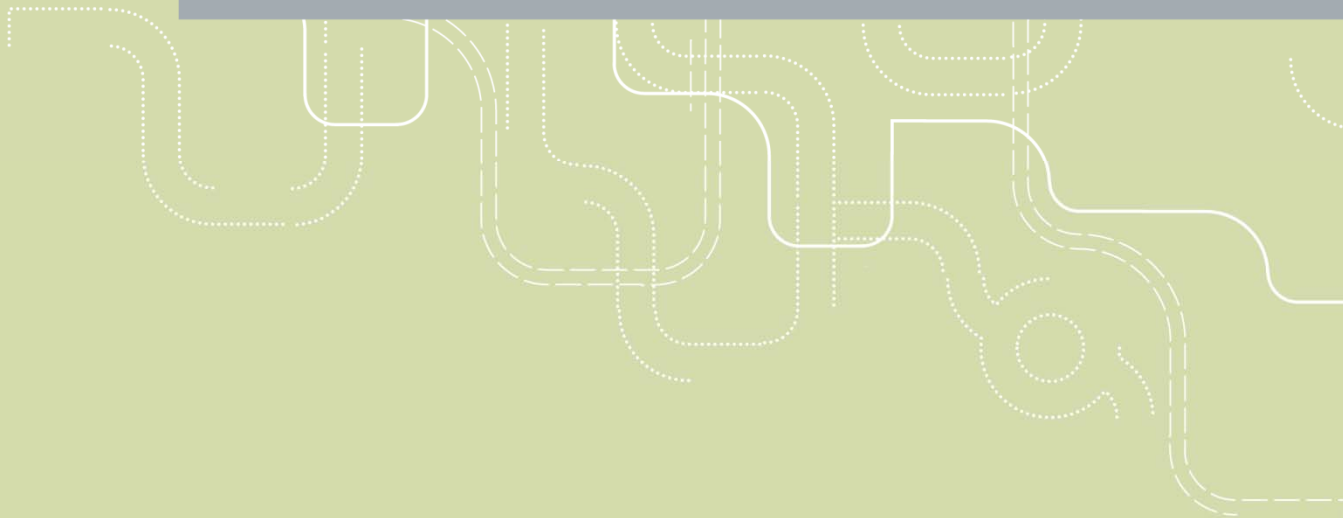


Harald Minken  
Sunniva Frislid Meyer  
Knut Veisten  
Yu Bai  
TØI rapport 1185/2011

## Samfunnsøkonomisk analyse av vedlikehold – hva trengs i etatene?





# Samfunnsøkonomisk analyse av vedlikehold – hva trengs i etatene?

Harald Minken  
Sunniva Frislid Meyer  
Knut Veisten  
Yu Bai

Transportøkonomisk institutt (TØI) har opphavsrett til hele rapporten og dens enkelte deler. Innholdet kan brukes som underlagsmateriale. Når rapporten siteres eller omtales, skal TØI oppgis som kilde med navn og rapportnummer. Rapporten kan ikke endres. Ved eventuell annen bruk må forhåndssamtykke fra TØI innhentes. For øvrig gjelder [åndsverklovens](#) bestemmelser.

ISSN 0808-1190

ISBN 978-82-480-1339-6 Papirversjon

ISBN 978-82-480-1305-1 Elektronisk versjon

Oslo, desember 2011

---

**Tittel:** Samfunnsøkonomisk analyse av vedlikehold - hva trengs i etatene?

**Forfattere:** Harald Minken  
Sunniva Frislid Meyer  
Knut Veisten  
Yu Bai

**Dato:** 12.2011

**TØI rapport:** 1185/2011

**Sider** 51

**ISBN Papir:** 978-82-480-1339-6

**ISBN Elektronisk:** 978-82-480-1305-1

**ISSN** 0808-1190

**Finansieringskilde:** NTP sekretariatet

**Prosjekt:** 3746 - Kartlegging av vedlikeholdets forskjelligartethet og virkning

**Prosjektleder:**

**Kvalitetsansvarlig:** Kjell Werner Johansen

**Emneord:** Nytte-kostnadsanalyse  
Vedlikehold

**Sammendrag:**

Litteraturstudier og intervjuer med nøkkelpersoner er brukt til å belyse hvordan det kan bli praktisk mulig å beregne nytten av vedlikeholdssatsninger og fornyelsesprosjekter i etatene. Vi finner at det kreves et arbeid med grunnleggende valg av rammeverk og metode, tilrettelegging av data, estimering av sammenhenger og generell kunnskapsoppbygging for å oppnå dette, og anbefaler at et slikt arbeid prioriteres i etatene.

**Title:** Towards a framework for cost benefit analysis of maintenance strategies

**Author(s):** Harald Minken  
Sunniva Frislid Meyer  
Knut Veisten  
Yu Bai

**Date:** 12.2011

**TØI report:** 1185/2011

**Pages** 51

**ISBN Paper:** 978-82-480-1339-6

**ISBN Electronic:** 978-82-480-1305-1

**ISSN** 0808-1190

**Financed by:** The Norwegian National Transport Plan committee

**Project:** 3746 - Surveying the effects of maintenance in the transport sectors

**Project manager:**

**Quality manager:** Kjell Werner Johansen

**Key words:** Coherence  
cost-benefit analysis  
Maintenance

**Summary:**

Surveys of literature and interviews with key personnel have been used to assess the practical possibilities of doing cost benefit analysis of maintenance and rehabilitation strategies and of increasing maintenance budgets. We find that an effort is needed to decide on a basic framework and method, to build up databases, and to estimate relationships between the use and the state of the infrastructure and between the maintenance policies and the state of the infrastructure. We recommend that the transport authorities put these issues higher on the agenda.

Language of report: Norwegian

# Forord

På oppdrag av Grappa for samfunnsøkonomisk metode, som er en del organisasjonen som skal utarbeide samferdselsetatenes forslag til Nasjonal transportplan 2014-2023, har TØI brukt litteraturstudier og intervjuer med nøkkelpersoner til å belyse hvordan det kan bli praktisk mulig å beregne nytten av vedlikeholdsprosjekter og fornyelsesprosjekter i etatene.

Cand oecon Harald Minken, PhD Sunniva Frislid Meyer, dr scient Knut Veisten og forsker Yu Bai har deltatt i prosjektet. Harald Minken har vært prosjektleder. Kvalitetssikrer har vært avdelingsleder Kjell Werner Johansen. Sekretærleder Unni Wettergreen har stått for den avsluttende tekstbehandlingen.

Foruten denne rapporten vil det også bli utarbeidet en litteraturliste i prosjektet. Den vil bli publisert som arbeidsdokument.

Oslo, desember 2011  
Transportøkonomisk institutt

*Lasse Fridstrøm*      *Kjell Werner Johansen*  
instituttssjef      avdelingsleder



# Innhold

## Sammendrag

## Summary

<b>1</b>	<b>Oppdraget</b> .....	<b>1</b>
1.1	Arbeidet i prosjektet.....	1
<b>2</b>	<b>Begreper og sammenhenger</b> .....	<b>3</b>
2.1	Avgrensing av vedlikeholdet mot drift .....	3
2.2	Objekter .....	5
2.3	Komponenter .....	5
2.4	Tilstander .....	7
2.5	Nedbrytning, vedlikehold og levetid .....	10
2.6	Inspeksjon .....	14
2.7	Tiltak og tiltakskostnad.....	15
2.8	Estimering .....	15
2.9	Modelltyper.....	16
2.10	Kostnadsarter .....	17
<b>3</b>	<b>Vedlikeholdets organisering i de ulike etatene</b> .....	<b>19</b>
3.1	Luft.....	19
3.2	Bane .....	20
3.3	Sjø.....	20
3.4	Vei.....	21
3.5	Oppsummering.....	23
<b>4</b>	<b>Tilgjengelige data</b> .....	<b>24</b>
4.1	Luft.....	24
4.2	Bane .....	25
4.3	Sjø.....	26
4.4	Vei.....	27
4.5	Oppsummering.....	28
<b>5</b>	<b>Muligheter</b> .....	<b>29</b>
5.1	Kunnskapen om vedlikehold .....	29
5.2	Svenske vurderinger .....	30
<b>6</b>	<b>Veien videre</b> .....	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Litteratur</b> .....	<b>33</b>
	Vedlegg 1 NTP 2014-2023 -Rammeavtale for bistand til analyser i transportetatenes og Avinor sitt arbeid med NTP 2014-2023 .....	35
	Vedlegg 2 Nedbrytning.....	43
	Vedlegg 3 Nytttekostnadsanalyse av vedlikehold, skisse til metode.....	47





**Sammendrag:**

# Samfunnsøkonomisk analyse av vedlikehold – hva trengs i etatene?

TØI rapport 1185/2011

Forfattere: Harald Minken, Sunniva Frislid Meyer, Knut Veisten og Yu Bai  
Oslo 2011 51 sider

*I de seinere årene har det vært økende oppmerksomhet på vedlikeholdsbehovene i transportsektoren. Men hva slags tiltak bør prioriteres først, og hvor mye bør vedlikeholdsbudsjettene økes med? Dette er åpenbart spørsmål som bør avgjøres ved en samfunnsøkonomisk analyse. Men å etablere et opplegg for nyttekostnadsanalyse av vedlikeholdstiltak eller vedlikeholdsløft er ikke så enkelt som en skulle tro. Det kreves nytenking, nye måter å samle inn og bearbeide data på, økonometrisk analyse av sammenhenger som vi veit nokså lite om, bevaring av nåværende kunnskap, forbedring av kunnskapsnivået på flere områder osv. Dette bør ivaretas gjennom en helhetlig plan, med egne prosjekter i etatene og i Forskningsrådet. I rapporten har vi skissert et begrepsapparat som kan brukes til å kartlegge hva som er de viktige sammenhengene på et konkret område, hvilke data som trengs, og hvordan de samfunnsøkonomiske analysene bør legges opp på dette området. Vi har også skissert et overordnet rammeverk for nyttekostnadsanalyse av vedlikehold.*

På oppdrag av Grappa for samfunnsøkonomisk metode, som er en del organisasjonen som skal utarbeide samferdselsetatenes forslag til Nasjonal transportplan 2014-2023, har TØI brukt litteraturstudier og intervjuer med nøkkelpersoner til å belyse hvordan det kan bli praktisk mulig å beregne nytten av vedlikeholdsprosjekter og fornyelsesprosjekter i etatene. Oppdragsgiveren ønsket spesielt:

- Å få identifisert sammenhenger mellom nivået på vedlikehold og kvalitet og ytelse på infrastrukturen, slik at det kan være mulig å beregne den samfunnsøkonomiske nytten av vedlikeholdstiltak og fornyelsesprosjekter.
- Synspunkter knyttet til metode når det gjelder synliggjøring av vedlikeholdseffekter for de ulike etatene.
- Omtale av vedlikeholdet både for transportsektoren generelt og for hver sektor spesielt.
- Forslag til hvordan nedbrytningsfunksjoner kan estimeres.
- En gjennomgang av datamateriale som foreligger per i dag, og mangler ved dette for å kunne estimere slike sektorspesifikke funksjoner.

Arbeidet har vært gjennomført under sterkt tidspress. I hver av etatene har vi konsentrert kartleggingen om ett eller to vedlikeholdsområder, nemlig vegdekke og undersjøiske tunneler i vegvesenet, kjørebanelen i Jernbaneverket, rullebanen i AVINOR og farledene i Kystverket. I oppsummeringen av våre funn har vi gått ut over det materialet som har kommet fram og anvendt en god del eget skjønn. Vi

har lagt vekt på å skissere et begrepsapparat som legger til rette for en form for tenking og modellering av den samfunnsøkonomiske nytten av vedlikeholdet som er konsistent på tvers av etatene, å beskrive data- og kunnskapssituasjonen, og å peke på hva som er nødvendig for å kunne komme derfra til å beregne nytten av vedlikeholdsprosjekter og fornyelsesprosjekter i praksis.

## Begrepsavklaringer

I kapittel 2 foretar vi blant annet en avgrensning av vedlikehold fra drift på den ene sida og oppgradering og reinvestering på den andre sida. Denne avgrensningen samsvarer stort sett, men ikke fullstendig, med etatenes egne definisjoner. Grunnen er at våre definisjoner har til hensikt å skille mellom regelstyrte aktiviteter, aktiviteter som må avveies mot hverandre og settes sammen til en vedlikeholdsstrategi som kan bedømmes etter økonomiske kriterier, og aktiviteter som har karakter av enkeltstående prosjekter som kan bedømmes med vanlig nyttekostnadsanalyse.

Vi må skille mellom praktisk planlegging og gjennomføring av vedlikeholdet på den ene sida og vurdering av den samfunnsøkonomiske nytten av endringer i vedlikeholdspolitikken eller vedlikeholdsbudsjettene på den andre sida. Det er den sistnevnte problemstillingen som er vårt emne. For å komme noen veg med den, må vi foreta noen forenklinger og abstraksjoner i forhold til det mylderet av små og store beslutninger som må gjøres i praktisk planlegging.

Hvis vi betrakter et enkelt infrastruktureobjekt (en vegstrekning, en bru eller liknende), så er det klart at mangelfullt vedlikehold gradvis vil påføre brukerne større og større kostnader. Etaten vil kunne få økende kostnader knyttet til ikke planlagt vedlikehold, og dette er også en følge av objektets tilstand. På den andre sida vil planlagte vedlikeholdstiltak som forbedrer tilstanden, også medføre kostnader for etaten, og dessuten muligens kostnader for brukerne dersom objektet ikke er fullt tilgjengelig mens vedlikeholdet pågår. Fra et samfunnsøkonomisk synspunkt må målet være å minimere de totale kostnadene over hele objektets levetid (eller et annet lengre tidsrom). Dette krever at vi kan beskrive objektets tilstand på en måte som gjør kostnadene for brukerne og etaten til en kjent funksjon av tilstanden, som gjør nedbrytningen (forverringen av tilstanden) til en kjent funksjon av bruksintensiteten og miljøpåvirkningen, og som gjør forbedringen av tilstanden til en kjent funksjon av vedlikeholdstiltakene. Rapporten drøfter hvordan begrepene objekt, komponent, tilstand, tilstandsvariabel og nedbrytning kan defineres og måles med et slikt siktemål.

I praktisk vedlikeholdsplanlegging kan vi bestemme hva vi skal gjøre i år eller i en kortere periode på grunnlag av inspeksjoner av objektens tilstand. Den økonomiske analysen av vedlikeholdet kan ikke bygge på slike inspeksjoner, eller i alle fall ikke *bare* på slike inspeksjoner. Delvis er det fordi vi trenger å vite hva som skjer både dersom vi gjennomfører et bestemt tiltak og dersom vi ikke gjør det. Men vi kan ikke observere hvilken tilstand objektet ville hatt hvis vi ikke hadde gjennomført tiltak. Derfor trenger vi noe mer enn bare faktiske data. Delvis er det også fordi vi er nødt til å betrakte objektet over lang tid. Det er sjelden vi har særlig gode tidsseriedata om objektens tilstand, og sjøl om vi skulle ha det, er det lite relevant, siden det vi er interessert i er hva som er beste plan for vedlikeholdet i en lang periode framover i tid. Det betyr at vi trenger mer generell

kunnskap om hvordan tilstanden og kostnadene vil utvikle seg enn det inspeksjoner aleine kan gi.

Mens praktiske vedlikeholdsmanualer ofte kan ha forma ”når tilstanden blir X, så gjennomføres tiltak Y”, så må økonomiske analyser også vite hva som skjer hvis vi ikke gjør X, og hva som skjer om vi gjør Æ, Ø og Å.

Inspeksjoner og registrering av objektenes tilstand har derfor en annen rolle i økonomisk analyse av vedlikeholdet enn i praktisk vedlikeholdsplanlegging, nemlig som kilde til data for estimering av nedbrytningsfunksjoner, funksjoner som gir tilstandsforbedringen av et vedlikeholdstiltak, og brukerkostnader og etatskostnader som funksjoner av tilstanden.

Vi trenger også å ta alvorlig på at det finnes et vedlikeholdsbudsjett som ikke alltid tillater oss å gjøre det vi primært ville ønske å gjøre. Dette budsjettet er ikke gitt for det enkelte objekt. En hensiktsmessig tilnærming til den økonomiske analysen av vedlikehold er derfor å betrakte en samling av likeartede infrastrukturobjekter som alle skal vedlikeholdes i et antall år framover under felles årlige budsjetter. En vedlikeholdsstrategi innen en slik ramme er en plan som fastlegger hvilken type vedlikehold som skal brukes på hvert av objektene i hvert av årene innafor det årlige budsjettet (Minken m.fl. 2008). Målet må være å finne en strategi som minimerer summen av brukerkostnader og kostnader for etaten. En nyttekostnadsanalyse av en strategi kan enten sammenlikne en bestemt strategi med en annen, eller studere hvor mye de totale kostnadene kan reduseres hvis vedlikeholdsbudsjettet økes. Det kan da være naturlig å forutsette at uansett budsjettets størrelse vil vi kunne finne fram til den best mulige strategien gitt dette budsjettet.

## Organisering

I kapittel 3 ser vi på hvordan etatene har organisert seg og fordelt ansvaret når det gjelder vedlikehold. Hvordan bevilgningene til vedlikehold gis over statsbudsjettet, hvem som tar hvilke beslutninger, og hvilke prioriteringer og krav som gjelder på området, er alt sammen relevant kunnskap når det gjelder å konkretisere hva slags objekter som skal sees under ett, hvilket budsjett de har til disposisjon, hva som ikke er gjenstand for økonomisk avveining m.m. Vi finner blant annet at alle etatene har sikkerhet som høyeste prioritert, og at det eksisterer et vedlikeholdsetterlep i alle etatene. Men det er ikke enkelt å tallfeste det eller å beregne gevinsten ved å eliminere det.

## Data

Kapittel 4 drøfter hva slags data som finnes i etatene, hvordan de måles, registreres og oppbevares. Gjennomgangen over viser at det mangler mye på datasiden i de forskjellige transportsektorene. Innenfor luft finnes det ikke noe enhetlig system for registrering og oppbevaring av data om objektenes tilstand. Innenfor bane registreres nesten alle tilstandsdata i Banedata, men systematisk registrering av gjennomførte tiltak mangler. Innenfor vei blir både jevnhet på tvers og jevnhet på langs målt og registrert systematisk, mens friksjon, bæreevne og sprekker blir bare målt ved mistanke om mangler, og vanninntrengning blir ikke

målt i det hele tatt. Innenfor sjø, derimot, har man innført et datasystem (FDV-systemet) hvor både tilstandsdata og gjennomførte tiltak registreres systematisk.

## Kunnskap

Kapittel 5 framhever betydningen av å bevare og utvikle kunnskapen på vedlikeholdsområdet. Om vi ikke har fokus på kunnskap og kunnskapsoppbygging, vil kroner og øre på budsjettet ikke kunne hjelpe oss til bedre vedlikehold. Vi tror NTP bør stille som oppgave å bevare kunnskapen til de gamle ingeniørene og driftspersonalet og sørge for at en organiserer seg på en måte som gir rom for kunnskapsoverføring – fra gamle til unge, og på tvers av grensene mellom bestiller og utfører, oppdragsgiver og konsulenter osv.

På flere felter av vedlikeholdet finnes det en vitenskapelig litteratur og nasjonale, nordiske og internasjonale organisasjoner som fremmer forskning, erfaringsutveksling og kunnskap om beste praksis. Vårt inntrykk er at muligheten for norske ingeniører og eksperter til å tilegne seg denne litteraturen og ta del i forskning og kunnskapsutveksling, er for dårlige. Eller det kan være at de gode ideene som de har, blir stoppet på et høyere nivå. Uansett er det vårt inntrykk fra de få intervjuene vi har gjort at det ikke er nok av planer eller aktiviteter i etatene som kan etablere nye former for vedlikeholdsplanlegging eller gi vesentlig ny innsikt om sammenhengene på vedlikeholdsfeltet. De av etatene som har gode forbindelser med forskningsmiljøene på feltet, lener seg kanskje litt for mye på eksternt ekspertise og gjør litt for lite for å bygge opp sin egen ekspertise.

Vi viser også til Andersson m.fl. (2010), som oppsummerer en større svensk gjennomgang av mulighetene til å forbedre vedlikeholdsplanleggingen i samferdselssektoren ved å ta i bruk samfunnsøkonomiske analyser. Dette kan oppnås ved blant annet å bygge på og forbedre de databasene som finnes i dag. På langt sikt trengs et grundigere arbeid med dataunderlag og datatilgjengelighet, spesielt når det gjelder å ta vare på historiske data med sikte på estimering av nedbrytning og virkningen av tiltak.

## Konklusjon

I prosjektet har vi prøvd å danne oss et bilde av hva som er på plass og hva som mangler av organisasjon, data og informasjonssystemer for å kunne gjøre samfunnsøkonomiske analyser av enkeltstående vedlikeholdstiltak og langsiktige vedlikeholdsstrategier på samferdselsområdet i Norge.

I Avinor har vi ikke informasjon om hva slags systematisk innhenting av data om rullebanen som eksisterer, bortsett fra hovedtilsynet ved Luftfartilsynets godkjenning av flyplassen hvert femte år. For de øvrige etatene kan vi konstatere at det finnes informasjonssystemer om objektenes tilstand, og at objektene inspiseres og tilstanden registreres på nytt med høvelige mellomrom. For planlegging og prioritering av vedlikeholdet på kort sikt kan dette være tilstrekkelig, men det er ikke tilstrekkelig for samfunnsøkonomiske analyser. Til estimering av nedbrytning og tiltakenes virkninger trenger vi en database med historiske data om hvert enkelt objekt (paneldata), og ikke bare om tilstanden i hver periode, men også om faktorer som kan tenkes å influere på denne tilstanden,

som gjennomført vedlikehold, værdata, trafikkdata og tekniske data, for eksempel om underbygningen. Dette foreligger ikke.

Tilstandsdata behøver ikke nødvendigvis være detaljerte fysiske målinger, men kan godt være subjektiv karaktersetning som gjennomføres på en konsistent måte etter en gitt oppskrift, eller aggregerte indikatorer som sammenfatter detaljerte målinger. Poenget er at det er paneldata og at de er registrert over en lengre periode på samme måte, og at de er åpent tilgjengelige sammen med andre relevante data i en database som er lagt opp med estimering av sammenhenger for samfunnsøkonomiske analyser for øye.

Vi tror at det nå registreres data uten at det alltid er helt klart om noen faktisk bruker og har bruk for slike data og i slike mengder. Data kan dessuten være på et for detaljert nivå for samfunnsøkonomiske analyser av vedlikeholdsstrategier og budsjettøkninger. Det trengs en gjennomgang av bruksområdene og formålene med de data som innhentes, og i denne gjennomgangen må en legge tilstrekkelig vekt på behovet for data til estimering av sammenhenger som trengs i samfunnsøkonomiske analyser.

Det trengs også formodentlig en kunnskapsoppbygging på mange plan. Uformell kunnskap i organisasjonen trenger til en viss grad å formaliseres og overføres til nye medarbeidere. Ingeniørkunnskap om sammenhenger på hvert enkelt område trengs å utvikles videre, og det må sikres ressurser for at etatenes eksperter og andre relevante miljøer kan ta del i internasjonal forskning og erfaringer. Endelig trengs spisskompetanse innen matematikk og økonometri for å ta i bruk de mest avanserte planleggingsmetodene og økonometriske metodene.

Dette utgjør et større program som må innarbeides i NTP og sikres ressurser gjennom etatsprosjekter og et forskningsrådsprosjekt. Vedlikeholdet bør bli en viktigere del av transportpolitikken enn den har vært til nå. Muligheten for å bruke samfunnsøkonomiske metoder for å prioritere tiltak og finne optimale strategier, er tilstede, men uten en gjennomtenkt strategi for oppbygging av databaser og informasjonssystemer, og uten satsing på kunnskapsoppbygging, vil dataene som vi henter inn ikke kunne utnyttes fornuftig, og forsøkene på nyttekostnadsanalyse vil fortsette å være illustrasjoner på mulige sammenhenger.

I rapporten har vi skissert et begrepsapparat som kan brukes til å kartlegge hva som er de viktige sammenhengene på et konkret område, hvilke data som trengs, og hvordan de samfunnsøkonomiske analysene bør legges opp på dette området. Vi har også skissert et overordnet rammeverk for nyttekostnadsanalyse av vedlikehold.



**Summary:**

# **Towards a framework for cost benefit analysis of maintenance strategies**

*TØI Report 1185/2011*

*Authors: Harald Minken, Sunniva Frislid Meyer, Knut Veisten, Yu Bai  
Oslo 2011, 51 pages Norwegian language*

---

*Increasingly, it is being realised that we need to improve maintenance of our transport infrastructure. But how, and by how much, should the maintenance budgets be increased? This is obviously something that must be established through economic analysis. However, it is not as straightforward as one might think to establish a system for performing cost benefit analysis of enhanced maintenance. It requires some new thinking, new forms of data collection and of database organisation, econometric analysis of unfamiliar relationships and, generally, an effort to improve our knowledge in the field. All of this will need to be addressed in a systematic way in the coming years.*

## **The purpose of the study**

Commissioned by the Methodology Unit of the organisation in charge of producing the National Transport Plan 2014-2023, TØI has used literature surveys and interviews with key personnel in the transport authorities to assess the practical possibility of doing cost benefit analysis of maintenance and rehabilitation policies and of increasing the maintenance budgets.

## **The main elements of the report**

In chapter 2 we outline the basic framework for economic appraisal of maintenance strategies and maintenance budget increases. A key concept is that of an infrastructure object (or just an object, for short). Typical objects are stretches of road, stretches of railway line, tunnels, bridges, airports, harbours, parts of the coastal fairway. The objects consist of components, which may be the different layers of a road; rail, sleepers, grade and subgrade, switches, energy supply and information systems on the railway; coating, water pumps, lights, traffic management and information systems in tunnels, etc. At any time, an object is in a particular state, described by a vector of state variables. The level of traffic, the environment and age make the state deteriorate from one period to another, while an inventory of feasible maintenance and rehabilitation measures may regenerate the object wholly or in part. Any state is associated with certain costs to the user (in the form of time loss, accident risks, driving costs, increased risk of disruptions to the service etc.) and to the agency (in the form of necessary unplanned maintenance), any maintenance measure being associated with a cost to the agency and often also to the users.

The objects and the state vector must be defined in such a way that there is a definite functional relationship between the state and the costs, and the measures

must be defined in such a way that there is a definite relationship between the measure and the improvement of the state. Furthermore, objects should be defined such that it has a uniform state throughout and that any measure taken should apply to the object as a whole. Preferably, there should be no economic dependency between adjacent objects, i.e. the cost of any measure taken should not depend of the measures taken on adjacent objects. Preferably also, the budget constraint should apply to a set of similar objects, not to any collection of dissimilar things.

Inspection plays a very different role in economic appraisal and in short term maintenance planning. While in short term planning, it is the key to the selection of the objects or components that need to be maintained, rehabilitated or replaced, the purpose of inspection in an economic appraisal framework is to provide data to assess the functional relationships between state, costs and measures.

All of this makes the requirements of the economic appraisal framework rather different from ordinary maintenance management systems, and requiring us to rethink and redesign our data collection, database construction and analysis tools.

In chapter 3, we survey the organisation of maintenance in the transport agencies, in chapter 4 we discuss the availability of data, and in chapter 5 we assess the need for better knowledge about the necessary relationships, all to be able to point out the steps that need to be taken to establish cost benefit analysis of maintenance.

## **Findings and conclusion**

We find that current forms of data collection are not sufficient for the purpose of economic appraisal. For the estimation of degradation and the effect of maintenance measures, we will need a database with historical data on each object, i.e. panel data. The data must cover the state of the object in each period, as well as factors thought to influence the state, like maintenance, performed, weather, traffic and the state of deeper layers of the construction. At the moment, such panel data, suitable for estimation of the necessary relationships, are lacking. We need to survey the uses and purpose of the data that are now collected, and to pay sufficient attention to the need for estimation of relationships needed in economic appraisal.

Also, we will need to improve knowledge in the field at many levels. Informal knowledge in the organisation needs to be formalised and passed on to new workers. Engineering knowledge of the relationships in each particular field needs to be developed further, and resources must be made available to the experts in the transport agencies and other relevant organizations, so that they can take part in international research and learn from advanced experience elsewhere. Finally, we need a high level of competence in mathematics and econometrics to be able to use the most advanced planning methods and econometric methods.

As a whole, this amounts to a program that must be integrated with the National Transport Plan and financed through projects in the agencies and a project in the Research Council of Norway. Maintenance must become a more prominent part of transport policy than has been the case up until now. There is a possibility of using economic analysis to choose between measures and to find optimal



strategies, but without a carefully planned strategy for the construction of databases and information systems, and without the necessary resources to build up knowledge in the field, the data we collect will not be put to proper use, and the small experiments in cost benefit analysis of maintenance policies will continue to be just illustrations of possible relationships.



# 1 Oppdraget

Gruppen for samfunnsøkonomisk metode, som er en del av organisasjonen som er etablert for å utarbeide etatenes forslag til Nasjonal transportplan 2014-2023, har bedt TØI gjennomføre et prosjekt kalt ” Kartlegging av vedlikeholdets forskjellige artethet og virkning”. Man ønsker:

- Å få identifisert sammenhenger mellom nivået på vedlikehold og kvalitet og ytelse på infrastrukturen, slik at det kan være mulig å beregne den samfunnsøkonomiske nytten av vedlikeholdstiltak og fornyelsesprosjekter.
- Synspunkter knyttet til metode når det gjelder synliggjøring av vedlikeholdseffekter for de ulike etatene.
- Omtale av vedlikeholdet både for transportsektoren generelt og for hver sektor spesielt.
- Forslag til hvordan nedbrytningsfunksjoner kan estimeres.
- En gjennomgang av datamateriale som foreligger per i dag, og mangler ved dette for å kunne estimere slike sektorspesifikke funksjoner.

I avropsbrevet (brevet som gir TØI oppdraget) er det også inntatt synspunkter fra etatene på noen av disse problemstillingene. Teksten i brevet er tatt inn i denne rapporten som vedlegg 1.

Siktemålet med oppdraget er åpenbart å gjøre det praktisk mulig å beregne nytten av vedlikeholdsprosjekter og fornyelsesprosjekter, fortrinnsvis allerede i den pågående NTP-planleggingsprosessen. Etatene har naturligvis lenge arbeidet med denne problemstillingen eller med tiltak som utgjør steg på veien mot målet å kunne nytteberegne vedlikeholdsprosjekter. I Minken m.fl. (2008) har TØI utviklet en metode for å beregne det vi kan kalle optimale strategier for vedlikehold av vegdekker, og vist hvordan den kan brukes til å beregne nytten av å øke budsjettet for dette formålet. I et pågående oppfølgingsprosjekt er metoden generalisert slik at den kan brukes til å finne optimale strategier og nytten av budsjettøkning for en hvilken som helst samling av likeartede objekter som er underlagt en felles budsjettrestriksjon. Det kreves da at brukeren spesifiserer hvordan objektene brytes ned med tida på grunn av trafikkbelastningen eller andre forhold. Nettopp dette er ennå ikke ordentlig på plass i det prosjektet.

## 1.1 Arbeidet i prosjektet

Problemstillingene i dette prosjektet har vært undersøkt ved bruk av litteraturstudier, intervjuer med medarbeidere i etatene og undersøkelsesmøter. I oppsummeringen av våre funn har vi gått ut over det materialet som har kommet fram på denne måten og anvendt en god del eget skjønn.

Arbeidet har vært gjennomført under sterkt tidspress. Litteraturstudien gjør ikke krav på noen som helst fullstendighet, men er konsentrert om litteratur som kan kaste lys over mangfoldet av ulike typer av vedlikeholdsproblemer og over spørsmål som gjelder datainnhenting, dataorganisering og estimering av nedbrytning og virkninger av tiltak.

Det har vært gjennomført 6 intervjuer eller undersøkelsesmøter med til sammen 19 deltakere. De intervjuedes navn vil være tilgjengelig for oppdragsgiver, men tas ikke inn i denne rapporten. De intervjuede som har bedt om det, har fått referat fra sitt møte til gjennomsyn. Intervjuene dekker alle etater, men er ikke så mange som opprinnelig planlagt. De har likevel gitt oss svært nyttig kunnskap og gode innspill. De har vært konsentrert om spørsmål om

- hvordan vedlikeholdsarbeidet i hver av etatene er organisert og hvordan ansvaret er fordelt,
- budsjetteringsprosessen, spesielt hvilke formål vedlikeholdsmidlene konkurrerer med og hva som ligger bak de prioriteringene som gjøres,
- hvilke data som samles inn og hvordan, hvordan dataene lagres og bearbeides, hva de brukes til og hva slags data som mangler,
- hvordan inspeksjoner, gjennomføring av tiltak og kontroll foretas.
- Spørsmål om tilstandsvariable, levetider, nedbrytningsfunksjoner, typer av tiltak, effekter av tiltak, kostnader for brukerne og kostnader for etaten.

I hver av etatene har vi konsentrert kartleggingen om ett eller to vedlikeholdsområder, nemlig vegdekke og undersjøiske tunneler i vegvesenet, kjørebanelen i Jernbaneverket, rullebanen i AVINOR og farledene i Kystverket. Det betyr ikke at ikke rapporten er relevant for andre områder av vedlikeholdet. Tvert imot har vi tatt sikte på å drøfte spørsmål om vedlikehold og vedlikeholdsplanlegging som er relevante på et mye breiere område.

Vedlikehold er i virkeligheten en veldig mangfoldig og sammensatt virksomhet. Det er fint å påvise på et snevert område at mer penger til vedlikehold er lønnsomt, men det er kanskje enda mer nødvendig å øke kunnskapen, datakvaliteten og systematikken på et breiere område. Vi har kommet til at det er dette spørsmålet som bør avklares i første omgang, og at det må settes av ressurser til dette. I neste omgang vil det blant annet gi nedbrytningsfunksjoner, effekt-sammenhenger og annen kunnskap som dekker større deler av vedlikeholdet og er pålitelig nok til å brukes til noe mer enn bare illustrasjoner.

Resten av denne rapporten er organisert som følger: I kapittel 2 definerer vi våre begreper og drøfter emner som faller inn under ”kartlegging av vedlikeholdets forskjelligartethet”. Dette bygger i hovedsak på våre litteraturstudier. Kapittel 3 behandler organiseringen av vedlikeholdet i de ulike etatene. Kapittel 4 drøfter kunnskapssituasjonen i dag og situasjonen angående datainnsamling, datalagring og databearbeiding i dag. Kapittel 5 drøfter hva slags data som vi har behov for, både til planlegging og analyser, og hvilke muligheter til bedre planlegging og analyser som riktige data vil kunne gi. Kapittel 6 kommer med forslag til veien videre.

## 2 Begreper og sammenhenger

Hensikten med dette kapitlet er å legge fast et rammeverk av definisjoner og begrepsavklaringer som skal gjøre det mulig å klassifisere og analysere ulike vedlikeholdsoppgaver og vedlikeholdsproblemer. Som nevnt dekker begrepet vedlikehold aktiviteter av ganske ulikt slag, og hvert problem fortjener å bli tenkt igjennom på sine egne premisser.

### 2.1 Avgrensning av vedlikeholdet mot drift

Oppdragsgiver sier følgende om hva vedlikehold er og hvordan det skiller seg fra drift av infrastrukturen:

Det kan være hensiktsmessig å skille mellom vedlikehold og driftsoppgaver. Vedlikehold omfatter, i tillegg til forebyggende og korrektivt vedlikehold, også oppgaver av mer driftsmessig karakter, som fornyelser, ballastrensing, merking av kystleie og reasfaltering.

Driftsoppgaver vil omfatte regelmessige tiltak som er uavhengig av trafikken. Eksempler på dette kan være rydding/klipping av vegetasjon langs veg og bane, snørydding og rensing av dreneringsrør og stikkrenner.

Dette er ikke helt klart. Kan etatenes offisielle dokumenter gi en klarere avgrensning mellom vedlikehold og drift?

*Jernbaneverket* definerer drift som ”sentral og desentral teknisk administrativ støtte, banestrømforsyning, sambandsleie, planlegging, drift av bygninger og publikumsområder, snørydding og trafikkstyring”. Denne definisjonen er en liste over aktiviteter eller organisatoriske enheter med ansvar for disse aktivitetene, og er litt for jernbanespesifikk for våre formål. Vedlikehold defineres som ”en kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert ledelsesaktiviteter, som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utøve en krevd funksjon” (Svee 2011, vedlegg II). Her må ”enhet” forstås som det vi nedenfor vil kalle infrastrukturen eller komponentene som slike objekter består av. Men det framgår ikke klart av definisjonen at typiske driftsoppgaver, som snørydding, ikke er vedlikehold.

*Vegdirektoratet* har nylig gitt ut en lærebok i drift og vedlikehold (SVV 2011). Her defineres drift som ”innsats og aktiviteter som er nødvendig ... for at trafikken skal komme fram på en trygg og effektiv måte fra dag til dag”, mens vedlikehold defineres som ”innsats og aktiviteter som ivaretar infrastrukturen på en måte som muliggjør trygg og effektiv transport i et lenger perspektiv”.

Ifølge et internt notat har *Kystverket* grovt sett brukt følgende definisjoner i praksis: Drift er alle oppgaver og rutiner som er nødvendig for at en innretning skal fungere som planlagt. Vedlikehold er tiltak som er nødvendig for å opprettholde en bygning, et anlegg eller en innretning på et fastsatt kvalitetsnivå.

Vi trenger en definisjon av vedlikehold som kan fungere på tvers av etatene og som avgrenser et sett av tiltak og aktiviteter som kan planlegges, styres og analyseres på en noenlunde ensartet måte. Ellers blir det vanskelig å utvikle en felles tilnærming til beregning av lønnsomheten. Vi foreslår derfor vår egen avgrensning mellom drift og vedlikehold. La oss begynne med definisjonen av driftsoppgaver, som ifølge oppdragsgiver skal ha to kjennetegn, regelmessighet og at trafikken ikke har noen innvirkning på hva som skal gjøres eller hvor ofte det skal gjøres.

Vi mener at i stedet for regelmessighet burde det vært understreket at driftsoppgaver er noe som må gjøres *hyppig* – enten hver dag, hver uke, hver måned, eller kanskje i visse tilfeller hvert år, men ikke sjeldnere. Driftsoppgavene er altså oppgaver som faller innfor en og samme budsjettperiode, og som på grunn av hyppigheten stort sett vil bestå av det samme og koste omtrent det samme hvert år.

Det neste som kjennetegner driftsoppgaver er at de er styrt av faste regler som spesifiserer hva som skal gjøres og enten hvor ofte de skal gjøres eller hva som utløser dem. Reglene kan være spesifisert i håndbøker og i kontrakter med utførende bedrifter. Det er ikke tilfelle at driftsoppgavene alltid må gjøres regelmessig, siden det kan avhenge av været eller andre utløsende faktorer. Det er heller ikke tilfelle at de alltid vil være uavhengige av trafikkvolumet – vasking av tunneler er et moteksempel.

Vi definerer altså driftsoppgaver som oppgaver som må gjentas hyppig (minst en gang hvert budsjettår), og som styres av faste regler for hva som skal gjøres, samt hvor ofte eller hva som utløser dem.<sup>1</sup> Som en første avgrensning kan vi da si at vedlikehold er tiltak som foretas sjeldnere, og som ikke er fullstendig regulert av faste regler. Det finnes med andre ord et valg mellom ulike tiltak (inkludert ingen tiltak) i det enkelte år. Når det gjelder hvilken tilstand som skal oppnås gjennom disse tiltakene, kan den enten være bestemt av faste regler eller være gjenstand for økonomiske avveininger.

Siden drift styres av regler, vil en nyttekostnadsanalyse av driftsoppgaver bestå i å beregne nytte og kostnader ved å endre reglene. Alternativt kan den bestå i å nytteberegne tiltak som fører til bedre overholdelse av reglene (det er lite kontroll med hvordan utførende bedrifter utfører oppgavene) eller tiltak som fører til økt kostnadseffektivitet (som anbud m.m.). Nyttetekostnadsanalyse av vedlikehold, på sin side, kan enten gjelde nytten av det enkelte tiltak, nytten av å øke budsjettet som tiltakene skal gjennomføres innenfor, eller nytten av de normene som gjelder for infrastrukturens tilstand.

Noen av driftsoppgavene er svært viktige for trafikantenes kostnader, andre er viktige for infrastrukturholderens kostnader. Viktigste for trafikantene er kanskje vinterdrift – brøyting, salting og strøing m.m. En viktig oppgave for kjørevegholders kostnader er rensing av dreneringsrør og stikkrenner. Hvor nøye man er med det, vil påvirke hvor fort kjørevegen brytes ned. I verste fall kan mangler på dette området føre til at hele kjørevegen vaskes ut. For å kunne analysere vedlikeholdet må vi derfor gjøre forutsetninger om nivået på utførelsen av

---

<sup>1</sup> Våre definisjoner har ikke noe å gjøre med navnet på postene i statsbudsjettet eller navnene på organisatoriske enheter i etatene.

driftsoppgavene, særlig når det gjelder drenering. Omvendt kan vi belyse nytten av god drenering ved å nyttekostnadsvurdere vedlikeholdsstrategier under ulike forutsetninger om drift av dreneringsrør og stikkrenner.

Hvilke kostnader som påvirkes av vedlikeholdet, kommer vi tilbake til nedenfor.

## 2.2 Objekter

Infrastrukturobjekter (heretter bare objekter) er deler av infrastrukturen, fortrinnsvis avgrenset slik at vedlikeholdet av ett objekt kan planlegges mest mulig uavhengig av hvilke tiltak som tas på andre objekter, dvs. det er ingen positiv eller negativ synergi mellom vedlikeholdstiltakene på to ulike objekter. Denne definisjonen tar sikte på at kostnadene ved vedlikeholdstiltak av et objekt skal være mest mulig entydig bestemt, og at tilstanden eller trafikken ikke påvirkes vesentlig av tilstanden til nærliggende objekter. Men vi sier ”mest mulig uavhengig”, for det vil ofte ha liten hensikt å dele opp infrastrukturen i objekter slik at dette kravet er helt innfridd.

For eksempel har Kystverket utstyr som det ikke er praktisk mulig å flytte fra det ene stedet på kysten til det andre i en håndvending. Da kan det være fornuftig å ta flere oppdrag i samme område før man flytter til neste. Skulle vi da holde strengt på vår definisjon av objekter, ender vi med ett eneste objekt i Kystverket, og det er ikke fornuftig. Bedre da å la hver havn og hver farled være ett objekt, men ta eksplisitt hensyn til avhengigheten mellom vedlikeholdet av objektene når man planlegger.

I vegsektoren er objektene vegstrekninger, bruer, tunneler, ferjeleier, ferjer, trafikkstasjoner og kanskje andre ting. I jernbanesektoren er objektene jernbanestrekninger, bruer, tunneler, stasjoner, skiftespor m.m. I Avinor er objektene først og fremst flyplasser. I Kystverket er objektene havner, fiskerihavner og farleder.<sup>2</sup>

## 2.3 Komponenter

Objektene består av komponenter. Veger har komponentene overbygning og underbygning. Vegdekket kan vi regne som en egen komponent, sjøl om det er en del av overbygningen. Dessuten finns tekniske komponenter som oppmerking, belysning, skilt, dreneringssystem osv. Jernbanestrekninger har overbygning og underbygning på samme måte som vegstrekninger. Sporet er en del av overbygningen og består av tre komponenter med direkte innvirkning på trafikken, nemlig skinner, sviller og pukk eller ballast. Sporvekslere er også en vesentlig del av overbygningen. I tillegg har kjørevegen på jernbanen en underbygning på samme måte som vegen, et strømforsyningssystem og et signal- og sikringssystem.

Tunneler og bruer har andre strukturer i stedet for den typen av overbygning og underbygning som finnes på vanlig veg, og kan dessuten ha flere komponenter som ikke finns på vanlig veg, som vifter og pumper i tunneler.

---

<sup>2</sup> Vår definisjon av objekt er ikke nødvendigvis den samme som brukes i etatens håndbøker. Vi trenger et begrep som er uavhengig av hvilket etatsområde det dreier seg om.

Betegnelsen komponenter er innført her delvis for å definere begrepet likeartede objekter som objekter som har de samme komponentene. Det trenger vi dersom vi ikke vil analysere vedlikeholdet av en heterogen masse av ulike objekter, men holde oss til en samling av likeartede objekter. Dels er hensikten også å kunne konsentrere oss om en og en komponent, for eksempel vegdekker eller belysning.

Dekker og Wildeman (1997) og Nicolai (2008) drøfter tre ulike former for avhengighet mellom objekter eller komponenter i vedlikeholdet. *Økonomisk avhengighet* i vedlikeholdet av objekter er at det å vedlikeholde to eller flere objekter samtidig enten gir en kostnadsbesparelse eller en kostnadsøkning i forhold til å behandle det som to separate vedlikeholdsoppdrag (tiltak). Kostnadsbesparelsen kan for eksempel oppstå om det er en fast kostnad knyttet til å føre fram utstyret til plassen hvor objektene er. Når Kystverket har et visst antall bemannede båter som driver kontinuerlig vedlikehold av sjømerker, vil det f.eks. være en besparelse i antall båter som trengs om man kan minimere transportdistansen mellom jobbene. Derfor kan det lønne seg å male et sjømerke som ennå kunne klart seg i noen år, dersom man likevel må gjøre en annen jobb i nærheten. Kystverket snakker faktisk ofte om drift og vedlikehold i samme åndedrag, fordi det lønner seg å gjøre enkle driftsoppgaver mens man likevel er på stedet for å gjøre vedlikehold (eller omvendt).

Men det kan også tenkes at det koster mer å vedlikeholde to komponenter samtidig. For eksempel vil det være svært kostbart å stenge begge sporene på en dobbeltsporet jernbane for å gjennomføre vedlikehold av begge samtidig. Generelt kan kostnaden ved å slå sammen oppgavene bli større enn kostnadene hver for seg dersom de to objektene kan brukes som alternativer til hverandre av trafikantene. I vår sammenheng er det naturligvis den samfunnsøkonomiske kostnaden som teller, og den omfatter ikke bare kostnaden for etaten, men også for trafikantene.

*Stokastisk avhengighet* mellom to objekter eller komponenter foreligger dersom tilstanden til den ene påvirker sannsynligheten for at den andre skal feile. Hvis vi for eksempel veit at det har forekommet en rekke feil på én type komponenter, og at det er stokastisk avhengighet mellom denne typen komponenter og en annen komponent, vil det være rimelig å bruke kunnskapen om feilene på den ene komponenten til å intensivere inspeksjonen av den andre.

Professor Jørn Vatn ved NTNU har foreslått å bruke begrepet *interaksjonsavhengighet* i stedet for stokastisk avhengighet. Interaksjonsavhengighet omfatter da både stokastiske og deterministiske prosesser som gjør at tilstanden til én type komponenter påvirker nedbrytningstakta til en annen type komponenter. Han begrunner det med at vi ofte vil kunne anta at virkningen av tilstanden til den ene komponenten på nedbrytningen av den andre komponenten foregår på en kjent måte, og følgelig kan modelleres i en deterministisk modell. Som eksempel nevner han hvordan dårlig slipte skinner overfører krefter ned i ballasten og øker nedbrytningen av den. Dette kan det være viktig å ta hensyn til når det gjelder avbøtende tiltak eller fornyelser. Disse effektene fra en komponent til en annen er i hovedsak kjente. Vi kunne kalle det deterministisk avhengighet. Som samlebetegnelse for deterministisk og stokastisk avhengighet kan vi snakke om interaksjonsavhengighet.

Vi slutter oss til denne språkbruken. Vi vil snakke om interaksjonsavhengighet overalt hvor den ene komponentens tilstand vil påvirke nedbrytningstakta til den andre, uavhengig om vi regner med at det finnes en sannsynlighetsfordeling for at



en komponent feiler eller ikke, og uavhengig av om vi har sikker kunnskap om påvirkningen eller ikke. For eksempel vil tilstanden til sviller og ballast ha stor virkning på skinnenes tilstand. Det er derfor kanskje verdt å tenke gjennom om en eksplisitt skal ta hensyn til dette når en formulerer nedbrytningen av skinnene. Mer generelt vil underbygningens tilstand påvirke overbygningens nedbrytning, og omvendt. Så vidt vi skjønner, er det imidlertid kunnskapen om disse sammenhengene ikke fullstendig.

*Strukturell avhengighet* består i at to komponenter henger så nøye sammen at vi ikke kan unngå å vedlikeholde begge samtidig.

Vi mener det at både for den praktiske planleggingen og for formuleringen av matematiske sammenhenger og modeller er det svært viktig å kartlegge og studere disse formene konkret i det enkelte tilfelle. Fra intervjuene har vi inntrykk av at dette er uformell kunnskap i etatene, men at den uformelle kunnskapen ikke gjenspeiler seg i forsøkene på mer formelle tilnærminger til vedlikeholdsplanleggingen. Som sagt ville det greieste være om objektene kunne betraktes uavhengig av hverandre, men om det ikke er tilfelle, må man kanskje se på om en skal omdefinere objektene eller komponentene og kanskje formulere nedbrytningsfunksjoner der tilstanden for hver av komponentene påvirker hverandre eller en felles aggregert tilstandsvariabel.

Til systematisk tenking om avhengighetsspørsmålene kan vi anbefale Dekker og Wildeman (1997) og Nicolai (2008).

## 2.4 Tilstander

Tilstanden til et objekt eller en komponent ved et tidspunkt  $t$  kan beskrives med én eller flere tilstandsvariable.<sup>3</sup> Vi kan også kalle dem tilstandsindikatorer. Hvis vi tenker oss at vi ønsker å drive vedlikeholdet slik at vi minimerer summen av kostnader for trafikanten og etaten, vil det være de aspektene ved tilstanden som direkte gir opphav til kostnader og ulemper for trafikantene som vi i første rekke er interessert i. Men noen typer av komponenter er ikke så viktige for brukerne, men kanskje desto viktigere for kostnadene til infrastrukturholderen. Vi bør konsentrere oss om relativt få men viktige tilstandsvariable, derfor må vi på forhånd avklare hva slags tilstandsvariable som har størst betydning for formålet med analysen.

For eksempel kan vegdekkets tilstand beskrives med tilstandsvariablene jevnhet (IRI) og spordybde. IRI er et mål på ujamnheter i lengderetningen og spordybde er et mål på ujamnheter på tvers av vegen. Det finnes også mange andre interessante aspekter ved vegdekket tilstand, som omfanget av ulike typer av sprekkdannelse og hull. Men det er IRI og spordybde som det finnes gjennomgående data om, og det er disse indikatorene som kan knyttes til brukernes kostnader på en kjent måte.

Etatenes formål med å definere, måle og følge opp ulike tilstandsvariable kan være sammensatt. Ofte er hensikten å finne ut om på forhånd definerte krav og standarder er oppfylt. Spesielt er det avgjørende for flere av etatene at definerte krav til sikkerhet er oppfylt. I en samfunnsøkonomisk analyse er vi imidlertid ikke

---

<sup>3</sup> Tilstanden er altså en vektor av tilstandsvariablene.

opptatt av om bestemte krav til tilstanden er oppnådd, men av avveininger mellom nytte og kostnader. Relevante problemstillinger er da for eksempel:

- Om de definerte kravene kan oppnås på med lavere kostnader enn nå
- Om det ville være samfunnsøkonomisk lønnsomt å endre de definerte kravene og standardene, om det var akseptabelt å gjøre
- Hvilke tiltak og strategier som kan minimere brukernes og etatens samlede kostnad over tid, gitt nivået på trafikken, gitt at det finnes et minimumsnivå som tilstanden alltid må være bedre enn, og gitt de tilgjengelige budsjettene.

Økonomiske analyser dreier seg om avveininger. Hensyn som man ikke direkte vil avveie mot andre hensyn, må man ta som en gitt ramme for den økonomiske analysen. Den økonomiske analysen begynner først der hvor det finnes hensyn som kan avveies mot andre hensyn. Tilstandsindikatorer som skal vise om absolutte krav er tilfredsstillt, er derfor bare av interesse for den økonomiske analysen som en slags bakgrunnsvariable. Tilstandsindikatorer som ikke umiddelbart kan knyttes til brukernes eller etatens kostnader og nytte, er også av begrenset interesse.

I vårt tilfelle er problemet å bygge opp et analyseapparat som kan vise om det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å bruke mer ressurser på vedlikehold. Det krever at vi kan bygge opp en modell for å minimere de samlede kostnadene for trafikantene, operatørene og etaten. Det er dette vi trenger tilstandsindikatorer til.

Blant alle mulige tilstandsvariable som det samles inn data for i dag, og de som en kan tenke seg å etablere i framtida, må altså etaten velge ut de som har størst betydning for brukernes, operatørens og etatens kostnader, og helst i tillegg de som er av vesentlig betydning for hvordan tilstanden til de direkte relevante tilstandsvariablene utvikler seg. Etaten må videre konsentrere seg om noen ganske få variable – slik at det kan bygges opp en modell av tilstandsutviklingen som kan regnes ut på rimelig tid og som ikke inneholder for mange ukjente sammenhenger. Dette er et arbeid som gjenstår for de fleste etatene, unntatt vegvesenet. Det er viktig å bli klar over at dette er et arbeid som må gjøres dersom vi skal kunne beregne lønnsomheten av ulike former for vedlikeholdstiltak og vedlikeholdsplaner. Det gjør seg ikke sjøl ved å vise til alle dataene som måles og samles inn i dag.

Jernbanen har i dag en enkel modell som heter PRIFO. Alt etter hvordan en ser det, har den enten én eller to tilstandsvariable. Den ene er tida siden forrige rehabilitering eller vedlikeholdstiltak, og den andre er de samlede kostnadene (bestående av kostnader vedrørende sikkerhet, punktlighet og ekstra drift og vedlikehold). Kostnadene i et framtidsår henger sammen med kostnadene i utgangspunktet og med antall år uten tiltak siden utgangspunktet etter en potenslov. Sjøl om dette er ekstremt forenklet, er det faktisk et enkelt tilfelle av det vi er ute etter. I framtida kan det være en ide å ha én tilstandsvariabel for hver av de tre komponentene skinner, sviller og ballast. En annen mulighet er å måle skinnenenes tilstand med eksakte fysiske mål som sier noe om de er rette, like langt fra hverandre osv., og la sviller og ballast bare spille en rolle som bakgrunnsvariable som påvirker skinnenenes tilstand.

Dersom det virker umulig å finne et enkelt fysisk mål som forteller det meste om hva slags kostnader og ulemper som vil bli påført brukerne, kan det – her og i

andre sammenhenger – være aktuelt å bruke en subjektiv bedømming på en skala fra ”god som ny” (excellent) til ”ute av drift” (failed). Det må i så fall være klare retningslinjer for hvordan bedømmelsen skal foregå.

Det viktigste aspektet ved tilstanden til *bruer og tunneler* er sannsynligvis ikke slike ting som vegdekkets beskaffenhet, men rett og slett sjansen for at de skal måtte stenges. Denne henger delvis sammen med sikkerhetskrav, delvis utstyrets alder, delvis sjansen for og konsekvensene av uheldige hendelser. Stengning påfører både trafikantene og infrastrukturholderen kostnader som kan være ganske så objektspesifikke, alt etter om det finnes gode alternative veger.

Helt generelt gjelder vel at dersom etaten har en politikk som setter sikkerheten for alt annet, og aktivt stenger objekter som ikke er helt trygge eller innfører forsiktighetsregler som lavere fart eller liknende, vil det ikke være aktuelt å regne med tilstander der uhell kan skje. I stedet er det aktuelt å uttrykke tilstanden vel sannsynligheten for at objektet kan bli stengt eller underlagt andre restriksjoner.

Når det gjelder flyplasser, vil rullebanens tilstand kunne måles på tilsvarende måte som vegen. Bygninger, informasjonssystemer osv. er en sak for seg.

Farledenes tilstand er en funksjon av god oppmerking og fjerning av eventuelle farer, som umerkede grunner osv. Havnenes tilstand dreier seg blant annet om dybde ved kai, moloens tilstand m.m.

Hvilken rolle spiller de dypere lag av konstruksjonen for objektets tilstand? En kan tenke seg at til tross for av de øverste lagene av kjørevegen vedlikeholdes regelmessig, vil alderen og den kumulative påvirkningen fra trafikken og miljøet føre til at også de dypere lag etter hvert får skader, og dette kan føre til at nedbrytningen går fortere. Vi vil stort sett ikke operere med egne tilstandsindikatorer for underbygningens tilstand. Derimot mener vi at det som regel er fornuftig å ha med seg en tilstandsindikator som vi kan kalle alderen, og som er antall år siden infrastrukturen var ny eller i sin beste skikk. Dette er da en proxy for ukjente prosesser i det indre av konstruksjonen som før eller seinere fører til synlige skader og raskere nedbrytning.

Alderen vil inngå som en del av funksjonssammenhengene som definerer nedbrytningen til dårligere tilstander. Uten en tilstandsindikator som alderen ville nedbrytningen måtte modelleres slik at det eneste som teller for tilstanden neste år er tilstanden i år (”markov-egenskapen”). Da ville nedbrytningsprosessen for tilstanden til overbygningen gå med samme takt uansett hvordan det ser ut lenger inn i konstruksjonen. Det er urealistisk. Et annet argument for å bruke alderen er at det i de fleste tilfeller ikke finnes systematiske data om bæreevne og andre grunnleggende ting.

#### **2.4.1 Tilstandvariasjoner langs kjørevegen eller farledene**

Tilstanden til kjørevegen eller farledene vil ikke være den samme overalt. Om vi da skulle kreve objekter med en helt homogen tilstand, ville de bli ganske korte – kanskje noen hundre meter. Det er derfor uunngåelig at tilstanden blir et gjennomsnittsmål over noe lengre avstander. Det åpner også for å tenke på objektene som samlinger av strekninger som har noenlunde like kjennetegn, noenlunde samme trafikkbelastning og noenlunde lik initiell tilstand. Det er klart at jo lengre vi går i denne retningen, jo mer uklar blir sammenhengen mellom en

slik gjennomsnittstilstand og brukernes kostnader, eller mellom tilstanden nå og tilstanden neste år.

Mellom objekter som ligger geografisk inntil hverandre, vil det være en form for stokastisk avhengighet, idet felles klima og felles trafikkbelastning gjør at de vil ha en tendens til å utvikle seg på samme måte. Hvis objektene er små nok, vil det også være økonomisk avhengighet, idet det koster mindre å vedlikeholde dem under ett en hver for seg. Løsningen kan da være å betrakte dem som ett objekt.

En god løsning på motsigelsen mellom objekter på aggregert nivå og klare og tydelige funksjonssammenhenger er noe som må bestemmes ut fra formålet med dataene som skal samles inn, analysene som skal gjøres eller modellen som skal bygges opp.

## 2.5 Nedbrytning, vedlikehold og levetid

Fysiske konstruksjoner er gjenstand for *nedbrytning*. Årsakene er påvirkning fra det ytre miljøet og virkningen av bruken, dvs. trafikken i vårt tilfelle. Det er som regel den kumulative belastningen, altså summen av trafikkbelastningen over alle årene fra infrastrukturen var ny, eller så godt som ny, som teller.<sup>4</sup> De to kildene til nedbrytning, miljøet og trafikken, virker sammen, men hvilken av dem som er viktigst å inkludere i en modell av nedbrytningen, varierer med typen av konstruksjon, aggressiviteten til miljøet og måten konstruksjonen blir brukt på.

Nedbrytningen motvirkes av reparasjon, vedlikehold og rehabilitering. Begrepet *reparasjon* benyttes om konstruksjoner og komponenter som har sluttet å fungere etter hensikten, og innebærer at man får dem til å fungere igjen. Vi kan si at det er et spesialtilfelle av vedlikehold. Vi vil foretrekke å kalle det *ikke planlagt vedlikehold*, i motsetning til *planlagt vedlikehold*, som vi også kunne kalle *forebyggende vedlikehold*.<sup>5</sup>

Vedlikehold er som regel ufullstendig vedlikehold, dvs. at det ikke gjensker den opprinnelige tilstanden fullt ut. *Rehabilitering* er derimot vedlikehold som gjensker konstruksjonens opprinnelige tilstand fullt ut, eller idet minste gjensker tilstanden til de viktigste av konstruksjonens komponenter fullt ut. *Reinvestering* er strengt tatt å vrake den opprinnelige konstruksjonen og erstatte den med en ny. Men siden infrastrukturen i samferdsel ofte har komponenter med tilnærmet uendelig levetid, brukes begrepet reinvestering også om de mest

---

<sup>4</sup> Den kumulative belastningen er den årlige belastningen multiplisert med antall år siden objektet var i beste stand. Som vi skal komme tilbake til, taler det for å inkludere både objektets alder og den årlige trafikken som variable som det bør innhentes data om.

<sup>5</sup> Jernbaneverket deler vedlikehold i fornyelse, forebyggende vedlikehold og korrektivt vedlikehold i sin Håndbok for vedlikehold. Reparasjoner hører da under det korrektive vedlikeholdet, som er definert som "vedlikehold som utføres etter at feil er oppdaget og som har til hensikt å bringe en enhet tilbake i en tilstand som gjør det mulig å utføre en krevd funksjon". Jernbaneverkets definisjon av forebyggende vedlikehold er "vedlikehold som utføres etter forutbestemte intervaller eller i følge forutbestemte kriterier, og som har til hensikt å forlenge levetider og redusere sannsynligheten for svikt eller funksjonsnedsetting (degradering)". Det tilsvarer vårt begrep om planlagt vedlikehold.

fullstendige formene for rehabilitering. *Oppgradering* eller *fornyelse* er en reinvestering eller rehabilitering med elementer av nyinvestering.<sup>6</sup>

Vedlikehold inkluderer altså også reinvestering og rehabilitering, altså tyngre og sjeldnere former for vedlikehold.

Når man skal reinvestere, benytter man ofte anledningen til å erstatte utslitt utstyr med mer moderne og utslitte materialer med nyere typer. Man kan kanskje også rette ut noen svinger, bygge om terminalområdene osv. Det er en glidende overgang mellom de største vedlikeholdsprosjektene og nye infrastrukturinvesteringsprosjekter. En grunn til det er at det stilles stadig strengere krav til standarden på infrastrukturen. En annen grunn er trafikkøkningen. Det er vel slik at alt som fører til forbedring av standarden på infrastrukturen i forhold til tilstanden da den var helt ny, kan behandles som et investeringsprosjekt. Men avgrensningen mot nye investeringsprosjekter er ikke så viktig, siden vi alltid kan bestemme hva vi bør gjøre ved å nyttekostnadsberegne tiltaket i den mest vidtgående varianten med en mer moderat rehabilitering som nullalternativ.

Det er en nær forbindelse mellom begrepet nedbrytning og begrepet *levetid*. Hvis det er gitt en klar definisjon av en uakseptabel tilstand, en tilstand der konstruksjonen har sluttet å fungere, eller en tilstand som nødvendigvis må utløse en reinvestering eller en full rehabilitering, er levetida den forventede tida fra konstruksjonen var i sin beste stand til den når denne slutttilstanden. Det er altså tida det tar før en forventet årlig nedbrytning har ført fra en beste tilstand til en uakseptabel tilstand. Imidlertid vil denne tida avhenge av hva slags drifts- og vedlikeholdstiltak som gjennomføres i levetida. Slik sett er levetida ikke entydig, men kan forlenges og eventuelt også forkortes. En entydig fysisk levetid får vi først om vi har en fast antakelse om hvilke vedlikeholdstiltak som vil bli gjennomført i levetida. En rimelig antakelse er at vedlikeholdet drives slik at det gir den beste samfunnsøkonomiske løsningen på langt sikt. Den entydige levetida i denne løsningen, dvs. det optimale tidsrommet mellom hver reinvestering, kalles den optimale levetida.<sup>7</sup>

En kunne også snakke om en ikke-fysisk form for nedbrytning, nemlig av konstruksjonens tjenlighet. En konstruksjon kan være i utmerket fysisk stand, men om folk ikke lenger har bruk for den, har den likevel mistet sin funksjon og dermed sin økonomiske verdi. Trafikken på banestrekninger, farleder, veger og flypasser kan opphøre eller gå sterkt ned dersom trafikantene får bedre alternativer eller

---

<sup>6</sup> Jernbaneverkets begrep fornyelse er derimot definert som ”utskifting av anlegg hvor det ikke lenger er økonomisk eller mulig å opprettholde en krevd funksjon ved hjelp av korrektivt eller forebyggende vedlikehold, eller utbedring av større komponenter for å unngå akselerert degradering”. Det er altså rehabilitering uten et element av nyinvestering.

<sup>7</sup> Vi nevnte at levetida avhenger av hvilke tiltak som tas, og vi har bestemt optimal levetid som levetida som gir det beste økonomiske resultatet. Den optimale levetida kan (og vil som regel) naturligvis avvike fra tida fra objektet var nytt til det har nådd en uakseptabel tilstand. Av disse to definisjonene foretrekker vi den første, nemlig levetida forutsatt en best mulig politikk, den optimale levetida.

Levetida, forstått som tida til tilstanden blir uakseptabel, vil som regel være en stokastisk variabel. Vi kan da snakke om forventet levetid eller forventet tid til objektet bryter sammen (mean time to failure). Det vil som regel være optimalt å bytte ut objektet før det bryter sammen, og derfor vil optimal levetid, slik vi har definert den, være kortere enn tida til objektet bryter sammen. (Det er Jørn Vatn som har påpekt dette i en kommentar til en tidligere utgave av rapporten.)

dersom trafikksekskapene ikke lenger finner det økonomisk forsvarlig å gi noe tilbud på strekningen. Ny teknologi kan gjøre det uaktuelt å reparere eller erstatte gammeldagse komponenter og systemer etter hvert som de blir nedbrutt. Dette er vurderinger som man ikke bør unngå å gjøre i strategisk vedlikeholdsplanlegging. Formelt kunne man innbake det i planene ved å anta en raskere nedbrytning eller kortere levetid enn den fysiske. Dersom man planlegger vedlikeholdet ved å avveie brukernes nytte mot etatens kostnader, kan man alternativt modellere den reduserte tjenligheten ved å legge inn lavere trafikk tall i planleggingsmodellen.<sup>8</sup>

### 2.5.1 Modellering av nedbrytningen

Nedbrytningen er en overgang fra én tilstand i den ene perioden til en annen tilstand i den neste. Vi kan skille mellom modeller av nedbrytningen etter hvor mange tilstander som finns – to tilstander, et endelig antall ulike tilstander, eller uendelig mange tilstander (kontinuerlig nedbrytning). De to tilstandene er åpenbart ”funker” og ”funker ikke”. Dette er typisk for elektriske komponenter. Et i prinsipp uendelig antall tilstander oppstår når nedbrytningen er modellert ved en kontinuerlig funksjon og målt med stor grad av nøyaktighet med et fintfølede instrument. Hvis målingene er mindre nøyaktige eller inneholder et element av aggregering eller skjønn, er det rimelig å definere et avgrenset antall klasser av tilstander som objektet kan ha.

Modellering av nedbrytningen kan videre deles inn i modeller som er en *svart boks*, modeller som er en *grå boks* og modeller som er en *hvit boks* (Nicolai 2008).

Svart boks-modellene er bare avhengig av tida. Typisk er det stokastiske modeller der risikoen for at en komponent skal bryte sammen er en funksjon av tida som har gått siden den blei installert. En annen måte å utrykke det samme på, er å si at levetida til komponenten har en viss erfaringsbasert sannsynlighetsfordeling. Men svart boks-modeller behøver ikke være slike sannsynlighetsmodeller med to tilstander. Jernbaneverket har for eksempel uttrykt skinnegangens tilstand ved kostnadene som tilstanden forårsaker, og på det grunnlaget har de definert en konveks funksjon som gir vedlikeholdskostnadene som funksjon av tida. En svart boks-modell er derfor en hvilken som helst modell *på redusert form*, dvs. der de underliggende årsakene til nedbrytningen ikke er eksplisitt angitt.

Den åpenbare svakheten med modeller på redusert form er at de bare funker for det systemet som de er estimert på, og at vi ikke veit hvordan vi skal forandre modellen når forholdene som den er estimert på, endrer seg. Om vi altså begynner å bruke nye metoder i vedlikeholdet, trenger vi et helt nytt datamateriale for å

---

<sup>8</sup> Man kan tenke seg at vedlikeholdet har til hensikt å opprettholde eller øke infrastrukturens økonomiske verdi. Men da blir det en alvorlig feil å måle den økonomiske verdien ved den historiske anskaffelseskostnaden eller ved gjenanskaffelseskostnaden. Grunnen er at ikke alt som har blitt anskaffet, har gitt en nytte som oppveier anskaffelseskostnaden. Ikke alt som er nyttig i dag vil heller være like nyttig i framtida. Ikke alt behøver derfor å gjenanskaffes – i hvert fall ikke i samme form. Derfor blir det alvorlig feil å måle nedbrytningen som avskrivning på den historiske anskaffelseskostnaden, eller å måle vedlikeholdets virkning ved vedlikeholdskostnaden eller ved en antatt reversering av tidligere avskrivninger, eller å måle vedlikeholdsetterslepet som akkumulerte avskrivninger. Se Minken m.fl. (2008) for en nærmere drøfting av økonomisk levetid, infrastrukturens kapitalverdi og den manglende nytten av kapitalverdibegrepet og avskrivningsbegrepet i vedlikeholdsplanleggingen i samferdselssektoren.

stille opp den nye sammenhengen. Fordelen er naturligvis at vi ikke trenger å studere kompliserte fysiske prosesser for å etablere modellen.

Med grå bokser i Nicolai (2008) menes så vidt vi kan forstå markovkjedemodeller og liknende, der det finnes et endelig antall mulige tilstander, og sannsynligheten for overgang til hver av tilstandene i neste periode avhenger av hvilken tilstand objektet har nå (og ingenting annet). Til grunn for fastleggingen av disse overgangssannsynlighetene vil det formodentlig ligge kunnskap om fysiske sammenhenger, men denne kunnskapen behøver ikke være eksplisitt.

Vi vil definere begrepet grå boks noe videre. Med grå bokser mener vi da modeller der nedbrytningen avhenger av nåværende tilstand og/eller en eller flere variable som påvirker nedbrytningstakta eller sannsynligheten for at objektet eller komponenten skal havne i en ny tilstand. Uansett er grå boks-modeller basert på et tilstandsrom med et endelig antall mulige tilstander.

Markovkjedemodeller er svært nyttige redskaper når inspeksjoner er kostbart og det er usikkert om det objektet vi har foran oss, står i fare for å bryte sammen. Våre objekter er imidlertid stort sett langt enklere å inspisere, og vil sjelden være på randen av en dramatisk forverring. Når da det stokastiske elementet er mindre viktig, er markovkjedemodellene heller ikke så attraktive. Det har vært gjort forsøk med å formulere markovkjedemodeller i vegvesenet, men så vidt vi forstår er dette ikke ført videre. Det kan være fordi man ikke behøver å ta høyde for muligheten for dramatiske forverringer av vegen, eller fordi det ikke forelå godt nok belegg for de overgangssannsynlighetene som blei brukt. Hvis det sistnevnte hensynet har vært det viktigste, illustrerer det kanskje en viktig motsetning mellom to hensyn som begge har betydning for hva slags nedbrytningsmodeller en vil bruke: På den ene sida vil vi ønske å begrunne overgangene eller funksjons-sammenhengene i modellen eksplisitt i kjente fysiske sammenhenger og god ingeniørbasert kunnskap. På den andre sida er det begrenset hvor sikker kunnskap vi kan etablere om slike ting og hvor gode og hvor mye data som vi kan innhente og bearbeide.

Som nevnt ovenfor er det ikke noe prinsipielt galt med å uttrykke objektenes tilstand på en enkelt skala fra god til svært dårlig, f.eks. Det gjøres blant annet i Kystverket. Det vil være en form for grå boks-modell. Problemet er at man da også må kunne formulere sammenhenger om nedbrytning og virkning av tiltak som knytter seg til denne skalaen. Det krever enten inspeksjoner som har brukt en slik skala på en konsistent måte gjennom flere år, slik at man har et materiale å estimere sammenhengene på, eller en nøyaktig tilordning av hver tilstand til observerbare fysiske indikatorer, som det da også må finnes data om til estimeringen.

Hvite bokser, dvs. eksplisitt modellerte fysiske årsakssammenhenger kombinert med innhenting av tilstandsdata ved bruk av objektive målemetoder, er vel et ideal, men et ideal som bare kan virkeliggjøres på avgrensede saksfelt. I samferdsel har vi ofte å gjøre med objekter som ikke kan karakteriseres så entydig, enten fordi tilstanden varierer på ulike steder av objektet (vegen kan være god her og dårlig ti meter lengre fram), eller fordi det er så mange faktorer som spiller inn på tilstanden.

Vi kan altså ikke si at en type modeller er god og en annen dårlig. Alt avhenger av objektenes art og muligheten til å innhente gode data. Det som trengs, er en

begrunnet tanke i hver etat og på hvert saksfelt om hva slags vedlikeholdsstrategi man vil ha, hva slags nedbrytingsmodell som egner seg og hva slags data det er mulig å framskaffe.

Et forslag til nedbrytningsfunksjoner som bør kunne dekke en lang rekke anvendelser er tatt inn som Vedlegg 2.

## 2.6 Inspeksjon

Om vi nå skal gå videre fra de nokså allmenne tankene i avsnittene ovenfor til et mer konkret opplegg for analyse og planlegging av vedlikeholdsaktivitetene, støter vi straks på et problemområde som det er sagt nokså lite om i etatenes litteratur om vedlikeholdsplanlegging. Det dreier seg om hvilken rolle inspeksjoner skal spille i systemet.

Enten vi tar eksplisitt hensyn til det eller ikke, så er både nedbrytningstakten og virkningen av tiltakene forbundet med stor usikkerhet. Hvis vi har en stokastisk nedbrytningsmodell, så trenger vi inspeksjon for å slå fast hvilken av de mulige nye tilstandene som faktisk er realisert for det objektet vi har foran oss. Bare på den måten kan vi skaffe oss den kunnskapen vi trenger for å bestemme hvilke objekter som skal vedlikeholdes i denne omgangen, og hvilket tiltak vi skal bruke. Inspeksjonen kan være visuell med en skjønnsmessig vurdering av tilstanden, eller den kan gjennomføres med et apparat som måler tilstanden. Det spiller ingen rolle i vår sammenheng. Hvis vi bruker en deterministisk nedbrytningsmodell vil det foreligge en prediksjon av hvilken tilstand objektet nå er i, men den vil likevel være for usikker til at man kan prioritere vedlikeholdet på kort sikt uten å gå ut og sjekke hva tilstanden faktisk er. Inspeksjon trenges altså uansett.

Men inspeksjon trengs ikke bare som kunnskapsgrunnlag for beslutninger på kort sikt. Det er også helt vesentlig for å få data til å estimere nedbrytningsmodeller, modeller av tiltakenes virkning og modeller for brukerkostnadene som funksjon av tilstanden, og for å kvalitetssikre disse modellene mot virkelige data. Denne anvendelsen krever naturligvis at det vi inspiserer, er de aspektene av objektets tilstand som vi vil måle med de tilstandsvariablene vi har valgt å bruke. Det krever også at vi innhenter data om tilstrekkelig mange objekter over tilstrekkelig lang tid til at vi kan få noenlunde sikre estimater. Framfor alt krever det at vi organiserer disse dataene på en slik måte at vi får hele historien til det enkelte objekt: tilstanden i enhver periode, hvilke tiltak som er satt i verk og når, hvilke hendelser og uhell som har inntruffet, trafikk tall, vær og alle andre data som har betydning for nedbrytningen og virkningen av tiltak. Kort sagt trengs paneldata der objektene er mest mulig tilfeldig utvalgt. Dette foreligger ikke fullt ut i dag i noen av etatene, så vidt vi kan skjønne.

Alle etatene driver inspeksjoner som grunnlag for vedlikeholdsplanleggingen. I vår sammenheng er imidlertid spørsmålet om de variable man samler inn data om, er de som egner seg best til å si noe om brukerkostnader og etatens kostnader, og om inspeksjonene er lagt opp slik at man får paneldata som gir grunnlag for estimering av nedbrytningsfunksjoner.



## 2.7 Tiltak og tiltakskostnad

Vi ønsker å definere ulike tiltak ut fra virkningen de har på tilstandsvariablene. Det betyr enten at et tiltak forbedrer tilstandsvariablene med et gitt antall hakk for hver av dem, uavhengig av tilstanden i utgangspunktet, eller at et tiltak oppnår en gitt ny tilstand, uavhengig av tilstanden i utgangspunktet. Å gjøre virkningen avhengig av tilstanden i utgangspunktet vil vel i de fleste tilfeller innebære litt for komplisert programmering og litt for mange typer av tiltak å holde rede på.

Dersom hver av tilstandsvariablene rapporterer tilstanden til en egen komponent, vil vi trolig kunne dele inn tiltakene etter hvilken komponent de påvirker, og kanskje kan vi regne med at tiltaket ikke påvirker mer enn denne ene tilstandsvariablen. I motsatt fall har vi den litt mer kompliserte oppgava å definere virkningen i flere dimensjoner. Generelt vil vi kunne bruke virkningen på alderen som målestokk for graden av forbedring i tekniske komponenter som ikke påvirkes av bruken og for graden av forbedring i de dypere lagene av konstruksjonen, mens andre typer av tilstandsvariable representerer slike ting som direkte påvirker brukerkostnadene.

Som vi skal se nedenfor vil vi anta at kostnadene for et tiltak består av to deler: Infrastruktureierens kostnad og brukerkostnadene som knytter seg til tiltaket. De sistnevnte skyldes at infrastrukturen midlertidig må stenge eller drives med nedsatt kapasitet. Begge typer av kostnader kan være funksjoner ikke bare av tiltaket (definert som en gitt forbedring), men også av tilstanden i utgangspunktet. Om vi derfor definerer et tiltak ved den tilstanden som oppnås, vil kostnaden for tiltaket avhenge av hvor nær denne tilstanden vi er i utgangspunktet. Om vi omvendt definerer tiltak ved størrelsen på forbedringen, vil kostnaden i mindre grad avhenge av tilstanden i utgangspunktet.

Alt dette er synspunkter på hvordan vi skal *definere* tiltakene. Men det vi møter i historiske data er ikke et tiltak definert som en gitt forbedring for brukerne, men som en fysisk forandring av infrastrukturen med en medfølgende kostnad. Vi trenger å innhente data på en måte som gjør at vi kan estimere hvordan de fysiske forandringene og kostnadene henger sammen med virkningen for brukerne. Først når vi har det, kan vi avgjøre om det er størrelsen på endringen av tilstanden eller den resulterende tilstanden som best kan knyttes til en gitt fysisk endring og en gitt kostnad.

## 2.8 Estimering

Man kan mene at vi stiller urealistisk strenge krav til data når vi ovenfor har framholdt at det trengs paneldata med observasjon av det enkelte objekt over lengre tid for å estimere nedbrytning og virkningen av tiltak. Men vi er ikke aleine om å gå inn for det.

Chu og Durango-Cohen (2008a og b) viser at estimering basert på tverrsnittsdata ikke har noen mulighet til å vurdere nedbrytning og virkningen av tiltak samtidig på en konsistent måte. Det at tilstanden påvirkes av planmessige inngrep på ulike tidspunkter, er noe som vil måtte betraktes som tilfeldig støy, hvilket det jo ikke er. Modellen som blir resultatet er heller ikke velegnet til prediksjon.

Reine tidsserieanalyser, på den andre sida, vil ha vansker med manglende data og med eksogene variable. Chu og Durango-Cohen framholder at modellen bør formuleres som tidsseriemodeller der det som utvikler seg over tid, er en vektor av tilstandsvariable. Slike modeller bør estimeres med paneldata. De gir mulighet til å legge inn data om historisk vedlikehold som eksogene variable og estimere innvirkningen på tilstanden ved hjelp av såkalt intervensjonsanalyse. Denne modelltypen gir også mulighet til å oppdatere modellen på grunnlag av framtidige inspeksjoner.

Artiklene vi viser til her, er også gode kilder til mye av den moderne litteraturen om estimering av nedbrytning og virkninger av tiltak.

## 2.9 Modelltyper

Vi tror det er viktig å skille mellom modeller som brukes sammen med jevnlig inspeksjoner, og modeller som skal si noe om utviklingen uten å innhente oppdatert informasjon. Når vi har muligheten til å inspisere, trenger vi ikke en modell som går over mange perioder. Det dreier seg da mer om å finne ut hvor eller hvilke objekter det er verdt å inspisere.

Dette i motsetning til strategiske modeller som i Minken m.fl. (2008), der vi vil vurdere utviklingen av ett objekt (kapittel 2) eller mange objekter (kapittel 3) over en lengre tid. Hensikten med slike modeller er å finne handlingsregler for samfunnsøkonomisk optimalt vedlikehold eller lønnsomheten av budsjettendringer, for eksempel. I denne sammenhengen må vi uansett stort sett klare oss uten inspeksjon.

Et beslektet skille er mellom deterministiske og stokastiske modeller. En ville tru at strategiske modeller burde ta hensyn till den store usikkerheten på langt sikt ved å bruke markovkjeder eller liknende. Men en deterministisk modell som er raskt å kjøre gir grunnlag for simuleringer, hvilket kanskje er vel så greit når det gjelder økonomiske analyser. Det er også andre måter å modellere usikkerheten på (Ng et al 2011).

Skillet mellom å modellere ett objekt og flere er egentlig et spørsmål om man vil ta hensyn til budsjettet eller ikke. Uten budsjettet eller en annen kapasitetsbegrensning som alle objektene er underlagt, oppløser nemlig analysen av mange objekter seg i separate analyser av hvert objekt. Å regne med en budsjettskranke er naturligvis det mest realistiske, men byr også på store matematiske problemer om man skal ta det helt alvorlig.

Det er viktig å innse at ofte vil det være gitt strenge bestemmelser om hvilken kvalitet infrastrukturen skal ha. Hvis disse også blir fulgt, kan man se bort fra at brukernes kostnader varierer med tilstanden, rett og slett fordi tilstanden ikke vil variere. For eksempel vil vi tru at friksjonen på rullebanen ikke vil tillates å variere på en slik måte at det kan oppstå uhell under take-off og landing. De eneste brukerkostnadene vil da være knyttet til utsettelse av avganger eller stenging av flyplassen på grunn av glatt rullebane. Om vi også kan se bort fra det, har vi et reint kostnadsminimeringsproblem der flyplassen gjennomfører de tiltakene som minimerer kostnadene ved å oppnå friksjonskravene.

Det er altså viktig å analysere normer, retningslinjer og standardkrav for å finne ut om problemstillingen er kostnadsminimering eller en full nyttekostnadsanalyse

med både nytte for trafikantene og kostnader for etaten. Vi tror det vil vise seg at problemstillingene uansett er mer varierte enn den standard nyttekostnadsanalysen som er beskrevet i etatens håndbøker.

## 2.10 Kostnadsarter

I dette avsnittet klassifiserer vi alle former for kostnader som er relevante for samfunnsøkonomiske analyser av vedlikehold. Den fullstendige oppskriften på hvordan vi beregner nytte og kostnader av vedlikeholdstiltak stammer fra et annet pågående prosjekt og er tatt inn som vedlegg 3. Her bruker vi bare en del av teksten i vedlegg 3.

Vi minner om at når man ikke gjør en fullstendig nyttekostnadsanalyse, men forutsetter at infrastrukturen skal vedlikeholdes slik at den til enhver tid har en målsatt standard, vil brukernes kostnader på grunn av tilstanden være konstante og kan utelates fra regnestykket. I konkrete sammenhenger kan det også være andre kostnadsarter som kan utelates. Men generelt er det faktisk såpass komplisert som vi viser her – det finns 15 forskjellige slags kostnader som man må kunne holde fra hverandre og beregne størrelsen på!

Vi skiller mellom to hovedarter av kostnader, *tilstandskostnad* og *tiltakskostnad*. Tilstandskostnaden deler seg naturlig i *forventede kostnader ved regulær drift* og *forventede feilkostnader*. Derfor kan vi si at det finns tre kostnadsarter: Kostnader knyttet til tiltak, kostnader knyttet til regulær drift, og kostnader knyttet til ikke planlagte driftsavbrudd og innskrenkninger. Vi bruker toppskrift T på tiltakskostnader, R på kostnader ved regulær drift, og F på feilkostnader. For tilstandskostnadene som helhet bruker vi toppskrift S. For summen av tiltaks- og tilstandskostnader bruker vi ingen toppskrift. I hver periode  $t$  og for hver objekt  $\ell$  gjelder da følgende enkle sammenhenger:

$$(1) \quad c_{\ell t}^S = c_{\ell t}^R + c_{\ell t}^F$$

$$(2) \quad c_{\ell t} = c_{\ell t}^S + c_{\ell t}^T = c_{\ell t}^R + c_{\ell t}^F + c_{\ell t}^T$$

Innenfor hver av kostnadsartene er det noen kostnader som bæres av infrastrukturholderen og andre som bæres av brukerne og samfunnet for øvrig. Vi bruker toppskrift A (for agency) på kostnader som bæres av infrastrukturholderen og U (for users) på kostnader som bæres av brukerne og samfunnet for øvrig, altså alle unntatt infrastrukturholderen.

Kostnadene som bæres av brukere og samfunnet for øvrig er av fire slag: For det første har vi kostnadene som bæres av trafikantene, eller med andre ord bilførerne, bilpassasjerene, kollektivpassasjerene og eierne av godset. Disse kostnadene har toppskrift B. For det andre har vi kostnadene som bæres av togselskaper og andre kollektivselskaper. De har oppskrift P (for produsent). For det tredje har vi de eksterne kostnadene som påføres aktører utenfor transportsektoren.<sup>9</sup> De har toppskrift E. Og endelig har vi kostnadene som påføres det offentlige utenom transportsektoren, dvs. skattevirkningene av ressursbruken i transportsektoren. De har toppskrift Y. Alle typer av kostnader er satt opp i tabell 1, med kostnadsartene som rader og aktørgruppene som kolonner.

<sup>9</sup> Hit regner vi også restverdien ved utløpet av analyseperioden.

Tabell 1 Kostnader vedrørende objekt  $\ell$  i år  $t$  etter art og aktørgruppe.

		privat			offentlig		del-sum	sum
		trafikanter	produsent	ekstern	skatt	eier		
tiltak		$C_{\ell t}^{TUB}$	$C_{\ell t}^{TUP}$	$C_{\ell t}^{TUE}$	$C_{\ell t}^{TUY}$	$C_{\ell t}^{TA}$		$C_{\ell t}^T$
tilstand	regulær	$C_{\ell t}^{RUB}$	$C_{\ell t}^{RUP}$	$C_{\ell t}^{RUE}$	$C_{\ell t}^{RUY}$	$C_{\ell t}^{RA}$	$C_{\ell t}^R$	$C_{\ell t}^S$
	avbrudd	$C_{\ell t}^{FUB}$	$C_{\ell t}^{FUP}$	$C_{\ell t}^{FUE}$	$C_{\ell t}^{FUY}$	$C_{\ell t}^{FA}$	$C_{\ell t}^F$	
delsum		$C_{\ell t}^{UB}$	$C_{\ell t}^{UP}$	$C_{\ell t}^{UE}$	$C_{\ell t}^{UY}$			
sum		$C_{\ell t}^U$				$C_{\ell t}^A$		$C_{\ell t}$

Alle de femten ulike kostnadskomponentene i den sentrale delen av tabell 1 er aktuelle ved analysen av vedlikeholdsstrategier.

”TA”-kostnaden på tiltaksraden er naturligvis etatens kostnader for selve vedlikeholdsarbeidet, men også ”TU”-kostnadene er aktuelle, fordi vedlikehold ofte innebærer midlertidig stengning, innskrenket drift eller dårlige nestbeste-løsninger for brukerne.

”RA”-kostnaden på linja ”regulær” er daglig, ukentlig, månedlig eller årlig rutinemessig vedlikehold og driftskostnader, og kan nok settes til null i de aller fleste tilfeller, siden disse oppgavene og de medfølgende kostnadene normalt ikke endrer seg med noen av tiltakene som vi tester. ”RU”-kostnadene avhenger av objektets tilstand, for eksempel fordi en dårlig tilstand medfører lavere fart, flere ulykker og økte kostnader til reparasjon og vedlikehold av kjøretøy og rullende materiell. Lavere fart kan igjen medføre økt materiellbehov i kollektivtrafikk og godstrafikk.

”FA”-kostnaden på linja ”avbrudd” er etatens utgifter til feilsøking, ikke planlagt vedlikehold og etablering av alternative tilbud til trafikantene i forbindelse med driftsavbrudd, vegstengning og liknende. Denne posten er en (muligens optimal) miks av kostnader ved å ha reserveløsninger klar for påkommende tilfeller og kostnader som likevel oppstår når noe skjer. ”FU”-kostnadene er trafikantenes og selskapenes forventede kostnader i forbindelse med driftsavbrudd, uhell og hendelser.

Oppdelingen på kolonnene ”bruker”, ”produsent” og ”ekstern” er relevant fordi kostnadene i hver av kolonnene beregnes på forskjellig måte. For å ta jernbanen som eksempel, så vil vi føre beregninger av tidstap og pålitelighetsproblemer for trafikantene under ”bruker”, økt materiellbehov for togselskapene under ”produsent” og økte ulykker og restverdi under ”ekstern”. Siden vi altså uansett vil ha separate kostnadsberegninger for hver aktørgruppe, kan vi også godt rapportere dem separat. Opplegget i tabell 1 samsvarer dessuten også i hovedsak med hvordan vi rapporterer nyttekostnadsanalyser av investeringsprosjekter.

Kolonnen ”eier” må også skilles ut som egne poster, fordi det er disse kostnadene som skal finne plass innfor et årlig vedlikeholdsbudsjett. Kolonnen ”skatt” trenges fordi våre kostnadsberegninger skal kunne inngå i en nyttekostnads-analyse. Opplegget for en slik analyse er som sagt skissert i Vedlegg 3.

## 3 Vedlikeholdets organisering i de ulike etatene

### 3.1 Luft

Avinor-konsernet kan grovt sett deles opp i konsernledelse, de tre divisjonene Store lufthavner, Regionale og lokale lufthavner og Flysikringsdivisjonen, samt datterselskapet Oslo Lufthavn AS. Det er divisjonene Store lufthavner og Regionale og lokale lufthavner og datterselskapet Oslo Lufthavn AS som driver Avinors lufthavner og derfor har ansvaret for vedlikehold av banedekker.

Divisjonsdirektørene øremerker midler til vedlikehold på sine budsjetter (i konkurranse med blant annet investeringer i nye anlegg og kostnader til security). Disse blir fordelt på lufthavner. Flyplassjefene er ansvarlige for vedlikeholdet, innenfor tildelt budsjett, men bruker ofte ikke opp budsjettet. Sistnevnte kan komme av at de ikke blir målt på vedlikehold. Eventuelt vedlikehold blir satt ut til eksterne tilbydere.

Luftfartstilsynet har ansvaret for den tekniske godkjenningen som skal fornyes hvert femte år. Før godkjenningen skal det være et hovedtilsyn. Hva som kontrolleres i hovedtilsynet avhenger delvis av kompetansen til luftfartstilsynets kontrollører. Ingen har vært spesielt kompetente på å vurdere banedekke. Jo mer erfarne kontrollørene er, jo flere avvik blir oppdaget. Eventuelle avvik blir det satt en tidsfrist på og registrert av flyplassjefen i Avinors avvikssystem: Mesys. Bare unntaksvis settes det i gang ikke-varslede tilsyn, selv om hyppigheten av slike tilsyn har økt noe de siste årene. Luftfartstilsynet har heller ingen regelmessige kontroller av banedekke. Selv under hovedtilsyn kan det synes som om banedekke ikke blir kontrollert. Sistnevnte kommer kanskje av at Luftfartstilsynets ansatte primært har kompetanse på andre forhold enn banedekke.

Seksjon for infrastruktur (under kompetansesenter for luftfartsfaglige tjenester) gjennomfører egne undersøkelser av tilstanden på flyplassene og utarbeider råd til divisjonene og Oslo Lufthavn AS basert på disse undersøkelsene. Det er divisjonene som besitter både disse rådene og datagrunnlaget disse rådene bygger på. Seksjon for infrastruktur har foreslått at det regelmessig utarbeides en tilstandsanalyse med tilhørende vedlikeholdsplaner.

BSL 3-2 (forskrift om utforming av store flyplasser) beskriver absolutte krav til flyplassinfrastruktur og herunder banedekke. Vedlikehold av banedekke har primært som formål å sikre at banedekke overholder disse kravene som også er et vilkår for fortsatt godkjenning. Hvorvidt andre hensyn enn sikkerhet også blir tatt ved prioritering av vedlikeholdsressurser, er uklart.

For 8 år siden, ved etableringen av Avinor som aksjeselskap, ble det beregnet et vedlikeholdsetterslep (for alle typer vedlikehold) på 1 mrd kroner. Det antas å ha økt, men det er ukjent hvor mye.

## 3.2 Bane

Jernbaneverket har ansvaret for vedlikeholdet av infrastrukturen for bane. Bane-divisjonen i Jernbaneverket har oppgaven med å sammensette vedlikeholdsbehovet, anbefale budsjettrammer for vedlikeholdet til Jernbanedirektøren, fordele budsjettet på banesjefene (både ordinære rammer og øremerkede midler) og sette av midler til sentralt prioriterte tiltak.

Etter anbefaling fra Jernbanedirektøren bevilger staten penger til drift og vedlikehold over post 23. Banedivisjonen har en viss frihet til omdisponeringer innenfor post 23, men drift er preget av store systemkostnader som husleie, nettleie og snørydding. Reelt sett er derfor andelen av midlene i post 23 til vedlikehold satt. Jernbaneverket kan videre bruke av eventuelle merinntekter (som er små) og/eller noe fra post 30 (investeringer). Vedlikehold konkurrerer på budsjettet i hovedsak med investeringer.

Ifølge Norddal m.fl. (2012) foregikk det en evaluering av vedlikeholdsarbeidet i Jernbaneverket i 2001. Det ble blant annet påvist behov for dokumenterte og reviderbare vedlikeholdsplaner og oppbygging av beslutningsstøtteverktøyer for prioritering av fornyelsesprosjekter. Dette blei utgangspunkt for et langsiktig arbeid med å forbedre vedlikeholdsplanleggingen. De nye systemene og rutinene er nå stort sett på plass. Sentralt står metoden RCM (Reliability Centered Maintenance), hvor planene for inspeksjoner og vedlikehold rettes inn mot å minimere risikoen for at en komponent skal svikte.

Valgte prioriteringer for forebyggende vedlikehold og fornyelse bygger både på sentralt innsamlede data som registreres i Banedata og informasjon fra banesjefene (de som har ansvaret for å utføre vedlikeholdet). Jernbaneverket bruker flere ulike dataverktøy/modeller ved prioritering av vedlikeholdstiltak. Disse verktøyene inkluderer blant annet PriFo, RCM/OPTiRCM og OptiUL. PriFo er et analyseverktøy for prioritering av fornyelsesprosjekter og større vedlikeholdsprosjekter. OptiRCM er et verktøy for etablering av optimale intervaller for visuelle kontroller og mindre revisjoner/bytte av komponenter, mens OptiUL estimerer optimale intervaller for kjøring av ultralydtdog og ultralydtralle som avdekker eventuelle skinnfeil.

Vedlikehold prioriteres primært med hensyn på sikkerhet og sekundært med hensyn på punktlighet. De samfunnsøkonomiske kostnadene for passasjerene ved forsinkelser er i følge Jernbaneverkets personell uansett mye større enn fremtidige økte vedlikeholdskostnader på grunn av manglende vedlikehold i dag.

## 3.3 Sjø

Kystverket har som hovedformål å sørge for sikker og effektiv ferdsel langs farleder og inn til havner. Kystverket har derfor ansvaret for vedlikehold av både farleder (inkludert navigasjonsmerker) og vernet bygningsmasse.

Staten bevilger penger til drift, investeringer og vedlikehold over post 01 (driftsutgifter), post 30 (nyanlegg og større vedlikehold) og post 45 (større utstyrsanskaffelser og vedlikehold). Penger bevilget under post 01 kan nyttes under post 45 og vice versa, mens penger bevilget under post 30 og post 45 kan overføres til neste år. Dette gir Kystverket den fleksibiliteten som de trenger. Noe

vedlikehold må gjennomføres hvert år grunnet værhardt klima mange steder, og det er derfor vanskelig å skille drift og vedlikehold. Det kan til og med hevdes at alt Kystverket gjør er vedlikehold, med unntak av rene inspeksjoner og isbryting.

Kystverket er ved lov forpliktet til å holde den vernede bygningsmassen i en viss stand. Samtidig kan dårlig vedlikehold av farleder og tilhørende navigasjonsmerking svekke muligheten for sikker og effektiv ferdsel på sjøen. Disse to formålene konkurrerer derfor om vedlikeholdsressursene. I tillegg har Kystverket en utfordring i å avveie hvorvidt man skal fortsette å vedlikeholde gammelt materiell eller investere i nytt materiell som krever mindre vedlikehold. Ofte vil det ligge et element av fornyelse i Kystverkets vedlikehold, fordi det nye materiellet ikke er likt som det gamle.

Hvert år foreslår regionene vedlikeholdsprosjekter for neste år. Disse prosjektene blir vurdert både nautisk og økonomisk av Senter for farled, fyr og merker (FFM). Godkjente prosjekter blir inkludert i Kystverkets årsplan og sendt inn til departementet som innspill til statsbudsjettet. Dersom et prosjekt får finansiering, blir prosjektet satt ut, enten til Kystverkets rederi eller på anbud eksternt.

I tillegg til å gjennomføre brorparten av vedlikeholdet, har Kystverkets rederi ansvaret for å inspisere og registrere tilstanden på navigasjonsmerking.

Det gjennomføres lite kontroll av vedlikeholdet. Kun ved svært store vedlikeholdsprosjekter gjennomføres såkalt sluttkontroll.

### 3.4 Vei

Det offentlige veinettet i Norge kan deles i tre: riksveinettet, fylkesveinettet og kommunale veier. Statens vegvesen har ansvaret for vedlikehold av riksveinettet, fylkeskommunen for fylkesveinettet og kommunene for de kommunale veiene.

Det er Vegdirektoratet som styrer de pengene som bevilges til drift og vedlikehold av riksveinettet under post 23. Vegdirektoratet gir også anbefalinger til fylkeskommunene om hvor mye som burde bevilges til vedlikehold og hvordan disse pengene burde fordeles. Kommunene styrer sine prioriteringer helt selv.

I statsbudsjettet deler vedlikehold budsjettposten med drift. Fullmakter kan omdisponere mellom vedlikehold og drift, men i praksis styres drift av femårige kontrakter. Frihetsgraden ligger derfor på vedlikehold, *ikke* på drift. Vinterværet kan påvirke driftskostnadene og dermed influere mengden midler ledig til vedlikehold. Dette avhenger selvfølgelig av størrelsen på variabeldelen i driftskontraktene, men denne er ofte relativt liten.

Budsjettpostene til drift og vedlikehold prioriteres gjerne opp mot investeringer. Investeringer i større prosjekter gir tradisjonelt sett størst politisk prestisje. Vedlikehold har nok fått større stjerne de siste årene, men fortsatt blir større prosjekter ofte foretrukket. En utfordring her er å vise, på samme måte som ved investeringer, hva vi får igjen for vedlikeholdet. Vedlikeholdet er så mangfoldig og smått at det er vanskelig å gjennomføre gode nyttekostnadsanalyser.

Vegdirektoratets generelle føringer for prioritering av vedlikeholdstiltak fra 2007 er:

1. Rette opp skader som kan føre til at vegen blir akutt trafikkfarlig eller at fremkommeligheten reduseres vesentlig.
2. Rette opp skader og slitasje som kan få konsekvenser for trafiksikkerhet og framkommelighet.
3. Rette opp skader som kan være starten på en akselererende skadeutvikling der tiltakskostnadene kan bli svært store dersom ingenting gjøres.
4. Gjennomføre tiltak som forlenger levetid og reduserer framtidig vedlikeholdskostnader slik at nåverdi av vedlikeholdskostnader blir lavere.

Tabell 2 viser hvilke tiltak som faller inn under de forskjellige kategoriene (hentet fra retningslinjer for utarbeidelse av vedlikeholdsplaner (2-årige) i regionene fra 2007).

Tabell 2 Tiltak per kategori og objekttype

HOVEDPROSESS	1	2	3	4
	Unngå akutt fare eller vesentlig framkommelighetsreduksjon	Unngå skader med konsekvenser for trafiksikkerhet og framkommelighet	Unngå akselererende skadeutvikling, stor økning i framtidig tiltakskostnad	Forlenge levetid Redusere framtidig vedlikeholdskostnad
Tunnel	Sikre mot ras og nedfall av stein eller utstyr i tunnel som løsner	Vedlikehold og utskiftning av tunnelutstyr	Vedlikehold av hvelv (stabilitets-, vann- og frostsikring) Rutinemessig rensk	Rutinemessig vedlikehold av tunnelutstyr
Drenering	Sikre mot vegbrudd ved flomsituasjoner Sikre tilstrekkelig avrenning fra vegbane ved sterk nedbør	Sikre avrenning fra vegbane ved nedbør og snøsmelting	Sikre drenering av vegområde og vegkropp	Reparasjon av drensobjekter Sikre drenering av vegkroppen (effekt på vegdekke)
Vegdekke Vegfundament	Sikre friksjon (ekstremsituasjoner)	Slitelag	Forsterkning	Forsegling Sprekkesetting/lapping Flatelapping Overflatebehandling
Vegutstyr	Reparasjon av skader som kan være til fare for trafikantene, medfører trafikk-avviklingsproblemer eller innebærer at objektets funksjon er tapt	Reparasjon av skader som medfører redusert funksjon for objektet	Reparasjon av skader som medfører rask nedbryting for objektet eller en del av objektet	Rutinemessig vedlikehold Reparasjon av andre skader
Bru/kai	Sikre fundamenter Sikre bæreevne Sikre løse deler på fuger	Sikre mot erosjon ved fundamenter Utskiftning av skadde bærende elementer Vedlikehold av bru- og kaiutstyr	Reparasjon av skader som medfører rask nedbryting for objektet eller en del av objektet, spesielt fundamenter og bærende elementer	Overflatebehandling Reparasjon av skader

I praksis er det regionskontorene i Statens Vegvesen som prioriterer mellom de ulike tiltakene. Det er også sjelden det er nødvendig å sette i gang tiltak pga. akutt fare eller vesentlig framkommelighetsreduksjon (punkt 1), med unntak av i tunneler grunnet nedfall av stein og lignende. På tross av de ovennevnte føringer er det fortsatt vanskelig å prioritere mellom tiltak, blant annet fordi man i mange tilfeller ikke kan beregne alle effekter av et tiltak. Vi trenger med andre ord et



praktisk system for prioritering, men det er viktig at dette systemet eventuelt kan stoles på.

Bak nåværende prioriteringer i vedlikeholdet ligger blant annet to analyser gjennomført av Vianova, en analyse om vegdekker og en annen analyse om vinterdrift (ViaNova 2006a og b). Analysen om vegdekker førte blant annet til skjærpede sporkrav for høytrafikkerte veier.

### **3.5 Oppsummering**

Gjennomgangen over viser flere likheter mellom vedlikehold i transportsektorene. Vedlikehold konkurrerer om ressurser med blant annet investeringer. Dette kan være en utfordring, fordi effekten av vedlikehold ofte er mindre synlig enn effekten av investeringer.

Den eksterne kontrollen av vedlikeholdet er gjennomgående liten. Dette kommer både av manglende eksterne fagmiljø med riktig kompetanse og manglende ressurser til å overvåke. Følgelig har organisasjonene hovedansvaret selv for kontroll av vedlikeholdet. Sterke brukergrupper utfører i praksis også en viss kontroll av vedlikeholdet.

Alle har sikkerhet som høyeste prioritert. Punktlighet og fremkommelighet blir prioritert rett etter. Flere av organisasjonene har også fokus på å velge et optimalt nivå på vedlikeholdet i forhold til levetid og vedlikeholdskostnader, men med dagens kunnskap er dette vanskelig å gjennomføre i praksis.

Ut i fra intervjuene kan det virke som om det eksisterer et vedlikeholdsetterslep i alle transportsektorene. Mangel på gode nok data gjør det vanskelig å tydeliggjøre dette ovenfor de politiske myndigheter. Bedre data vil både gjøre det lettere å kommunisere ut om vedlikeholdsbehovet og gjøre det lettere å kontrollere at nødvendig vedlikehold er gjennomført.

## 4 Tilgjengelige data

Formålet med dette kapitlet er å redegjøre for hvilke data med relevans for samfunnsøkonomiske analyser av vedlikehold som finns i transportetatene.

### 4.1 Luft

I Håndbok i vedlikehold og rehabilitering av flyplassdekker (Lange 2010) redegjøres det for hvilke krav som stilles til banedekke og hvordan dette kan måles.

Underbygningens bæreevne (CBR-verdien) kan måles ved et platebelastningsforsøk ('Transport Canada metoden') eller ved bruk av DCP-utstyr. Et platebelastningsforsøk krever utstyr som stålplater, jekk, utstyr for å måle setninger og et nødvendig og tilstrekkelig mothold på jekken for å belaste stålplatene. CBR-verdien er den lasten mot undergrunnen, målt i pounds per square inch (psi) på stålplaten, som gir en deformasjon på 1 inch. DCP-utstyr måler nedtrengningen til et 'spyd' som rammes ned i underbygningen med forhåndsdefinert kraft/energi. DCP-verdien blir deretter omregnet til en CBR-verdi.

Jevnhet og helning kan måles med bruk av bilmontert utstyr og/eller rettholt. Praksis i Avinor er at der hjulene trafikkerer, skal ujevnheter på 3 m rettholt ikke overstige 20 mm før tiltak iverksettes på rullebaner. Håndboken råder lufthavnene til også å overholde ICAO Annex 14 (Fifth edition, July 2009) anbefaling om at 45 m rettholt ikke overstiger 80 mm.

Avinor krever at en rullebane skal, uavhengig av type dekke, ha en tekstur (MTD) på minimum 1,0 mm. Dersom teksturen er lavere, skal banen rilles. Teksturen må ikke bli for grov eller for fin. Teksturverdien på rullebanen registreres og kunnngjøres i AIP for hver lufthavn. Målingen utføres etter ASTM E1845-01(2005) Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth, (lasermåling) eller Sand/Glas Patch-metoden, og må foretas av kvalifisert personell.

Flyplassjefene har ansvaret for at de ovennevnte parametrene blir målt, men det finnes ingen retningslinjer for hvor ofte disse målingene skal gjøres. Det finnes heller ikke noe sentralt register der disse dataene blir registrert og oppbevart. Det er kun flyplassjefene som eventuelt besitter disse dataene for sin flyplass.

Utenlandske studier (Gendreau and Soriano 1998) har kartlagt nedbrytningen til flyplassdekker, men tar i liten grad hensyn til nedbrytning ved nordiske klimaforhold (Aurstad 2005).

Dårlig banedekke kan i sin ytterste konsekvens føre til ulykker ved avgang og landing. Dårlig friksjon kan videre føre til at flyplassen må stenge når banen er våt. Akutt dårlig bæreevne kan føre til at en flyplass må stenge øyeblikkelig for å

gjennomføre vedlikeholdet. Ikke-planlagt vedlikehold kan medføre lengre nedetid og større konsekvenser for trafikkavviklingen.

Friksjonen kan påvirkes ved rilling og reasfaltering. Reasfaltering kan også bøte på andre overflateproblemer. Ved dårlig bæreevne må kanskje hele dekket (inkludert frostsikringslag, nedre bærekonstruksjon, øvre bærekonstruksjon og asfaltdekke) skiftes ut. Det medfører naturligvis stengning av rullebanen.

## 4.2 Bane

Kunnskapen om tilstanden på banen blir i all hovedsak registrert i Banedata. Tilstanden blir blant annet samlet inn gjennom målevognskjøring. Målevognen registrerer (fra Håndbok for vedlikehold (Svee 2011))

- Vindskjevheter
- Sporutvidelser
- Pilhøydefeil / geometrifeil
- Høydefeil
- Geometrifeil i sporveksler
- Skinneslitasje
- Rifler og bølger (korte og lange)
- KL (Dynamiske utslag, krefter og sikksakk)

På baner der maksfarten er 130 km i timen eller mindre kjøres målevognen to ganger i året. På baner der maksfarten er fra 130 km i timen til og med 160 km i timen kjøres målevognen fire ganger i året, og på linjer der maksfarten er over 160 km i timen kjøres målevognen seks ganger i året.

I tillegg kan målevognen bruke ultralyd for å avdekke eventuelle feil i skinnene som kan utvikle seg til sprekker og/eller brudd i skinnegangen. Målevogn med ultralyd kjøres på hele nettet en gang i året, og oftere der risikoen (på grunn av gamle skinner eller mye feil) blir vurdert til å være større.

Lokal informasjon blir innsamlet gjennom visuelle inspeksjoner og kontrollmålinger av sporvekslinger. I tillegg måles frittromsprofilen, hvorvidt objekter eller vegetasjon kan hindre togenes ferdsel, ved hjelp av måleutstyr (skanner) montert på egnet skinnebil eller annen egnet målevogn. Kontroll av frittromsprofilen skal i følge Håndbok for vedlikehold gjennomføres på alle banestrekninger. Slik lokal informasjon blir ikke registrert i Banedata.

Når det gjelder virkninger for brukerne, registrerer toglederne forsinkelser med årsakskoder i TIOS (et landsdekkende trafikkinformasjon- og oppfølgingsystem). En registrering omfatter følgende data: Forhold ved banen, signalfeil, kontaktledningsfeil, vedlikehold, materiellberging, ytre forhold (ras, ekstremvær osv) og ulike koder for togselskapene. Kode 1 forsinkelser er forårsaket av forhold på banen, det vil si forsinkelser som kunne vært forhindre ved bedre vedlikehold. Det jobbes med å skaffe en mer finmasket kode. Ifølge våre intervjuobjekter i Jernbaneverket bør forsinkelsene gis et idnummer som kan kobles til en hendelseslogg. Et forhold som vi ikke husket på å få klarlagt under intervjuene, er om det er mulig på en enkelt måte å kople banestrekningens tilstand ifølge Banedata til hendelser ifølge TIOS.

I Jernbaneverket blir det antatt at sporkvaliteten er en negativ eksponential-funksjon og avhenger kun av alder. I tillegg opererer de med nedbrytings-indikatorer, for eksempel at skinner må skiftes oftere i en kurve enn på en rett strekning. Levetiden på komponenter er videre estimert i et datasett.

Det er svært vanskelig å estimere effekten av tiltak på tilstanden, fordi Jernbaneverket ikke har noen systematisk registrering av vedlikehold. Kun endringer i tilstandsvariablene blir registrert i Banedata, og slike endringer kan både følge av naturlige variasjoner, målefeil, mindre vedlikeholdstiltak og større vedlikeholdsgrep.

Jernbaneverket har et bredt repertoar av mulige vedlikeholdstiltak. For eksempel kan sporjustering fikse akutt vindskjevhet, men vindskjevhet kommer ofte av et underliggende problem som problemer med ballast, underbygning og/eller traseen. For lang avstand mellom skinnene kan fikses ved hjelp av en strekkbolt (metallstand som trekker skinnene sammen) eller bytting av sviller (lokalt eller i hele området). Dessverre blir ikke vedlikeholdstiltak systematisk registrert. Kun endringer i tilstandsvariablene dukker opp i Banedata, og det er derfor vanskelig å beregne effekten av tiltakene på tilstanden. Å dømme etter Norddal m.fl. (2012) finns det imidlertid (antatte eller erfarte) sammenhenger mellom komponentenes tilstand og faren for de skal svikte som er lagt til grunn i RCM-systemet.

### 4.3 Sjø

Kystverket samler inn og registrerer alle tilstandsdata i FDV-systemet (datasystem for forvaltning, drift og vedlikehold). Når Kystverkets rederi besøker de ulike objektene (når de utfører vedlikehold eller ved egen inspeksjon), vurderer de også tilstanden til disse.

For hver type objekt blir hver av komponentene vurdert ut i fra tilstandsgrad. For et merke uten lys, for eksempel, skal materiale (kun stang), toppmerke og totaltilstand vurderes. For en fyrlykt, for eksempel, skal følgende vurderes: Tilkomst/landing, underbygning, kledning underbygning, lyktehus utvendig, lyktehus innvendig, ventilhatt, rekkverk på galleri, galleri, lyktehus glass, skap, solcellepanel, lampeskifter og jording/utj. Hver av komponentene blir vurdert på en skala fra 0 til 3, hvor 0 betyr ingen skader eller mangler, 1 betyr små skader eller mangler, 2 betyr større skader eller mangler og 3 betyr havari eller skader som kan medføre havari. Til slutt gjøres en totalvurdering av objektets (her fyrlyktens) tilstandsgrad. Komponenter som er kritiske for objektets funksjon, teller mer enn andre objekter. For eksempel dersom et vindu i en fyrlykt er knust, slik at vannskader som kan få lykten til å slukke kan oppstå akutt, vil hele fyrlykten bli vurdert til tilstandsgrad 3, uavhengig av tilstanden på de andre komponentene.

Den systematiske registreringen av tilstandsdata gir oss mer kunnskap om nedbrytningen av Kystverkets navigasjonsinnretninger. Disse dataene bør sannsynligvis kobles opp mot værdata for stedet navigasjonsberetningen befinner seg for å lage god nedbrytningsfunksjoner. I tillegg bør det nevnes av tilstandsregistreringen baserer seg på de subjektive vurderingene til Kystverkets rederis personell. Prosjektleder har imidlertid muligheten til å overstyre det operative personellets vurderinger.

Tilstanden til navigasjonsinnretningene påvirker både sannsynligheten for ulykker, fremkommeligheten og vedlikeholdskostnader. Det er likevel få ulykker der navigasjonsveiledning er en sak. Ved dårlig navigasjonsmerking vil mange førere sannsynligvis tilpasse farten. Dårlig navigasjonsmerking kan derfor gi redusert fremkommelighet. I tillegg akselererer vedlikeholdskostnadene dersom ikke jevnlig vedlikehold blir gjennomført.

## 4.4 Vei

Statens vegvesen kjører målebil på 90 % av veiene hvert år. Målebilen registrerer både jevnhet på tvers (spordybde) og jevnhet på langs. Hver 20. meter blir registrert i vegdatabanken, men i praksis aggregeres dataene til veiparseller som varierer fra et par hundre meter til flere kilometer i lengde.

Jevnhet på langs måles i IRI (millimeter per meter), der 1 betyr at jevnheten på langs er perfekt, mens 7 betyr at jevnheten må rettes opp. Veier med mindre enn 300 årsdøgnstrafikk kan komme opp på 11 og 12 i IRI før vedlikeholdstiltak blir satt i gang.

I tillegg måles friksjonen på veidekke ved mistanke om for dårlig friksjon. Kritisk dårlig friksjon forekommer gjerne på vinteren. På ring 3 i Oslo, for eksempel, kan en kombinasjon av asfalttype og gummiavsetninger gi en poleringseffekt. Kontrollmålinger må derfor gjennomføres for å sjekke behovet for å kjøre med høytrykksspyler.

Bæreevnen kan måles ved hjelp av fallodd, men det gjøres bare ved problemer eller planer om vedlikehold. Det er tidkrevende og dyrt å måle bæreevnen, og den utvikler seg vanligvis ikke så mye over tid.

Det finnes teknologi for å registrere lokale sprekker i asfalten ved hjelp av automatisk videogjenkjennelse, men den er både dårlig og dyr. I Finland har de prøvd ut denne teknologien, men har nå gått tilbake til manuell inspeksjon.

Det er viktig at det ikke er vanninntrengning i konstruksjonen, og drenering er derfor viktig. Dessverre måles ikke drenering i dag, og vi vet fortsatt ikke hvilken langtidseffekt drenering har.

Normerte dekkelevetider avhenger av trafikken: En høytrafikkert vei kan ha 2-3 års normert dekkelevetid, mens en lavttrafikkert vei som er skikkelig bygd (etter vedlikeholdsstandarden) kan ha en levetid på opp til 25 år.

Mulige tiltak som kan bedre tilstanden inkluderer:

- Legging av nytt slitelag (polymerbasert bindemiddel som gjør at dekket varer noe lengre)
- Nytt asfaltlag over det gamle (påvirker spordybden, men ikke jevnhet på langs i samme grad)
- Frese veidekke (fjerne asfalt og legge ny)
- Legging av opprettingslag som kan påvirke jevnhet på langs
- Dypstabilisering av bærelaget ved dårlige materialer under

Tilstanden påvirker både brukerkostnader (ulykker, slitasje, kjøretid) og vedlikeholdskostnader. Det er gjennomført noen studier av dette hvor effekten av tilstanden er undersøkt, men vi er fortsatt usikre på størrelsen til disse sammen-

hengene, og vi vet ikke hvorvidt det er dyrere å vedlikeholde i etterkant enn å gjøre forebyggende vedlikehold.

## 4.5 Oppsummering

Gjennomgangen over viser at det mangler mye på datasiden i de forskjellige transportsektorene. Innenfor luft finnes det ikke noe enhetlig system for registrering og oppbevaring av data om objektenes tilstand. Innenfor bane registreres nesten all tilstandsdata i Banedata, men systematisk registrering av gjennomførte tiltak mangler. Innenfor vei blir både jevnhet på tvers og jevnhet på langs målt og registrert systematisk, mens friksjon, bæreevne og sprekker blir bare målt ved mistanke om mangler, og vanninntrengning blir ikke målt i det hele tatt. Innenfor sjø, derimot, har man innført et datasystem (FDV-systemet) hvor både tilstandsdata og gjennomførte tiltak registreres systematisk.

Brukernes kostnader ved dårlig tilstand er høyere risiko for ulykker, lavere fremkommelighet eller punktlighet, høyere slitasje og lavere komfort. Det er allerede mulig å beregne en slags sammenheng mellom tilstand og punktlighet innefor bane, men ellers trenger vi enda mer detaljerte data for å beregne sammenhengene.

## 5 Muligheter

### 5.1 Kunnskapen om vedlikehold

Utviklingen av et akkumulert vedlikeholdsetterslep, med ulike driftsproblemer og hendelser til følge, på mange områder innen samferdselssektoren, må naturligvis møtes med økt oppmerksomhet om vedlikeholdsområdet i transportplansammenheng, og med økte bevilgninger. En undervurdert oppgave i denne sammenhengen er å bevare og utvikle kunnskapen på vedlikeholdsområdet. Vi kan ikke regne med å kunne kvantifisere verdien av dette i kroner og øre, men om vi ikke har fokus på kunnskap og kunnskapsoppbygging, vil kroner og øre på budsjettet ikke kunne hjelpe oss til bedre vedlikehold.

Den praktiske kunnskapen om vedlikeholdet av samferdselsinfrastrukturen er fragmentert på en stor mengde større og mindre fagfelt og i stor grad uformell. Slik må det være. Det er begrenset hva som kan formaliseres her i verden. Men det gjør den også sårbar fordi den er usynlig utenfra. Det er lett å undervurdere den uformelle kunnskapen og tru at den kan rasjonaliseres vekk. Gjennom intervjuene i prosjektet har vi fått et ørlite innblikk i denne kunnskapen. Vi tror NTP bør stille som oppgave å bevare kunnskapen til de gamle ingeniørene og driftspersonalet og sørge for at en organiserer seg på en måte som gir rom for kunnskapsoverføring – fra gamle til unge, og på tvers av grensene mellom bestiller og utfører, oppdragsgiver og konsulenter osv.

På flere av de konkrete saksfeltene finnes det tross alt en vitenskapelig litteratur og nasjonale, nordiske og internasjonale organisasjoner som fremmer forskning, erfaringsutveksling og kunnskap om beste praksis. Vårt inntrykk er at muligheten for norske ingeniører og eksperter til å tilegne seg denne litteraturen og ta del i forskning og kunnskapsutveksling, er for dårlige. Eller det kan være at de gode ideene som de har, blir stoppet på et høyere nivå. Uansett er det vårt inntrykk fra de få intervjuene vi har gjort at det ikke er nok av planer eller aktiviteter i etatene som kan etablere nye former for vedlikeholdsplanlegging eller gi vesentlig ny innsikt om sammenhengene på vedlikeholdsfeltet. De av etatene som har gode forbindelser med forskningsmiljøene på feltet, lener seg kanskje litt for mye på ekstern ekspertise og gjør litt for lite for å bygge opp sin egen ekspertise. Etatene burde kanskje tenke gjennom om dette bildet stemmer og vurdere om det har implikasjoner for den nasjonale transportplanen.<sup>10</sup>

På et mer generelt nivå finnes det en vitenskap om vedlikehold. Den er delvis oppsummert i avhandlingen Nicolai (2008) og i artikler som bygger på den. Et spesielt punkt å merke seg om denne litteraturen er at den bygger på relativt avansert matematikk (over vårt nivå, faktisk). Vi tror det er av betydning for

---

<sup>10</sup> Vi burde ha spurt om hvilke vitenskaplige tidsskrifter etatene abonnerer på og hvordan de blir brukt. Noen av de tidsskriftene hvor vi tror det er mest å hente hvis vi kan øke kunnskapsnivået slik at vi kan dra nytte av dem, er Journal of Transportation Engineering, Journal of Infrastructure Systems, Transportation Research Record og Transportation Research A, B og C.

systematikken på de konkrete saksfeltene at det finns forbindelser til slik generell kunnskap, og mener derfor det kan være viktig å supplere etatenes kontakter med SINTEF, TØI og andre forskningsmiljøer med litt mer matematiske miljøer på SINTEF og på Institutt for anvendt matematikk ved UiO.

## 5.2 Svenske vurderinger

Andersson m.fl. (2010) oppsummerer en større svensk gjennomgang av mulighetene til å forbedre vedlikeholdsplanleggingen i samferdselssektoren ved å ta i bruk samfunnsøkonomiske analyser. Deres vurdering er at det er små muligheter til å framskaffe et beslutningsunderlag for samfunnsøkonomiske analyser i dag.

På kort sikt må man derfor arbeide for å utvikle et transparent beslutningsunderlag. Dette arbeidet vil ha tre mål:

1. Det må bli mulig å måle infrastrukturens faktiske fysiske tilstand på et gitt tidspunkt.
2. Det må være mulig å lage prognoser for utviklingen av tilstanden både med og uten tiltak.
3. Virkningen av tiltak for brukerne (dvs. virkningen av tiltak på tilstanden og tilstandsforbedringens virkning for brukerne) må kunne tallfestes og verdsettes i kroner og øre.

Dette kan i første omgang oppnås på en noenlunde akseptabel måte, forstår vi, ved å bygge på og forbedre de databasene som finnes i dag, ta i bruk samme form for nyttekostnadsanalyseverktøy som det som er utviklet for investeringer, og overføre internasjonale erfaringer og modeller til Sverige. På langt sikt trengs et grundigere arbeid med dataunderlag og datatilgjengelighet, spesielt når det gjelder å ta vare på historiske data med sikte på estimering av nedbrytning og virkningen av tiltak. Estimering av effektsamband anses være vanskeligere for bane enn for veg, fordi det som skjer når tilstanden blir dårlig, er at det treffes administrative avgjørelser.

Rapporten formulerer konkrete oppfølgingsprosjekter både på kort og lang sikt. Dette gir en god anledning for oss i Norge til å starte et parallelt arbeid der vi kan dra nytte av hverandre.



## 6 Veien videre

I prosjektet har vi prøvd å danne oss et bilde av hva som er på plass og hva som mangler av organisasjon, data og informasjonssystemer for å kunne gjøre samfunnsøkonomiske analyser av enkeltstående vedlikeholdstiltak og langsiktige vedlikeholdsstrategier på samferdselsområdet i Norge. Vi har avgrenset oss til å vurdere måling og registrering av tilstandsvariable som vi antar at det finns best data om, eller som har størst relevans for infrastrukturens tilgjengelighet og brukernes kostnader. Dette er spordybde og IRI for vegen, variable som beskriver skinnegangens tilstand for jernbanen, variable som beskriver rullebanens tilstand for Avinor, og et system for skjønsmessig vurdering av farledenes navigasjonsutstyr når det gjelder Kystverket.

I Avinor har vi ikke informasjon om hva slags systematisk innhenting av data om rullebanen som eksisterer, bortsett fra hovedtilsynet ved Luftfartstilsynets godkjenning av flyplassen hvert femte år. For de øvrige etatene kan vi konstatere at det finnes informasjonssystemer om objektenes tilstand, og at objektene inspiseres og tilstanden registreres på nytt med høvelige mellomrom. For planlegging og prioritering av vedlikeholdet på kort sikt kan dette være tilstrekkelig, men det er ikke tilstrekkelig for samfunnsøkonomiske analyser. Til estimering av nedbrytning og tiltakenes virkninger trenger vi en database med historiske data om hvert enkelt objekt (paneldata), og ikke bare om tilstanden i hver periode, men også om faktorer som kan tenkes å influere på denne tilstanden, som gjennomført vedlikehold, værdata, trafikkdata og tekniske data, for eksempel om underbygningen. Dette foreligger ikke.

Tilstandsdata behøver ikke nødvendigvis være detaljerte fysiske målinger, men kan godt være subjektiv karaktersetning som gjennomføres på en konsistent måte etter en gitt oppskrift, eller aggregerte indikatorer som sammenfatter detaljerte målinger. Poenget er at det er paneldata og at de er registrert over en lengre periode på samme måte, og at de er åpent tilgjengelige sammen med andre relevante data i en database som er lagt opp med estimering av sammenhenger for samfunnsøkonomiske analyser for øye.

Vi tror at det nå registreres data uten at det alltid er helt klart om noen faktisk bruker og har bruk for slike data og i slike mengder. Det trengs en gjennomgang av bruksområdene og formålene med de data som innhentes, og i denne gjennomgangen må en legge tilstrekkelig vekt på behovet for data til estimering av sammenhenger som trengs i samfunnsøkonomiske analyser. Kombinering av data fra ulike databaser er trolig også et behov som vil dukke opp når en skal lage samfunnsøkonomiske analyser av vedlikehold på alvor.

Valg av aggregeringsnivå er sannsynligvis er undervurdert problem. I Jernbanelverket, for eksempel, dreier data seg i alt vesentlig om komponenter, ikke objekter, så langt vi kan skjønne. Vi har introdusert begrepet objekter som den grunnleggende enheten i analysen. Det er fordi vi antar at forbindelsen mellom brukerkostnader og tilstand eksisterer på objektnivå, snarere enn på komponent-

nivå. Muligens er forbindelsen til vedlikeholdsbudsjettet også på objektnivå, dvs. det er ikke avsatt egne budsjetter til vedlikehold av hver type komponenter. Endelig er det klart at det lett kan bli veldig mange enheter å holde styr på i en analyse på der grunnenheten er komponenter. Vår tenkning kan være feil når det gjelder komponenter som hver for seg og uavhengig av hverandre gir opphav til hendelser som medfører driftsavbrudd. Men også i det tilfellet må vi kjenne trafikken over det objektet som komponenten hører til.

Det trengs formodentlig en kunnskapsoppbygging på mange plan. Uformell kunnskap i organisasjonen trenger til en viss grad å formaliseres og overføres til nye medarbeidere. Ingeniørkunnskap om sammenhenger på hvert enkelt område trengs å utvikles videre, og det må sikres ressurser for at etatenes eksperter og andre relevante miljøer kan ta del i internasjonal forskning og erfaringer. Endelig trengs spisskompetanse innen matematikk og økonometri for å ta i bruk de mest avanserte planleggingsmetodene og økonometriske metodene.

Dette utgjør et større program som må innarbeides i NTP og sikres ressurser gjennom etatsprosjekter og et forskningsrådsprosjekt. Vedlikeholdet bør bli en viktigere del av transportpolitikken enn den har vært til nå. Muligheten for å bruke samfunnsøkonomiske metoder for å prioritere tiltak og finne optimale strategier, er tilstede, men uten en gjennomtenkt strategi for oppbygging av databaser og informasjonssystemer, og uten satsing på kunnskapsoppbygging, vil dataene som vi henter inn ikke kunne utnyttes fornuftig, og forsøkene på nyttekostnadsanalyse vi fortsette å være illustrasjoner på mulige sammenhenger.

Disse konklusjonene samsvarer helt med svenske konklusjoner i Andersson m.fl (2010). Det bør derfor være mulig å samarbeide med svenskene om et slikt program.

Vedlikeholdet er for forskjellig til at alle kan etablere modeller for nedbrytingen, for virkningen av tiltak og for beregninger av kostnader etter samme mal. I rapporten har vi lagt skissert et begrepsapparat som kan brukes til å kartlegge hva som er de viktige sammenhengene på et konkret område, hvilke data som trengs, og hvordan de samfunnsøkonomiske analysene bør legges opp på dette området. Vi har også skissert et overordnet rammeverk for nyttekostnadsanalyse av vedlikehold. Vi er klar over at rapporten vår har svakheter, men håper den kan danne grunnlag for en utvikling videre.

## 7 Litteratur

- Andersson, M., J. Nyström, K. Odolinski, L. Wieweg och Å Wikberg (2008) En strategi för utveckling av en samhällsekonomisk analysmodell for drift, underhåll och reinvestering av transportinfrastruktur. VTI 2010-12-10.
- Aurstad, J. (2005) Evenes lufthavn – Oppfølging av rullebanens langtidsegenskaper. Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn. STF50 A05065.
- Chu, C.-Y. and P.L. Durango-Cohen (2008a) Incorporating Maintenance Effectiveness in the Estimation of Dynamic Infrastructure Performance Models. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* **23**, 174-188.
- Chu, C.-Y. and P.L. Durango-Cohen (2008b) Estimation of dynamic performance models for transportation structure using panel data. *Transportation Research B* **42**, 57-81.
- Dekker, R. and R.E. Wildeman (1997) A Review of Multi-component Maintenance Models with Economic Dependence. *Mathematical Methods of Operations Research* **45**, 411-435.
- Evensen, R. (2006) Vegdekker. Grunnlag for innretting av vegdekkevedlikehold. Sandvika: ViaNova Plan og Trafikk AS.
- Gendreau, M. and P. Soriano (1998) Airport management systems: An appraisal of existing methodologies. *Transportation Research A*, **32**(3), 197-214.
- Lange, G. (2010) Håndbok for vedlikehold og rehabilitering av flyplassdekker. SINTEF, ATI, Forsvarsbygg. ID-nummer AV-H-U007.
- Minken, H., G. Dahl og C. Steinsland (2008) Samfunnsøkonomisk vurdering av vedlikeholdsstrategier, oppgradering og standardutforming i vegnettet. TØI-rapport 957/2008.
- Minken, H. (2009) Rammeverk for nyttekostnadsanalyse og finansieringsanalyse. Arbeidsdokument ØL/2156/2009, TØI.
- Ng, M.W., Z. Zhang and S.T. Waller (2011) The price of uncertainty in pavement infrastructure management planning: An integer programming approach. *Transportation Research C*, **19**(6), 1326-1338.
- Nicolai, R.P. (2008) Maintenance Models for Systems subject to Measurable Deterioration. PhD Thesis, Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Norddal, P.K., H. Svee and H.K. Endresen (2012) RAMS implementation for railways. Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Congress on Maintenance and Asset Management.
- Saltnes, T.E. (2006) Vinter. Grunnlag for innretting av vinterdriften. Sandvika: ViaNova Plan og Trafikk AS.

- Small, K. A., Winston, C., and Evans, C. A. (1989). Road Work; A new highway pricing and investment policy. The Brookings Institution.
- Svee, H. (2011) Håndbok for vedlikehold. Jernbaneverket. Dokument-ID: STY-601058
- SVV (2011) Lærebok. Drift og vedlikehold av veger. VD-rapport nr. 53, Vegdirektoratet.
- ViaNova Plan og Trafikk (2006a) Vegdekker. Grunnlag for innretting av vegdekkevedlikehold.
- ViaNova Plan og Trafikk (2006b) Vinter. Grunnlag for innretting av vinterdriften.

## VEDLEGG 1

### **NTP 2014-2023**

## **Rammeavtale for bistand til analyser i transportetatenes og Avinor sitt arbeid med NTP 2014-2023**

### **Avrop nr.: 43**

Det vises til konkurranse ”Rammeavtale for bistand til analyser i transportetatenes og Avinor sitt arbeid med NTP 2014-2023” gjennomført mars-mai 2010 og kontrakt på arbeidet datert 28.05.2010.

Arbeidsgruppen for samfunnsøkonomisk metode ønsker å gjennomføre avrop knyttet til:

#### ***Kartlegging av vedlikeholdets forskjellighetsart og virkning***

Transportetatene og Avinor v/NTPs metodegruppe ønsker å få identifisert sammenhenger mellom nivået på vedlikehold og kvalitet og ytelse på infrastrukturen slik at det kan være mulig å beregne den samfunnsøkonomiske nytten av vedlikeholdstiltak/fornyelsesprosjekter. Det er også ønskelig med synspunkter knyttet til metode når det gjelder synliggjøring av vedlikeholdseffekter for de ulike etatene.

Vi ønsker en omtale av vedlikeholdet både for transportsektoren generelt og for hver sektor spesielt. Vi ønsker også et forslag til hvordan nedbrytningsfunksjoner kan estimeres, en gjennomgang av datamateriale som foreligger per i dag, og mangler ved dette for å kunne estimere slike sektorspesifikke funksjoner. En utdyping av oppdraget følger under.

Dette prosjektet vil ha områder som grenser til POT-prosjektet. Det forutsettes tett kontakt mellom medarbeiderne på disse prosjektene slik at synergier utnyttes og parallelt dobbeltarbeid unngås.

Oppdraget må ferdigstilles innen 1. desember innenfor en øvre ramme på 400.000 NOK inkl. mva.

Vi ønsker at Transportøkonomisk institutt gir en:

- *Kort beskrivelse av hvordan oppdraget kan løses*
- *Tidsplan*
- *Kostnadsplan*
- *Personell som skal utføre arbeidet*
- *Kontaktperson hos Transportøkonomisk institutt*

## Utdyping av oppdraget og en gjennomgang av hittil kjente sammenhenger

Det kan være hensiktsmessig å skille mellom vedlikehold og driftsoppgaver. Vedlikehold omfatter, i tillegg til forebyggende og korrektivt vedlikehold, også oppgaver av mer driftsmessig karakter, som fornyelser, ballastrensing, merking av kystleie og reasfaltering.

Driftsoppgaver vil omfatte regelmessige tiltak som er uavhengig av trafikken. Eksempler på dette kan være rydding/klipping av vegetasjon langs veg og bane, snørydding og rensing av dreneringsrør og stikkrenner. Litt av bakgrunnen for å kartlegge virkningene av vedlikehold og vedlikeholdets effekt på infrastrukturen er et ønske om en bedre oversikt og evne til å planlegge vedlikehold i fremtiden.

Det foretas store investeringer i alle sektorer og det er viktig å kunne si noe om kostnadene knyttet til vedlikeholdet av de ulike prosjektene. Konsekvensen av å ikke ha denne oversikten er at beslutningen om å foreta en investering kan skje på feil grunnlag.

### *Avinor og Kystverket*

Etatene har ulike vedlikeholdsbehov. Avinor og Kystverket har knutepunkter hvor passasjerene og godset bytter modus (flyplasser og havner). Knutepunktene har behov for vedlikehold. Flyplasser må reasfaltere rullebane mm, mens skipsleia krever vedlikehold av merkingen. Vedlikehold vil påvirke sikkerheten.

### *Statens vegvesen(SVV)*

Behovet for ressurser til vedlikehold av fylkesvegnettet har økt de senere år. Dette skyldes den generelle utviklingen i trafikkarbeidet og en høyere andel tyngre kjøretøyer. Videre vil endrede klimatiske forhold endre nedbrytningsmekanismene.. Virkningen av neglisjert vedlikehold vil resultere i redusert fart og/eller økt ulykkesfrekvens og økte avstandskostnader for person og godstrafikk.

### *Jernbaneverket*

Vedlikehold er en viktig faktor for å sikre at jernbane forblir et attraktivt reisetilbud. Lav punktlighet fører til store kostnader for de reisende som kan tenkes å skifte transportmiddel over tid hvis jernbanens priser blir høye nok. Vedlikeholdet har sammenheng med oppetiden til infrastrukturen. Tilstandsvariablene til jernbane er mange, men kan sammenfattes til et kvalitetstall for linjen. Resultatet av for lite vedlikehold på jernbanen er økte forsinkelser, større ulykkesrisiko og høyere kostnader knyttet til å opprettholde banen på et minimumskrav.

## Vedlikeholdets effekter – en grov, etatsvis beskrivelse

### *Kystverket og Avinor*

En riktig merket skipsled reduserer sannsynligheten for ulykker. En bra asfaltert rullebane vil redusere sannsynligheten for punktering for fly og gi lavere sannsynlighet for hendelser knyttet til slitt rullebane. Det vil også redusere kostnader for flyselskaper på bakgrunn av mindre dekkslitasje.

### *Statens vegvesen*

Vedlikeholdet kan antas å forbedre vegen. Lønnsomheten av ulike tiltak, som (bare) reasfaltere eller øke vegens bæreevne er spørsmål som kan svares på med riktige nedbrytingsfunksjoner.

Vedlikehold vil gi et stabilt vegnett hvor avstandskostnader for gods og persontrafikk holdes relativt faste. Videre kan vedlikehold gi mindre risiko for ulykkesrelaterte hendelser. Det er imidlertid ikke helt klart hvordan trafikantenes risiko kompenseres med en reduksjon i hastighet.

### Jernbaneverket

Nedenfor følger en liste over ulike typer vedlikeholdsarbeid og den potensielle nytten hver enkelt aktivitet vil ha:

Aktivitet	Effekter	Samfunnsøkonomisk Nytte
Fjerning av vegetasjon/skogrydding	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unngår at trær/greiner faller ned på KL og lager driftsforstyrrelser/kortslutning</li> <li>• Bedret siktforhold, gir lokfører bedre mulighet til å planlegge kjøringen</li> <li>• Unngår løvfall på skinner, høstfenomen</li> <li>• Hindrer snø å legge seg på greiner, som faller ned på skinner etter brøyting. Dette kan gi is på skinnegangen ved temperaturforskjeller.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redusert framføringstid</li> <li>• Punktlighetsgevinst</li> <li>• Økt komfort</li> </ul>
Ballastrensing og tilstrekkelig mengde på pukk/profil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindre telehiv</li> <li>• Mindre slitasje på skinner, sviller, befestigelse og materiell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økt komfort</li> <li>• Mindre saktekjøring</li> </ul>
Skinnesliping	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forlenger levetid på skinner, sviller og befestigelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mer komfort</li> <li>• Mindre støy for reisende og mennesker langs linjen</li> </ul>
Drenering/stikkrenner	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduksjon av ujevnheter i sporet</li> <li>• Hindre utgliding av banelegemet</li> <li>• Unngår "vaskesviller"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økt komfort</li> <li>• Mindre saktekjøring</li> </ul>
Skifte av fylling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forlenger levetid på skinner, sviller og befestigelse, samt drenering og pukk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økt komfort</li> <li>• Mindre saktekjøring</li> </ul>
Pakking av pukk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forlenger levetid på skinner, sviller og befestigelse, samt drenering og pukk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økt komfort</li> <li>• Mindre saktekjøring</li> </ul>
Vedlikehold av bruer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forlenger levetid</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unngår bygging av ny bru</li> </ul>
Utskifting av feilkomponenter i bomanlegg planoverganger/veg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduserer bemanning ved feil, samt ettersyn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økt sikkerhet</li> <li>• Lavere vedlikeholdskostnader</li> </ul>
Profilutvidelse av gamle tunneler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etablerer vann- og frostsikring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unngår saktekjøring</li> <li>• Økt sikkerhet</li> <li>• Redusert daglig tilsyn</li> </ul>
Gjerding	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduserer dyrepåkjørslar og andre uønskede hendelser i sporet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økt oppetid og punktlighet</li> <li>• OBS! Gjerding på begge sider kan fange dyr i sporet</li> <li>• OBS! Rovdyr kan spesialisere seg på fanging av vilt ved viltoverganger</li> </ul>
Opprettholdelse og vedlikehold av driftseiendommer og maskinpark	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forlenger levetid på driftseiendommer og utstyr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unngår nedetid på banen grunnet teknisk feil på maskiner/utsetter behovet for nyinvesteringer av maskinpark/driftsbygg</li> </ul>
Fjellrensk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redusering av stein i sporet/avsporing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Økt oppetid på banen</li> <li>• Mindre skade på mennesker og utstyr</li> </ul>



## Hvordan estimerer vi virkningen av vedlikehold – beskrivelse og plan for gjennomføring

Vedlikehold gir i første rekke effekter direkte på den vedlikeholdte delen. For eksempel vil ballastrensing gi effekter i form av et rettere og bedre spor. Dette vil igjen tillate høyere hastigheter som vil gi økt punktlighet. Dette er den prissatte effekten av vedlikehold

Reasfaltering av vegen gir bedre standard i form av en jevnere veg, mens en forbedring av bæreevnen vil gi økt levetid. Dette vil igjen tillate høyere hastighet og/eller mindre hendelser samt reduserte avstandskostnader for brukerne.

Det som da er relevant for å kunne estimere virkningen av vedlikehold, er først å kjenne den fysiske sammenhengen mellom bruk og slitasje på infrastrukturen, dernest å kjenne sammenhengen mellom kvalitet og ytelse.

Denne sammenhengen mellom infrastrukturens tilstand og ytelse er ofte kjent gjennom data som er samlet. For Jernbaneverket kan en se ut i fra kvaliteter på banen og hva gjennomsnittlig ytelse (oppetid) er. Vi kjenner imidlertid ikke sammenhengen mellom bruken av infrastrukturen og tilstanden til infrastrukturen som følge av bruken. Dette er sammenhenger som vil avhenge av akselvekt og lengde. For å kunne si noe om slike sammenhenger trenger vi kunnskap om egenskapene knyttet til infrastrukturen. Vi må vite hvordan infrastrukturen slites ved bruk.

Når vi kjenner denne sammenhengen kan vi sette oss et mål om ytelse og derav ønsket kvalitet på infrastrukturen. Altså deler vi problemet i to:

1) Den første sammenhengen som blir registrert er infrastrukturens ytelse og kvalitet. Kvalitet blir målt i dag ved hjelp av målevogn hos Jernbaneverket og lignende parametere blir registrert hos SVV med en målebil.

Videre har Jernbaneverket et verktøy (TIOS) som registrerer trafikk og forsinkelser i trafikken som er forårsaket av ulike årsaker, deriblant forsinkelser knyttet til infrastruktur. SVV har også ulike tellepunkt men har ikke muligheten til den samme detaljeringsgrad når det gjelder trafikken. Det vil si at Jernbaneverket registrer tog lengder og akselvekt. I SVV måles kun antall aksler og ikke vekten. Vekten på aksel er avgjørende når vi snakker om nedbryting av infrastruktur. Her er det kanskje mulig å gjøre noen antagelser knyttet til akselvekt på godstransport og veksten i akselvekst over tid, men det ideelle er å registre data på akselvekt.

2) Det andre punktet går da ut på å finne en nedbrytingsfunksjon for infrastrukturen for å få et verktøy for å kunne estimere vedlikeholdsbehov i framtiden under visse forutsetninger om veksten i trafikk. Vi kan også se effekten av vedlikehold med en nedbrytingsfunksjon. Avhengig av typen vedlikehold kan vi også registrere om nedbrytingsfunksjonen endrer stigningstall som betyr at infrastrukturen er blitt svakere eller sterkere avhengig av om stigningstallet øker eller minker. Når det gjelder effekten av tiltak vil også dette ligge i datagrunnlaget slik at kostnadseffektive tiltak kan foreslås ved godt innsyn i dataene. Som eksempel kan en konklusjon være at det vil være lønnsomt og fundamentet en veg bedre i stedet for reasfaltering som tiltak mot IRI.

## **Kartlegge hva som finnes av data og beskrive behov for nye data**

Hva finnes i dag, og hva bør vi registrere for å få data i fremtiden?

Under følger en kort oppsummering av hva som per i dag foreligger av data. For mer

Informasjon, ta kontakt med den respektive etat.

### ***Kystverket.***

Kystverket har informasjon om navigasjonsmerker, deres posisjon, teknisk spesifisering og tilstandsgrad. Kystverket har også betydelige vedlikeholdsforpliktelser knyttet til fyrstasjoner og fiskerihavner. Fyrstasjoner inkluderer navigasjonsobjekter og bygningsmasse som for et betydelig antall fyr er klassifisert som kulturminner og er fredet. Oversikten over fiskerihavner der Kystverket har eierinteresser er under stadig utbedring. Tilgjengelig informasjon om vedlikeholdsbehovet for fyrstasjoner og fiskerihavner er av varierende kvalitet.

### ***Avinor***

Ta kontakt med etaten

### ***Statens vegvesen***

SVV registrerer i dag alle tilstandsvariabler ved hjelp av en målebil. Det betyr at det finnes en oversikt over vegens tilstand og historiske tilstand. SVV har også tellepunkter langs vegnettet som registrer kjøretøy differensiert etter hva slag type kjøretøy som passerer (personbil, ulike lastebiler). Det registreres ikke akselvekt på disse tellepunktene. En slik registrering ville betydd en stor gevinst. For å løse oppdraget er det viktig at oppdragstaker finner ut av detaljeringsgraden på registreringen av vedlikeholdstiltak da dette er nødvendig input for finne relevante sammenhenger i utarbeidelsen av en nedbrytingsfunksjon.

### ***Jernbaneverket***

Jernbaneverket har en målevogn som registrerer tilstandsvariablene for infrastrukturen. Dette er data som strekker seg tilbake til 2002. Målevognen registrerer hele jernbanenettet minst to ganger pr. år. Når det gjelder trafikken registreres denne for alle persontog og store deler av godstrafikken. Trafikken blir differensiert over vekt, akselvekt, fart og lengde. Det er noe av godstrafikken som faller utenfor registreringene. Når det gjelder data om utført vedlikehold er dette meget dårlig registrert i Jernbaneverkets datasystemer. Dette er data som bør systematiseres og ikke minst registreres.

## Oppsummering

1. Kort sammenfattet: Etatene og Avinor ønsker en estimering eller identifisering av en antatt fysisk nedbrytingsfunksjon for infrastruktur og sammenhengen mellom kvalitet og ytelse på infrastrukturen. Bakgrunnen for ønsket om slike sammenhenger er at det da kan være mulig å beregne den samfunnsøkonomiske nytten av vedlikeholdstiltak/fornyelsesprosjekter.
2. Det er også ønskelig med synspunkter knyttet til metode når det gjelder synliggjøring av vedlikeholdseffekter for de ulike etatene.

Med hilsen

Hans Otto Hauger  
Gruppe for samfunnsøkonomisk metode  
Nasjonal transportplan

### ***Kontaktpersoner i etatene:***

Cedric Baum – Kystverket  
Marius Fossen – Jernbaneverket  
James Odeck – Statens Vegvesen  
Knut Fulgum - Avinor



## VEDLEGG 2

### Nedbrytning

#### Deterministisk eller stokastisk?

Flere kommersielle vedlikeholdsplanleggingssystemer opererer med stokastisk nedbrytning i form av markovkjeder. Det vil si at gitt nåværende tilstand er det gitte sannsynligheter for at tilstanden neste år skal være slik eller slik eller slik. Det som taler for dette er flere ting. Blant annet er det jo sant at kartleggingen av nåværende tilstand aldri er så grundig at vi kan si med sikkerhet hva tilstanden vil bli neste år. Det som taler mot markovkjeder er blant annet at sannsynlighetene for de ulike utfallene neste år som regel er etablert på nokså løst grunnlag. Ennå viktigere er kanskje at med markovkjeder er det bare tilstanden i år som bestemmer utfallsrommet neste år – forhistorien, eller hvordan tilstanden nå har oppstått, har ingenting å si.

Men forhistorien har noe å si, spesielt hvis den kan si noe om ting som ikke er med i våre tilstandsvariable. Vi tror det foregår en nedbrytningsprosess som ikke fanges opp av de tilstandsvariablene som direkte påvirker brukerne, og at alderen er en god indikator på hvor langt denne prosessen har gått. Men å bruke alderen som en av tilstandsvariablene vil komplisere beskrivelsene av markovsannsynlighetene i høy grad, siden det må formuleres egne sannsynligheter for hver alder.

Dersom analysene blir foretatt med objekter som er sterkt aggregerte, er det et argument mot å bruke markovkjeder. De store talls lov bør jo da gjøre utviklingen av gjennomsnittstilstanden til noe nær deterministisk.

#### Matematiske former for deterministisk nedbrytning

Ved å bruke alderen som en mulig tilstandsvariabel kan vi formulere nedbrytningen i de andre dimensjonene av tilstanden som en funksjon av tre typer av påvirkninger, nemlig alderen, trafikken og miljøet. Den kumulative virkningen av trafikken vil for eksempel være produktet av alderen og den årlige trafikkmengden. Med dette som utgangspunkt foreslår vi nedenfor *tre typer av funksjonssammenhenger* som sammen med alderen skal dekke alle aktuelle former for tilstandsutvikling (nedbrytning) for alle aktuelle tilstandsvariabler på feltene vegdekke, jernbanes kjøreveg og bruer og tunneler, banedekke på flyplasser. (Nedbrytning på Kystverkets område kan nok også dekket her, men trafikken har vel stort sett ingenting å si der, og været har alt å si.)

De tre typene av funksjoner er én der tilstanden bare er en funksjon av tilstanden i forrige periode, én der tilstanden er en funksjon av tilstanden i forrige periode og den kumulative trafikkpåvirkningen, og en der både tilstanden i forrige periode, trafikkpåvirkningen og en naturlig nedbrytning spiller inn. Det er vår oppfatning at alderen pluss disse tre typene av funksjoner vil dekke behovet for alle former for tilstandsutviklingsmodeller som etatene bruker nå eller kunne tenke seg å bruke til analyser av vedlikeholdet på strategisk nivå.

Vi legger altså til grunn at tilstandsvariablene utvikler seg deterministisk etter faste regler som gjelder i enhver periode, men som eventuelt kan være forskjellige for hvert objekt. Disse faste reglene er det vi har kalt nedbrytningsfunksjoner.

I første omgang skal vi anta at, *med unntak av alderen*, vil hver av tilstandsvariablene brytes ned på en måte som ikke påvirkes av hvordan de andre tilstandsvariablene utvikler seg. (I neste omgang vil vi også vurdere tilfellet der tilstandsvariablene kan påvirke hverandre, slik at tilstanden i én dimensjon i periode  $t + 1$  kan avhenge av tilstanden i flere av dimensjonene i periode  $t$ .)

Vi begynner med den tilstandsvariabelen vi har kalt *alderen*, og som kan angi tida (antall perioder) siden siste fulle rehabilitering av objektet. La  $k_t$  være alderen i periode  $t$ . Uten noe tiltak vil denne tilstandsvariabelen utvikle seg slik:

$$(3) \quad \begin{aligned} k_{t+1} &= k_t + 1 \quad t = 1, 2, \dots \\ k_1 &= 1 \end{aligned}$$

Dette betyr bare at alderen regnes i perioder, og at den øker med en periode for hver periode som går.

Vektoren av alle de andre tilstandsvariablene unntatt  $k_t$  vil vi kalle  $\mathbf{s}_t$ . Element nummer  $j$  i  $\mathbf{s}_t$  kaller vi  $s_{t,j}$ .

I den første av to allmenne former på nedbrytningsfunksjonen som fører fra  $s_{t,j}$  til  $s_{t+1,j}$  er nedbrytningsfunksjonen en funksjon av tilstandsvariabelen  $k$ , og kan altså ikke anvendes uten i kombinasjon med  $k$ . Den vil også være en funksjon av konstruksjonens ”styrke”  $D$ , som naturligvis er objektspesifikk. Styrken er en parameter som påvirker nedbrytingstakta på en måte som brukeren vil kunne spesifisere, og kan stå for slike ting som hvor solid vegens underbygning er, hvor godt det dreneres osv. Nedbrytning av dette allmenne slaget vil altså være objektspesifikt av to grunner, både fordi hvert objekt har sin egen alder, og fordi det har sin egen styrke.

Vi begrunner denne funksjonsformen ved å ta utgangspunkt i en lovmessig sammenheng som postuleres på side 29-30 i det klassiske transportøkonomiske verket Small m.fl. (1989). Her heter det at vegdekkets ujamnhhet vokser lineært med det kumulative antallet standardakselekvivalenter (esaler<sup>11</sup>) som har rullet over vegen, og eksponensielt med tida. Det vil si at vi allment har at ujamnheten  $s_t$  følger lova

$$s_t = (s_0 + gxk) e^{mk}$$

der  $s_0$  er den minimale ujamnheten,  $x$  er antall esaler pr. år,  $k$  er antall år siden ujamnheten var minimal,  $m$  er den prosentvise årlige forverringen og  $g$  er en konstant. Uttrykket  $gxk$  fanger opp påvirkningen fra trafikken, men siden denne påvirkningen er kumulativ, er det samtidig en funksjon av tida siden vegdekket var nytt. Eksponensfunksjonen  $e^{mk}$  fanger snarere opp naturens påvirkning, eller

<sup>11</sup> En standardaksel har et akseltrykk på 18 000 pund, eller litt over 8 tonn. En esal (equivalent standard axle load) er altså 8 tonn. De ulike kjøretøygruppenes påvirkning på vegen omregnes til esaler ved å dele kjøretøyets vekt på antall aksler og omregne det framkomne akseltrykket til esaler ved hjelp av en potenslov som sier at antall esaler pr. aksele øker med tredje- eller fjerdepotens av akseltrykket.

tidens tann, om man vil. Alderen  $k$  har altså to roller i samband med vegdekkets nedbrytning. Ved å sette  $g = 0$  får vi en utvikling som er ”naturgitt” og uavhengig av trafikkbelastningen, men med  $m = 0$  får vi en utvikling som bare avhenger av den kumulative slitasjen fra trafikken.

La oss generalisere dette uttrykket litt. I stedet for produktet  $gx$  setter vi den mer generelle formelen  $g(x, D)$ , og samtidig postulerer vi at  $m$  er en funksjon av  $D$ ,  $m = m(D)$ . For  $s_k$  og  $s_{k+1}$  gir det

$$s_k = (s_0 + g(x, D)k) e^{m(D)k}$$

$$s_{k+1} = (s_0 + g(x, D)(k+1)) e^{m(D)(k+1)} = e^{m(D)} [s_0 + g(x, D)k + g(x, D)] e^{m(D)k}$$

Sammenlikner vi første og siste linje ser vi lett at

$$(4) \quad s_{k+1} = e^{m(D)} [s_k + g(x, D) e^{m(D)k}]$$

Likning (2) er den generelle differenslikningen for tilstandsdimensjoner der nedbrytningen avhenger av alderen. Både utviklingen av vegdekkets ujamnheter og spordybden kan for eksempel formuleres med (2). Konkrete parameterverdier til denne funksjonen vil vi finne i diagrammer og tabeller i norske og utenlandske artikler og rapporter.

**Eksempel 1:** For ujamnheter har vi

$$g(x, D) = g(D)x.$$

Hvis nå  $x$  er målt i esaler, vil si at  $g(x, D)$  kunne være det kumulative antall esaler.

**Eksempel 2:** For spordybde viser figurer i SVV (2006) og ViaNova (2006) at vi kan sette

$$m = 0 \text{ og } g(x, D) = a(D) + b(D) \ln x$$

eller eventuelt

$$m = 0 \text{ og } g(x, D) = a(D) + b(D) \ln x + c(D) (\ln x)^2.$$

**Eksempel 3:** For visse typer av komponenter har den kumulative trafikkbelastningen ingen praktisk betydning for nedbrytningen. Det vil si at  $g(x, D) = 0$ , og  $s_{k+1} = s_k e^{m(D)}$ .

**Eksempel 4:** For jernbanen har Jørn Vatn foreslått å bruke vedlikeholdskostnadene  $c$  som tilstandsvariabel med nedbrytningsfunksjon  $c = c_0 (1+d)^{t-t_0}$ .

Setter vi  $t - t_0 = k$ , ser vi at det er et nært slektskap mellom Vatns forslag og likning (2) for det tilfellet at  $g(x, D) = 0$ . Parameteren  $d$  er nemlig en årlig vekstrate, akkurat som  $m$ , og for moderate vekstrater og ikke for lang analyseperiode oppfører de to funksjonene  $(1+m)^T$  og  $e^{mT}$  seg ganske likt.

Brukere som har spesifisert at nedbrytningen i en eller flere tilstandsdimensjoner følger (2), må altså spesifisere funksjonen  $g(x, D)$  og funksjonen  $m(D)$ , eller gi inn  $m$  og  $g$  som konstanter i programmet. Dette må enten gjøres generelt for alle objekter eller objekt for objekt.

Den siste generelle formen som nedbrytningen kan ta, er når den er helt uavhengig av alderen, og bare avhenger av tilstanden i forrige periode og de eksogene variablene  $x$  og  $D$ , dvs.

$$(5) \quad s_{t+1} = f(s_t, x, D)$$

der  $f$  er en funksjon som må spesifiseres for alle objekter eller for hvert objekt. Tilfelle (2) med  $m = 0$  er et spesialtilfelle av (3), men vi kan også tenke oss andre funksjonssammenhenger, uten at vi har eksempler nå.



## VEDLEGG 3

**Nyttekostnadsanalyse av vedlikehold, skisse til metode**

Vi skiller mellom to hovedarter av kostnader, *tilstandskostnad* og *tiltakskostnad*. Tilstandskostnaden deler seg naturlig i *forventede kostnader ved regulær drift* og *forventede feilkostnader*. Derfor kan vi si at det finns tre kostnadsarter: Kostnader knyttet til tiltak, kostnader knyttet til regulær drift, og kostnader knyttet til ikke planlagte driftsavbrudd og innskrenkninger. Vi bruker toppskrift T på tiltakskostnader, R på kostnader ved regulær drift, og F på feilkostnader. For tilstandskostnadene som helhet bruker vi toppskrift S. For summen av tiltaks- og tilstandskostnader bruker vi ingen toppskrift. I hver periode  $t$  og for hver objekt  $\ell$  gjelder da følgende enkle sammenhenger:

$$(6) \quad c_{\ell t}^S = c_{\ell t}^R + c_{\ell t}^F$$

$$(7) \quad c_{\ell t} = c_{\ell t}^S + c_{\ell t}^T = c_{\ell t}^R + c_{\ell t}^F + c_{\ell t}^T$$

Innenfor hver av kostnadsartene er det noen kostnader som bæres av infrastrukturholderen og andre som bæres av brukerne og samfunnet for øvrig. Vi bruker toppskrift A (for agency) på kostnader som bæres av infrastrukturholderen og U (for users) på kostnader som bæres av brukerne og samfunnet for øvrig, altså alle unntatt infrastrukturholderen.

Kostnadene som bæres av brukere og samfunnet for øvrig er av fire slag: For det første har vi kostnadene som bæres av trafikantene, eller med andre ord bilførerne, bilpassasjerene, kollektivpassasjerene og eierne av godset. Disse kostnadene har toppskrift B. For det andre har vi kostnadene som bæres av togselskaper og andre kollektivselskaper. De har oppskrift P (for produsent). For det tredje har vi de eksterne kostnadene som påføres aktører utenfor transportsektoren.<sup>12</sup> De har toppskrift E. Og endelig har vi kostnadene som påføres det offentlige utenom transportsektoren, dvs. skattevirkningene av ressursbruken i transportsektoren. De har toppskrift Y. Alle typer av kostnader er satt opp i tabell 1, med kostnadsartene som rader og aktørgruppene som kolonner.

Alle de femten ulike kostnadskomponentene i den sentrale delen av tabell 1 er aktuelle ved analysen av vedlikeholdsstrategier.

”TA”-kostnaden på tiltaksraden er naturligvis etatens kostnader for selve vedlikeholdsarbeidet, men også ”TU”-kostnadene er aktuelle, fordi vedlikehold ofte innebærer midlertidig stengning, innskrenket drift eller dårlige nestbeste-løsninger for brukerne.

<sup>12</sup> Hit regner vi også restverdien ved utløpet av analyseperioden.

Tabell 1 Kostnader vedrørende objekt  $\ell$  i år  $t$  etter art og aktørgruppe.

		privat			offentlig		del-sum	sum
		trafikanter	produsent	ekstern	skatt	eier		
tiltak		$C_{\ell t}^{TUB}$	$C_{\ell t}^{TUP}$	$C_{\ell t}^{TUE}$	$C_{\ell t}^{TUY}$	$C_{\ell t}^{TA}$		$C_{\ell t}^T$
tilstand	regulær	$C_{\ell t}^{RUB}$	$C_{\ell t}^{RUP}$	$C_{\ell t}^{RUE}$	$C_{\ell t}^{RUY}$	$C_{\ell t}^{RA}$	$C_{\ell t}^R$	$C_{\ell t}^S$
	avbrudd	$C_{\ell t}^{FUB}$	$C_{\ell t}^{FUP}$	$C_{\ell t}^{FUE}$	$C_{\ell t}^{FUY}$	$C_{\ell t}^{FA}$	$C_{\ell t}^F$	
delsum		$C_{\ell t}^{UB}$	$C_{\ell t}^{UP}$	$C_{\ell t}^{UE}$	$C_{\ell t}^{UY}$			
sum		$C_{\ell t}^U$				$C_{\ell t}^A$		$C_{\ell t}$

”RA”-kostnaden på linja ”regulær” er daglig, ukentlig, månedlig eller årlig rutinemessig vedlikehold og driftskostnader, og kan nok settes til null i de aller fleste tilfeller, siden disse oppgavene og de medfølgende kostnadene normalt ikke endrer seg med noen av tiltakene som vi tester. ”RU”-kostnadene avhenger av objektets tilstand, for eksempel fordi en dårlig tilstand medfører lavere fart, flere ulykker og økte kostnader til reparasjon og vedlikehold av kjøretøy og rullende materiell. Lavere fart kan igjen medføre økt materiellbehov i kollektivtrafikk og godstrafikk.

”FA”-kostnaden på linja ”avbrudd” er etatens utgifter til feilsøking, ikke planlagt vedlikehold og etablering av alternative tilbud til trafikantene i forbindelse med driftsavbrudd, vegstengning og liknende. Denne posten er en (muligens optimal) miks av kostnader ved å ha reserveløsninger klar for påkommende tilfeller og kostnader som likevel oppstår når noe skjer. ”FU”-kostnadene er trafikantenes og selskapenes forventede kostnader i forbindelse med driftsavbrudd, uhell og hendelser.

Oppdelingen på kolonnene ”bruker”, ”produsent” og ”ekstern” er relevant fordi kostnadene i hver av kolonnene beregnes på forskjellig måte. For å ta jernbanen som eksempel, så vil vi føre beregninger av tidstap og pålitelighetsproblemer for trafikantene under ”bruker”, økt materiellbehov for togselskapene under ”produsent” og økte ulykker og restverdi under ”ekstern”. Siden vi altså uansett vil ha separate kostnadsberegninger for hver aktørgruppe, kan vi også godt rapportere dem separat. Opplegget i tabell 1 samsvarer dessuten også i hovedsak med hvordan vi rapporterer nyttekostnadsanalyser av investeringsprosjekter.

Kolonnen ”eier” må også skilles ut som egne poster, fordi det er disse kostnadene som skal finne plass innfor et årlig vedlikeholdsbudsjett.

## Skatt

Kolonnen ”skatt” i tabell 1 i teksten trengs av følgende grunn: I siste instans skal våre kostnadsberegninger inngå i en nyttekostnadsanalyse. Vi tar med drivstoffavgiftene når vi beregner kostnadene for bruker og produsent, og må derfor også ta med *inntektsvirkningen av drivstoffavgiftene* for det offentlige. Men det offentlige får ikke like mye inn på disse avgiftene som husholdningene betaler. For når husholdningene bruker en krone mer på drivstoff, må de bruke en krone mindre på andre varer, og det innebærer et tap av momsinntektene som det

offentlige ville fått på forbruket av disse varene. Skatten som vi fører som kostnad for brukerne er altså større enn skatten som vi fører som inntekt for det offentlige. Det er bare nettoinntekten for det offentlige som føres i kolonnen ”skatt”.

Det er også en annen grunn til at det privat sektor betaler i skatter og avgifter på transport, ikke er lik den samfunnsøkonomiske verdien av det offentliges inntekt fra slike skatter. Skattleggingen fører nemlig til at prisen på skattlagte ressurser ikke er lik den marginale kostnaden, og dette medfører et samfunnsøkonomisk tap. I tråd med Finansdepartementets retningslinjer for samfunnsøkonomiske analyser skal vi derfor multiplisere alle inn- og utbetalinger over offentlige kasser (og dermed summen av de to kolonnene skatt og eier) med skattefaktoren 1,2. Det medfører at overføringer mellom offentlig og privat sektor ikke nuller seg ut, men får en vekt på 0,2 ganger nettobeløpet i de samfunnsøkonomiske regnestykkene. Både dette forholdet og det forholdet at inntektene fra drivstoffavgiftene ikke kan føres på det offentliges konto med sitt fulle beløp, tilsier at altså vi ikke vil kunne eliminere drivstoffavgiftene som en rein overføring. Den relevante formelen for hva som skal føres, finnes for eksempel i Minken (2009).

Vi bruker pris lik brutto lønnskostnad når vi beregner arbeidskostnader i alle kolonner der det er aktuelt (alle kolonner unntatt ”skatt”). Under forutsetningen om full sysselsetting vil skatt på lønnsinntekt og arbeidsgiveravgift ikke gi noe utslag for det offentlige, for om vi bruker mer arbeidskraft på vedlikehold i transportsektoren, vil det bli mindre skatt innbetalt fra andre sektorer. Det vil altså ikke være behov for å føre inntekter fra skatt på arbeidskraft under kolonnen ”skatt”.

Hva så med andre skatter og avgifter enn avgiftene på drivstoff og skatter og avgifter på arbeidskraft? All moms som produsentene betaler, får de refundert, så det har ingen betydning. All moms som husholdningene betaler, fortrenger momsinnbetalinger på andre varer. Det kan være litt ulike momssatser, men det ser vi bort fra. De aller fleste andre ressurser som forbrukes i våre vedlikeholdsstrategier, slik som maskiner, olje, skinner, maling osv. kan det anskaffes mer av til faste verdensmarkedspriser, om det trengs, og de skal derfor verdsettes eksklusive skatter og avgifter. Se Minken (2009) for detaljer.

Det eneste problemet som eventuelt gjenstår, gjelder hvilke priser vi skal bruke på asfalt, pukk og masser av ulikt slag. All moms som etaten faktisk betaler, bør være med i kostnadene i kolonnen eier, siden det belaster vedlikeholdsbudsjettet. Dersom forbruket av slike ting fortrenger forbruket av de samme massene i andre prosjekter som ville vært villig til å betale prisen inklusive moms, er prisen inklusive moms den riktige samfunnsøkonomiske prisen. Men dersom massene kan framskaffes ved nyproduksjon, må momsen føres som inntekt under ”skatt”, slik at prisen blir eksklusive moms når vi ser alle kolonnene under ett.

Dette betyr at kolonnen ”skatt” bare vil inneholde inntekter fra drivstoffavgiftene (inklusive moms, men med fratrukk for tapte momsinntekter på fortrent forbruk), samt eventuelt momsinntekter fra noe av det offentliges forbruk av ressurser til vedlikehold. Alle elementer i  $c_t^{UY}$  er altså negative (de er inntekter, ikke kostnader), og de er de eneste elementene i hele tabell 1 som er negative.

## Programmering

Det burde være mulig å programmere et nyttekostnadsverktøy som kan brukes på vedlikeholdstiltak og vedlikeholdsstrategier generelt. Rammeverket vi har behandlet nå, bør være generelt, men modellverktøyet bør også kunne ha ulik utforming avhengig av hva slags type samfunnsøkonomisk analyse man velger. Nedenfor skisserer vi en programmerbar framgangsmåte som er konsistent med framgangsmåten som brukes ved nyttekostnadsanalyse av infrastrukturvesteringer. Når vi bare har med ett objekt å gjøre, blir framgangsmåten naturligvis enklere. Det kan også finnes andre tilnærminger og forenklinger.

## Felles trekk ved alle kostnadselementene

Alle elementene i tabell 1 har det til felles at de er neddiskonterte størrelser. Alle elementene i linja ”tiltak” er dessuten funksjoner av både tiltaket  $\mathbf{r}_t$  i periode  $t$  og tilstanden  $\mathbf{s}_t$  i samme periode, mens alle elementer i linjene ”regulær” og ”avbrudd” er funksjoner av  $\mathbf{s}_t$ .

Så hvis  $\rho$  er kalkulasjonsrenta og  $j \in \{\text{RUB, FUB, RUP, FUP, RUE, FUE, RUY, FUY, RA, FA}\}$ , så gjelder

$$(8) \quad c_{\ell t}^j = (1 + \rho)^{-t} \cdot \tilde{c}_{\ell t}^j(\mathbf{s}_t)$$

der  $\tilde{c}_{\ell t}^j(\mathbf{s}_t)$  er en funksjon som ikke avhenger av  $t$  på annen måte enn gjennom  $\mathbf{s}_t$ .

Og hvis  $j \in \{\text{TUB, TUP, TUE, TUY, TA}\}$ , så gjelder

$$(9) \quad c_{\ell t}^j = (1 + \rho)^{-t} \cdot \tilde{c}_{\ell t}^j(\mathbf{s}_t, \mathbf{r}_t)$$

der  $\tilde{c}_{\ell t}^j(\mathbf{s}_t, \mathbf{r}_t)$  er en funksjon som ikke avhenger av  $t$  på annen måte enn gjennom  $\mathbf{r}_t$  og  $\mathbf{s}_t$ .

Kalkulasjonsrenta må kunne velges av den som bruker datasystemet, men er i utgangspunkt satt til 0,045. Ved å sette  $\rho = 0$  får man om ønskelig et problem uten neddiskontering.

## Definitoriske sammenhenger

Sammenhengene (1) og (2) gjenfinder vi i de to kolonnene lengst til høyre i tabell 1.

Av kolonnene ”trafikanter”, ”produsent”, ”ekstern” og ”skatt” i tabellen har vi:

$$(10) \quad c_{\ell t}^{Uk} = c_{\ell t}^{TUK} + c_{\ell t}^{RUK} + c_{\ell t}^{FUK}, \quad k \in \{B, P, E, Y\}$$

Av kolonnen ”eier” har vi:

$$(11) \quad c_{\ell t}^A = c_{\ell t}^{TA} + c_{\ell t}^{RA} + c_{\ell t}^{FA}$$

Av de to siste linjene i tabellen har vi:

$$(12) \quad c_{\ell t}^U = c_{\ell t}^{UB} + c_{\ell t}^{UP} + c_{\ell t}^{UE} + c_{\ell t}^{UY}$$

$$(13) \quad c_{\ell t} = c_{\ell t}^U + c_{\ell t}^A$$

De samlede kostnadene i tilknytning til objekt  $\ell$  i periode  $t$  kan altså enten splittes i brukerkostnader pluss infrastrukturholderkostnader i henhold til (8), eller i tilstandskostnader pluss tiltakskostnader i henhold til (2), alt ettersom vi summerer over kolonner eller linjer.

### Kostnadsdata til nyttekostnadsanalysen

Anta analyseperioden består av  $M$  perioder fra  $t = 1$  til  $t = M$ . La en stjerne i stedet for indeksen  $\ell$  bety summering over alle objekter, og en stjerne i stedet for indeksen  $t$  bety summering over alle perioder. Den samfunnsøkonomiske kostnaden ved en vedlikeholdsstrategi er

$$(14) \quad W = (-1) \left[ c_{**}^{UB} + c_{**}^{UP} + c_{**}^{UE} + \lambda (c_{**}^{UY} + c_{**}^A) \right]$$

der  $\lambda$  er skattefaktoren (dvs. 1,2). Når vi skal finne nytten av å øke budsjettet, kjøper vi først et nullalternativ, som er gitt ved de årlige budsjettene som vi kan regne med i utgangspunktet, og beregner  $W_0$ . Denne verdien må lagres automatisk for sammenlikning med alle etterfølgende tiltaksalternativ  $W_n$ , som består i endring av budsjettene i ett eller flere år.

Den samfunnsøkonomiske lønnsomheten (netto nytte) blir naturligvis

$$(15) \quad V_n = W_n - W_0$$

La budsjettet i periode  $t$  i nullalternativet være

$$(16) \quad B_t^0 = (1 + \rho)^{-t} \tilde{B}_t^0$$

Budsjettbetingelsen blir da:

$$(17) \quad c_{*t}^A \leq B_t^0$$

Et tiltak er ett sett av nye budsjetter,  $\{B_t^0\}_{t=1}^M$ . Vi kan få fram netto nytte pr.

offentlig krone som et slags snitt over alle periodene ved å neddiskontere alle de periodevise budsjettene og bruke den neddiskonterte budsjettendringen under brøkstreken:

$$(18) \quad NNB = \frac{V_n}{B_*^1 - B_*^0}$$

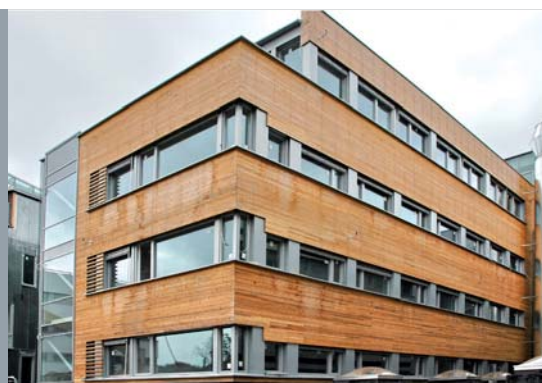
Men det finns også andre aktuelle former for tiltak som kan nytteberegnes. Vi kan for eksempel tenke oss at det kan gjennomføres en større rehabilitering i et gitt år  $T$ , med den virkning at nedbrytningsfunksjonene endres. For å nyttekostnadsberegne det må vi først beregne den neddiskonterte kostnaden fra år 1 til år  $T$  med de gamle nedbrytningsfunksjonene, og deretter kostnaden fra  $T + 1$  til  $M$  med den nye, og så sette sammen kostnaden ved tiltaksalternativet  $W_1$  av disse to bitene, og sammenlikne med nullalternativet som før. Dette er grunnen til at vi må kunne summere over kortere perioder enn hele analyseperioden. Netto nytte pr budsjettkrone i dette tilfellet finnes ved å dele på den eksogent gitte tiltakskostnaden.

**Besøks- og postadresse:**

Transportøkonomisk institutt  
Gaustadalléen 21  
NO 0349 Oslo

Telefon: 22 57 38 00  
Telefaks: 22 60 92 00  
E-post: [toi@toi.no](mailto:toi@toi.no)

[www.toi.no](http://www.toi.no)

**Transportøkonomisk institutt (TØI)**  
**Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning**

TØI er et anvendt forskningsinstitutt, som mottar basisbevilgning fra Norges forskningsråd og gjennomfører forsknings- og utredningsoppdrag for næringsliv og offentlige etater. TØI ble opprettet i 1964 og er organisert som uavhengig stiftelse.

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside [www.toi.no](http://www.toi.no).

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se [www.ciens.no](http://www.ciens.no)). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafikk sikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transporter og generell transportøkonomi.

Transportøkonomisk institutt krever opphavsrett til egne arbeider og legger vekt på å opptre uavhengig av oppdragsgiverne i alle faglige analyser og vurderinger.