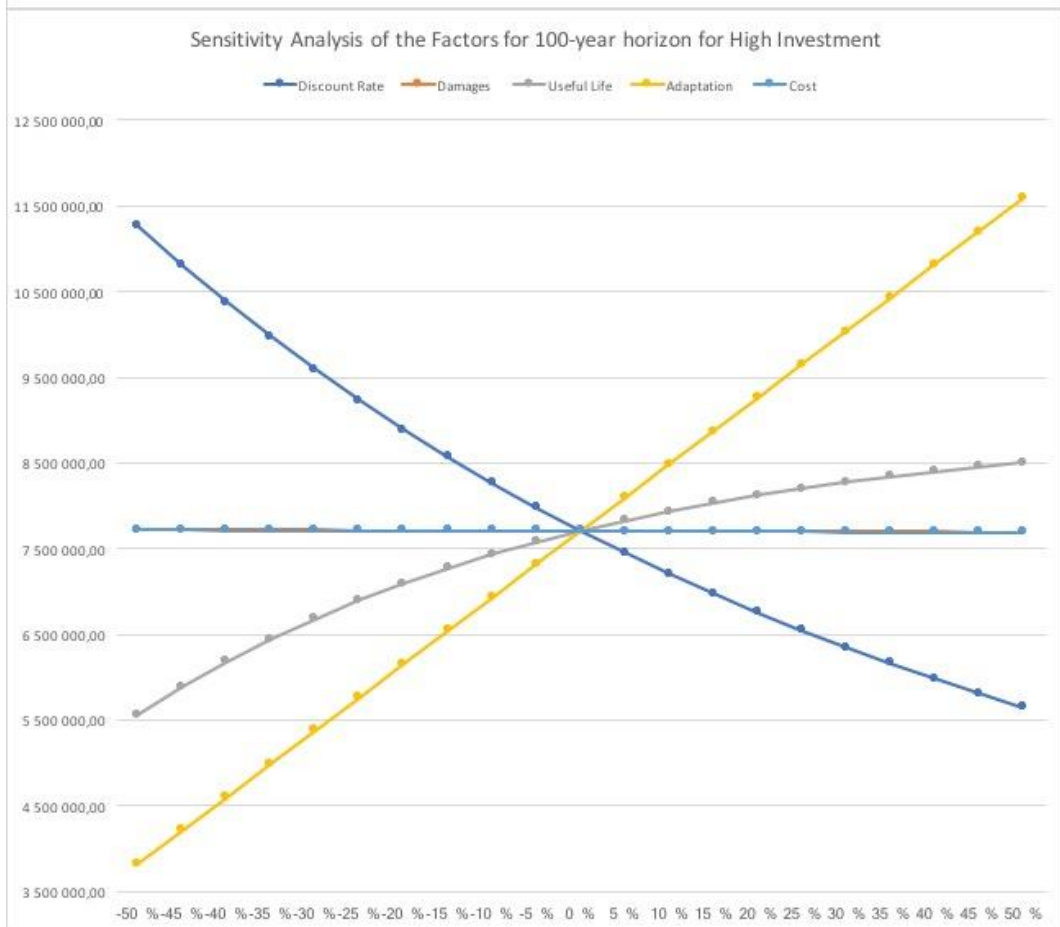
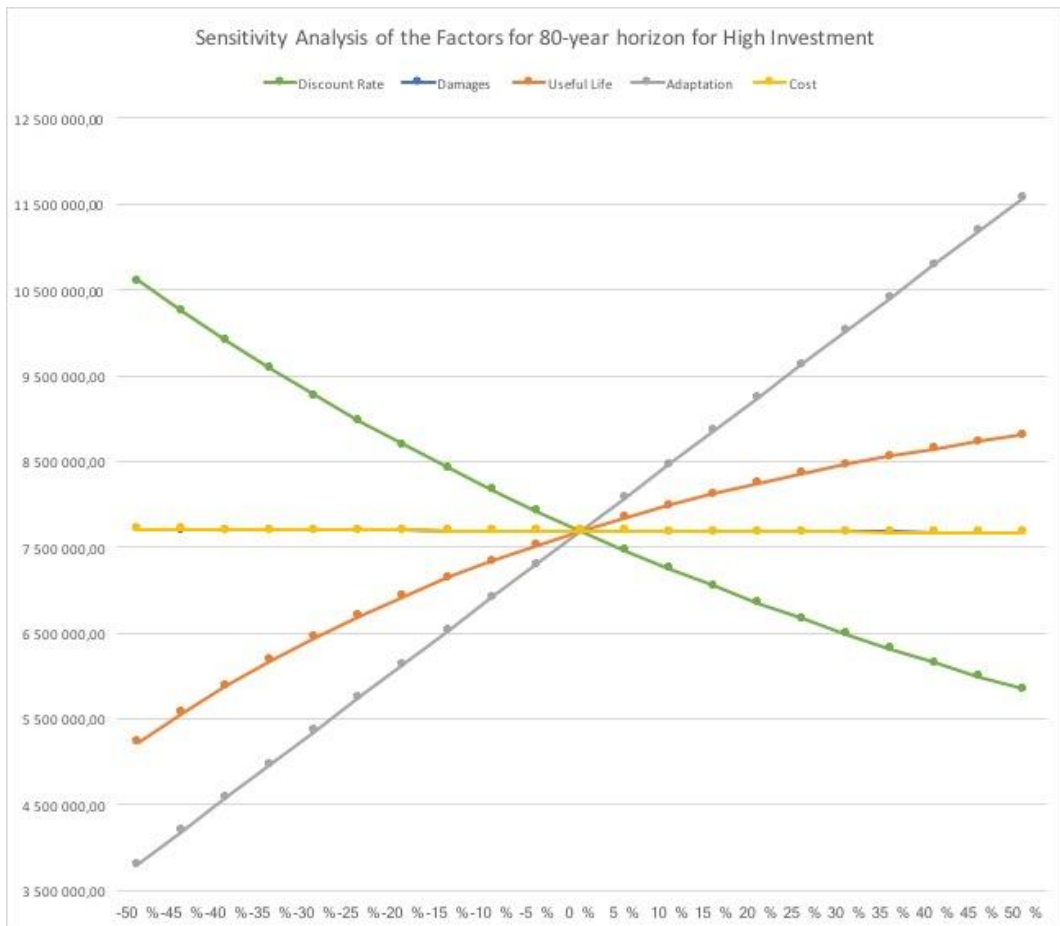
Sensitivity Analysis of the Factors for 20-year horizon for High Investment



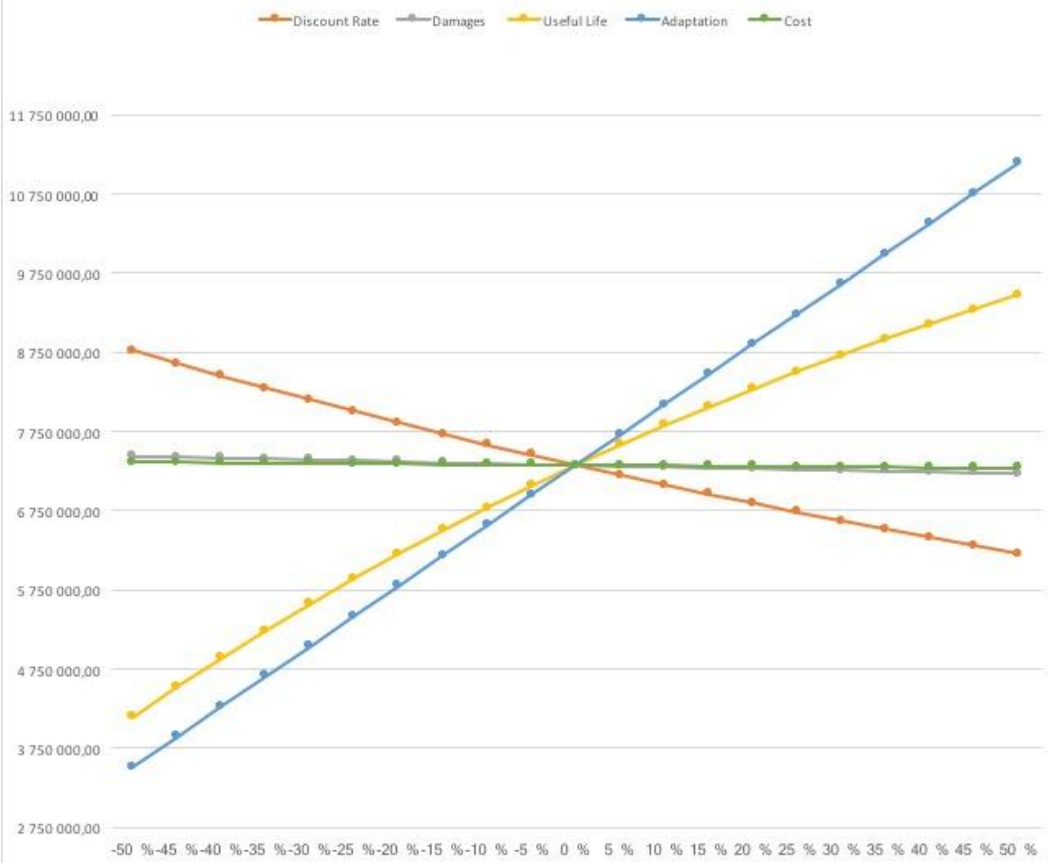
Sensitivity Analysis of the Factors for 25-year horizon for High Investment



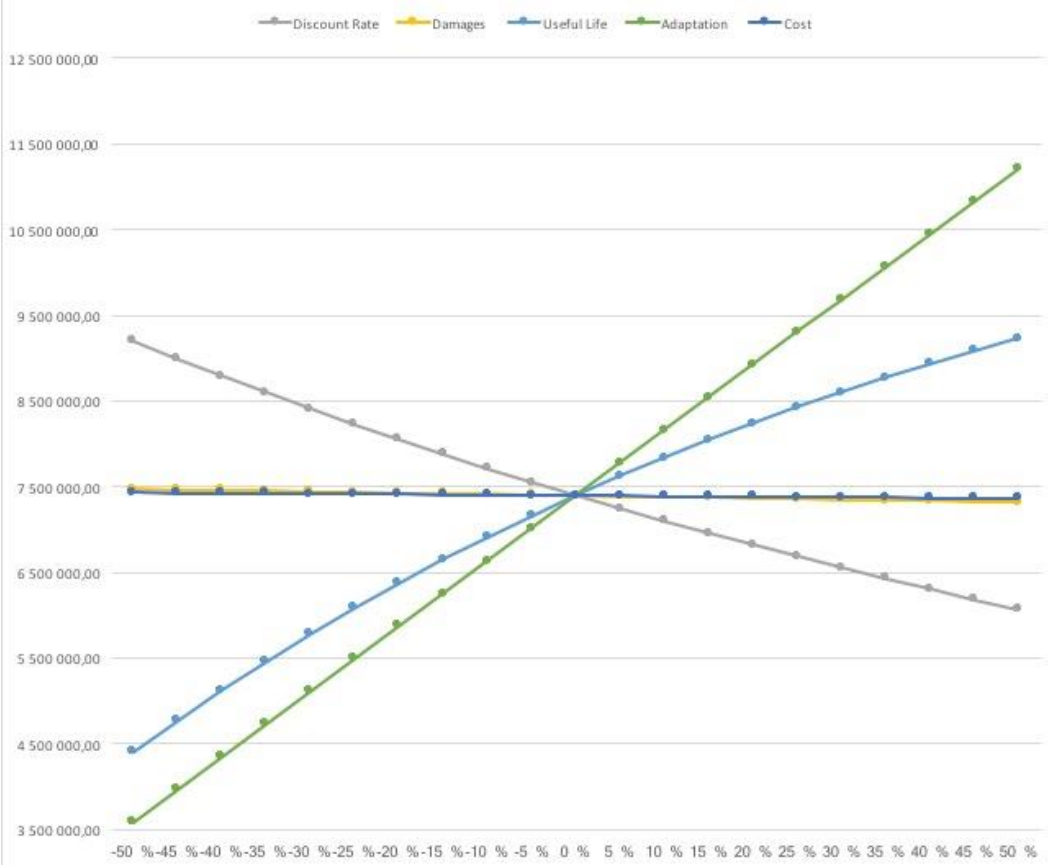


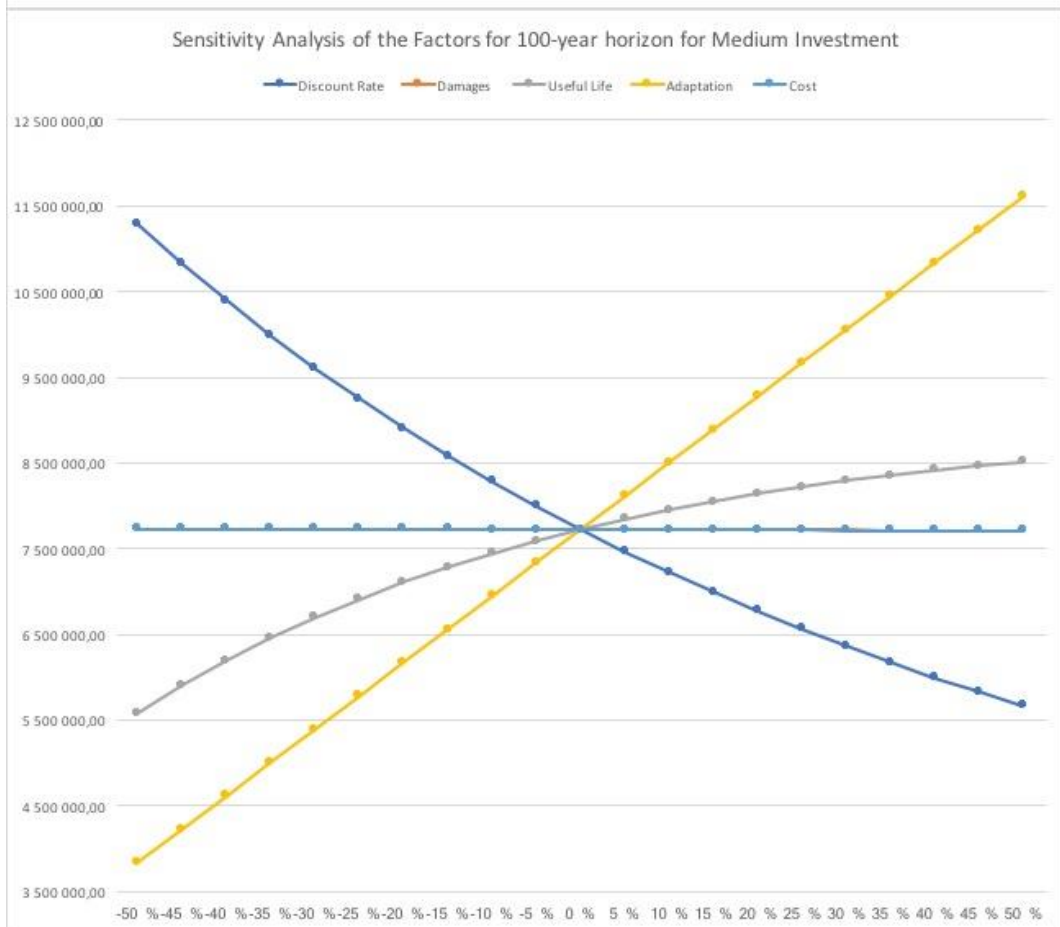
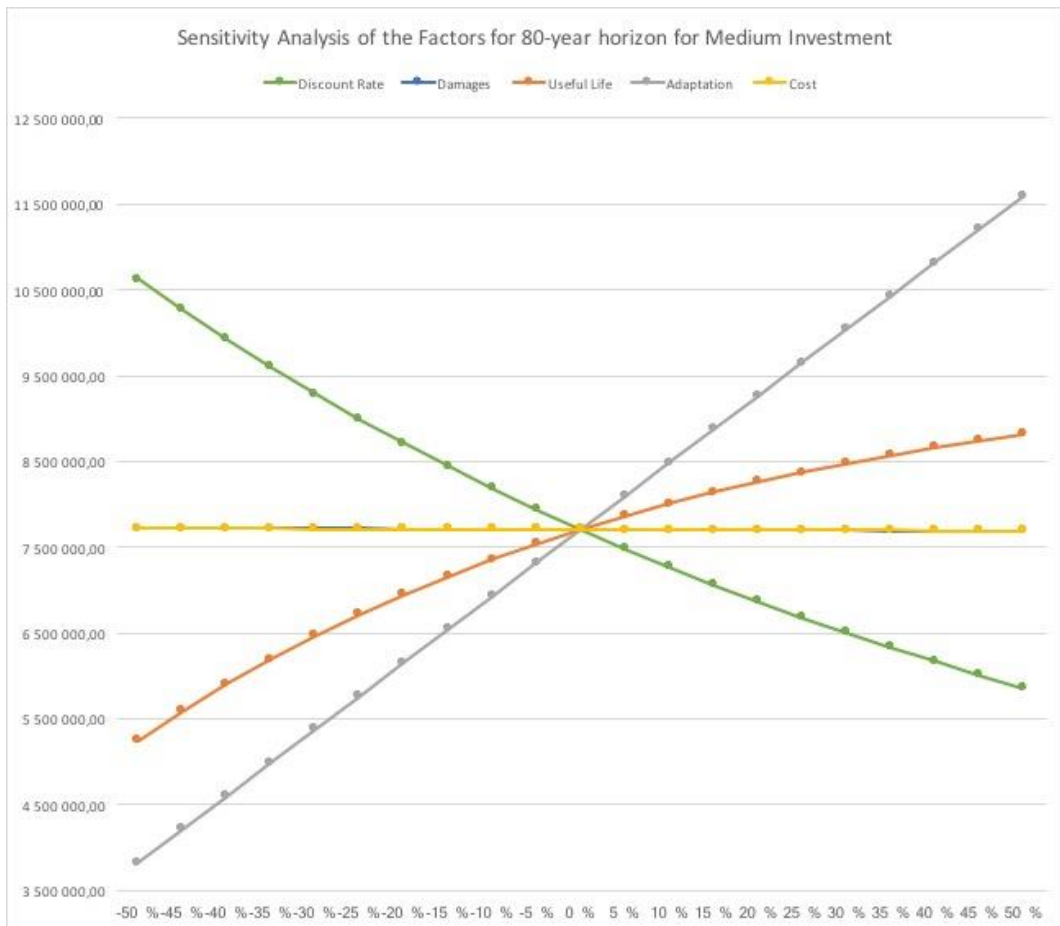


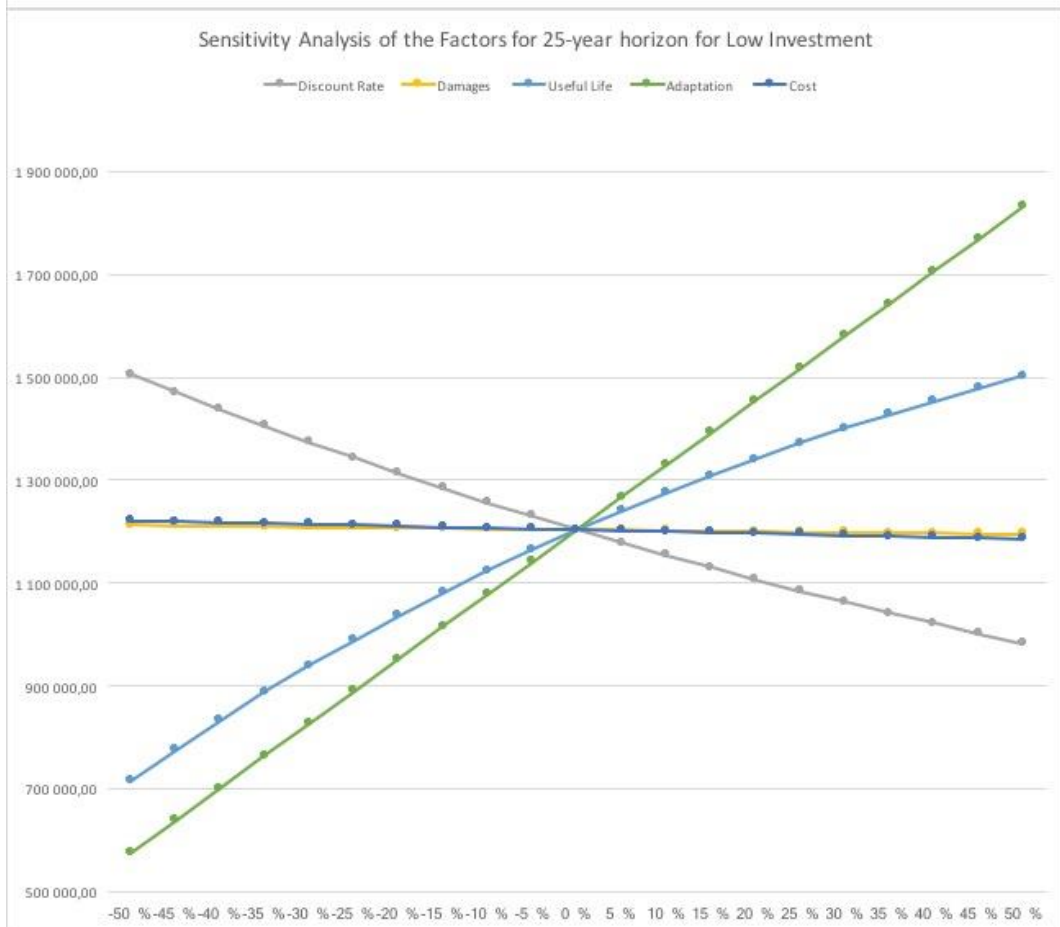
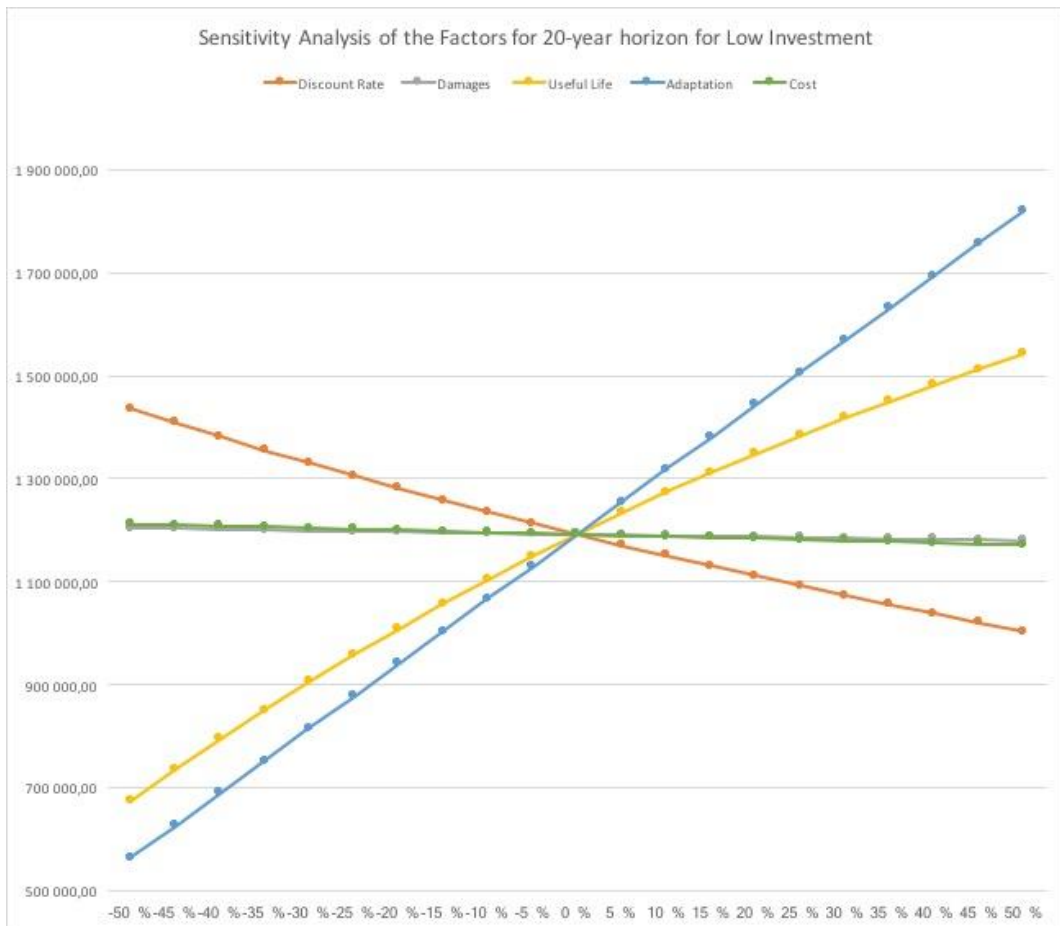
Sensitivity Analysis of the Factors for 20-year horizon for Medium Investment

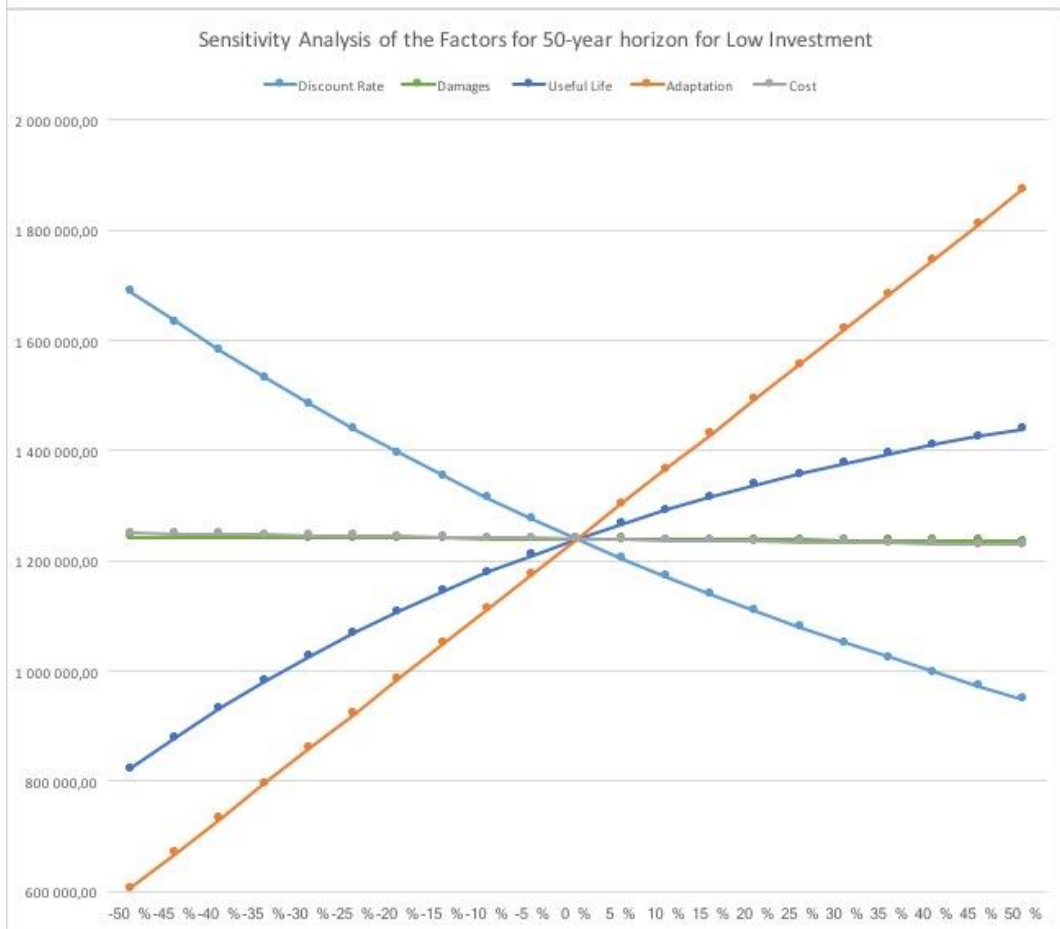
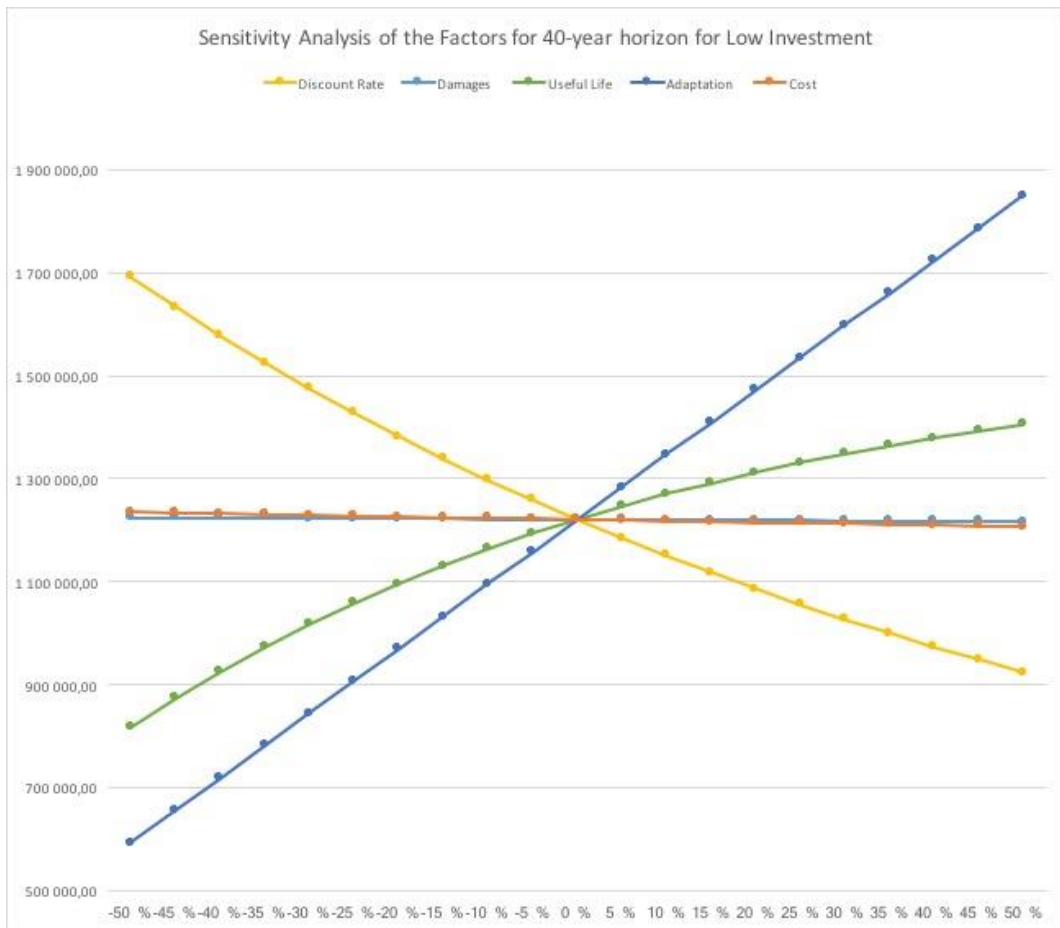


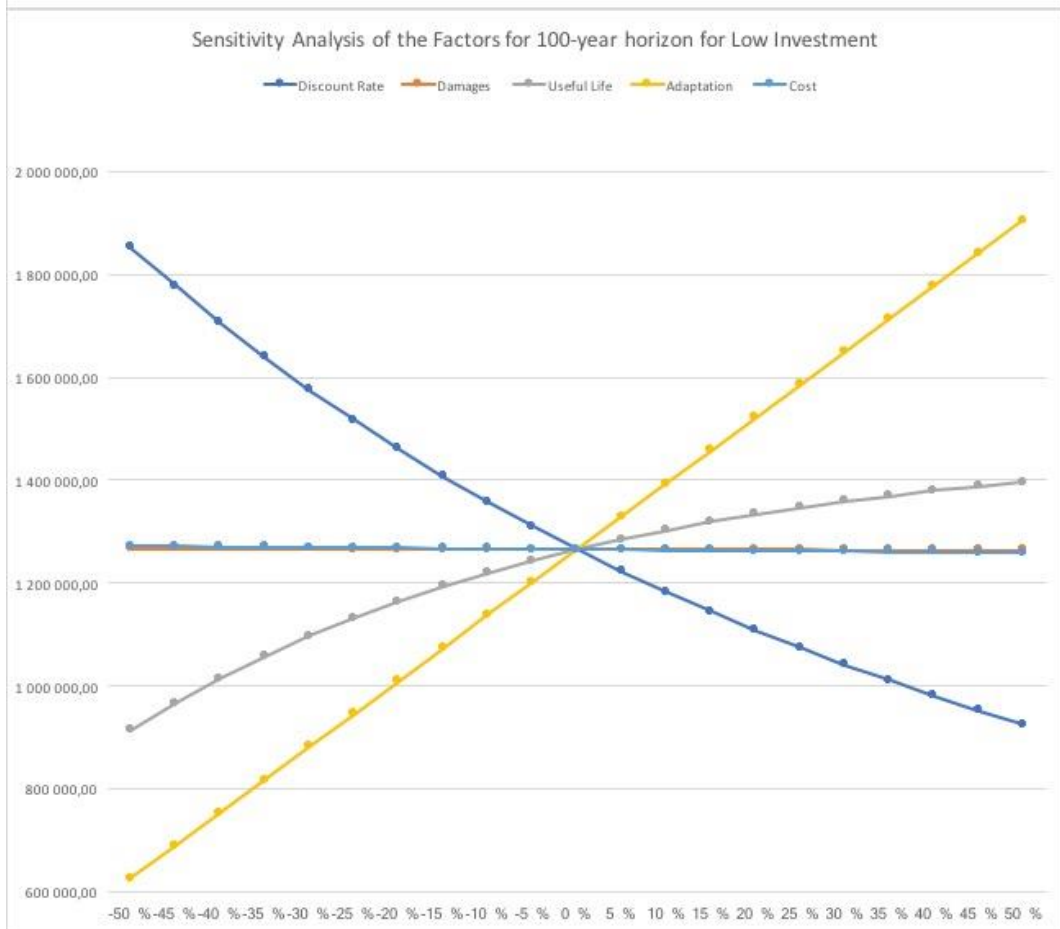
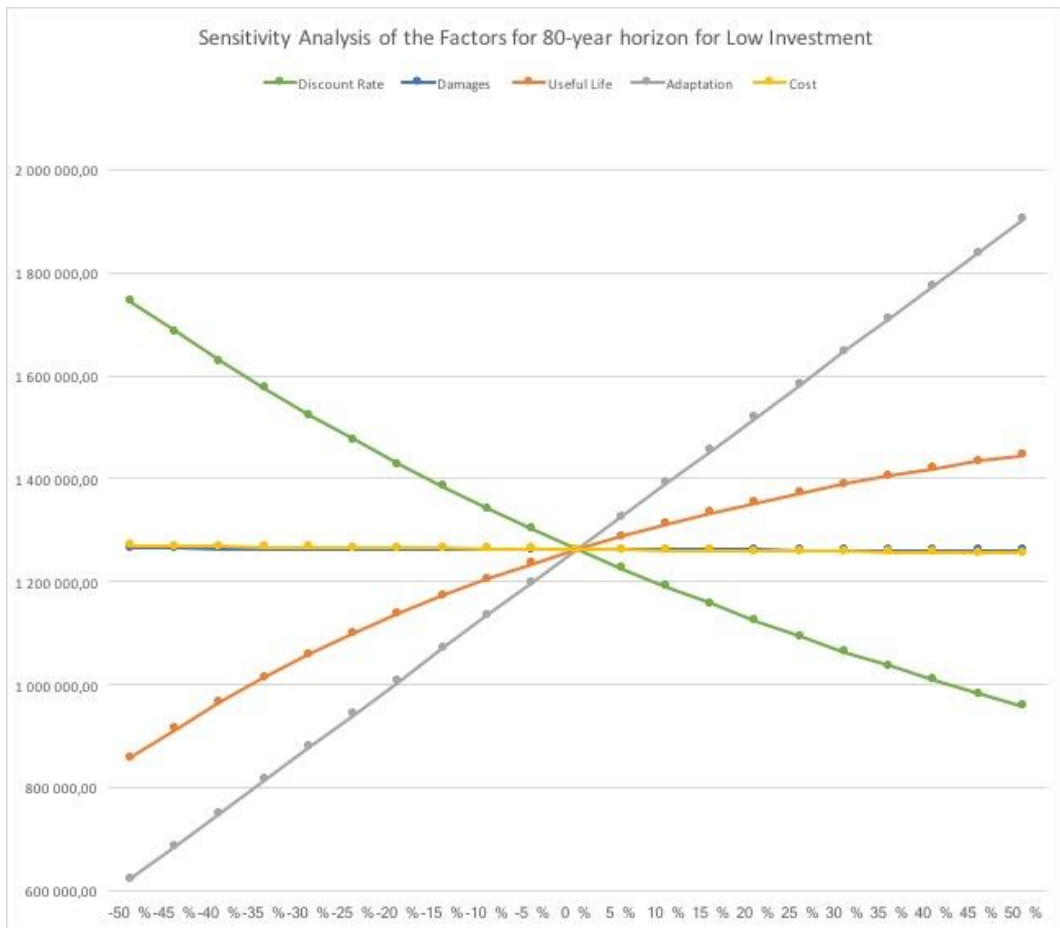
Sensitivity Analysis of the Factors for 25-year horizon for Medium Investment





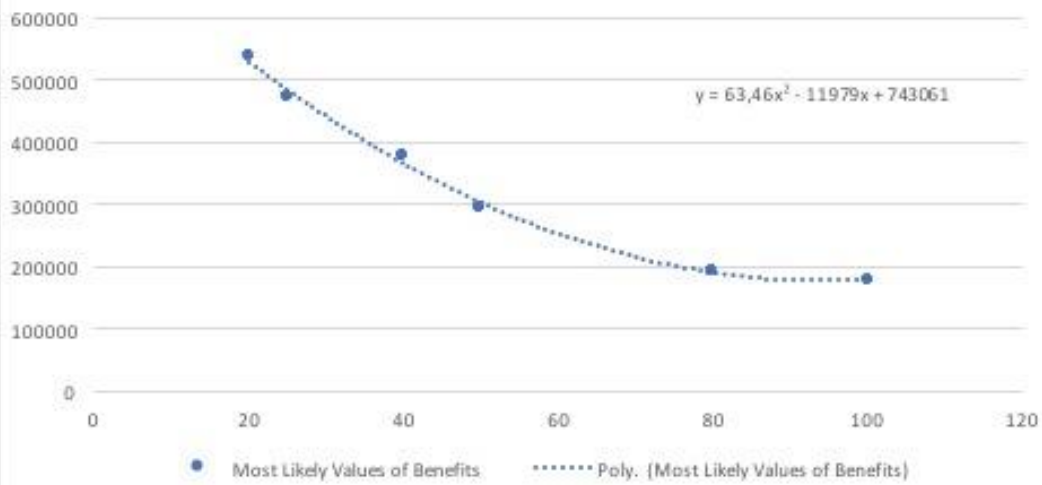




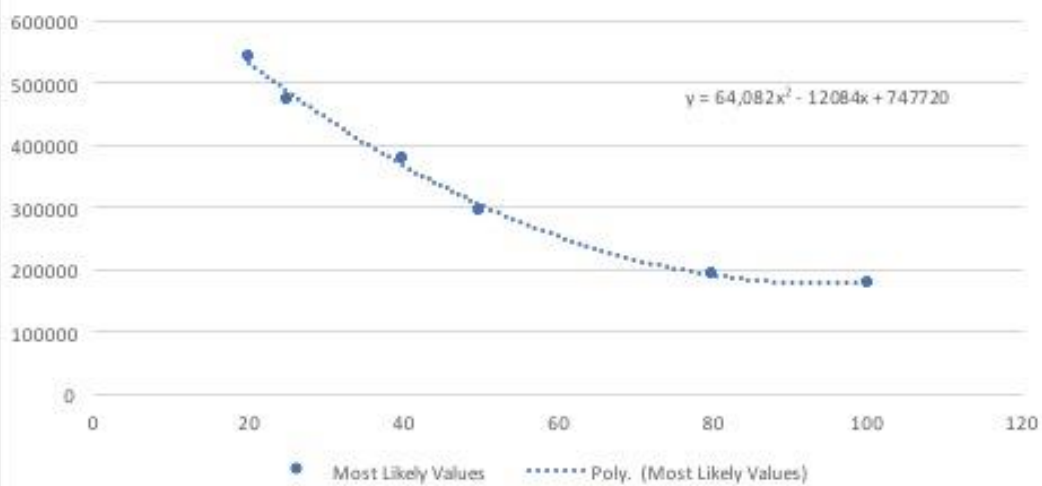


Annex 8 Polynomial Regression graph

Polynomial Regression for the Most Likely Values for the High Investment



Polynomial Regression for the Most Likely Values for the Medium Investment



Polynomial Regression for the Most Likely Values for the Low Investment

