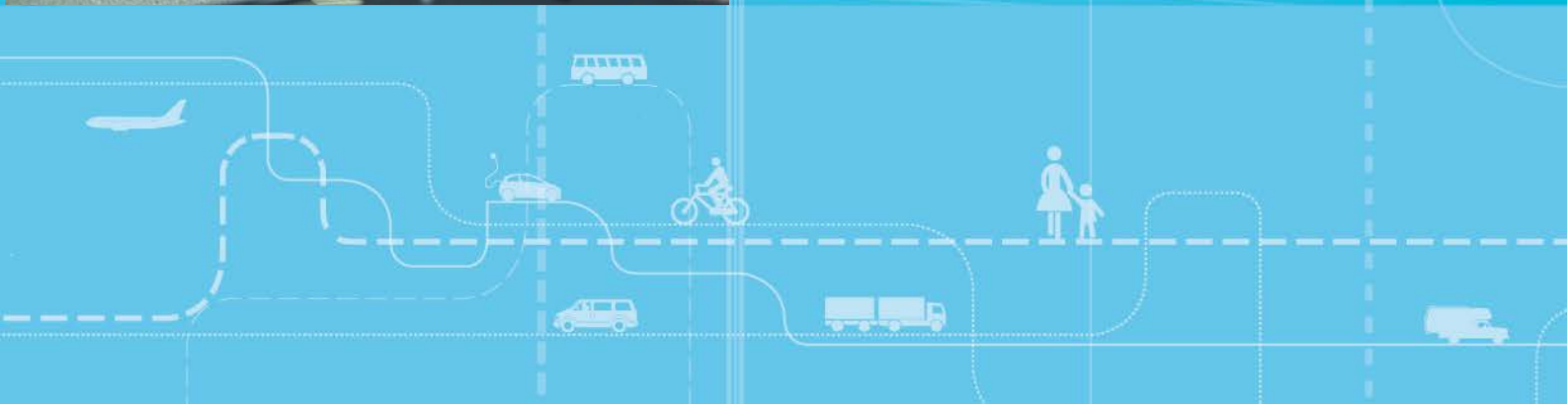


Samfunnsøkonomisk vurdering av innsats innen drift og vedlikehold



Samfunnsøkonomisk vurdering av innsats innen drift og vedlikehold

Harald Minken

Forsidebilde: Samferdsels temaarkiv

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.

Tittel: Samfunnsøkonomisk vurdering av innsats innen drift og vedlikehold

Forfattere: Harald Minken

Dato: 12.2015

TØI rapport: 1460/2015

Sider 22 + vedlegg

ISBN Elektronisk: 978-82-480-1687-8

ISSN 0808-1190

Finansieringskilde: Avinor
Jernbaneverket
Kystverket
Statens vegvesen Vegdirektoratet

Prosjekt: 4248 - Avrop 41 Samfunnsøkonomisk vurdering av innsats innen drift og vedlikehold

Prosjektleder: Kjell Werner Johansen

Kvalitetsansvarlig: Kjell Werner Johansen

Emneord: Etterslep
Fornyelse
Samfunnsøkonomisk analyse
Vedlikehold

Sammendrag:

Den samfunnsøkonomiske nytten av å lukke etterslepet i vedlikeholdet av vegdekker og vegfundament på riksvegene i løpet av 12 år, er 15 milliarder kroner, ifølge beregninger foretatt av ViaNova Plan og Trafikk. Tilsvarende beregninger av nytten av å øke vedlikeholdsbudsjettene i jernbanesektoren har foreløpig ikke gitt noe resultat. Vi anbefaler å arbeide videre med samfunnsøkonomiske beregninger av økt vedlikeholdsinnsats i alle etatene.

Title: Economic evaluation of increasing the funds for upkeep and maintenance

Author(s): Harald Minken

Date: 12.2015

TØI report: 1460/2015

Pages 22 + appendices

ISBN Electronic: 978-82-480-1687-8

ISSN 0808-1190

Financed by: Avinor
The Norwegian Coastal Administration
The Norwegian National Rail Administration
The Norwegian Public Roads Administration

Project: 4248 - Avrop 41 Samfunnsøkonomisk vurdering av innsats innen drift og vedlikehold

Project manager: Kjell Werner Johansen

Quality manager: Kjell Werner Johansen

Key words: Backlog
Cost-benefit analysis
Maintenance
Rehabilitation

Summary:

The net benefit of closing the maintenance backlog of pavements on the national road system in Norway amounts to NOK 15 billion, according to calculations made by ViaNova Plan and Traffic. Similar calculations of the net benefit of increasing the maintenance budget in the rail sector have not reached a conclusion as yet. We recommend that the agencies in all transport sectors continue to work on assessing the economic value of increasing the maintenance effort.

Language of report: Norwegian

Rapporten utgis kun i elektronisk utgave.

This report is available only in electronic version.

Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no

Forord

Gruppen for transportanalyser og samfunnsøkonomi i transportetatenes NTP-organisasjon har bedt TØI om hjelp til å gjennomføre samfunnsøkonomiske analyser med sikte på belyse hvilket nivå for drift og vedlikehold som skal foreslås i etatenes forslag til neste nasjonale transportplan. Hver etat bestemmer hvilke drift- og vedlikeholdsområder som den ønsker å gjennomføre beregninger på. Statens vegvesen har gjennomført sine beregninger på egen hånd, mens Jernbaneverket og TØI har samarbeidet om beregninger på jernbaneanrådet. I tillegg har TØI koordinert forutsetningene for beregningene og bidratt med et felles metodisk rammeverk for etatenes arbeid.

Denne rapporten skisserer et felles metodisk rammeverk for ulike former for samfunnsøkonomiske analyser av drift og vedlikehold, og gir en kort oppsummering av de gjennomførte analysene. Detaljerte rapporter om analysene ligger ved i to separate vedlegg. Disse vedleggene står for forfatterens egen regning.

Cand oecon Harald Minken har ledet prosjektet og skrevet hovedteksten i rapporten. Assisterende instituttdirektør Kjell Werner Johansen har stått for kvalitetssikringen, og sekretær Trude Rømning har foretatt den avsluttende tekstbehandlingen.

Oslo, desember 2015
Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
direktør

Kjell Werner Johansen
avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

1	Bakgrunn	1
2	Metodisk rammeverk	3
2.1	Optimal fornying.....	4
2.2	Forebyggende vedlikehold	5
2.3	Økte budsjetter	6
2.4	Etterslep.....	6
2.5	Former for samfunnsøkonomisk analyse av drift, vedlikehold og fornying	8
2.5.1	Etterslepsberegninger	8
2.5.2	Budsjettøkning	8
2.5.3	Reallokering av budsjettet	9
2.5.4	Forebyggende vedlikehold	9
2.5.5	Endringer av standarder og krav	9
2.6	Verktøy og modeller	10
3	Analyser	11
3.1	Avinor og Kystverket.....	11
3.2	Statens vegvesen	11
3.3	Jernbaneverket	14
4	Definisjoner	17
4.1	Om notatet av 30. september 2014.....	17
4.2	Alternative definisjoner	19
5	Konklusjoner	20
	Litteratur	22

Vedlegg 1: VIANOVA notat. Vegdekker: Lukking av etterslep.
Samfunnsøkonomisk analyse

Vedlegg 2: TØI arbeidsdokument 50857, Samfunnsøkonomisk vurdering av å øke vedlikeholdsbudsjettet i jernbanesektoren

Sammendrag:

Samfunnsøkonomisk vurdering av innsats innen drift og vedlikehold

TØI rapport 1460/2015
Forfatter: Harald Minken
Oslo 2015 22 sider + vedlegg

Den samfunnsøkonomiske nytten av å lukke ettersteplet i vedlikeholdet av vegdekker og vegfundament på riksvegene i løpet av 12 år, er 15 milliarder kroner, ifølge beregninger foretatt av ViaNova Plan og Trafikk. Mesteparten av gevinsten stammer fra de mest trafikkerte vegene. Tilsvarende beregninger av nytten av å øke vedlikeholdsbudsjettene i jernbanesektoren har foreløpig ikke gitt noe resultat. Vi anbefaler å arbeide videre med samfunnsøkonomiske beregninger av økt vedlikeholdsinnsats i alle etatene.

Lenge mente mange at nyttekostnadsanalyse utelukkende egnet seg til én ting, nemlig å velge trasé når det skulle bygges en ny veg. Sjøl om det var på dette området at nyttekostnadsanalysen først fikk en standardisert form, har den imidlertid alltid i prinsipp vært en metode som lar seg bruke over et svært bredt felt.

Oppdraget

Samferdselsdepartementets retningslinjer for arbeidet med Nasjonal transportplan 2018-2029 drøfter behovet for å inkludere drift og vedlikehold i planen, og understreker at det bør jobbes videre med å utvikle verktøy og metoder til støtte for dette. Spesielt ber departementet om at man vurderer hva som blir ressursbruken ved to ulike alternativer: 1) vedlikeholdsetterslepet øker ikke i planperioden, og 2) vedlikeholdsetterslepet reduseres slik at ettersteplet tas igjen i planperioden. TØI har fått i oppdrag å samordne etatenes arbeid med dette og bistå i utarbeidelsen av konkrete analyser i Jernbaneverket og Kystverket.

Metodisk rammeverk

Til hjelp for det pågående og framtidige arbeidet har vi utarbeidet et metodisk rammeverk for samfunnsøkonomisk analyse av vedlikeholdsinnsats i transportsektoren. Det er fem aktuelle former for slike analyser:

Nytten av å avvikle vedlikeholdsetterslep. I et samlet program for å øke effektiviteten i transportsystemet bør eliminering av vedlikeholdsetterslepet være første post. Når det er gjort, kan den samfunnsøkonomiske analysen gå videre og se på langsiktige forbedringsmuligheter.

Nyttekostnadsanalyse av å øke nivået på vedlikeholdsbudsjettet. Det kan gjøres ved å finne det samfunnsøkonomisk beste intervall mellom fornyingene for infrastrukturobjektene, gitt det budsjettet som finns, og deretter gjenta prosessen for et økt budsjett, med eller uten andre nødvendige endringer i tillegg. Eller en kan direkte beregne skyggeprisen på budsjettrestriksjonen.

Nytten av å fordele budsjettet annerledes. Fra et samfunnsøkonomisk synspunkt vil det kunne være gevinster å hente ved å fordele midlene annerledes mellom distrikter, mellom typer av infrastruktur eller på andre måter. Men en slik omfordeling kan støte an mot andre legitime samfunnshensyn.

Nytten av å øke forebyggende vedlikehold. Mens omfanget av korrektivt (avbøtende) vedlikehold kan sees som en konsekvens av fornyingstakta, vil preventivt (forebyggende) vedlikehold ha som formål å utsette eller redusere omfanget av fornying. Den samfunnsøkonomiske nytten av dette består dels i at brukerne opplever lavere kostnader og ulemper, og delvis i at dyre fornyingstiltak kan gjennomføres sjeldnere.

Nytten av å endre standarder og krav. På vedlikeholdsområdet vil det være mye som blir gjort på grunnlag av faste standarder, krav og retningslinjer. Tradisjonelt er slike ting fastsatt ut fra ingeniørfaglige betraktninger, med eller uten basis i samfunnsøkonomiske vurderinger.

Analyse av å lukke vedlikeholdsetterslepet i riksvegsektoren

På vegne av Statens vegvesen har ViaNova Plan og Trafikk gjennomført en analyse av nytten av å lukke etterslepet i vedlikeholdet av vegdekker og vegfundament på riksvegnettet, dvs. en analyse av den første av de fem typene. Beregningene viser at den samfunnsøkonomiske gevinsten ved å lukke etterslepet på 12 år er 15 milliarder kroner, beregnet over en analyseperiode på 40 år. Dette resultatet er som forventet, fordi vedlikeholdsstandarden er fastsatt basert på samfunnsøkonomisk analyse med mål om en samfunnsøkonomisk optimal standard.

Mesteparten av gevinsten stammer fra de mest trafikkerte vegene. Også dette er som forventet. Nyttens avhenger av hvor mange som bruker vegen. De minst trafikkerte vegene kan dessuten ha fått en standard som ligger noe over den samfunnsøkonomisk optimale, ut fra en tankegang om at der det er vedtatt å ha en veg, må denne holde en viss minstestandard.

ViaNovas rapport er tatt inn som vedlegg 1 i den foreliggende rapporten.

Analyse av å øke vedlikeholdsbudsjettet i jernbanesektoren

Jernbaneverket har, i samarbeid med TØI, arbeidet med en analyse av type 2. Utgangspunktet har vært en modell som er framstilt i kapittel 2 i TØI-rapport 1380/2014. I denne modellen finnes det bare ett virkemiddel for hvert infrastrukturelement, og det er å bestemme når objektet skal fornyes første gang etter åpning. Alle seinere fornyinger skjer med samme intervall. Forebyggende og avbøtende vedlikehold antas å være styrt på en kjent måte. Problemstillingen er om det lønner seg samfunnsøkonomisk å øke det samlede budsjettet for hele nettet til disse tre formene for vedlikehold. Hvis budsjettet ikke er noen begrensende faktor, vil fornyingstakten for hvert objekt være raskere enn om budsjettet setter begrensninger, og brukerne vil unngå ulempene som knytter seg til de ekstra årene før en ny fornying. Modellen gir skyggeprisen på budsjettet, dvs. de reduserte kostnadene for brukerne og etaten ved en marginal budsjettøkning som gjør det mulig å fornye oftere.

Flere forhold har bidratt til at vi ikke har fått noen resultater av modellen. For det ene har vi ikke hatt data for alle former for brukerkostnader. Dermed har

brukerkostnadene blitt for små, hvilket igjen har medført at modellen så å si ikke har annen løsning enn den hvor budsjettet ikke er bindende. Videre har vi også har problemer med datakvalitet, og vi har ikke lyktes med å eliminere virkningen av politiske omprioriteringer og etterslepsproblematikk når vi skulle estimere hvordan infrastrukturens tilstand endrer seg over en fornyingsyklus. Vi kan imidlertid konstatere at fra et samfunnsøkonomisk synspunkt synes det ikke å være lønnsomt å holde banestrekningene med minst trafikk i skikkelig stand. Det er som ventet, men det kan finnes andre samfunnshensyn som tilsier at også disse strekningene skal fornyes regelmessig. For strekninger med høy trafikk ser det ut til at fornyingstakten stort sett skal samsvare med Jernbaneverkets normale levetider.

Arbeidet med analysene i jernbanesektoren er rapportert i et arbeidsdokument fra TØI som er vedlagt denne rapporten som vedlegg 2.

Framtidig arbeid

Samfunnsøkonomiske analyser av vedlikeholdsinnsetningen i Kystverket og Avinor støter på spesielle problemer, og har ikke vært gjennomført i denne omgangen.

De fem punktene utgjør analyser på et ganske bredt felt. Mye arbeid har vært gjort på dette feltet i de siste 10-15 årene, kanskje særlig i Statens vegvesen, men også i Jernbaneverket. Men det var ikke å vente at etatene skulle komme veldig mye lengre på dette feltet i løpet av noen måneder. Hvis vi skal få mer omfattende resultater i neste runde med NTP-planlegging, bør det allerede nå bli vurdert hvilke deler av et slikt fempunktsprogram en vil ha utført arbeid på. Det aller viktigste er kanskje likevel det grunnleggende forskningsarbeidet på sammenhengen mellom ulike tilstandsparametre og trafikantenes kostnader, og mellom ulike typer av tiltak og virkningen de vil ha på tilstandsparametrene.

1 Bakgrunn

Lenge mente mange at nyttekostnadsanalyse utelukkende egnert seg til én ting, nemlig å velge trasé når det skulle bygges en ny veg. Sjøl om det var på dette området at nyttekostnadsanalysen først fikk en standardisert form, har den imidlertid alltid i prinsipp vært en metode som lar seg bruke over et svært bredt felt. Derfor har vi i mange år nå hatt bestemmelser om at samfunnsøkonomisk analyse skal brukes «i nødvendig utstrekning» til å bedømme alle større offentlige reformer, regelendringer og tiltak.¹

Med begrepet samfunnsøkonomiske analyser mener vi i transportsektoren en analyse av både prissatte og ikke-prissatte konsekvenser av et tiltak. Det finns to hovedformer for samfunnsøkonomiske analyser: For tiltak der det er praktisk mulig å velge ulike alternativer for innsatsen, er det nyttekostnadsanalyse som er mest aktuelt, men for tiltak der det er spørsmål om ulike måter å oppnå en gitt tilstand på, er det kostnadseffektivitetsanalyse som er hensiktsmessig. Begge deler kan komme til anvendelse på vedlikeholdsområdet, men det er nyttekostnadsanalyse som er mest aktuelt når det gjelder spørsmål om hvor mye budsjettmidler som skal brukes til vedlikehold, eller hvor strenge krav til oppnådd standard og brukerkomfort som vedlikeholdet skal ta sikte på å innfri.

De siste ti årene har vedlikeholdsetterslep og mangelfullt vedlikehold blitt sentrale spørsmål i transportpolitikken. Vedlikeholdet har fått en stadig større plass i de siste nasjonale transportplanene. Særlig gjelder det planen som nå er under utarbeiding. Punkt 5.4.2 i Samferdselsdepartementets retningslinjer for transportetatens og Avinors arbeid i planfasen til Nasjonal transportplan 2018-2029, som pågår nå, behandler hvordan drift og vedlikehold skal inkluderes i planen. I analyse- og strategifasen, som pågikk i fjor, har etatene og Avinor gitt oppdaterte tall for drifts- og vedlikeholdsbehov og vedlikeholdsetterslep. De mangler imidlertid metoder og verktøy for å gjøre en samlet prioritering. Departementet understreker derfor nå at det bør derfor jobbes videre med å utvikle verktøy og metoder som støtte for de avveiningene som skal gjøres i plangrunnlaget, og at bruk av samfunnsøkonomiske analyser på delelementer vil være en støtte til avveiningene.

For å illustrere konsekvensene av ulike nivåer for prioriteringer av drift og vedlikehold (inkludert fornying) av den statlige infrastrukturen, ber departementet i retningslinjene om at man vurderer hva som blir ressursbruken ved to ulike alternativer:

- 1) vedlikeholdsetterslepet øker ikke i planperioden, og
- 2) vedlikeholdsetterslepet reduseres slik at etterslepet tas igjen i planperioden.

Styringsgruppa for NTP-arbeidet har gitt gruppa for transportanalyse og metode i oppdrag å gjennomføre det departementet her ber om, dvs. å jobbe videre med verktøy og metoder som kan støtte avveiningene som skal gjøres i plangrunnlaget, og vurdere hvordan samfunnsøkonomiske analyser kan benyttes i vurdering av nivå på

¹ «Det skal i nødvendig utstrekning inngå grundige og realistiske samfunnsøkonomiske analyser», Utredningsinstruksens punkt 2.3.1. Hele instruksjonen finnes på <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/utredningsinstruksen/id107582/>.

vedlikeholdet. Grappa for transportanalyse og metode, på sin side, har videre gitt TØI et oppdrag som berører flere av punktene departementet tar opp:

For det første har vi fått i oppdrag å oppsummere arbeidet som er gjort på drifts- og vedlikeholdsområdet i etatene til nå, spesielt med sikte på at en er enige om definisjoner. Dette oppdraget er utført, og rapporteres kort i kapittel 4.

Videre har TØI i oppdrag å koordinere forutsetningene for de beregningene som skal gjøres på drifts- og vedlikeholdsområdet i etatene i planfasen. Vi har løst oppdraget ved å utvikle et felles metodisk rammeverk, der de ulike formene for analyse inngår, hver med sine forutsetninger. Dette er rapportert i kapittel 2.

Endelig har TØI også i oppdrag å samarbeide med ViaNova om beregninger av dekkevedlikehold for Statens vegvesen, og samle inn data og gjennomføre beregninger for Jernbaneverket og Kystverket, hver innen 1-2 drift- og vedlikeholdsområder. Denne delen av oppdraget er løst slik:

ViaNova har foretatt nettopp en slik analyse av ressursbruken og vedlikeholdssetterslepet som departementet har bedt om, nemlig en sammenlikning mellom å holde vedlikeholdsetterslepet konstant i 12 år og å eliminere det over 12 år. Analysen gjelder dekkevedlikehold på riksvegene. Den kan oppfattes som en samfunnsøkonomisk analyse, der det å holde vedlikeholdsetterslepet konstant er nullalternativet, og det å avvike det er handlingsalternativet. Vi har ikke sett behov for å gripe inn i dette arbeidet, som er utført av våre beste eksperter på området. Resultatene er kort oppsummert i avsnitt 3.2 og uttømmende rapportert i vedlegg 1.

I analyse- og strategifasen hadde Jernbaneverket allerede startet et arbeid der ingeniørkompetanse og samfunnsøkonomer sammen forsøker å beregne effekter av foreslått drift og vedlikehold i planperioden. Jernbaneverket hadde også igangsatt arbeidet med å samle inn relevante tidsseriedata som skal synliggjøre tilstandsutviklingen i anleggene over tid. Resultatet av dette arbeidet er det vi kan kalle en feilfunksjon – en funksjon som gir antall rapporterte feil per kilometer på skinnegangen som funksjon av tida siden siste større fornying, eller i noen tilfeller som funksjon av akkumulerte bruttotonnkilometer. Disse dataene, og andre som Jernbaneverket har framskaffet, har TØI brukt i en modell som skal gi optimale intervaller mellom fornyingene på hver av banestrekningene sammen med netto nytte per budsjettkrone ved en marginal økning av det samlede budsjettet for vedlikehold og fornying. Dette er kort oppsummert i avsnitt 3.3 og uttømmende rapportert i vedlegg 2.

Opprinnelig skulle vi gjøre et tilsvarende arbeid for Kystverket som vi nå har gjort for Jernbaneverket. Men samfunnsøkonomiske analyser av vedlikeholdsinnsatsen i Kystverket støter på spesielle problemer, som allerede påpekt i Minken m.fl. (2011). Problemene er sikkert ikke uløselige, men siden de ikke er løst, har det ikke vært mulig å gjøre tilsvarende analyser som for Jernbaneverket. I avsnitt 3.1 omtaler vi kort de spesielle omstendighetene i Kystverket og Avinor.

2 Metodisk rammeverk

Vi betrakter en del av infrastrukturen i samferdselssektoren. Det kan være en vegstrekning, en bru, en tunnel, en jernbanestrekning, en rullebane, en seilingsled eller en havn. Med et fellesnavn vil vi kalle en slik del av infrastrukturen for et infrastrukturobjekt.²

Infrastrukturobjekter er utsatt for nedbrytning over tid. De ytre årsakene til det er trafikkbelastningen og miljøet, men objektets alder i seg sjøl spiller også en viktig rolle. For at objektet skal fortsette å fylle sin funksjon, må det derfor vedlikeholdes. *Forebyggende* vedlikehold består av rutinemessige kontroller og utbedringer på forhånd, med sikte på at objektet skal fortsette å fungere i framtida. *Avbotende* eller *korrektivt* vedlikehold betyr å rette opp feil og funksjonssvikt etter at den har oppstått.

Men uansett hvor viktig disse to typene av vedlikehold er, kan de ikke opprettholde funksjonen over veldig mange år. Fra tid til annen må det derfor foretas en full rehabilitering av objektet, eller en *fornyning*, som Jernbaneverket kaller det. Fornyning er også vedlikehold, for hensikten er ikke å endre objektets grunnleggende funksjonsmåte, men bare å sørge for at det fungerer like bra, eller tilnærmet like bra som da det var nytt, i ennå en lang periode.³ Full reasfaltering av en veg er et eksempel på fornyning, et annet er utskifting av skinner og sviller og oppretting av bærelaget som skinnene og svillene hviler på.

Analysene av vedlikehold i denne rapporten dreier seg i det vesentlige om fornyning. Riktignok vil vi ta kostnadene og virkningen av alle slags vedlikeholdstiltak i betraktning, men når det gjelder å oppnå det best mulige samfunnsøkonomiske resultatet av hele vedlikeholdsvirksomheten, er det først og fremst fornyingstiltak som vil bli vurdert som *virkemidlet*. Omfanget av korrektivt vedlikehold kan sees som en konsekvens av fornyingspolitikken, men omfanget av preventivt vedlikehold kan antas å være optimalt tilpasset fornyingspolitikken.

Å ta et infrastrukturobjekt i bruk medfører kostnader for brukerne. Det kan være tidskostnader, kjørekostnader, ulykkeskostnader eller andre ulemper. Disse

² Infrastrukturobjektet kan deles videre opp i komponenter. Signalanlegg, strømforsyning og skinnegang er slike komponenter eller bestanddeler av jernbaneinfrastrukturen. Analyser av vedlikeholdet kan gjelde hele infrastrukturobjektet eller enkelte komponenter, men ofte vil den økonomiske analysen av enkeltkomponenter ha noen særtrekk. Brukerne av signalanlegget er for eksempel togene, ikke passasjerene. Manglende vedlikehold av en hel banestrekning fører til flere ulike slags problemer, mens svikt i en enkeltkomponent som signalanlegget medfører et bestemt slags problem, nemlig full stans til feilen er rettet.

³ Ofte kalles tida fram til første fornyning, eller tida mellom to fornyinger, for objektets levetid. Med en slik språkbruk vil objektet kunne ha mange liv. Uansett vil kostnadene ved en full fornyning ofte være i samme størrelsesorden som den opprinnelige investeringen. Vi for vår del mener levetida er hele den tida objektet eller komponenten fortsetter å tjene sin opprinnelige hensikt, og regner derfor fornyning som en form for vedlikehold.

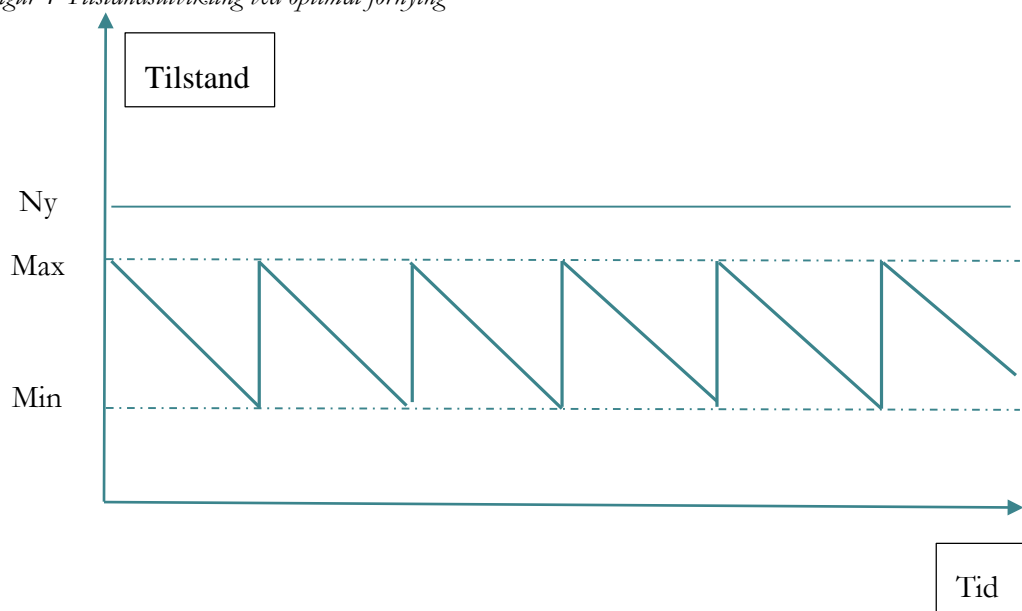
Jernbaneverket ser fornyning som større arbeider som gjennomføres mer eller mindre regelmessig med en del års mellomrom, og som tar sikte på å opprettholde eller gjenskape infrastrukturens tilstand, men ikke å oppgradere den slik at den kan fylle nye eller endrede funksjoner. Jernbaneverket regner derfor også fornyning som del av vedlikeholdet.

brukerkostnadene øker etter hvert som infrastrukturens tilstand forverrer seg. Samtidig øker også infrastrukturholderens kostnader. Det dreier seg både om kostnadene til det forebyggende vedlikeholdet og kostnadene til korrektivt vedlikehold. Ved hyppig fornying kan altså både brukernes og infrastrukturholderens kostnader reduseres. Men de hyppige fornyingene koster ofte svært mye, samtidig som de påfører trafikantene ulemper, og det trekker i motsatt retning. Det samfunnsøkonomisk beste resultatet er en avveining mellom brukerkostnader og ordinære drifts- og vedlikeholdskostnader på den ene sida, og fornyingskostnadene på den andre sida.

2.1 Optimal fornying

La oss nå tenke oss at objektets tilstand kan måles ved en eneste tilstandsvariabel, og at et høyt nivå på tilstandsvariabelen betyr at tilstanden er god.⁴ Li og Madanat (2002) og Ouyang og Madanat (2006) har bevist enkle regler for hvordan rehabilitering av vegdekker skal drives samfunnsøkonomisk optimalt om det ikke finnes noen budsjettbegrensninger eller andre kompliserende hensyn. Regelen er å rehabilitere hver gang objektet når en viss minstestandard, og derfra foreta en fullstendig rehabilitering, slik at vegdekket blir så godt som nytt.⁵ Så vidt vi skjønner, vil regelen også gjelde for andre former for fornying, dersom de samme forutsetningene kan antas å gjelde. Under disse forutsetningene vil optimal fornyingspolitikk, etter en innledende periode der en tar igjen gammelt vedlikeholdsetterslep og etablerer en ny, fast politikk, kunne se ut som i Figur 1:

Figur 1 Tilstandsutvikling ved optimal fornying



⁴ Ofte brukes en tilstandsvariabel der et lavt tall angir beste tilstand, men for vårt formål er det trolig mest intuitivt å la en fallende kurve bety en utvikling av tilstanden til det verre (nedbrytning).

⁵ Forutsetningene i Li og Madanat (2002) er kontinuerlig tid og tilstand, deterministisk nedbrytning, ingen endring av trafikken eller miljøet over tid, og at både nedbrytningen og virkningen av tiltak har markovegenskapen, dvs. bare tilstanden i inneværende periode har betydning for tilstandsutviklingen i neste periode. Det finnes bare ett slags tiltak, men det kan brukes med en intensitet som kan velges på en kontinuerlig skala. Minken, Dahl og Voll (2014), kapittel 5, har noen flere detaljer og henvisninger.

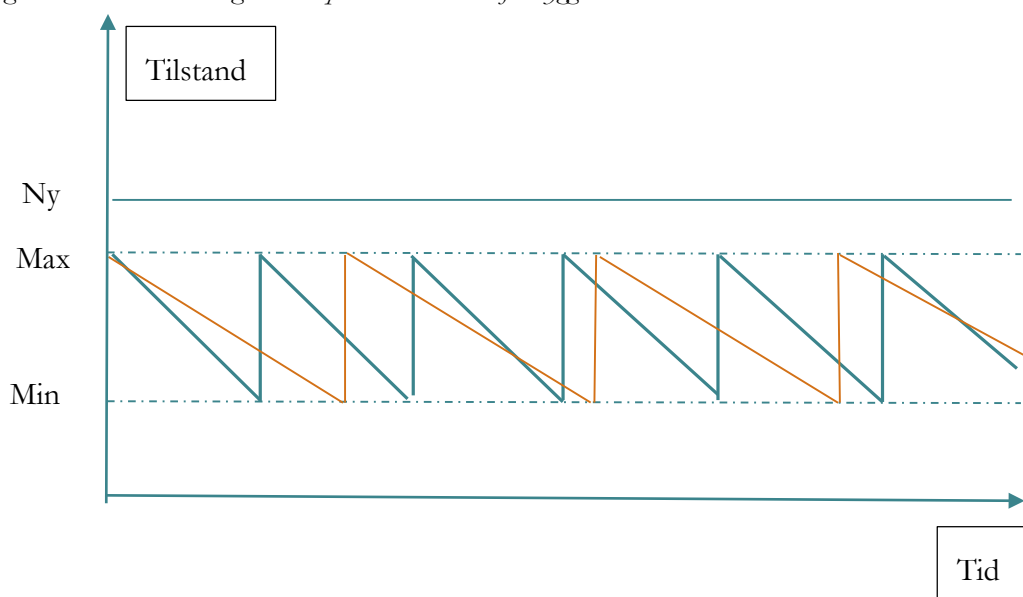
Vi ser at etter en fornying er ikke objektet helt i samme tilstand som når det var nytt. Nivået «max» er fastsatt på skjønn, antakelig gjennom en avveining av hva det koster mot hva det kaster av seg i form av bedre komfort osv. å oppnå et ennå høyere nivå. Nivået «min», derimot, er modellberegnet som det nivået som gir de laveste samfunnsøkonomiske kostnadene på langt sikt. Dersom nedbrytningen (tilstandsforverringen) utvikler seg på samme måte etter hver fornying, vil det å velge hvilket minimumsnivå som skal utløse en fornying være det samme som å velge hvor lang tid det skal gå mellom hver fornying. Det er rein geometri: Når helningen på «nedoverbakkene» i Figur 1 er den samme hele tida, vil det å velge hvor langt ned vi skal plassere nivået «min» være det samme som å velge hvor langt det skal være mellom hver loddrett strek.

Den første forma for samfunnsøkonomisk vurdering av vedlikeholdsinnsatsen er altså vurderingen av hvor langt vil skal la objektet forfalle før det utløser en full rehabilitering/fornyning. Hvis vi har en fast regel for dette i dag, kan vi beregne den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av å endre denne regelen, for eksempel ved å øke minimumsnivået som utløser en fornying, eller redusere intervallet mellom fornyingene.

2.2 Forebyggende vedlikehold

Til nå har vi bare vurdert ett virkemiddel, nemlig fornying. Det vil imidlertid være mulig å bremse nedbrytningen av objektet ved å gjennomføre ulike former for forebyggende vedlikehold, ved å være raskere til å rette opp feil som kan påskynde nedbrytningen av objektet, o.l. I Figur 2 har vi illustrert dette. De tynne gule linjene viser nedbrytningen når slike forebyggende tiltak iverksettes. Det vil da gå lengre tid før objektet er nede på minimumsnivå. Det er nå bare tre fornyinger innafor den tidshorizonten som finns på figuren, mot fem i utgangspunktet. Ettersom forebyggende tiltak stort sett er billige og fornying er dyrt, gir dette en mulighet til å forbedre det samfunnsøkonomiske resultatet.

Figur 2 Tilstandsutviklingen med optimal innsats av forebyggende vedlikehold

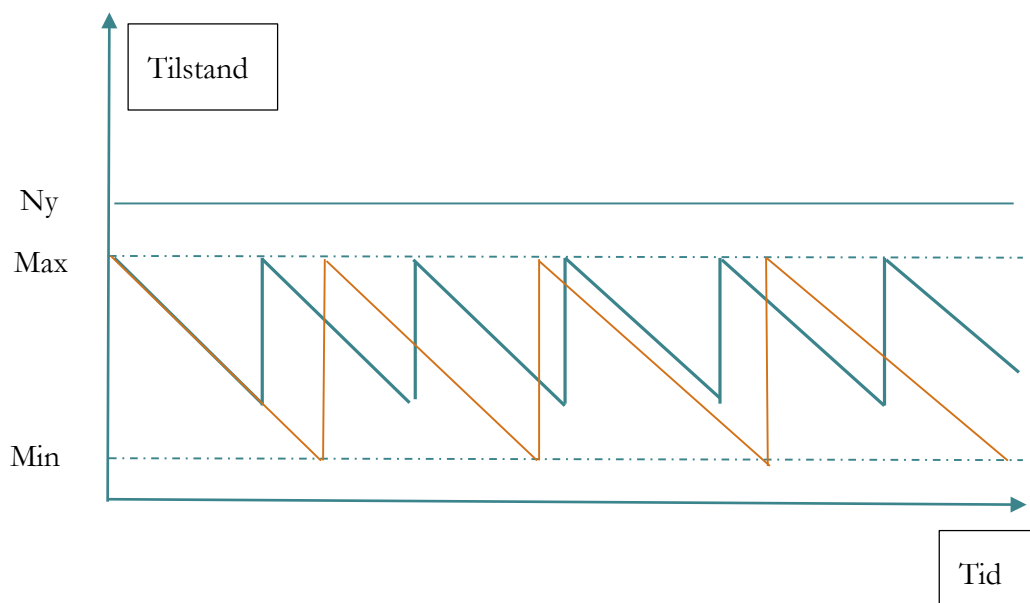


Igjen vil det være grunnlag for samfunnsøkonomisk analyse av en planmessig økt innsats på forebyggende vedlikehold. I en slik analyse vil nåværende regler og tiltak utgjør et nullalternativ, mens tiltaksalternativet er økt forebyggende vedlikehold. Det vil imidlertid være naivt å tru at ikke ingeniørene alt har tenkt på dette lenge før økonomene. I utgangspunktet kan vi vel gå ut fra at ingeniørene plukker opp de nye måtene som introduseres for å utsette nedbrytningen og dermed spare penger, så alt for mye vil det vel ikke være å vinne på nærmere analyser av dette.

2.3 Økte budsjetter

Det samme som vi her har sagt om ingeniørene, gjelder ikke for politikerne. Det er fullt ut mulig at de har bevilget for lite penger til infrastrukturholderen. I alle fall kan de bevilge mindre penger enn det som trengs til den samfunnsøkonomisk optimale politikken i Figur 1. Dette kan slå ut på to forskjellige måter. Om vi senker kravene til minimumstilstanden, kan vi kanskje fremdeles etablere en politikk som lar seg gjennomføre på langt sikt, sjøl med det redusere budsjettet. Det er vist i Figur 3. Men dette vil (per definisjon) gi større samfunnsøkonomiske kostnader, spesielt i form av ulemper og kostnader for brukerne.

Figur 3 Tilstandsutvikling ved for lite budsjett



Igjen kan det samfunnsøkonomiske tapet på grunn av budsjettbegrensningen beregnes som differansen mellom kostnadene ved den optimale «grønne» politikken (de korte intervallene) og den gjerrigere «gule» politikken (de lange intervallene).

2.4 Etterslep

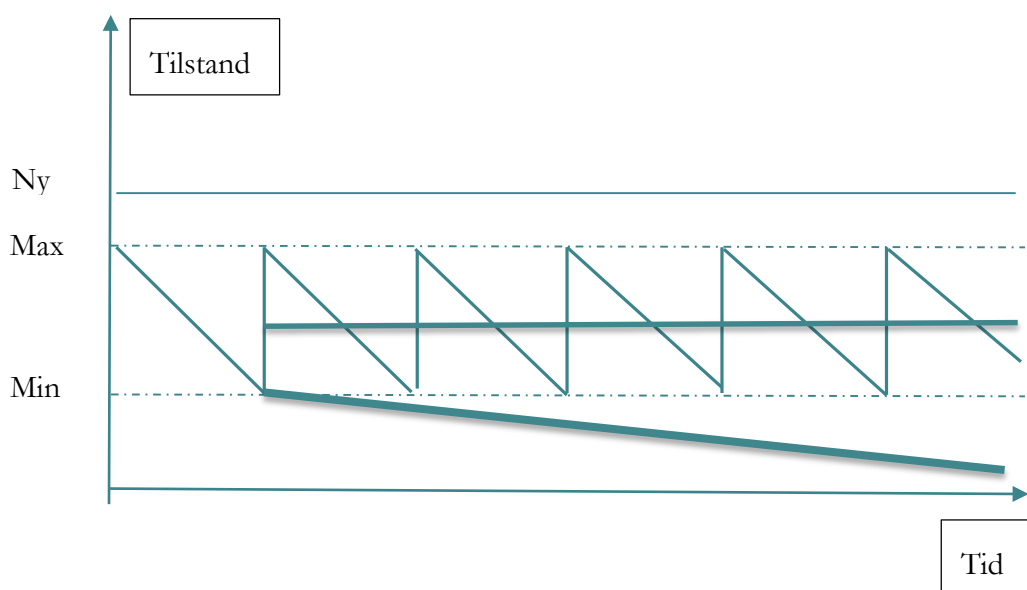
Når det gjelder metodene for å beregne vedlikeholdsetterslepet, viste arbeidet som etatene utførte i 2014 for å legge til rette et felles grunnlag for samfunnsøkonomiske vurderinger av drift og vedlikehold, at det eksisterte en forskjell mellom Jernbaneverket og de andre etatene på den andre. Vegvesenet og Kystverket bygger i stor grad på tilstandsanalyse, mens Jernbaneverket bygger på teoretiske levetider.

Forskjellen er at normerte eller teoretiske levetider gir risiko for å klassifisere noen objekter som en del av vedlikeholdsetterslepet, til tross for at de er i bedre stand enn det den teoretiske levetida skulle tilsi, og omvendt, dvs. en risiko for å unnlate å ta med i vedlikeholdsetterslepet objekter som slett ikke gjenvinner sin funksjon ved vanlig vedlikehold.

Vi vil tilrå at Jernbaneverket endrer sin metode på dette området. Som figurene i dette kapitlet viser, er det normalt å la det være en bestemt minimumstilstand som utløser en fornying. Det kan neppe være hensiktsmessig å la den teoretiske levetida bestemme fornyingstakta. Om man på den andre sida løsriver beregningen av etterslepet fra spørsmålet om hva som utløser en fornying, vil etterslepsbegrepet bli en teoretisk størrelse uten forbindelse med virkelige handlinger og deres kostnader.

Anta nå at budsjettet er for trangt, akkurat som i punkt 2.3, men vi har ikke endret minimumsnivået nedover slik som vist i Figur 3. Det som da vil skje, er at noen objekter fornyes slik de skal etter punkt 2.1, men andre vil ikke få penger til fornying i det hele tatt. For disse objektene vil tilstanden falle under minimum. Figur 4 viser dette for det relativt gunstige tilfellet hvor objektet riktignok faller under minimum, men takket være flikking og lapping kan det fremdeles så vidt brukes til det formålet som det skulle.

Figur 4 Tilstandsutvikling ved vedvarende etterslep



Kostnaden ved denne politikken er i første rekke brukernes kostnader ved å måtte bruke den dårlige infrastrukturen. Brukerne skulle til enhver tid ha hatt en infrastruktur som varierte mellom maksimum og minimum, men i stedet får de en infrastruktur som kontinuerlig er under minimum. Tilnærmet er altså tapet lik differansen mellom de gjennomsnittlige brukerkostnadene ved en infrastruktur som blir fornyet optimalt (antydning ved den øverste tjukke linja) og brukerkostnadene ved den tilstanden de faktisk opplever (den tjukke nederste streken).

Det offentlige taper normalt ikke penger så lenge etterslepet pågår, men får en ekstraregning når etterslepet skal tas igjen. Den kan være stor hvis hele objektet må bygges opp på nytt.

Kostnaden for det offentlige ved å eliminere etterslepet er altså ikke det det koster å bringe alle objekter opp til beste tilstand, og heller ikke det det koster å bringe de som er under minimum, opp til minimumstilstanden, men egentlig noe midt imellom. Det er ekstraregningen ved å frambringe en tilstand der det er mulig å drive optimal fornyelse med ett normalt antall objekter som må fornyes i det enkelte år.

De samlede kostnadene ved et etterslep som får pågå en tid, og deretter blir avviklet, er kostnaden for brukerne i denne tida pluss kostnaden for det offentlige ved å eliminere etterslepet.⁶

2.5 Former for samfunnsøkonomisk analyse av drift, vedlikehold og fornying

2.5.1 Etterslepsberegninger

I prinsipp finnes det ikke noe alternativ til å eliminere et vedlikeholdsetterslep. Det er noe som bare må gjøres. Det finns ikke noe nullalternativ, og dermed ingen netto nytte å beregne. I praksis kan man imidlertid tenke seg måter å fortsette å leve med etterslepet på. En mulighet er å gjøre som departementet, å definere nullalternativet til å være at vedlikeholdsetterslepet øker ikke i planperioden, og tiltaksalternativet til at det elimineres i løpet av 12 år.⁷ Hvis vedlikeholdsstandardene er fornuftig satt, vil etterslepet være en form for samfunnsøkonomisk ineffektivitet. Nyttekostnadsanalysen vil kunne bekrefte at det er slik det er.

I et samlet program for å øke effektiviteten i transportsystemet bør da eliminering av vedlikeholdsetterslepet være første post. Når det er gjort, kan den samfunnsøkonomiske analysen gå videre og se på andre forbedringsmuligheter.

Det bør skilles klart mellom etterslep ut fra nåværende krav og standarder på den ene sida, og tiltak og kostnader som er nødvendige på grunn av endrede krav, standarder og trafikkbelastninger på den andre sida. (Begge deler bør vel beregnes, men atskilt.) En bør om mulig ikke bare ta hensyn til etterslep som allerede har oppstått, men også etterslep som kan ventes å manifestere seg i de nærmeste årene, gitt den politikken som nå føres.

2.5.2 Budsjettøkning

Det neste punktet i jakta på samfunnsøkonomisk ineffektivitet kan være nyttekostnadsanalyse av å øke vedlikeholdsbudsjettet. Det vi si å finne det samfunnsøkonomisk beste intervall mellom fornyingene for infrastruktureobjektene eller de klassene av slike objekter som omfattes av budsjettet, gitt det budsjettet som finns, og ut fra det finne nytten av å øke budsjettet. En enkel metode for dette er beskrevet i TØI-rapport 1380, og vår analyse av vedlikehold i Jernbaneverket er en anvendelse av denne metoden.

Under våre enkle forutsetninger vil det å finne beste intervall mellom fornyingene også være å finne det samfunnsøkonomisk beste minste akseptable nivå på tilstanden.

⁶ En mer presis definisjon av kostnaden ved etterslepet er gitt i punkt 2.4.2 i Minken, Dahl og Steinsland (2008).

⁷ En bør spørre seg hva som skal skje etter år 12. Med mindre man har en viss ide om det, er nullalternativet ikke godt nok spesifisert. Det gjelder for så vidt også tiltaksalternativet, men der er det mer realistisk å tenke seg at det oppnådde vedlikeholds nivået kan videreføres på langt sikt.

(Beste tilstand er fastlagt ved skjønn, se over.) For oversiktighetens skyld bør en forutsette uendret etterspørsel og uendrede forhold forøvrig.

2.5.3 Reallokering av budsjettet

La oss si at vi har funnet de optimale intervallene mellom fornyingene av alle objektene i analysen. De vil etter all sannsynlighet ikke samsvare med de intervallene som er brukt i virkeligheten. Det vil da være en samfunnsøkonomisk effektivitetsgevinst å reallokere midlene til objektene på en slik måte at forskjellen mellom de optimale og de virkelige intervallene blir minst mulig.

Dette er naturligvis noe som må gjøres med stor forsiktighet. Det kan finnes ikke-økonomiske grunner for å opprettholde standarden på objekter med så liten trafikk at de faller igjennom ved tildelingen av midler etter «optimale» kriterier.⁸ Dessuten vil vår modell være såpass primitiv at det slett ikke er sikkert at den fanger opp de virkelige grunnene til hyppig fornying. Uansett om man lærer noe om virkeligheten eller om modellen, kan det være en interessant øvelse.

2.5.4 Forebyggende vedlikehold

I våre analyser av optimale fornyingsfrekvenser, optimalt vedlikeholdsbudsjett og optimal fordeling av budsjettet på de ulike infrastrukturobjektene, har vi implisitt gått ut fra at forebyggende vedlikehold hele tida drives på et optimalt nivå. Dette er nemlig den naturligste forklaringen på at vi bare vurderer et eneste virkemiddel, nemlig fornying. Vi har også sagt at vi har god tro på at ingeniørene sørger for å ta i bruk mindre tiltak som kan stoppe eller bremse nedbrytningen, dersom det er en økonomisk gevinst ved det.

Vi kan teste denne antakelsen dersom vi etablerer en modell med flere typer av tiltak. Også standardprogrammer for vedlikeholdsplanlegging i veg- og banesektoren vil gi grunnlag for analyser der ulike virkemidler inngår, men de økonomiske beregningene bør kanskje helst gjøres på utsida av det vanlige standardprogrammet.

Uansett, den samfunnsøkonomiske nytten av å bruke tiltak som utsetter og bremser nedbrytningen vil kunne være trinn fire i et firetrinnsprogram for økt samfunnsøkonomisk effektivitet i vedlikeholdet.

2.5.5 Endringer av standarder og krav

Den firetrinns jakta på samfunnsøkonomisk ineffektivitet i vedlikeholdet kan avsluttes med et femte trinn: en nyttekostnadsanalyse av kvalitetsnormer, standarder og krav. Gevinsten ved enklere former for vedlikehold og generelt lavere krav til infrastrukturen kan måles opp mot nyttetapet for brukerne. Kapittel 2 i Minken, Dahl og Steinsland (2008) har noen avsnitt som kan være et utgangspunkt for å bedømme muligheten av slike analyser. Skulle det vise seg at det ikke ligger holdbare økonomiske betraktninger til grunn for våre standarder, er det bare å begynne om igjen fra punkt 1, etterslepsberegningene.

Dette kan, som en ser, bli et større program. Hvis departementet skal oppnå mest mulig med sine krav til neste runde med NTP-planlegging, bør de allerede nå vurdere hvilke deler av et slikt program de vil ha utført arbeid på.

⁸ Sikkerhetshensyn er en slik grunn, hensynet til et variert transporttilbud i hele landet er et annet.

2.6 Verktøy og modeller

Regnearkmodellen som blir brukt i analysen som skal gi nyttekostnadsbrøken av å øke vedlikeholdsbudsjettet i Jernbaneverket, er svært enkel, og sannsynligvis må det til for å gi enkle svar. Det finnes bare en type tiltak (fornyning). Fornyningen blir gjort med en på forhånd gitt intensitet eller med sikte på en på forhånd gitt tilstand, men kan riktignok gjennomføres med ulike intervaller. Vi har allerede vært inne på at det kan gi mye ekstra informasjon om vi introduserer et avbøtende tiltak som bremser nedbrytningen eller forbedrer tilstanden i det korte løp. Dette var jo vår fjerde form for nyttekostnadsanalyse av vedlikehold.

Generelt vil vi anta at det er avgjørende for analyser av vedlikeholdsinnsatsen at man opererer med et vedlikeholdsbudsjett i modellen. Men den enkle modellen vår er ikke den eneste som har det, som man vil se ved å studere kapittel 5 i Minken, Dahl og Voll (2014).

Blant modellene med et budsjett er det et valg mellom de som har et realistisk antall av ulike virkemidler og tiltak, og de som i høyden har valg mellom hvor intensivt man skal bruke det ene eller de to tiltakene man ser på. For å komme nærmest mulig en realistisk vedlikeholdsplan for en hel samling av objekter, bør man antakelig videreutvikle modellene med mange dimensjoner på tiltak, tilstand osv. Men for å få en oversikt og innsikt om sammenhengene, kan enklere modeller være bedre.

Modellen i Minken, Dahl og Steinsland (2008) og Dahl og Minken (2008) har bare en tilstandsvariabel, men er for øvrig av det mer detaljerte slaget. Utvidelsen til flere tilstandsvariable er, som det rapporteres i Minken, Dahl og Voll (2014), programmert opp, men ikke implementert ennå.

Hvor langt man kan komme langs den motsatte vegen, med å videreutvikle modellen som nå blir brukt i Jernbaneverket, er vanskelig å si. Uansett ville det være av verdi for det videre arbeidet om det kunne komme i stand en virkelig diskusjon av de ulike mulighetene.

3 Analyser

3.1 Avinor og Kystverket

I en gjennomgang av hva etatene trenger for å kunne gjøre samfunnsøkonomiske analyser av vedlikeholdet (Minken m.fl. 2011) heter det blant annet om Avinor: «Vi [har] ikke informasjon om hva slags systematisk innhenting av data om rullebanen som eksisterer, bortsett fra hovedtilsynet ved Luftfartstilsynets godkjenning av flyplassen hvert femte år.» Forutsatt at dette ikke har endret seg, er det altså vanskelig å få samlet og systematisert de dataene som trengs til å bedømme behovet for fornying. Rilling av rullebanen for å motvirke at friksjonen blir for lav, gjennomføres på grunnlag av målinger, altså som en helt regelstyrt aktivitet.

Alderen og den kumulative belastningen på rullebanene ved noen av flyplassene gjør det kanskje nødvendig å tenke gjennom hvordan en full fornying kan gjennomføres med minst mulig skade for trafikantene og minst mulig inntektstap for flyplassen. Men siden flyplassene drives kommersielt, er det tvilsomt om det er aktuelt å foreta en samfunnsøkonomisk vurdering av dette.

Det som særpreger vedlikeholdet i Kystverket, er økonomisk avhengighet mellom objektene. Det vil si at å vedlikeholde to eller flere objekter samtidig enten gir en kostnadsbesparelse eller en kostnadsøkning i forhold til å behandle det som to separate vedlikeholdsoppdrag. Som eksempel på dette nevner Minken m.fl. (2011) vedlikehold av sjømerker. Kystverket har et visst antall bemannede båter som driver kontinuerlig med dette. Om man kan minimere transportdistansen mellom jobbene, vil det være en besparelse i antall båter som trengs til denne typen vedlikehold. 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 driver systematisk tilstandsvurdering av objektene de har ansvar for, men ifølge Minken m.fl. (2011) mangler de først og fremst værdata for å kunne estimere nedbrytningsfunksjoner. Det er også vanskelig å etablere en sammenheng mellom objektenes tilstand og brukerkostnadene. For eksempel må konsekvensene av at en farled ikke blir seilbar, utredes. Det trengs derfor mer tenking og arbeid før det er mulig å vurdere om vedlikeholdet drives samfunnsøkonomisk optimalt eller om kostnadsbesparelser kan oppnås uten at det går ut over sikkerheten til sjøs.

3.2 Statens vegvesen

Det er gjennomført en samfunnsøkonomisk analyse for å fastlegge nytten av å lukke vedlikeholdsetterslepet for vegdekker (inkludert vegfundament) i løpet av NTP-perioden på 12 år, og deretter opprettholde tilstand iht håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger i resten av analyseperioden, mot et referansealternativ med opprettholdelse av dagens tilstand (og etterslep) på vegdekker gjennom hele analyseperioden. Dette representerer en angrepsmåte som beskrevet i avsnitt 2.5.1 ovenfor.

Det er benyttet samme analysemetode som ble brukt i 2006 ved forarbeidene for revidering av Statens vegvesens håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger.⁹ Dette innebærer at det lages en prognose for tilstandsfordelingen mhp. spordybde og jevnhet på vegdekkene for hele analyseperioden (40 år). Videre beregnes vegholders kostnader knyttet til alle dekketiltak i perioden.

Trafikantkostnader beregnes som funksjon av dekketilstanden basert på kjente sammenhenger mellom tilstand og trafikantkostnader. Trafikantenes forsinkelseskostnader ved dekketiltak beregnes i sammenheng med vegholderkostnadene fordi disse er direkte knyttet til gjennomføring av dekketiltakene.

Modellverktøyet er oppdatert med hensyn til enhetspriser både for vegholderkostnader og trafikantkostnader. Ved beregning av ulykkeskostnader er det lagt inn en standard forutsetning om en reduksjon på 1,3 % pr år basert på en generell forventet nedgang i antall døde, hardt skadde og lett skadde av årsaker som ikke skyldes vegens geometri eller tilstand. Beregningsmodellene er videre komplettert med justering for realprisutvikling på 1,4 % for alle kostnadstypene.

Analysen utføres for prisnivå 2016. Basisår for nåverdiberegninger er 2018. Analyseperioden er 40 år, fra 2018 til 2058. Det er benyttet en kalkulasjonsrente på 4 %. For vegholders kostnader er det benyttet en skattefaktor på 20 %. Trafikkvekst er satt lik 1,5 % pr år. Denne trafikkveksten er ikke differensiert på ÅDT-intervall og lette/tunge kjøretøy pga. manglende informasjonsgrunnlag.

Analysen er gjennomført for dagens vegnett og tar ikke hensyn til endringer i vegnettet som vil komme i løpet av analyseperioden. Av riksvegnettets samlede 10600 km veg er 8105 km tofeltsveg og 430 km veg med mer enn to kjørefelt inkludert i analysen. Øvrig vegnett er holdt utenfor analysen fordi det mangler grunnlagsdata eller fordi delvegnettet representerer så korte veglengder at etablering av sikre tilstandsdata ikke er mulig.

Nødvendig tiltak for å lukke etterslepet, både forsterkningstiltak for vegfundament og vedlikeholdstiltak for vegdekker, gjennomføres med jevnt fordelte tiltak over alle årene i 12-årsperioden, uten differensiering mht. vegtyper eller ÅDT-intervall. Forsterkningens effekt på framtidig dekkelevetid og resulterende dekkefornyingstakt, er inkludert i beregningen av tilstandsfordelingen for vegdekkene.

Vegholders kostnader er fastlagt som løpemeterkostnader for standard dekke- og forsterkningstiltak basert på enhetspriser for innsatsfaktorene og relevante vegbredder. Tiltaksintervall mellom dekketiltak er fastsatt ut fra normerte levetider for vegdekker samt tilstandsfordelingen med hensyn på spor og jevnhet.

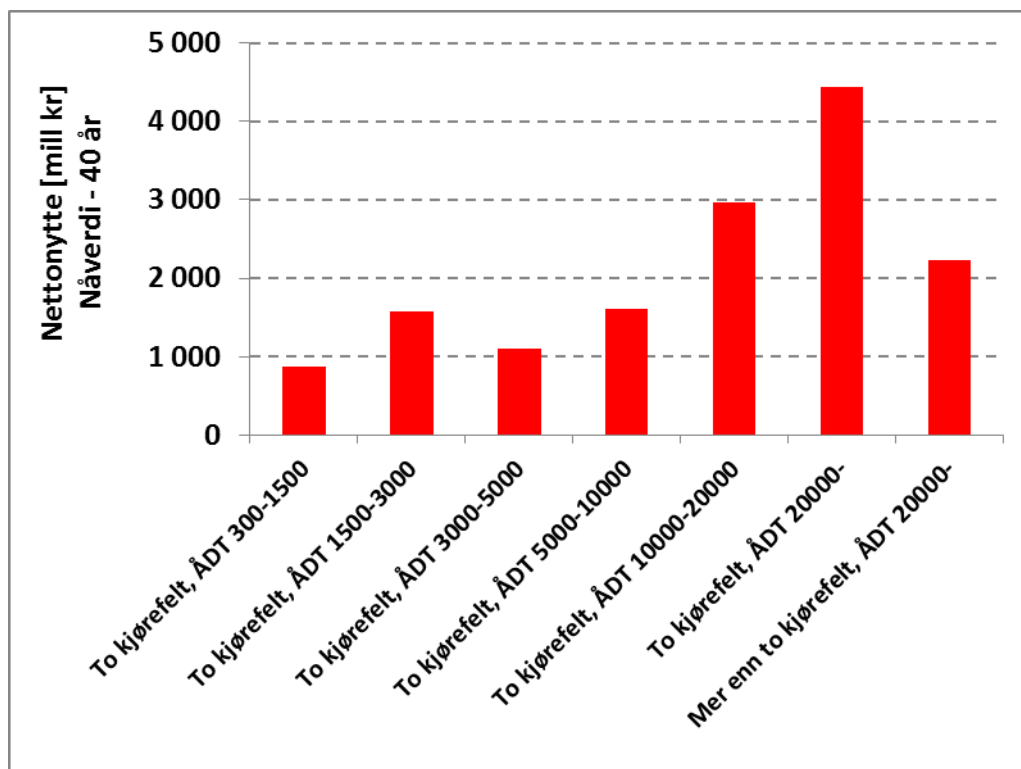
Trafikantkostnader beregnes som funksjon av spordybde og jevnhet (IRI) for vegdekker. Følgende trafikantkostnader inkluderes i analysene:

- Timeskostnader lett bil/Tidsavhengige driftskostnader tung bil
- Drivstoffkostnader lett bil/tung bil
- Kostnader reparasjon og service lett bil/tung bil
- Ulykkeskostnader

Nåverdi av nettonytte av lukking av etterslep er vist i Figur 5.

⁹ Samfunnsmessige konsekvenser av ulikt innsatsnivå i drift og vedlikehold
Veg- og ferjerapport Nr 1 – 2006
Vegdirektoratet

Figur 5: Nåverdi av nettonytte av lukking av etterslep for vegfundament og vegdekke. Gjelder riksveger med fartsgrense over 60 km/t, til sammen 8 535 km.



Resultatet av analysene viser positiv nettonytte av lukking av etterslep for alle analyserte ÅDT-intervaller, men med størst netto nytte for høyeste trafikknivåer.

Dette er som forventet, fordi gjeldende vedlikeholdsstandard er fastsatt basert på samfunnsøkonomisk analyse med mål om en samfunnsøkonomisk optimal standard. Praktisk-politisk tilpasning av vedlikeholdsstandarder innebærer at de laveste ÅDT-klassene har fått en standard som ligger over rent samfunnsøkonomisk optimal standard, ut fra en tankegang om at der det er vedtatt å ha en veg, må denne holde en viss minstestandard. Dette medvirker til at nettonytten av å lukke etterslep blir mindre for de lavere ÅDT-klassene.

Kostnadene for lukking av etterslep for vegnettet som er tatt med i denne analysen, er samlet 4,4 mrd kr når skattefaktoren er trukket ut. Proratarisk omregning til hele riksvegnettet gir en kostnad for utbedring av etterslep på 5,6 mrd kr (2016-prisnivå). Regionene i Statens vegvesen har i forbindelse med NTP-arbeidet beregnet en kostnad på 7,3 mrd. kr (2014-prisnivå inkludert merverdiavgift) for utbedring av etterslepet.¹⁰ Dette antas å tilsvare om lag 7,7 mrd. kr i 2016-prisnivå inkludert merverdiavgift (6,2 mrd kr eksklusive merverdiavgift).

Årlige kostnader for dekkevedlikehold for referansealternativet, uten lukking av etterslep, er beregnet til 1,0 mrd. kr/år når skattefaktoren er trukket ut. Proratarisk

¹⁰ Nasjonal transportplan 2018-2027: Vedlikeholdsetterslep Analyse- og strategifase. Hovednotat 30. september 2014, Vedlegg 6 Oppdatering av vedlikeholdsetterslepet for riks- og fylkesveger.

omregning til hele riksvegnettet gir en årlig kostnad på 1,25 mrd. kr i prisnivå 2016 (eks. skattefaktor). Tilsvarende kostnad for hovedalternativet, med lukking av etterslep, er 1,5 mrd. kr i prisnivå 2016 (eks. skattefaktor). I forslag til Statsbudsjettet for 2016 er det foreslått om lag 1,3 mrd. kr til dekkevedlikehold. Analysens vegholderkostnader er imidlertid ikke direkte sammenlignbar med dekkeprogrammets kostnader. Dekkeprogrammet benytter noen løsninger som er enklere enn de tiltakene som ligger til grunn for analysens beregninger. På den andre siden omfatter analysen kun tiltak utløst av spordybde og jevnhet, mens dekkeprogrammet også inkluderer tiltak utløst av andre forhold (skader, mm).

3.3 Jernbaneverket

TØI og Jernbaneverket har samarbeidet om å prøve ut en ny metode for å vurdere den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet. I dette arbeidet har Jernbaneverket analysert data om feil på skinnegangen, og har funnet fram til en sammenheng mellom meldinger om skinnefeil og forsinkelser. Dette er brukt til å beregne en indikator på hvilke brukerkostnader som manglende vedlikehold av skinnegangen medfører. Jernbaneverket har også estimert hvordan jernbaneverkets egne vedlikeholdskostnader utvikler seg med tida. Sammen med andre data som etaten har lagt til rette, har dette gitt TØI grunnlag for å implementere en optimeringsmodell der den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet er viktigste resultat.

Situasjonen som er modellert er følgende: En beslutningstaker har ansvaret for vedlikehold og fornying av et visst antall infrastrukturobjekter, som for eksempel vegstrekninger eller jernbanestrekninger. Disse skal holdes i så god stand som det er mulig og samfunnsøkonomisk fornuftig, men det må skje innenfor årlige budsjetter.

Visse deler av objektene kan antas å ha evig levetid, mens andre må fornyes regelmessig. Tidsperspektivet er evigheten. For enkelhets skyld antar vi at verken bruken av objektene, teknologien, kostnadene eller budsjettildelingen endrer seg med tida. Vi er altså ute etter å finne den beste vedlikeholdsstrategien som ikke bare er forenlig med budsjettet på kort sikt, men som også lar seg videreføre fra år til år så langt vi kan se. Det skal ikke oppstå etterslep fordi vi blir nødt til å redusere vedlikeholdet på ett eller flere av objektene, og hvis det finnes etterslep i dag, forutsetter vi at det tas inn først. Først når det er gjort, oppstår det problemet som modellen tar for seg.

Modellen har bare en type av virkemiddel, nemlig fornying. Nærmere bestemt gjelder det å finne den optimale fornyingstakta (eller den optimale lengden på en fornyingssyklus) for hvert av objektene. Men vedlikeholdsbudsjettet skal også dekke andre vedlikeholdskostnader, nemlig korrektivt og preventivt vedlikehold. Kostnadene til begge disse formene for vedlikehold øker etter hvert som lengden på fornyingssyklusen øker. Vi antar ikke at det skjer sjølstendige beslutninger om hva som må gjøres på disse vedlikeholdsområdene. Innsatsen bestemmes helt ut av hvor langt ut i fornyingssyklusen objektet har kommet.

Brukerne vil også pådra seg kostnader etterhvert som infrastrukturobjektene forfaller. I vår anvendelse av modellen dreier det seg om kostnader ved forsinkelser. Det gjelder altså å velge fornyingstakt for hvert av objektene slik at vi minimerer summen av brukerkostnader, årlige vedlikeholdskostnader og fornyingskostnader. Og det skal skje slik at det langsiktige gjennomsnittsnivået for budsjettet, dvs. annuiteten av

vedlikeholdskostnadene og fornyingskostnadene, holder seg innafor en gitt grense. (Det vil være mulig å overskride dette nivået i enkelte år, men ikke i det lange løp.)

Det vi får ut av modellen er ikke bare de «optimale» fornyingstaktene for alle objektene, men også skyggeprisen på budsjettet. Skyggeprisen sier hvor mye de samlede samfunnsøkonomiske kostnadene blir redusert dersom budsjettet økes med 1 krone. Hvis den ene krona fører til en samlet kostnadsreduksjon på mer enn en krone, er en marginal budsjettøkning samfunnsøkonomisk lønnsom. Skyggeprisen minus 1 er lik «netto nytte per budsjettkrone». På den måten er det mulig med en direkte sammenlikning mellom å bruke pengene på investeringsprosjekter og å øke vedlikeholdsbudsjettet.

Tre ulike situasjoner kan forekomme i løsningen av modellen.

1. Budsjettbetingelsen er ikke bindende. Da er skyggeprisen på budsjettet lik null, og budsjettøkning fører ikke til noen samlet forbedring.
2. Modellen har ingen løsning. Budsjettbetingelsen er for stram til at det finnes noen mulighet til å bringe alle objektene regelmessig opp til den initielle standarden, slik som forutsatt. I dette tilfelle vil ett eller flere av objektene forfalle mer og mer, og det oppstår et vedlikeholdsetterslep.
3. Budsjettbetingelsen lar seg tilfredsstillende og er bindende, dvs. skyggeprisen er positiv. Modellen har en løsning, men i forhold til når budsjettbetingelsen ikke er bindende, skal alle objektene ha langsommere fornyingstakt. Med andre ord: Objektene skal brytes lengre ned før det blir aktuelt å fornye dem. De ekstra kostnadene som dette påfører brukerne, er prisen som må betales for at budsjettet er for snaut. Om det er verdt prisen eller ikke, kommer an på om skyggeprisen er større eller mindre enn 1.

Våre forsøk med modellen viser at med de data vi nå har, havner vi som regel i situasjon nummer to, altså ingen holdbar løsning. Dette kommer til syne ved at vi ikke kan finne en skyggepris som reduserer det årlige finansieringsbehovet til det vi antar er budsjettet. Vi har analysert årsakene til dette, og mener hovedårsakene er at brukerkostnadene vi har brukt, er for små i forhold til jernbaneverkets egne kostnader, og at vi ikke har funnet helt ut av hvordan jernbaneverkets kostnader til korrekt vedlikehold henger sammen med infrastrukturens tilstand. Heller ikke forholdet mellom forebyggende vedlikehold og infrastrukturens utvikling har vi helt fått grepet om.

Etter vårt syn er det derfor ikke mulig å trekke konklusjoner om lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet ut fra disse forsøkene. Derimot ser vi et mønster i resultatene når det gjelder fornyingsperiodenes lengde, nemlig at baner med lite trafikk kommer ut med «optimale» fornyingsperioder som er til dels mye lengre enn fornyingsperiodene på banene med høy trafikk, og også mye lengre enn Jernbaneverkets offisielle anslag på levetida for skinner (40 år). Noe av dette skyldes huller i dataene for noen av banene, men tendensen er uansett klar. Vi kan derfor anta at om banestrekningene med lite trafikk skal fornyes med 40-50 års mellomrom, vil det ikke være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Derimot ser de «optimale» fornyingsperiodene for banestrekninger med mye trafikk, eller med tunge godstog, ut til å samsvare bedre med Jernbaneverkets anslag.

Regnearkene som har vært benyttet i disse forsøkene, vil kunne oversendes til de som ber om det. Det foreligger ikke noen fullstendig forklaring av modellen i selve

regnearket, men arbeidsdokumentet som er vedlagt denne rapporten, vil kunne avklare de aller fleste spørsmål.

Med bedre data og estimeringsmetoder vil modellen kunne gi mer nyttig informasjon. For å kunne bruke modellen i framtida, må vi skaffe et mer fullstendig bilde av brukerkostnadene, og vi må revurdere hvordan kostnadene til korrektivt vedlikehold avhenger av infrastrukturens tilstand, og hvordan det preventive vedlikeholdet påvirker tilstanden. Det kan være en fordel å trekke inn langt mer enn bare skinnefeil, ikke minst fordi det er en viss sammenheng mellom skinnefeil og svillebrudd, for eksempel. En breiere anlagt analyse vil også gjøre det lettere å knytte an til regnskapsdata og offisielle budsjetter.

4 Definisjoner

4.1 Om notatet av 30. september 2014

Etatens og Avinor arbeidet i analyse- og strategifasen i NTP-arbeidet med å etablere en felles begrepsbruk og forståelse på vedlikeholdsområdet. Resultatet er oppsummert i et notat datert 30. september 2014 (Kystverket m.fl. 2014) og i seks vedlegg til notatet.

Vi slutter oss til vurderingene i notatet og i vedlegg 2 til notatet. Det vil si at vi slutter oss til definisjonen av vedlikehold som «tiltak som er nødvendige for å opprettholde eller gjenskape infrastrukturens funksjon og tekniske tilstand».¹¹ Vi merker oss at tilstanden som infrastrukturen skal gjenskape, ikke nødvendigvis er tilstanden da objektet var helt nytt. Etatene har definert hva de mener med dette i hvert tilfelle, og dette er nok basert på en vurdering av at det koster mer enn det smaker å velge en enda bedre beste-tilstand. Vi legger til grunn at denne skjønnsmessige avveiningen er fornuftig.

Investering, sier notatet, kan forstås som nybygging, modifikasjon og mindre utbedringer. Poenget er at dette endrer infrastrukturens funksjon, i motsetning til vedlikehold, som bare tar sikte på å opprettholde og gjenskape den gitte funksjonen eller tilstanden. Vi slutter oss til dette som en foreløpig avklaring.

Notatet av 30. september finner at det ikke er vesentlige forskjeller mellom etatene når det gjelder definisjoner og begrepsbruk om drift, vedlikehold og investering. Unntaket er om fornying skal regnes som vedlikehold eller investering. Til tross for noen slike mindre forskjeller, og til tross for at man ikke har en omfrent definisjon av vedlikeholdsetterslep, vurderer notatet at ulikhetene på dette området ikke medfører vesentlige feil, mangler eller resultatavvik ved vurdering av vedlikeholdsetterslepet.

Derimot er forskjellene større når det gjelder metodene for å beregne vedlikeholdsetterslepet. Vegvesenet og Kystverket bygger i stor grad på tilstandsanalyse, mens Jernbaneverket bygger på teoretiske levetider. Vi antar at den praktiske forskjellen er at normerte eller teoretiske levetider gir risiko for å klassifisere noen objekter som som en del av vedlikeholdsetterslepet til tross for at de er i bedre stand enn det den teoretiske levetida skulle tilsi, og omvendt, dvs. en risiko for å unnlate å ta med i vedlikeholdsetterslepet objekter som slett ikke gjenvinner sin funksjon ved en vanlig fornyelse.

Vi tror det beste ville være å bygge på en vurdering av tilstanden. Når tilstanden har nådd et kritisk nivå, bør infrastrukturen fornyes så fort som praktisk mulig. Å ikke gjøre det, betyr å skape et vedlikeholdsetterslep. Både når det gjelder å vurdere etterslepet og når det gjelder å drive nyttekostnadsanalyse av vedlikeholdet, er hovedproblemet å finne hva dette kritiske minstenivået bør være. Under visse enkle forutsetninger er det å finne dette minstenivået det samme som å bestemme

¹¹ Vi har her brukt ordet «gjenskape» i stedet for det språklig litt mer uklare «tilbakeføre».

intervallet mellom fornyingene. På sett og vis vil vi altså ta det motsatte utgangspunktet som Jernbaneverket (tilstandsmåling og et kritisk minstenivå) for å komme fram til en konklusjon som kan samsvare eller avvike fra Jernbaneverkets utgangspunkt (teoretiske levetider).

Vedlikeholdsetterslepet i notatet er kvantifisert i kroner. Det er rimelig. Men det er viktig å merke seg at dette ikke er det samme som samfunnets tap ved manglende vedlikehold. Det er etatens kostnad ved å bringe infrastrukturen opp på et akseptabelt nivå. Den virkelige store kostnaden ved at det utvikler seg et vedlikeholdsetterslep er ikke etatenes kostnader, men brukernes, som beskrevet i avsnitt 2.4.

Siden vedlikeholdsetterslepet er definert som kostnaden ved å sørge for at infrastrukturen har en gitt, målsatt standard, kan kostnadseffektivitetsanalyse anvendes på dette området. (Jfr. andre avsnitt i kapittel 1). Det vil si at det i prinsippet er mulig å utvikle ulike måter å eliminere etterslepet på, og det vil være meningsfullt å søke etter den mest kostnadseffektive måten. Men dette synspunktet er bare fornuftig dersom det ikke er mulig å kvantifisere brukernes tap ved for lave nivåer på vedlikeholdet. En politikk som er effektiv for etaten, men på ulike måter til ulempe for brukerne, kan ikke sies å være kostnadseffektiv i samfunnsøkonomisk forstand, sjøl om den kan være det i budsjettmessig forstand.

Vi kan ikke se at notatet fra 2014 gir full klarhet i problemstillingene fra avsnitt 2.4 ovenfor, og anbefaler at det arbeides videre med å definere hva som er eliminering av etterslep og hva som er ordinære vedlikeholdsutgifter i en situasjon der en er i ferd med å ta inn et etterslep. (Etterslepet gjelder objekter som allerede er under minimumsnivå, men det er litt uklart om man regner hele fornyingen opp til maksimumsnivå med i etterslepet, eller om noe av det må sies å tilhøre det ordinære årlige vedlikeholdsprogrammet.) Vi anbefaler også at brukernes kostnader setter i sentrum for videre arbeid med etterslepsproblematikken.

Et kort kapittel i vedlegg 2 til notatet tar for seg samfunnsøkonomiske analyser. Vi merker oss at spørsmålet om fordeling av budsjettmidlene til henholdsvis investering og drift, ikke er formulert som et spørsmål om omfordeling av budsjettmidlene på et overordnet nivå, men som valg mellom ett eller flere investeringsprosjekter på den ene sida og ett eller flere vedlikeholdprosjekter på den andre. Dette kan aldri føre fram til noen avklart politikk. Det er på dette punktet vi har gjort framgang i det arbeidet vi har gjort for Jernbaneverket, i det vi har formulert problemet som et spørsmål om lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet. Så vil det være opp til de som skal styre investeringsbudsjettet hvordan de skal prioritere innafor det, og opp til de som styrer vedlikeholdsbudsjettet hvordan de prioriterer innfor det.

Vedlegg 2 til notatet sier i grunnen at den samfunnsøkonomiske avveiningen hører hjemme i investeringsbeslutningen, og at vedlikeholdsbeslutningene er et spørsmål om å gjennomføre det funksjonsnivået som var tilsiktet i investeringsanalysen, på en mest mulig effektiv måte. Dette gir i utgangspunkt lite rom for nyttekostnadsanalyse av vedlikeholdet. Men faktisk er det slik at mange infrastrukturobjekter kan tjene sin hensikt på ulike nivåer av vedlikeholdsinnsats, og at verden kan gå videre sjøl om ikke alle objekter alltid har den tilstand som man så for seg ved investeringsbeslutningen. Derfor finnes et rom, ikke bare for å prioritere midler mellom objektene, men også for å vurdere størrelsen på vedlikeholdsbudsjettet.

4.2 Alternative definisjoner

Våre innvendinger mot notatet om vedlikeholdsetterslep fra 2014 går ikke primært på definisjonene. Vi klarer oss fint med de definisjonene som etatene har blitt enige om der. Men vi kunne tenke oss noen endringer som understreket valgmulighetene som finnes mellom de ulike typene av tiltak, og som skiller mellom de mest kortsiktige og rutinemessige oppgavene, som ikke trenger noen nyttekostnadsanalyse på tiltaksnivå (men gjerne av standardene), og sjeldnere oppgaver, der det eksisterer et større rom for skjønn både om prioriteringer og utførelse enn det etatenes notat sier at det er.

Vårt forslag, som er hentet fra Minken m.fl. (2011), har hovedfokus på den økonomiske betydningen av vedlikehold og rehabilitering. Som sagt, vi følger etatenes definisjoner i arbeidet vi gjør for dem, men kunne tenke oss en diskusjon om følgende alternativer:

Drift: Driftsoppgaver er 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.

Vedlikehold: Vedlikehold er tiltak som foretas sjeldnere enn en gang hvert budsjettår, og som ikke er fullstendig regulert av faste regler. Det finnes et valg mellom ulike tiltak (inkludert ingen tiltak) i det enkelte år. Tilstanden som skal oppnås gjennom disse tiltakene, kan den enten være bestemt av faste regler eller være gjenstand for økonomiske avveininger.

Rehabilitering: Vedlikehold som gjenskaper konstruksjonens opprinnelige tilstand fullt ut, eller idet minste gjenskaper tilstanden til de viktigste av konstruksjonens komponenter fullt ut.

Reinvestering: Reinvestering er å vrake et objekt og erstatte det med et nytt av samme slag. Når deler av objektet har uendelig levetid, brukes begrepet reinvestering også om de mest fullstendige formene for rehabilitering.

Oppgradering: En reinvestering eller rehabilitering med elementer av nyinvestering.

Reparasjon: Tiltak som utføres på objekter som har sluttet å fungere etter hensikten, med sikte på å gjenskape funksjonaliteten.

Fornyning: Brukes av noen som synonymt med rehabilitering, av andre som synonymt med oppgradering.

Jernbaneverket skiller mellom forebyggende og korrektivt vedlikehold. Det er det samme som skillet mellom planlagt og ikke planlagt vedlikehold. Reparasjoner er da en form for korrektivt eller ikke-planlagt vedlikehold.

5 Konklusjoner

Samferdselsdepartementet har gitt etatene i oppdrag å vurdere hvordan samfunnsøkonomiske analyser kan benyttes i vurdering av nivå på vedlikeholdet, og TØI er engasjert for å bistå i dette arbeidet. Vi har løst oppdraget ved å utvikle et felles metodisk rammeverk der de ulike formene for samfunnsøkonomisk analyse av vedlikeholdstiltak inngår, hver med sine forutsetninger. Vi skiller mellom fem ulike former:

Nytten av å avvike vedlikeholdsetterslep. I et samlet program for å øke effektiviteten i transportsystemet bør eliminering av vedlikeholdsetterslepet være første post. Når det er gjort, kan den samfunnsøkonomiske analysen gå videre og se på langsiktige forbedringsmuligheter.

Nyttekostnadsanalyse av å øke nivået på vedlikeholdsbudsjettet. Det kan gjøres ved å finne det samfunnsøkonomisk beste intervall mellom fornyingene for infrastrukturobjektene, gitt det budsjettet som finns, og deretter gjenta prosessen for et økt budsjett, med eller uten andre nødvendige endringer i tillegg. Eller en kan direkte beregne skyggeprisen på budsjettrestriksjonen.

Nytten av å fordele budsjettet annerledes. Fra et samfunnsøkonomisk synspunkt vil det kunne være gevinster å hente ved å fordele midlene annerledes mellom distrikter, mellom typer av infrastruktur eller på andre måter. Men en slik omfordeling kan støte an mot andre legitime samfunnshensyn.

Nytten av å øke forebyggende vedlikehold. Mens omfanget av korrektivt (avbøtende) vedlikehold kan sees som en konsekvens av fornyingstakta, vil preventivt (forebyggende) vedlikehold ha som formål å utsette eller redusere omfanget av fornying. Den samfunnsøkonomiske nytten av dette består dels i at brukerne opplever lavere kostnader og ulemper, og delvis i at dyre fornyingstiltak kan gjennomføres sjeldnere.

Nytten av å endre standarder og krav. På vedlikeholdsområdet vil det være mye som blir gjort på grunnlag av faste standarder, krav og retningslinjer. Tradisjonelt er slike ting fastsatt ut fra ingeniørfaglige betraktninger, uten basis i samfunnsøkonomiske vurderinger. De viktigste av disse standardene, slik som for eksempel vegnormaler, har likevel i større grad blitt undergitt samfunnsøkonomisk analyse, etter det etatene sjøl opplyser.

Disse fem punktene utgjør til sammen et bredt felt. Mye er gjort nasjonalt og internasjonalt på dette feltet, spesielt i vegsektoren, men også i jernbanesektoren, men mye gjenstår. Departementets initiativ er gledelig, men det er ikke å vente at etatene skal komme veldig mye lenger på dette feltet i løpet av noen måneder. Vi konstaterer at manglende systemer for innsamling av data, manglende data, og særlig manglende systematisering og utnytting av eksisterende data, har vært vesentlige hindringer for både Avinor, Kystverket og til dels Jernbaneverket når det gjelder å utarbeide slike analyser som departementet har bedt om. Hvis departementet skal oppnå mest mulig med sine krav til neste runde med NTP-planlegging, bør det

allerede nå bli vurdert hvilke deler av et slikt fempunktprogram en vil ha utført arbeid på.

Vegvesenet har gjennomført en analyse av å lukke etterslepet i vedlikeholdet på riksvegene i løpet av en periode på 12 år. Nullalternativet har vært å holde etterslepet på nåværende nivå i 40 år. Dette svarer til det første av de fem punktene vi har nevnt. Analysen viser at nettoytten av lukking av etterslep for vegfundament og vegdekke er svært stor (i størrelsesorden 15 milliarder kroner, se figur 5).

Jernbaneverket, i samarbeid med TØI, har gjennomført en analyse av type 2. Analysen har ikke kunnet svare på om det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å øke vedlikeholdsbudsjettet i jernbanesektoren. Til det har data vært for usikre, estimeringsmetodene for enkle og omfanget av infrastrukturkomponenter man har sett på, for snevert (bare skinner). Det kan imidlertid se ut til at skinnegangen på banestrekninger med høy trafikkbelastning bør fornyes omtrent i samme takt som Jernbaneverket har forutsatt når de har fastsatt levetida for skinner til 40 år. Vedlikeholdet av banestrekninger med lavere trafikk må sannsynligvis gjøres med utgangspunkt i andre samfunnshensyn enn de samfunnsøkonomiske.

Jernbaneverket har imidlertid startet et arbeid som på sikt vil kunne gi bedre resultater.

6 Litteratur

- Dahl, G. and H. Minken (2008) Methods based on discrete optimization for finding road network rehabilitation strategies. *Computers and Operations Research* **35**(7), 2193-2208.
- Kystverket, Statens vegvesen, Jernbaneverket og Avinor (2014) Vedlikeholds-
etterslep. Hovednotat, Analyse og strategifase. Nasjonal transportplan 2018-2027.
- Li, Y. and S. Madanat (2002) A steady state solution for the optimal pavement resurfacing problem. *Transportation Research A* **36**(6), 525-535.
- Minken, H., S.F. Meyer, K. Veisten og Yu Bai (2011) Samfunnsøkonomisk analyse av vedlikehold – hva trengs i etatene? TØI-rapport 1185/2011
- Minken, H., G. Dahl og N.G. Voll (2014) Modeller for økonomiske analyser av vedlikeholdsstrategier og vedlikeholdsbudsjetter. TØI-rapport 1380/2014.
- Minken, H., G. Dahl og C. Steinsland (2008) Samfunnsøkonomisk vurdering av vedlikeholdsstrategier, oppgradering og standardutforming i vegnettet. TØI-rapport 957/2008.
- Ouyang, Y. and S. Madanat (2006) An analytic solution for the finite-horizon pavement resurfacing planning problem. *Transportation Research B* **40**(9), 767-778.

Notat

Vegdekker: Lukking av etterslep Samfunnsøkonomisk analyse

Til: Even Sund, Vegdirektoratet
Fra: Ragnar Evensen/Johnny M Johansen/Marte Granden
ViaNova Plan og Trafikk AS
Kopi: Transportøkonomisk institutt
Dato: 2016-02-11
Arkiv: 20587/Vegdekker Lukking av etterslep Samfunnsøkonomisk analyse 2016-02-11.docx

Formål

Notatet dokumenterer samfunnsøkonomisk analyse av å forbedre dekketilstanden på riksvegnettet slik at vedlikeholdsetterslep i henhold til Statens vegvesens håndbok R610 *Standard for drift og vedlikehold av riksveger* fjernes i løpet av NTP-perioden 2018-2029. Analysen inkluderer effektene av å gjennomføre tiltak for å forlenge dekkelevetid på vegstrekninger hvor dekkelevetiden i dag er unormalt kort sammenlignet med normert dekkelevetid.

Innhold

Sammendrag.....	3
1 Oppdraget.....	6
2 Datagrunnlag.....	8
2.1 DATAKILDER.....	8
2.2 SENTRALE GRUNNLAGSDATA.....	8
2.2.1 Veglengder og trafikkmengde.....	8
2.2.2 Veglengde med etterslep.....	10
2.2.3 Tilstand på vegdekkene.....	11
3 Analysemetode.....	15
3.1 GENERELT.....	15
3.2 DELVEGNETT I ANALYSEN.....	17
3.3 TILSTANDSFORDELINGER FOR DELVEGNETT.....	18
3.4 REASFALTERINGSFREKVENS.....	20
3.5 VEGHOLDERKOSTNADER.....	21
3.5.1 Dekkefornyelse.....	21
3.5.2 Forsterkning av vegfundament.....	21
3.5.3 Trafikantenes forsinkelseskostnader.....	22
3.6 TRAFIKANTKOSTNADER.....	23
4 Resultater.....	24
Vedlegg 1 Trafikantkostnader.....	26
V1.1 TIDSKOSTNADER.....	26
V1.2 DRIVSTOFFKOSTNADER.....	26
V1.3 KOSTNADER REPARASJON OG SERVICE.....	27
V1.4 ULYKKESKOSTNADER.....	27
Vedlegg 2 Tilstandsfordeling.....	29
V2.1 ÅDT 300 – 1500, TO KJØREFELT, FARTSGRENSE OVER 60 KM/T.....	29
V2.2 ÅDT 1500 – 3000, TO KJØREFELT, FARTSGRENSE OVER 60 KM/T.....	30
V2.3 ÅDT 3000 – 5000, TO KJØREFELT, FARTSGRENSE OVER 60 KM/T.....	31
V2.4 ÅDT 5000 – 10000, TO KJØREFELT, FARTSGRENSE OVER 60 KM/T.....	32
V2.5 ÅDT 10000 – 20000, TO KJØREFELT, FARTSGRENSE OVER 60 KM/T.....	33
V2.6 ÅDT OVER 20000, TO KJØREFELT, FARTSGRENSE OVER 60 KM/T.....	34
V2.7 ÅDT OVER 20000, MER ENN TO KJØREFELT, FARTSGRENSE OVER 60 KM/T... ..	35
Vedlegg 3 Basisresultater Nettonytte.....	36

Sammendrag

Det er gjennomført en samfunnsøkonomisk analyse for å fastlegge nytten av å lukke vedlikeholdsetterslepet for vegdekker inkludert vegfundament i løpet av NTP-perioden på 12 år, og deretter opprettholde tilstand iht håndbok R610 *Standard for drift og vedlikehold av riksveger* i resten av analyseperioden mot et referansealternativ med opprettholdelse av dagens tilstand (og etterslep) på vegdekker gjennom hele analyseperioden.

Det er benyttet samme analysemetode som ble brukt i 2006 ved forarbeidene for revidering av R610 *Standard for drift og vedlikehold av riksveger*¹. Dette innebærer at det lages en prognose for tilstandfordelingen mhp spordybde og jevnhet på vegdekkene for hele analyseperioden (40 år). Videre beregnes vegholders kostnader knyttet til alle dekketiltak i perioden. Trafikantkostnader beregnes som funksjon av dekketilstanden basert på kjente sammenhenger mellom tilstand og trafikantkostnader. Trafikantenes forsinkelseskostnader ved dekketiltak beregnes i sammenheng med vegholderkostnadene fordi disse er direkte knyttet til gjennomføring av dekketiltakene.

Modellverktøyet er oppdatert med hensyn til enhetspriser både for vegholderkostnader og trafikantkostnader. Ved beregning av ulykkeskostnader er det lagt inn en standard forutsetning om en reduksjon på 1,3 % pr år basert på en generell forventet nedgang i antall døde, hardt skadde og lett skadde av årsaker som ikke skyldes vegens geometri eller tilstand. Beregningsmodellene er videre komplettert med justering for realprisutvikling på 1,4 % for alle kostnadstypene.

Analysen utføres for prisnivå 2016. Basisår for nåverdiberegninger er 2018. Analyseperioden er 40 år. Det er benyttet en kalkulasjonsrente på 4 %. For vegholders kostnader er det benyttet en skattefaktor på 20 %.

Trafikkvekst er satt lik 1,5 % pr år. Denne trafikkveksten er ikke differensiert på ÅDT-intervall og lette/tunge kjøretøy pga manglende informasjonsgrunnlag.

Analysen er gjennomført for dagens vegnett og tar ikke hensyn til endringer i vegnettet som vil komme i løpet av analyseperioden.

Av riksvegnettets samlede 10 600 km veg er 8105 km tofeltsveg og 430 km veg med mer enn to kjørefelt inkludert i analysen. Øvrig vegnett er holdt utenfor analysen fordi det mangler grunnlagsdata eller fordi delvegnettet representerer så korte veglengder at etablering av sikre tilstandsdata ikke er mulig.

Nødvendig tiltak for å lukke etterslepet, både forsterkningstiltak for vegfundament og vedlikeholdstiltak for vegdekker, gjennomføres med jevnt fordelte tiltak over alle årene i 12-årsperioden, uten differensiering mht. vegtyper eller ÅDT-intervall. Forsterkningens effekt på framtidig dekkelevetid og resulterende dekkefornyingsstakt, er inkludert i beregningen av tilstandfordelingen for vegdekkene.

Vegholders kostnader er fastlagt som løpemeterkostnader for standard dekke- og forsterkningstiltak basert på enhetspriser for innsatsfaktorene og relevante vegbredder.

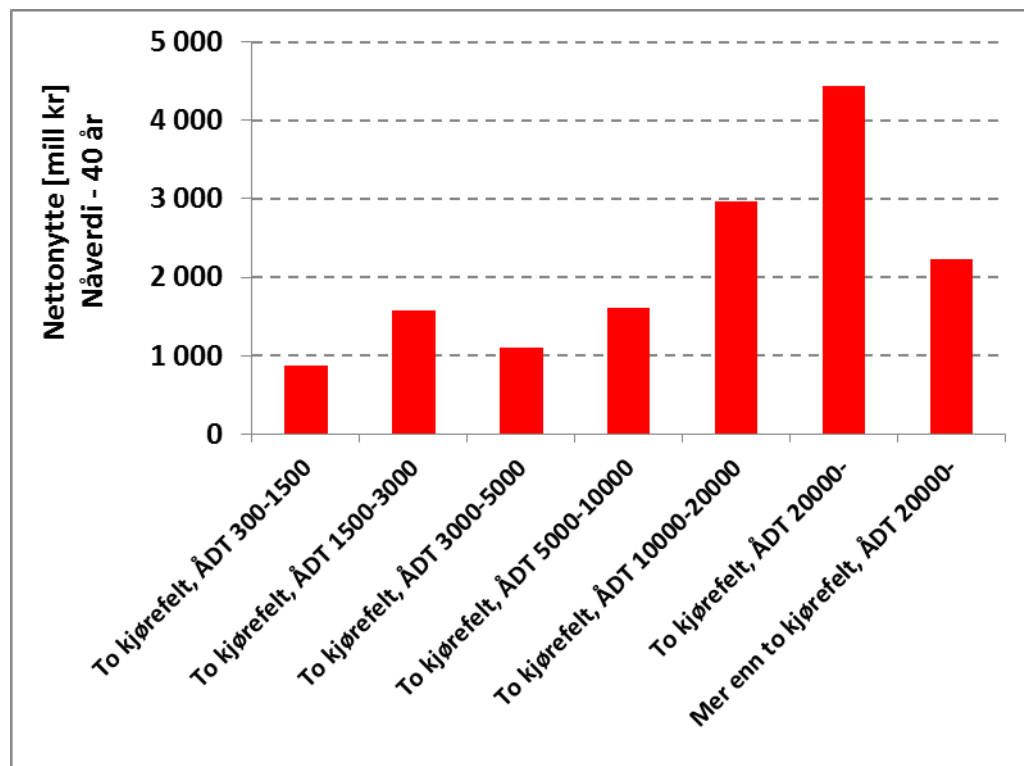
¹ Samfunnsmessige konsekvenser av ulikt innsatsnivå i drift og vedlikehold Veg- og ferjerapport Nr 1 – 2006, Vegdirektoratet

Tiltaksintervall mellom dekketiltak er fastsatt ut fra normerte levetider for vegdekker samt tilstandsfordelingen med hensyn på spor og jevnhet.

Trafikantkostnader beregnes som funksjon av spordybde og jevnhet (IRI) for vegdekker. Følgende trafikantkostnader inkluderes i analysene:

- Timeskostnader lett bil/Tidsavhengige driftskostnader tung bil
- Drivstoffkostnader lett bil/tung bil
- Kostnader reparasjon og service lett bil/tung bil
- Ulykkeskostnader

Nåverdi av nettonytte av lukking av etterslep er vist i figuren nedenfor.



Resultatet av analysene viser positiv nettonytte av lukking av etterslep for alle analyserte ÅDT-intervaller, men med størst nettonytte for høyeste trafikknivåer.

Dette er som forventet, fordi vedlikeholdsstandarden er fastsatt basert på samfunnsøkonomisk analyse med mål om en samfunnsøkonomisk optimal standard. Praktisk-politisk tilpasning av vedlikeholdsstandarden innebærer at de laveste ÅDT-klassene har fått en standard som ligger over en rent samfunnsøkonomisk optimal standard, ut fra en tankegang om at der det er vedtatt å ha en veg, må denne holde en viss minstandard. Dette medvirker til at nettonytten av å lukke etterslep blir mindre for de lavere ÅDT-klassene.

Kostnadene for lukking av etterslep for vegnettet som er tatt med i denne analysen, er samlet 4,4 mrd kr når skattefaktoren er trukket ut. Proratarisk omregning til hele riksvegnettet gir en kostnad for utbedring av etterslep på 5,6 mrd kr (2016-prisnivå). Regionenes beregning av kostnad for utbedring av etterslepet er 7,3 mrd kr² i 2014-

² Nasjonal transportplan 2018-2027 Vedlikeholdsetterslep Analyse- og strategifase

prisnivå inkludert merverdiavgift. Dette antas å tilsvare om lag 7,7 mrd kr i 2016-prisnivå inkludert merverdiavgift (6,2 mrd kr eksklusive merverdiavgift).

Årlige kostnader for dekkevedlikehold for referansealternativet, uten lukking av etterslep, er beregnet til 1,0 mrd kr/år når skattefaktoren er trukket ut. Proratarisk omregning til hele riksvegnettet gir en årlig kostnad på 1,25 mrd kr i prisnivå 2016 (eks. skattefaktor). Tilsvarende kostnad for hovedalternativet, med lukking av etterslep, er 1,5 mrd kr i prisnivå 2016 (eks. skattefaktor). I forslag til Statsbudsjettet for 2016 er det foreslått om lag 1,3 mrd kr til dekkevedlikehold. Analysens vegholderkostnader er imidlertid ikke direkte sammenlignbar med dekkeprogrammets kostnader. Dekkeprogrammet benytter noen løsninger som er enklere enn de tiltakene som ligger til grunn for analysens beregninger. På den andre siden omfatter analysen kun tiltak utløst av spordybde og jevnhet, mens dekkeprogrammet også inkluderer tiltak utløst av andre forhold (skader, mm).

1 Oppdraget

Retningslinje 2 (R2) for arbeidet med Nasjonal transportplan 2018-2029 beskriver oppdrag innen drift og vedlikehold. R2 understreker at det fortsatt må arbeides med beregningsverktøy og utvikling av metoder for å få på plass samfunnsøkonomiske metoder som kan være til støtte i avveiningene.

Transportanalyse- og metodegruppen er gitt et oppdrag med å vurdere hvordan samfunnsøkonomiske analyser kan benyttes i vurdering av nivå på vedlikeholdet. Med bakgrunn i arbeidet fra analyse- og strategifasen, og aktuell erfaring fra etatene, vil det være mulig å benytte samfunnsøkonomiske analyser i vurderingen av nivået for drift og vedlikehold som skal foreslås i planforslaget. Det er lagt til hver etat å bestemme innen hvilke drifts- og vedlikeholdsområder som det er mulig å gjennomføre beregninger for.

Statens vegvesen har vurdert at det er mulig å benytte slike analyser for vegdekkevedlikehold. For vegdekker foreligger tilstandsdata fra de siste årene og det finnes relativt gode og direkte sammenhenger mellom tilstand og effekter som tidskostnader, kjørekostnader, ulykkeskostnader og vegholderkostnader. Dette gjør det mulig å gjennomføre kvantitative analyser.

Oppdraget er videre konkretisert til å omfatte en konsekvensanalyse av å forbedre dekketilstanden på riksvegnettet slik at vedlikeholdsetterslep i henhold til Statens vegvesens håndbok *R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger* er fjernet. Dette skal også inkludere effektene av å forlenge dekkelevetid på strekninger hvor dekkelevetiden i dag er unormalt kort sammenlignet med normert dekkelevetid.

Det skal benyttes samme analysemetode som ble brukt i 2006 ved forarbeidene for revidering av *R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger*³. Metoden skal dog oppdateres dersom det finnes lett tilgjengelig ny kunnskap som kan forbedre de modellene som benyttes, og enhetspriser og annet prisgrunnlag skal ajourføres.

Analysen skal fastlegge nytten av å lukke vedlikeholdsetterslepet for vegdekker i løpet av NTP-perioden på 12 år, og deretter opprettholde tilstand iht R610 i resten av analyseperioden mot et referansealternativ med opprettholdelse av dagens tilstand (og etterslep) på vegdekker gjennom hele analyseperioden.

Analysen skal utføres med prisnivå 2016. Basisår for nåverdiberegninger skal være 2018. Analyseperioden skal være 40 år. Det skal benyttes en kalkulasjonsrente på 4 %. For vegholders kostnader skal det nyttes en skattefaktor på 20 %.

Kostnadene for lukking av etterslepet for vegdekker og vegfundament er beregnet regionvis av Statens vegvesen som en del av arbeidet i analyse- og strategifasen for NTP 2018-2029⁴. Kostnadstall fra disse beregningene kan nyttes i den endelige vurderingen av den samfunnsøkonomiske analysen. Fordi regionenes beregninger er utført med lokalkunnskap og skjønnsmessige faglige vurderinger og fordi det ikke

³ Samfunnsmessige konsekvenser av ulikt innsatsnivå i drift og vedlikehold
Veg- og ferjerapport Nr. 1 – 2006,
Vegdirektoratet

⁴ Nasjonal transportplan 2018-2027
Vedlikeholdsetterslep
Analyse- og strategifase,
Hovednotat 30. september 2014

foreligger informasjon om fordeling av kostnadene over tid (egentlig tidsplan for lukking av etterslep) skal det gjennomføres en komplett beregning av vegholderkostnader integrert i den samfunnsøkonomiske analysen, med definerte enhetspriser og tidsforløp for lukkingen av etterslepet.

2 Datagrunnlag

2.1 Datakilder

Grunnlagsdata for gjennomføring av analysen er hentet fra flere kilder. Basisdata for riksvegnettet (ÅDT, lengder, bredder, kjørefelt, mm) er hentet fra Nasjonal vegdatabank (NVDB). Tilstandsdata for vegdekkene samt etterslepsdata er hentet fra Statens vegvesens forvaltningssystem for vegdekker PMS2010.

Enhetspriser for beregning av vegholders kostnader er utarbeidet på grunnlag av prisanalyse av asfaltarbeider 2015⁵. Grunnlaget for enhetsprisene som benyttes for beregning av trafikantkostnader er det samme som benyttes i nytte-kostnadsanalyser i Statens vegvesen⁶ og i Statens vegvesens program for nytte-kostnadsanalyse av veg- og trafikktiltak EFFEKT⁷. Regulering av enhetspriser for trafikantkostnader er justert til 2016-prisnivå av TØI⁸.

2.2 Sentrale grunnlagsdata

2.2.1 Veglengder og trafikkmengde

Analysen omfatter riksvegnettet unntatt ramper og rundkjøringer, dvs kun vegstrekninger med hovedparsellnummer mindre enn 70. Ramper og rundkjøringer har ofte et mangelfullt datagrunnlag både mht trafikkmengde og tilstand og kan derfor ikke analyseres med de metodene som benyttes her.

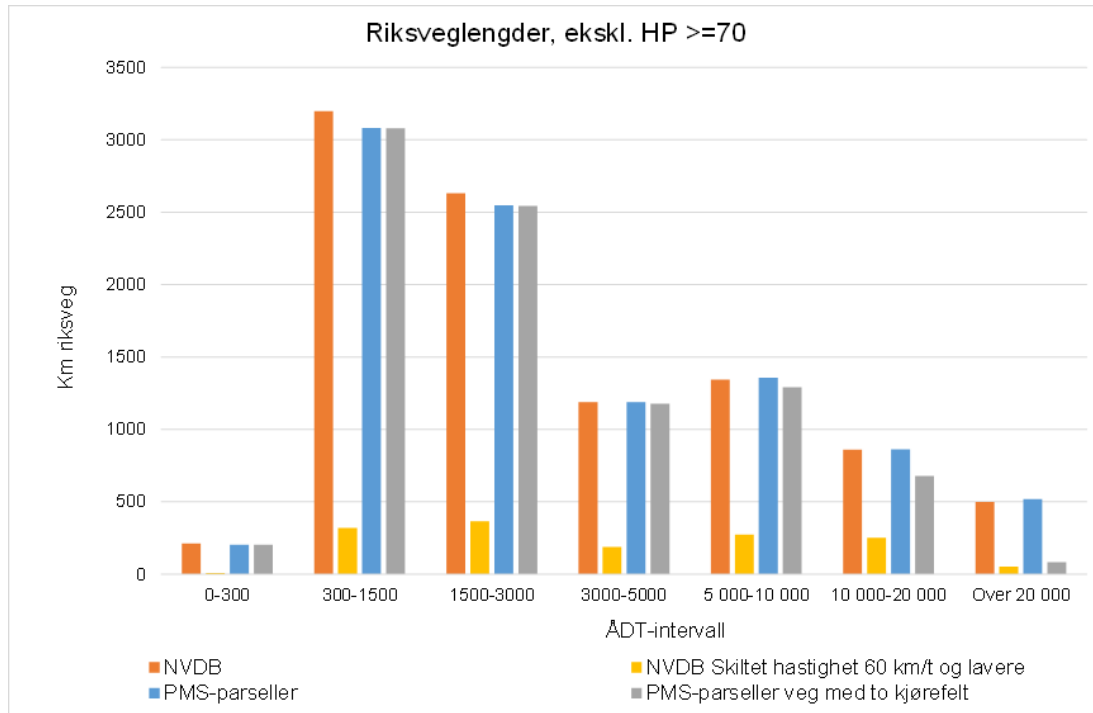
Veglengde fordelt på ÅDT-intervaller er vist i Figur 1. Figuren viser både veglengden for PMS-parseller i PMS 2010 og veglengder hentet fra NVDB direkte. Sammenlikningen viser at PMS 2010 er nesten helt komplett med hensyn til datagrunnlag. Figuren viser også andel av veglengden som har skiltet hastighet mindre eller lik 60 km/t.

⁵ Prisanalyse asfaltarbeider 2015
Vedlikehold av vegdekker
ViaNova Plan og Trafikk AS, Juli 2015
(U.off. § 23 1. ledd)

⁶ Oppdatering av enhetskostnader i nytte-kostnadsanalyser i Statens vegvesen
Statens vegvesen/COWI,
April 2014

⁷ EFFEKT 6 Endringer og utvidelser i versjon 6.60
Statens vegvesen, 2015-02-27

⁸ Notat Harald Minken,
TØI, 14.09.2015



Figur 1 Riksveglengder (hovedparsellnummer mindre enn 70) fordelt på ÅDT-intervaller samt andel med skiltet hastighet mindre eller lik 60 km/t. Datakilder: NVDB og PMS2010.

Tabell 1 viser midlere ÅDT for hvert av ÅDT-intervallene i Figur 1. Tabellen er splittet i veger med to kjørefelt og veger med mer enn to kjørefelt. For veger med mer enn to kjørefelt er midlere ÅDT beregnet ut fra kjørefeltlengden. Med unntak av veger med ÅDT over 20 000 er det små forskjeller mellom veger med to kjørefelt og veger med mer enn to kjørefelt med hensyn på midlere ÅDT. Tabellen viser også midlere tungtrafikkandel (ÅDT-T) i hvert ÅDT-intervall.

Det bemerkes at også for veger med mer enn to kjørefelt, er ÅDT angitt som trafikkmengden over hele veggverrsnittet uten å ta hensyn til fordelingen av trafikkmengden mellom kjørefeltene.

ÅDT Intervall	Midlere ÅDT		Andel tunge kjøretøy
	Veg med to kjørefelt	Veg med mer enn to kjørefelt	
0 - 300	239	227	21 %
301 - 1500	916	926	17 %
1501 - 3000	2 209	2 168	17 %
3001 - 5 000	3 935	3 632	14 %
5 001 - 10 000	7 055	7 354	13 %
10 000 - 20 000	13 759	14 575	11 %
Over 20 000	24 890	49 173	11 %

Tabell 1 Midlere ÅDT i ÅDT-intervall samt andel tunge kjøretøy i hvert intervall. Datakilde: PMS2010/NVDB

2.2.2 Veglengde med etterslep

Veglengde med etterslep for vegdekke og vegens fundament er vist i Tabell 2. Lengden veg med etterslep for vegdekket inkluderer ikke de strekningene hvor det er etterslep med hensyn på både vegdekke og vegens fundament, disse er inkludert i lengden veg med etterslep med hensyn på vegens fundament.

ÅDT-intervall	Lengde veg med etterslep (km)		
	Fundament	Vegdekke	Sum
0-300	2,0	35,8	37,8
301-1500	258,9	262,1	521,0
1501-3000	436,6	175,0	611,6
3001-5000	183,3	61,7	245,0
5001-10000	34,5	210,7	245,2
10 001-20 000	22,0	229,8	251,8
Over 20 000	13,7	142,1	155,8
Sum	951,0	1117,2	2068,2

*Tabell 2 Lengde veg med etterslep for vegdekke og vegfundament.
 Datakilde: PMS2010 - Etterslepsmodul*

Fordi en betydelig del av strekninger med etterslep omfatter veger med ÅDT over 5000, er det nødvendig å skille mellom veger med to kjørefelt og veger med mer enn to kjørefelt.

Tabell 3 viser medianverdier for kjørebanebredde, dekkebredde og vegbredde for riksveger med to kjørefelt. Ramper og armer er ikke med i datagrunnlaget.

ÅDT-intervall	Kjørebanebredde (m)	Dekkebredde (m)	Vegbredde (m)
0 - 300	5,6	5,8	6,8
301 - 1500	5,9	6,5	7,2
1501 - 3000	6,3	7,0	7,7
3001 - 5 000	6,2	6,6	8,0
5 001 - 10 000	6,7	7,8	8,5
10 000 - 20 000	7,0	8,2	9,0
Over 20 000	7,2	9,4	10,0
Over 20 000 Mer enn to kjørefelt	14,0	18,0	19,0

*Tabell 3 Medianverdier for kjørebanebredde, dekkebredde og vegbredde for riksveger med to kjørefelt.
 Medianverdier for kjørebanebredde, dekkebredde og vegbredde for riksveger med mer enn to kjørefelt, ÅDT over 20000.
 Datakilde: NVDB*

2.2.3 Tilstand på vegdekkene

Som indikator for tilstand benyttes 90/10-verdier for spordybde og jevnhet (IRI) for PMS-parseller⁹. Kravene til spordybde og jevnhet er gitt av Statens vegvesens håndbok *R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger*, vist i Tabell 4.

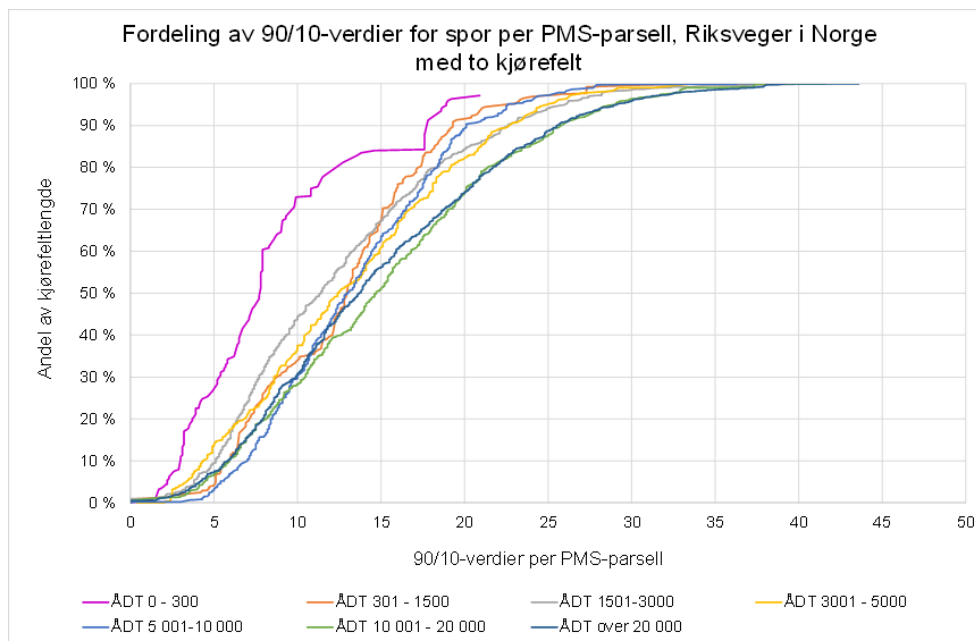
ÅDT	Ujevnhet på tvers/spordybde 90 %-verdi spordybde (mm)
0 – 5000	25
5001 –	20

ÅDT	Ujevnhet på langs/IRI 90 %-verdi IRI (mm/m)	
	Vegdekkklasse 1 (skal benyttes for riksveger)	Vegdekkklasse 2
0 – 300	5,0	7,0
301 – 1500	5,0	6,0
1501 – 5000	4,5	5,0
5001 – 10000	4,0	4,5
> 10000	3,5	4,0

Tabell 4 Standard for vegdekkers spordybde og jevnhet.

Kilde: R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger

Tilstand på riksvegnettet mhp sporybde og jevnhet er vist på Figur 2 og Figur 3. Figurene viser bare veger med to kjørefelt.

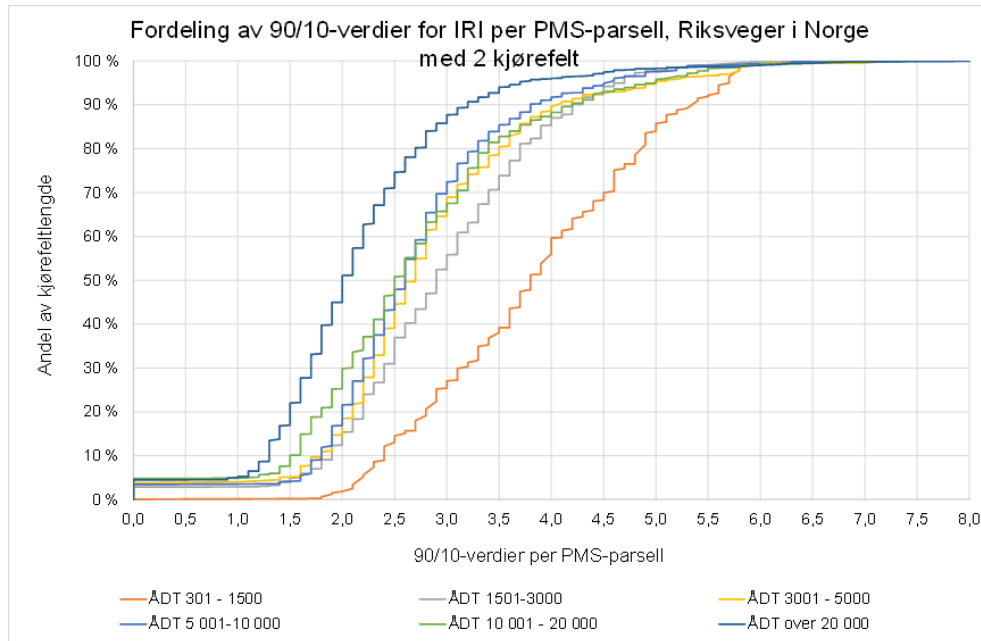


Figur 2 90/10-verdier for spordybde pr PMS-parsell

Datakilde: NVDB

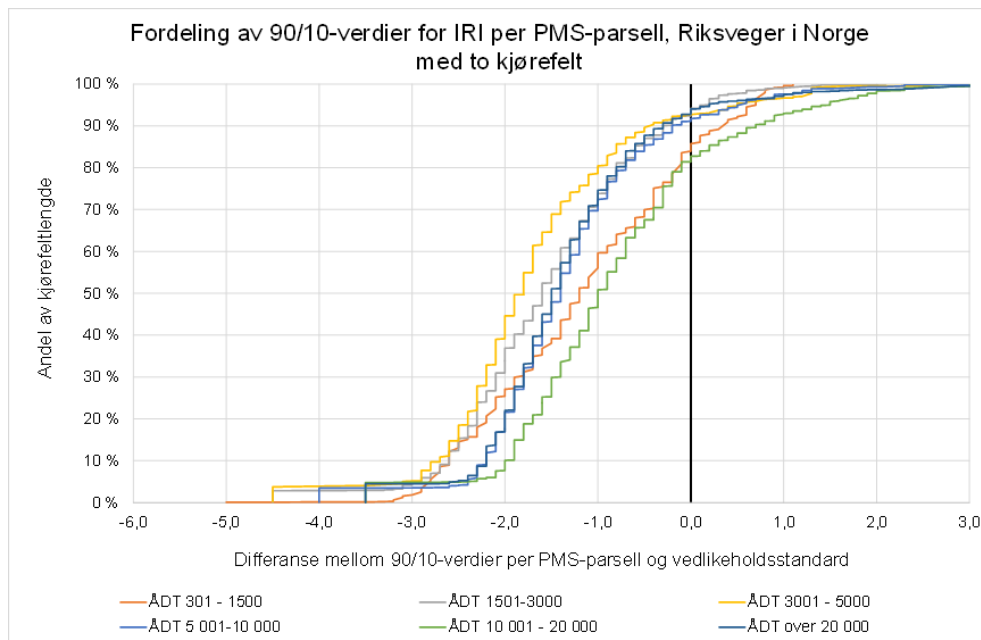
⁹ 90/10-verdi: 10 % av PMS-parsellens lengde har spordybde/IRI-verdi som er større enn 90/10-verdien.

PMS-parsell: Vegnettet er delt inn i PMS-parseller med lengde 1000 m som grunnlag for vurdering av tilstand og planlegging av vedlikehold.



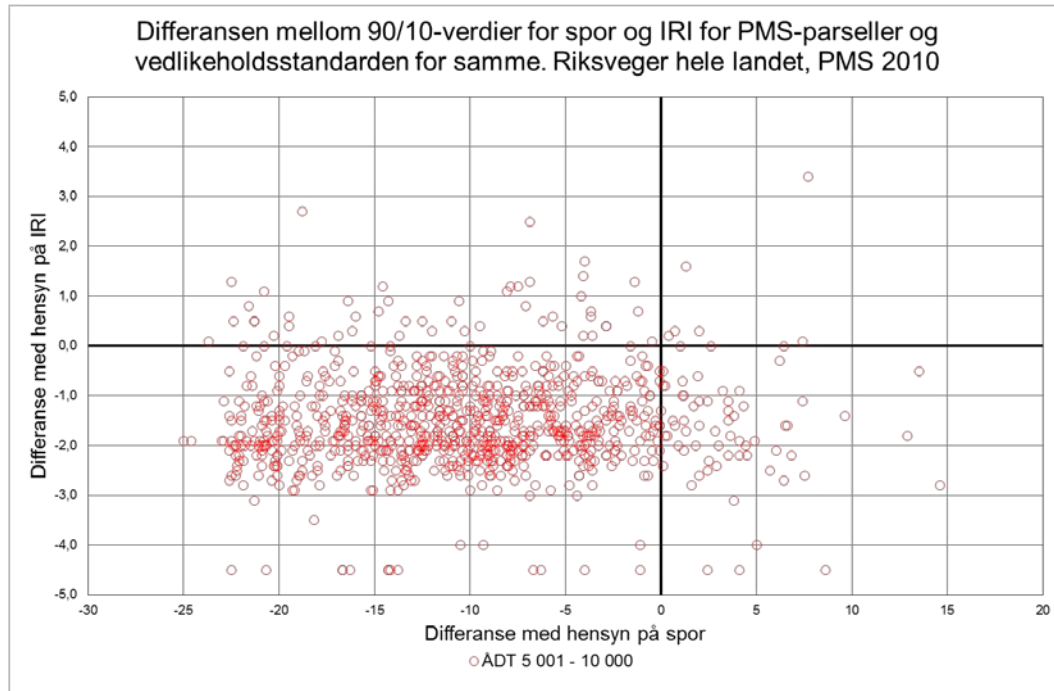
Figur 3 90/10-verdier for jevnhet (IRI) pr PMS-parsell
Datakilde: NVDB

For spordybde er det relativt enkelt å vurdere 90/10-verdiene opp mot vedlikeholdsstandarden (Tabell 3). Veger med ÅDT opp til 5000 har 25 mm som utløsende verdi for spordybde, veger over 5000 har 20 mm som utløsende verdi. For IRI er forholdene noe mer komplekse fordi standardkravene varierer mer med ÅDT. Figur 4 viser derfor jevnhetstilstand som differansen mellom utløsende verdi og registrert dekketilstand.



Figur 4 Differanse mellom 90/10-verdier for jevnhet (IRI) pr PMS-parsell og vedlikeholdsstandarden.
Datakilde: NVDB

Ved vurdering av etterslepet for vegdekker må man ta hensyn til at etterslepet med hensyn på spordybde og jevnhet (IRI) ikke er uavhengige, Dette vises på Figur 5 for ÅDT-intervall 5 001 – 10 000.



Figur 5 Differanse mellom 90/10-verdier for spordybde og jevnhet (IRI) pr PMS-parcell og vedlikeholdsstandarden for samme PMS-parcell.
ÅDT: 5 001 – 10 000
Datakilde: NVDB

Veglengde med tilstand som ikke tilfredsstillende vedlikeholdstandarden for alle ÅDT-intervall er vist i Tabell 5a og 5b.

ÅDT - intervall	Lengde veg (km) med dekketilstand som ikke tilfredsstillende vedlikeholds-standarden, veger med to kjørefelt.				
	Både spor og IRI	Bare IRI	Bare spor	Andel bare spor	Sum
0 - 300	13	42	21	28 %	76
301 - 1500	52	142	193	50 %	387
1501 - 3000	24	67	218	70 %	310
3001 - 5000	7	26	75	70 %	108
5001 - 10 000	19	23	194	82 %	236
10 001 - 20 000	29	61	128	59 %	218
Over 20 000	6	8	7	34 %	22
Sum	150	369	837	62 %	1356

Tabell 5a Lengde veg med dekketilstand som ikke tilfredsstillende vedlikeholdstandarden, veger med to kjørefelt.
Datakilde: NVDB

ÅDT - intervall	Lengde veg (km) med dekketilstand som ikke tilfredsstillende vedlikeholds-standard, veger med mer enn to kjørefelt.				
	Både spor og IRI	Bare IRI	Bare spor	Andel bare spor	Sum
0 - 300	0	0	1	100 %	1
301 - 1500	0	0	0		0
1501 - 3000	0	1	0	0 %	1
3001 - 5000	0	1	1	46 %	3
5001 - 10 000	0	1	2	58 %	4
10 001 - 20 000	4	25	26	47 %	55
Over 20 000	6	38	96	68 %	141
Sum	11	67	126	62 %	205

*Tabell 5b Lengde veg med dekketilstand som ikke tilfredsstillende vedlikeholds-standard, veger med mer enn to kjørefelt.
 Datakilde: PMS2010/NVDB*

Sammenholdes Tabell 5 med Tabell 2 framkommer visse uoverensstemmelser med hensyn på lengde veg med etterslep mellom etterslepberegninger i PMS2010 og analyse basert på data direkte fra NVDB.

3 Analysemetode

3.1 Generelt

Det er benyttet samme analysemetode som ble brukt i 2006 ved forarbeidene for revidering av R610 *Standard for drift og vedlikehold av riksveger*¹⁰. Dette innebærer at det lages en prognose for tilstandfordelingen mhp spordybde og jevnhet på vegdekkene for hele analyseperioden (40 år). Videre beregnes vegholders kostnader knyttet til alle dekketiltak i perioden. Trafikantkostnader beregnes som funksjon av dekketilstanden basert på kjente sammenhenger mellom tilstand og trafikantkostnader. Trafikantenes forsinkelseskostnader ved dekketiltak beregnes i sammenheng med vegholderkostnadene fordi disse er direkte knyttet til gjennomføring av dekketiltakene.

Modellverktøyet er oppdatert med hensyn til enhetspriser både for vegholderkostnader og trafikantkostnader. Ved beregning av ulykkeskostnader er det lagt inn en standard forutsetning om en reduksjon på 1,3 % pr år basert på en forventet nedgang i antall døde, hardt skadde og lett skadde av årsaker som ikke skyldes vegens geometri eller tilstand.

Beregningsmodellene er videre komplettert med justering for realprisutvikling for de ulike kostnadstypene.

For trafikantkostnader benyttes en realprisjustering på 1,4 % pr år¹¹. Denne er felles for alle trafikantkostnader. Denne verdien er hentet fra Jernbaneverkets verktøy for samfunnsøkonomiske analyser. I forrige versjon av EFFEKT ble det benyttet en realprisjustering på 1,28-1,60 % pr år.

Realprisjusteringen for vegholderkostnader, dvs i hovedsak asfaltarbeider, er vanskeligere å finne et godt grunnlag for. Etter en periode på mer enn 25 år med praktisk talt ingen prisendring, har asfaltprisene i perioden 2006 til 2014 øket med ca kr 40,- per tonn asfalt pr år. Dette tilsvarer en prisøkning i størrelsesorden 7,2 % pr år. Sammenliknet med en årlig endring i konsumprisindeksen på 2,5 % gir dette en realprisjustering på 4,5 % pr år. Hvorvidt denne utviklingen vil fortsette 40 år frem i tid, er vanskelig å vurdere. Antagelig er det mer realistisk å anta at de fremtidige prisøkningene for asfalt tilsvarer en realprisjustering på 1,4 % pr år som for de andre kostnadene.

Trafikkvekst er satt lik 1,5 % pr år. Denne trafikkveksten er ikke differensiert på ÅDT-intervall og lette/tunge kjøretøy pga manglende informasjonsgrunnlag.

Analysen gjennomføres for dagens vegnett og tar ikke hensyn til endringer i vegnettet som vil komme i løpet av analyseperioden.

Beregningene foretas for hovedalternativet «lukke vedlikeholdsetterslepet for vegdekker i løpet av NTP-perioden på 12 år, og deretter opprettholde tilstand iht R610 i resten av analyseperioden (til 2058)». Referansealternativet som beregnes, omfatter «opprettholdelse av dagens tilstand (og etterslep) på vegdekker gjennom hele analyseperioden (til 2058)».

¹⁰ Samfunnsmessige konsekvenser av ulikt innsatsnivå i drift og vedlikehold Veg- og ferjerapport Nr. 1 – 2006, Vegdirektoratet

¹¹ Merklin, desember 2014

Lukking av etterslep kan foretas etter flere ulike strategier. Som grunnlag for analysen forutsettes at nødvendig tiltak for å lukke etterslepet, både forsterkningstiltak for vegfundament og vedlikeholdstiltak for vegdekker, gjennomføres med jevnt fordelte tiltak over alle årene i 12-årsperioden, uten differensiering mht. vegtyper eller ÅDT-intervall. Forsterkningens effekt på framtidig dekkelevetid og resulterende dekkefornyingstakt, er inkludert i beregningen av tilstandfordelingen for vegdekkene.

Trafikantkostnader beregnes for hele året. Dette medfører noe unøyaktighet i analysen, fordi deler av vegnettet, og spesielt det lavtrafikkerte vegnettet, er dekket av snø og is i deler av vinterperioden. I disse periodene er ikke trafikken eksponert for vegdekkets reelle tilstand, men for en tilstand med annen spordybde og jevnhet. Dette snø/isdekket har også andre egenskaper som påvirker trafikantkostnadene. Beregning for hele året benyttes fordi det er vanskelig og ressurskrevende å utvikle alternative modeller som håndterer kjøring på snø/is i deler av året. I tillegg gir en beregning for hele året de samme forutsetningene for hovedalternativ og referansealternativ, og dermed opprettholdes til en viss grad det relative forholdet mellom alternativene. Videre vil en bedret dekketilstand medføre bedre forhold for vinterdrift med bedre kvalitet på føreforholdene og dermed i sin tur nytte for trafikantene.

Analysen utføres for prisnivå 2016. Basisår for nåverdiberegninger er 2018. Analyseperioden er 40 år. Det er benyttet en kalkulasjonsrente på 4 %. For vegholders kostnader er det benyttet en skattefaktor på 20 %.

Ut fra de beregnede vegholder- og trafikantkostnader, fastlegges nettonytte for hovedalternativet med lukking av etterslep i forhold til referansealternativet.






3.2 Delvegnett i analysen

Vedlikeholdsstandarden (håndbok R610) er inndelt i ÅDT-intervaller og den samfunnsøkonomiske analysen gjennomføres derfor også for ÅDT-intervaller. Modellene for trafikantkostnader skiller mellom veger med fartsgrense mindre eller lik 60 km/t og større enn 60 km/t. Det er derfor nødvendig å inndele alle ÅDT-intervaller iht dette fartsgrensekriteriet. Dette gir en inndeling av riksvegnettet som vist i Tabell 6. Tabellen viser også hvilke delvegnett som analysen er gjennomført for.

ÅDT-intervall	Veg med to kjørefelt (km) Veglengde		Veg med mer enn to kjørefelt (km) Kjørefeltlengde
	> 60 km/t	≤60 km/t	
0 - 300	195	9	230
301 - 1500	2 762	320	15
1501 - 3000	2 182	365	18
3001 - 5 000	1 001	189	28
5 001 - 10 000	1 083	273	167
10 000 - 20 000	612	250	600
Over 20 000	465	53	1 719 (tilsv. 430 km veg)
Sum lengde	8 300	1 459	2 776
Sum analysert	8 105	0	1 719 (tilsv. 430 km veg)

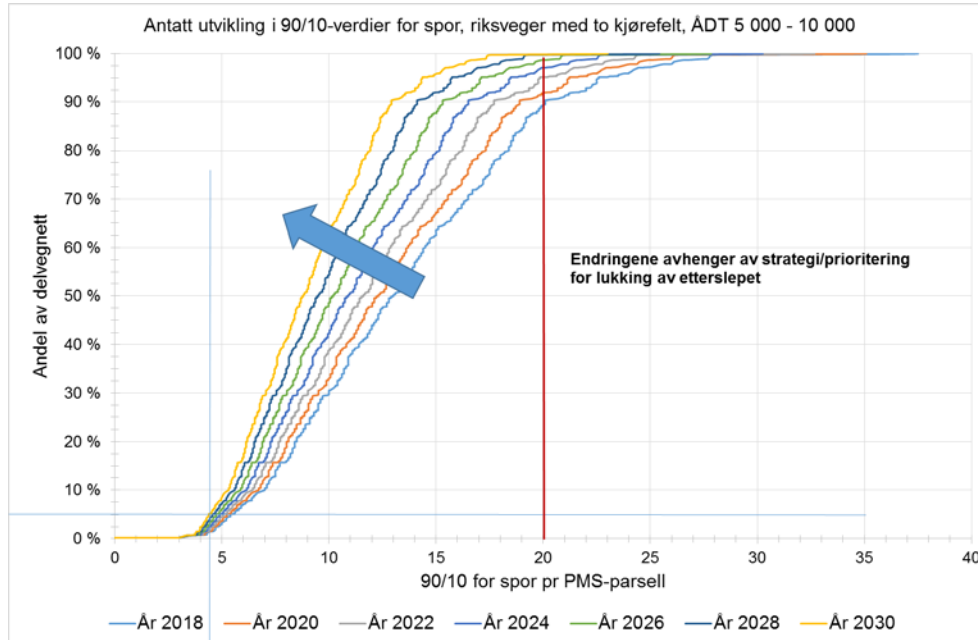
Tabell 6 Inndeling av vegnettet mht. fartsgrense og ÅDT.

Utførte analyser:

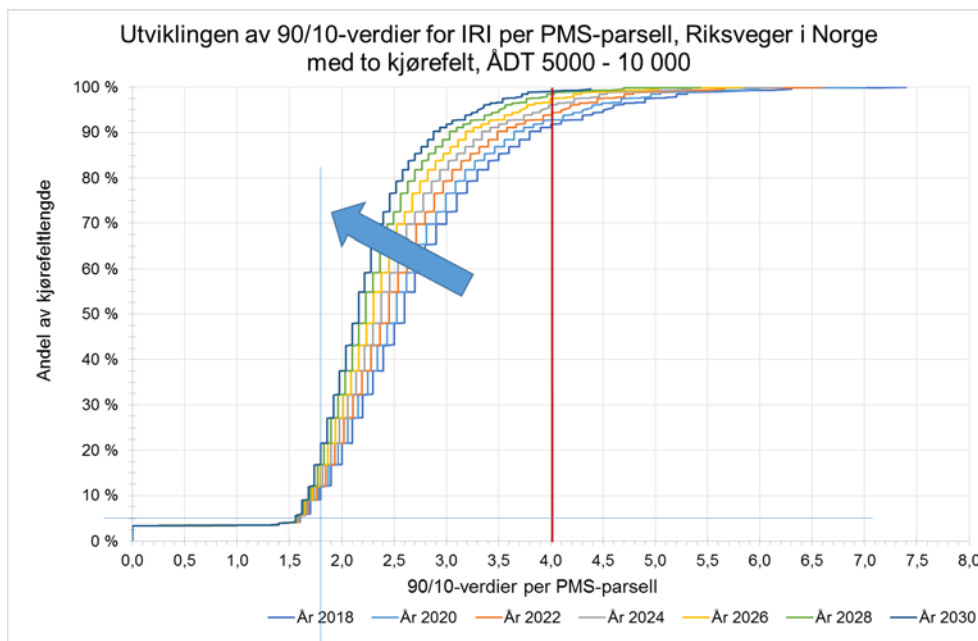
-  Analyse gjennomført.
-  Analyse er ikke gjennomført.
-  Analyse kan teknisk gjennomføres, kort veglengde, datagrunnlag er usikkert.
-  Analyse kan ikke gjennomføres.
-  Kort veglengde, datagrunnlag mangler eller er meget usikkert.

3.3 Tilstandsfordelinger for delvegnett

For hvert ÅDT-intervall som skal analyseres, fastlegges tilstanden mht spordybde ved analyseperiodens start (2018, antas lik tilstanden i 2015). Videre etableres estimat for tilstandsfordelingen ved lukking av etterslepet (for hvert år i 12 års perioden). Dette er vist for spordybde i Figur 6a og for jevnhet (IRI) i Figur 6b.



Figur 6a Antatt endring i tilstandsfordeling for 90/10-verdier for spordybde. ÅDT-intervall 5000 – 10000.



Figur 6b Antatt endring i tilstandsfordeling for 90/10-verdier for jevnhet (IRI). ÅDT-intervall 5000 – 10000.

For hovedalternativet, med lukking av etterslep, utføres således beregningene med de viste tilstandsfordelingene i perioden 2018-2030 og med fordelingen for 2030 i resten

av analyseperioden. For referansealternativet utføres beregningene med tilstandsfordelingen for 2018 gjennom hele analyseperioden.

Tilstandsfordelingene som er benyttet for de analyserte ÅDT-intervallene, er vist i Vedlegg 2.

For å kunne beregne trafikantkostnader må det etableres tilstandsdata for vegnettet i hver av kategoriene i Tabell 6. Vegnettet i hvert ÅDT/fartsgrenseintervall deles i 5*3 delvegnett. Disse 15 delvegnettene etableres slik at de representerer deler av vegnettet rangert fra beste til dårligste tilstand etter følgende prinsipp:

Trinn 1:	Trinn 2:
10 % av delvegnettet (beste andel)	20 % av delvegnettet (beste andel)
	60 % av delvegnettet (midterste andel)
	20 % av delvegnettet (dårligste andel)
15 % av delvegnettet	20 % av delvegnettet (beste andel)
	60 % av delvegnettet (midterste andel)
	20 % av delvegnettet (dårligste andel)
50 % av delvegnettet (midterste andel)	20 % av delvegnettet (beste andel)
	60 % av delvegnettet (midterste andel)
	20 % av delvegnettet (dårligste andel)
15 % av delvegnettet	20 % av delvegnettet (beste andel)
	60 % av delvegnettet (midterste andel)
	20 % av delvegnettet (dårligste andel)
10 % av delvegnettet (dårligste andel)	20 % av delvegnettet (beste andel)
	60 % av delvegnettet (midterste andel)
	20 % av delvegnettet (dårligste andel)

Hvert av disse 15 delvegnettene representeres med en midlere verdi for spordybde og jevnhet utledet fra den samlede tilstandsfordeling for ÅDT-intervallet.

3.4 Reasfalteringsfrekvens

Etter ekstra dekketiltak for å lukke etterslepet for vegdekker og etter forsterkning for å lukke etterslepet for vegfundamentet, forutsettes det at tiltaksintervallene samsvarer med normert dekkelevetid. Dette gjelder for hovedalternativet etter lukking av etterslep.

For den delen av vegnettet hvor det er behov for forsterkning, antas det at tiltaksintervallene tilsvarer ca 60 % av normert dekkelevetid¹². Dette gjelder for referansealternativet i hele analyseperioden og for hovedalternativet fram til lukking av etterslep.

For den delen av vegnettet hvor det ikke er forsterkningsbehov, er tiltaksintervallene for referansealternativet (holde dagens status) estimert ut fra tilstandsfordelingen med hensyn på spor og jevnhet, som vist i Tabell 7. Denne tilstandsfordelingen innebærer opprettholdelse av dagens tilstand, dvs. med et etterslep, og representerer en standard som er dårligere enn dagens vedlikeholdsstandard (håndbok R610).

ÅDT-intervall	Tiltaksintervall mellom dekketiltak (år)		
	Etterslep vegfundament (60 % av normert levetid)	Referansealternativet Ikke forsterkningsbehov	Normert levetid
301-1500	10	16	16
1501-3000	10	18	16
3001-5 000	7	14	12
5001-10 000	4	10	7
10 001-20 000	3	8	5
Over 20 000	3	7	4
Over 20 000 flere felt	3	6	5

Tabell 7 Tiltaksintervall mellom dekketiltak, reasfalteringsfrekvens (år).

¹² Forsterkningsbehov er begrenset til veger med levetidsfaktor mindre enn 0,7, jf. Håndbok N200 Vegbygging og PMS2010.

3.5 Vegholderkostnader

3.5.1 Dekkefornyelse

Som en ordinær dekkefornyelse har en for veger hvor bare spor er utløsende for dekkefornyelse, forutsatt at 50 % av tiltakene består av planfresing og et nytt slitelag av 110 kg/m² Ab 11 og at 50 % består av oppretting med 60 kg/m² Ab 11 og et nytt slitelag av 110 kg/m² Ab 11. For veger hvor IRI inngår som utløsende for dekkefornyelse, har en forutsatt at tiltaket består av oppretting med 100 kg/m² Ab 11 og et nytt slitelag av 110 kg/m² Ab 11

Enhetspriser for asfaltarbeider er fastlagt ut fra analyser av anbudspriser i dekkevedlikeholdet 2015¹³ og deretter prisjustert til prisnivå 2016. Basert på gjennomsnittlige dekkebredder og kjørebanebredder er løpemeterkostnad for dekkefornyelse beregnet, se Tabell 8.

Tiltakskostnader for dekkefornyelse (kr pr meter veg)		
ÅDT-intervall	Dekketiltak	
	Bare spor er utløsende	IRI og evt. spor er utløsende
301-1500	750	1000
1501-3000	800	1100
3001-5 000	800	1100
5001-10 000	900	1200
10 001-20 000	900	1300
Over 20 000	1000	1500
Over 20 000 mer enn to kjørefelt	1800	2700

Tabell 8 Tiltakskostnader for dekkefornyelse (kr pr meter veg).

3.5.2 Forsterkning av vegfundament

Kostnadene til forsterkningstiltak er vanskeligere å vurdere siden kostnadene avhenger av en rekke forhold, inklusive grunnforholdene, eksisterende vegs bæreevne, terrenget langs vegen, evt. grøfting og behovet for kantutvidelse for å opprettholde vegbredden.

Kostnadsestimatene til forsterkning er splittet i en arealavhengig andel basert på vegbredden og en lengdeavhengig del. For veger med moderat og liten trafikk er det forutsett fjerning av eksisterende asfaltlag, nytt lag av granulære materialer og nytt asfaltbærelag. For veger med stor trafikk er det antatt at all arealavhengig forsterkning er med asfalt.

Enhetsprisene er basert på analyser av asfaltkontrakter for 2015 og prisjustert til prisnivå 2016. Dette gir enhetspriser for forsterkning som vist i Tabell 9.

¹³ Prisanalyse asfaltarbeider 2015 Vedlikehold av vegdekker
 ViaNova Plan og Trafikk AS, Juli 2015 (U.off. § 23 1. ledd)

Tiltakskostnader for forsterkning (kr pr meter veg)	
ÅDT-intervall	Forsterkningstiltak
301-1500	1400
1501-3000	1600
3001-5 000	2000
5001-10 000	2100
10 001-20 000	2700
Over 20 000	2900
Over 20 000 mer enn to kjørefelt	4300

Tabell 9 Tiltakskostnader for forsterkning (kr pr meter veg).

3.5.3 Trafikantenes forsinkelseskostnader

I tillegg til vegholders kostnader til dekkefornyelse er det ved gjennomføring av dekketiltak beregnet kostnader for trafikkenes forsinkelse.

Estimatene av trafikantenes forsinkelseskostnader på grunn av dekketiltak er basert på beregningene i 2006 med kostnader oppjustert til 2016-nivå. Dette gir kostnader som vist i Tabell 10.

Trafikantenes forsinkelseskostnader (kr pr km veg)	
ÅDT-intervall	Forsinkelseskostnader
301-1500	5 000
1501-3000	16 000
3001-5 000	20 000
5001-10 000	25 000
10 001-20 000	31 000
Over 20 000	36 000
Over 20 000 mer enn to kjørefelt	36 000

Tabell 10 Trafikantenes forsinkelseskostnader ved dekketiltak (kr pr km veg).

3.6 Trafikantkostnader

Trafikantkostnader beregnes som funksjon av spordybde og jevnhet (IRI) for vegdekker. Følgende trafikantkostnader inkluderes i analysene:

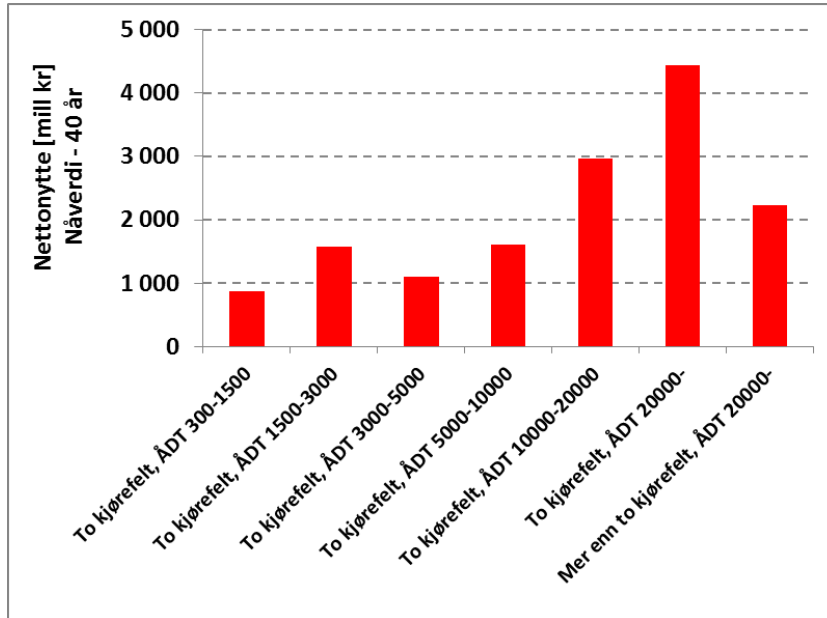
- Timeskostnader lett bil
- Tidsavhengige driftskostnader tung bil
- Drivstoffkostnader lett bil
- Drivstoffkostnad tung bil
- Kostnader reparasjon og service lett bil
- Kostnader reparasjon og service tung bil
- Ulykkeskostnader

Dokumentasjon av delmodeller finnes i Vedlegg 1.

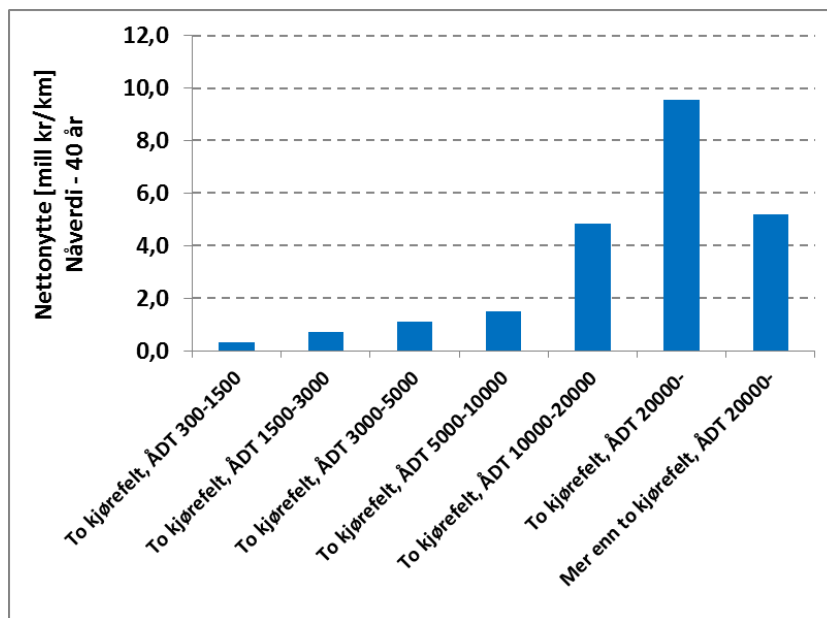
4 Resultater

Basisresultater fra analysen for de enkelte ÅDT-intervall er vist i Vedlegg 3.

Nåverdi av nettonytte av lukking av etterslep er vist i Figur 7a. Nåverdi av nettonytte pr km veg av lukking av etterslep er vist i Figur 7b.



Figur 7a Nettonytte av lukking av etterslep



Figur 7b Nettonytte pr km veg av lukking av etterslep

Resultatet av analysene viser positiv nettonytte av lukking av etterslep for alle analyserte ÅDT-intervaller, men med størst nettonytte for høyeste trafikknivåer.

Dette er som forventet, fordi vedlikeholdsstandarden er fastsatt basert på samfunnsøkonomisk analyse med mål om en samfunnsøkonomisk optimal standard. Praktisk-

politisk tilpasning av vedlikeholdsstandarden innebærer at de laveste ÅDT-klassene har fått en standard som kan ligge noe over en rent samfunnsøkonomisk optimal standard, ut fra en tankegang om at der det er vedtatt å ha en veg, må denne holde en viss minstestandard. Dette medvirker til at nettonytten av å lukke etterslep blir mindre for de lavere ÅDT-klassene.

Vegholders kostnader (inkludert skattefaktor) slik de er beregnet i denne analysen, er vist i Tabell 11.

Vegholders kostnader Dekketiltak (2016-prisnivå, inkludert skattefaktor)	Kostnad for forsterkning (mill kr)	Kostnad for lukking av dekke- etterslep (mill kr)	Årlig kostnad til dekkevedlikehold (mill kr/år)	
			Etter lukking av etterslep	Uten lukking av etterslep
2 felt, 300-1500	647	409	231	244
2 felt, 1500-3000	1198	268	188	194
2 felt, 3000-5000	627	95	115	117
2 felt, 5000-10000	126	348	241	177
2 felt, 10000-20000	102	424	191	127
2 felt, over 20000	70	327	202	120
Mer enn 2 felt, over 20000	103	580	267	229
Sum (8105 km veg)	2873	2451	1435	1208

*Tabell 11 Vegholders kostnader, inkludert skattefaktor
Lukking av etterslep samt ordinært dekkevedlikehold etter fullført
lukking av etterslep*

Kostnadene for lukking av etterslep er samlet 4,4 mrd kr når skattefaktoren er trukket ut. Proratarisk omregning til hele riksvegnettet gir en kostnad for utbedring av etterslep på 5,6 mrd kr (2016-prisnivå). Regionenes beregning av kostnad for utbedring av etterslepet er 7,3 mrd kr¹⁴ i 2014-prisnivå inkludert merverdiavgift. Dette antas å tilsvare om lag 7,7 mrd kr i 2016-prisnivå inkludert merverdiavgift (6,2 mrd kr eksklusive merverdiavgift).

Årlige kostnader for dekkevedlikehold for referansealternativet, uten lukking av etterslep, er beregnet til 1,0 mrd kr/år når skattefaktoren er trukket ut. Proratarisk omregning til hele riksvegnettet gir en årlig kostnad på 1,25 mrd kr i prisnivå 2016 (eks. skattefaktor). Tilsvarende kostnad for hovedalternativet, med lukking av etterslep, er 1,5 mrd kr i prisnivå 2016 (eks. skattefaktor). I forslag til Statsbudsjettet for 2016 er det foreslått om lag 1,3 mrd kr til dekkevedlikehold. Analysens vegholderkostnader er imidlertid ikke direkte sammenlignbar med dekkeprogrammets kostnader. Dekkeprogrammet benytter noen løsninger som er enklere enn de tiltakene som ligger til grunn for analysens beregninger. På den andre siden omfatter analysen kun tiltak utløst av spordybde og jevnhet, mens dekke-programmet også inkluderer tiltak utløst av andre forhold (skader, mm).

¹⁴ Nasjonal transportplan 2018-2027 Vedlikeholdsetterslep Analyse- og strategifase
Hovednotat 30. september 2014
Vedlegg 6 Oppdatering av vedlikeholdsetterslepet for riks- og fylkesveger

Vedlegg 1 Trafikantkostnader

V1.1 Tidskostnader

Tidskostnadene baseres på beregning av gjennomsnittlig kjørefart. I denne beregningen inngår følgende parametre:

Skiltet hastighet	60 km/t		80 km/t	
	Lette	Tunge	Lette	Tunge
Kjøretøy				
Basishastighet V_0	58,0	57,0	78,0	76,5
Koeffisient K_1	0,35	0,40	0,35	0,40
Koeffisient K_2	700	680	700	680
Fartsendring ved 1,0 mm økning i spordybden	-0,044	-0,044	-0,058	-0,066

Referanseverdien for spor er 5,0 mm, referanseverdien for IRI er 2,0 mm/m.

For spor under referanseverdien har spordybden ingen innvirkning på kjørefarten, for jevnhet (IRI) under referanseverdien har IRI ingen innvirkning på kjørefarten.

For jevnhet $IRI > IRI_{Ref}$ beregnes kjørefarten ut fra følgende formel:

$$V = V_0 + \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{V_0}\right)^{\frac{1}{K_1}} + \left(\frac{IRI}{K_2}\right)^{\frac{1}{K_1}}\right)^{K_1}} - \frac{1}{\left(\left(\frac{1}{V_0}\right)^{\frac{1}{K_1}} + \left(\frac{IRI_0}{K_2}\right)^{\frac{1}{K_1}}\right)^{K_1}}$$

Fartsendring som følge av endring i spordybde kommer i tillegg til endringen som følge av endret IRI.

Ved beregning av tidskostnader som følge av kjørefart brukes følgende timeskostnader:

Tidskostnader lett bil: kr 267,09 pr time
 Tidsavhengig driftskostnad tung bil: kr 638,69 pr time (10 % busser)

V1.2 Drivstoffkostnader

Modellen er:

$$PrisD_{Lette} = K_{0L} * (0,006 * IRI + 0,982)$$

$$PrisD_{tunge} = K_{0T} * (0,0096 * IRI + 0,9712)$$

Enhetsprisene er:

K_{0L} = kr 0,42 pr vogndkm
 K_{0T} = kr 2,22 pr vogndkm

V1.3 Kostnader reparasjon og service

Modellen er:

$$PrisR_{Lette} = R_{0L} * (0,81816 * e^{0,0669*IRI})$$

$$PrisR_{tunge} = R_{0T} * (0,75745 * e^{0,0926*IRI})$$

Enhetsprisene er:

R_{0L} = kr 0,89 pr vogndkm

R_{0T} = kr 1,99 pr vogndkm

V1.4 Ulykkeskostnader

Ulykkeskostnadene beregnes som produktet av kostnad per ulykke og ulykkesfrekvensen.

Kostnadene i mill kroner per ulykke beregnes for veger med to kjørefelt etter følgende formler:

Skiltet hastighet	Kostnad mill kr per ulykke
Opp til og med 60 km/t	$Kostnad = 8,1503 * \dot{A}DT^{-0,1015}$
Over 60 km/t	$Kostnad = 4,1481 * \dot{A}DT^{0,0423}$

Ulykkesfrekvensene beregnes ved hjelp av følgende uttrykk:

Skiltet hastighet	Ulykkesfrekvens
Opp til og med 60 km/t	$U_f = 0,1612 * \dot{A}DT^{0,0616} * (A + B * (Spor - Spor_0) + C + D * (IRI - IRI_0) - 1)$
Over 60 km/t	$U_f = 0,3545 * \dot{A}DT^{-0,107} * (A + B * (Spor - Spor_0) + C + D * (IRI - IRI_0) - 1)$

Her er:

Kjøretøy		Opp til og med 60 km/t	Over 60 km/t
Tunge	Konstant C	1,0341	1,0832
	Koeffisient D	-0,0171	-0,0416
Lette	Konstant C	1,0161	1,061
	Koeffisient D	-0,0081	-0,0305
Tunge og lette	Konstant A	0,9777	0,9777
	Koeffisient B	0,004463	0,004463

Uttrykkene over er basert på de vurderinger som var vanlige for ca. 10 år tilbake i tid. Det er i dag langt vanligere å gjennomføre separate analyser basert på en inndeling av de ulykkesutsatte personer i kategoriene drepte, hardt skadde og lettere skadde.

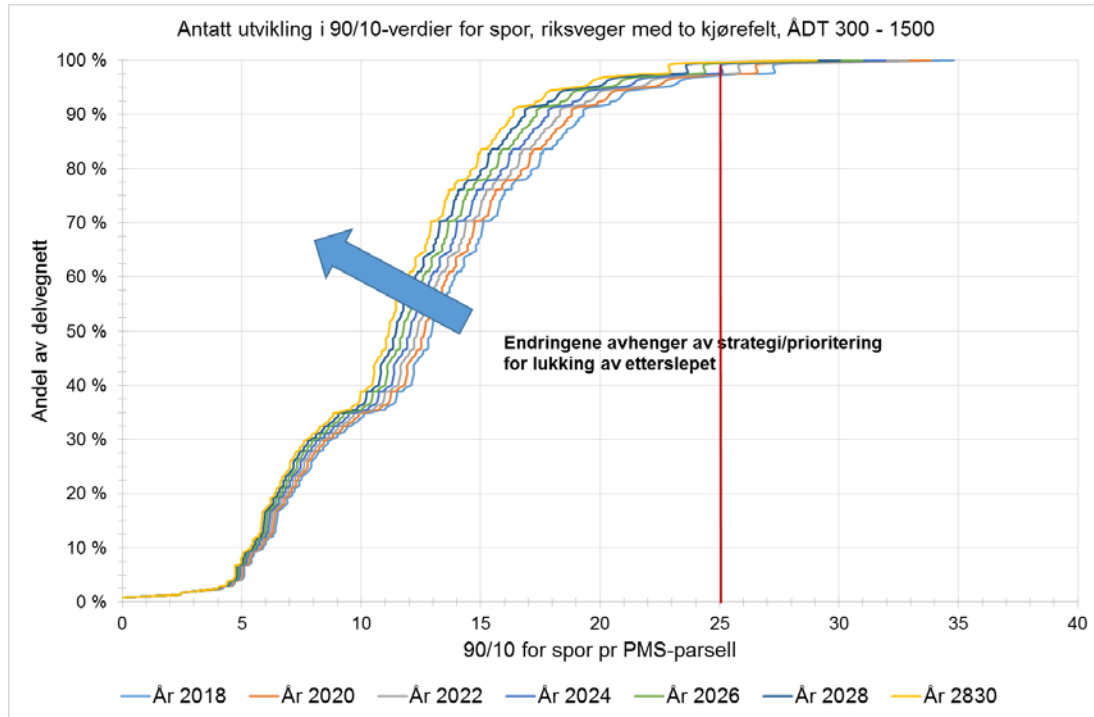
I tillegg til dette legges det til grunn en forventet gunstig utvikling i trafikkulykkene på grunn av forhold som ikke skyldes vegens geometri eller tilstand.

Det er oppgitt at antall alvorlig/meget alvorlig/drepte kan reduseres med 1,5 % pr år fra 2008 og antall lettere skadde med 0,5 % pr år fra 2008. Basert på konsekvensene for de samlede ulykkeskostnadene skulle dette tilsi at man burde redusere de beregnede ulykkesfrekvensene i uttrykkene over med ca. 1,3 % pr år.

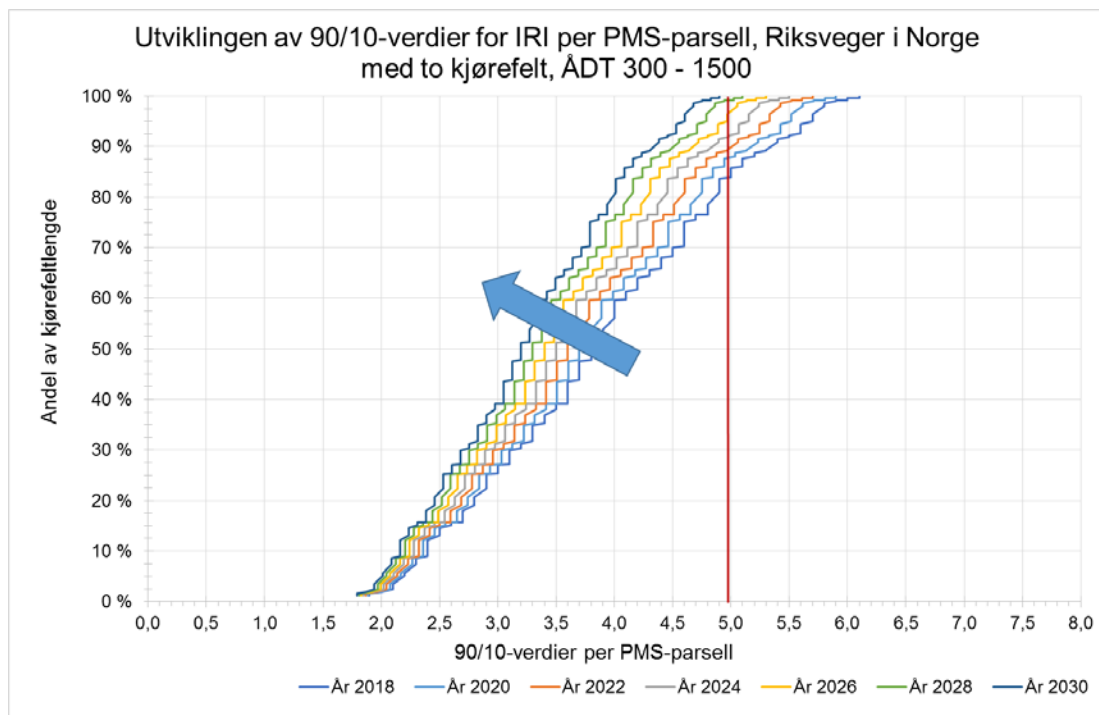
Vedlegg 2 Tilstandsfordeling

V2.1 ÅDT 300 – 1500, to kjørefelt, fartsgrense over 60 km/t

Endring i tilstandsfordeling - spordybde

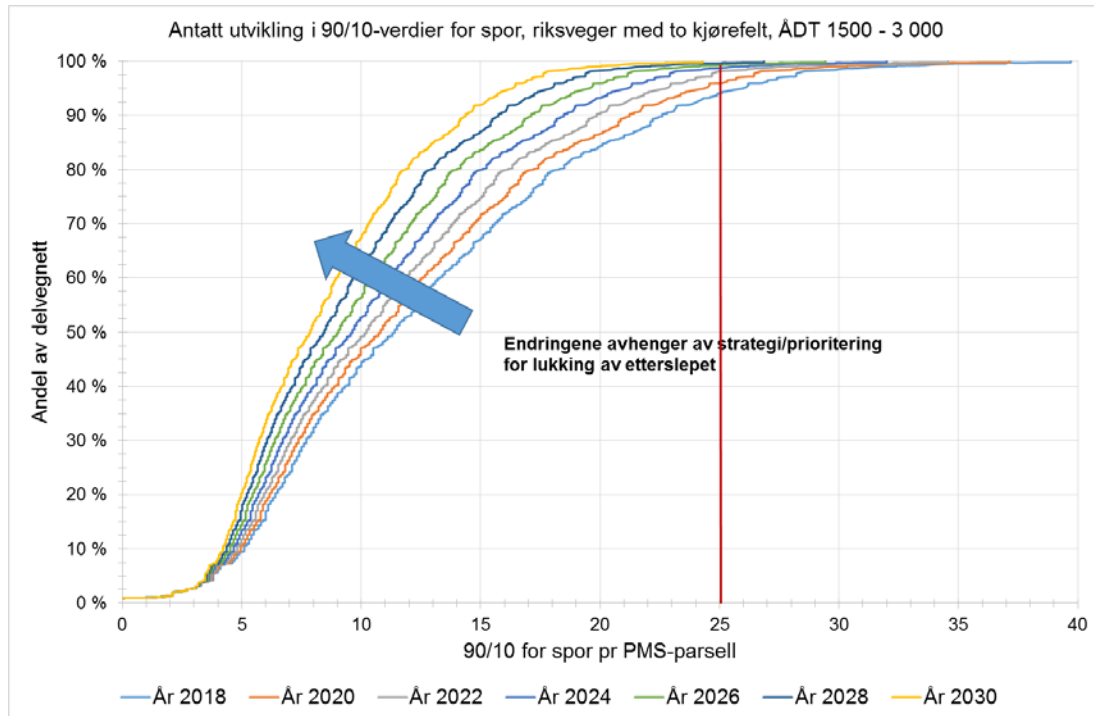


Endring i tilstandsfordeling – jevnhet IRI

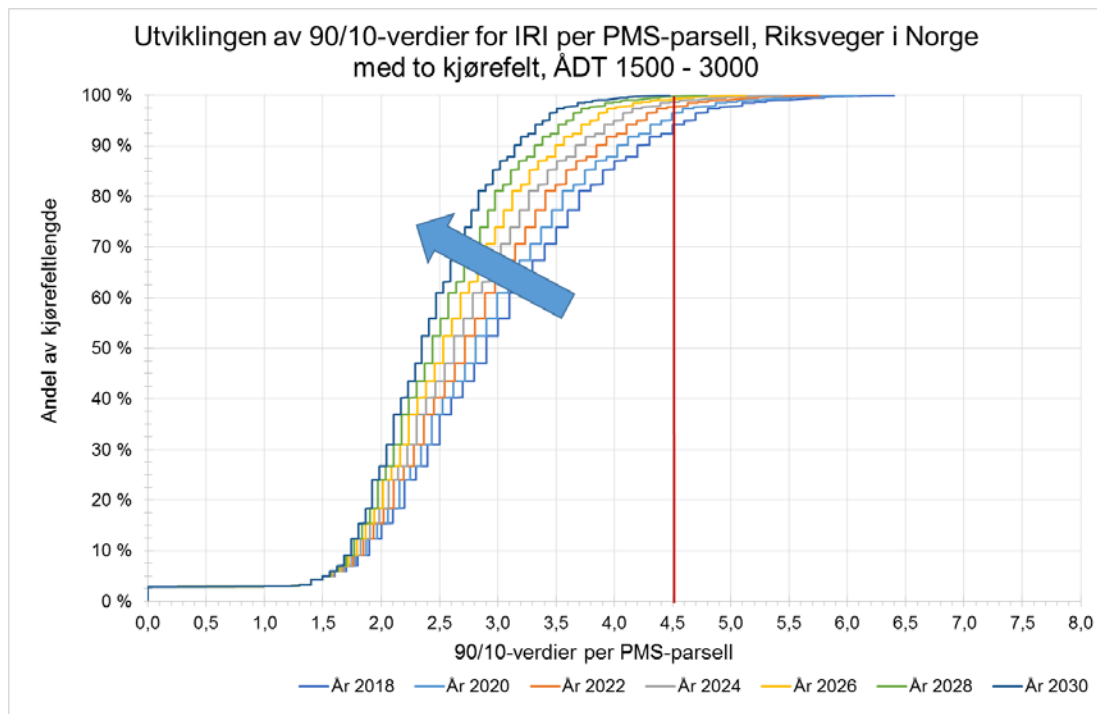


V2.2 ÅDT 1500 – 3000, to kjørefelt, fartsgrense over 60 km/t

Endring i tilstandsfordeling - spordybde

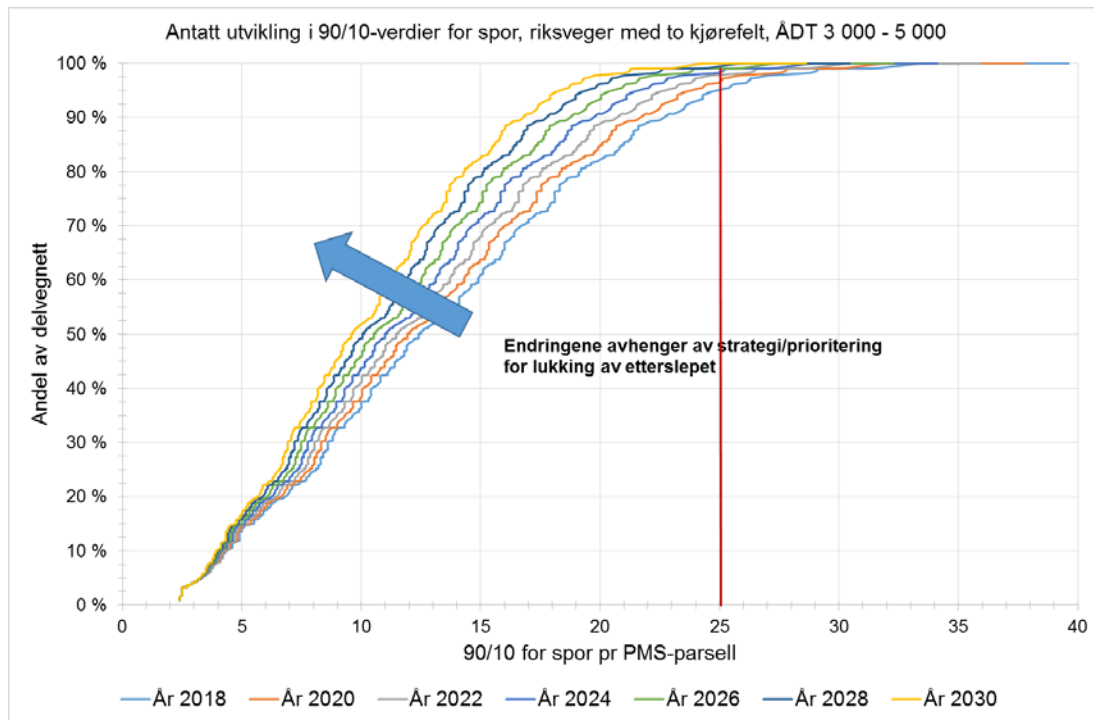


Endring i tilstandsfordeling – jevnhet IRI

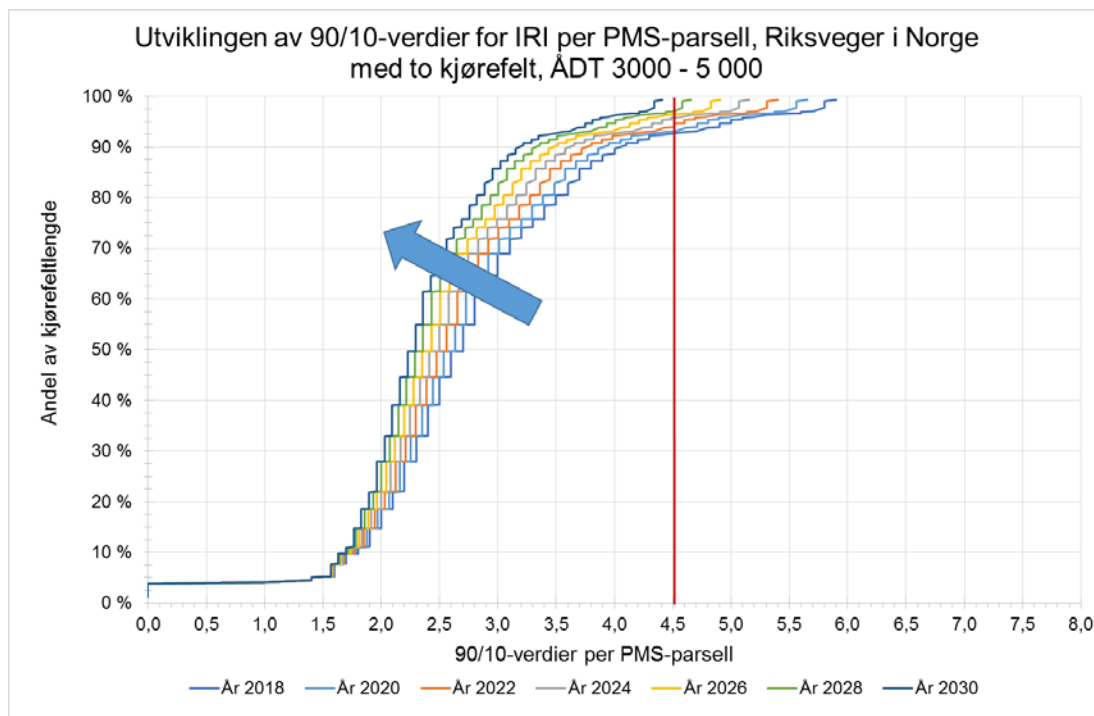


V2.3 ÅDT 3000 – 5000, to kjørefelt, fartsgrense over 60 km/t

Endring i tilstandsfordeling - spordybde

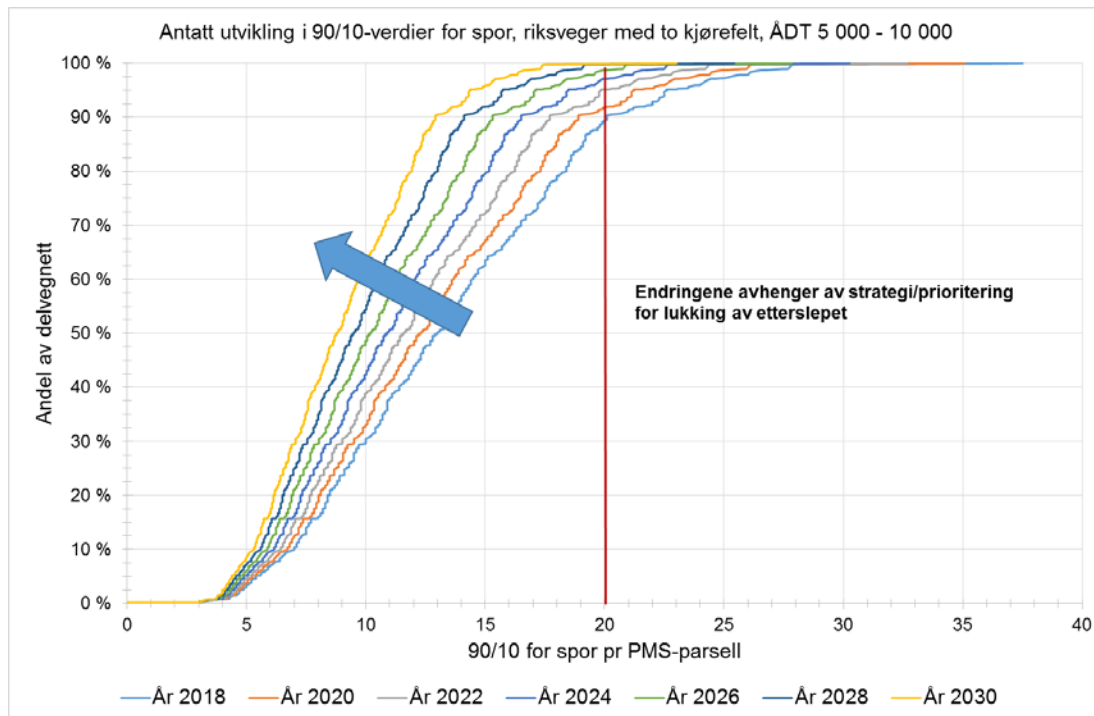


Endring i tilstandsfordeling – jevnhet IRI

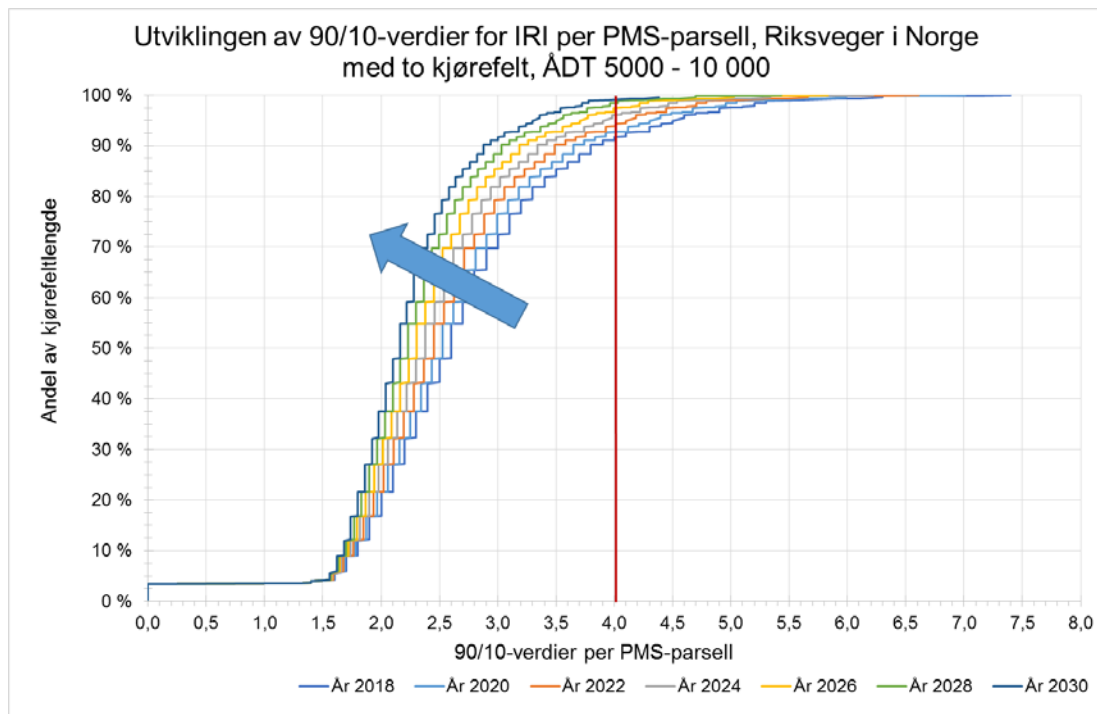


V2.4 ÅDT 5000 – 10000, to kjørefelt, fartsgrense over 60 km/t

Endring i tilstandsfordeling - spordybde

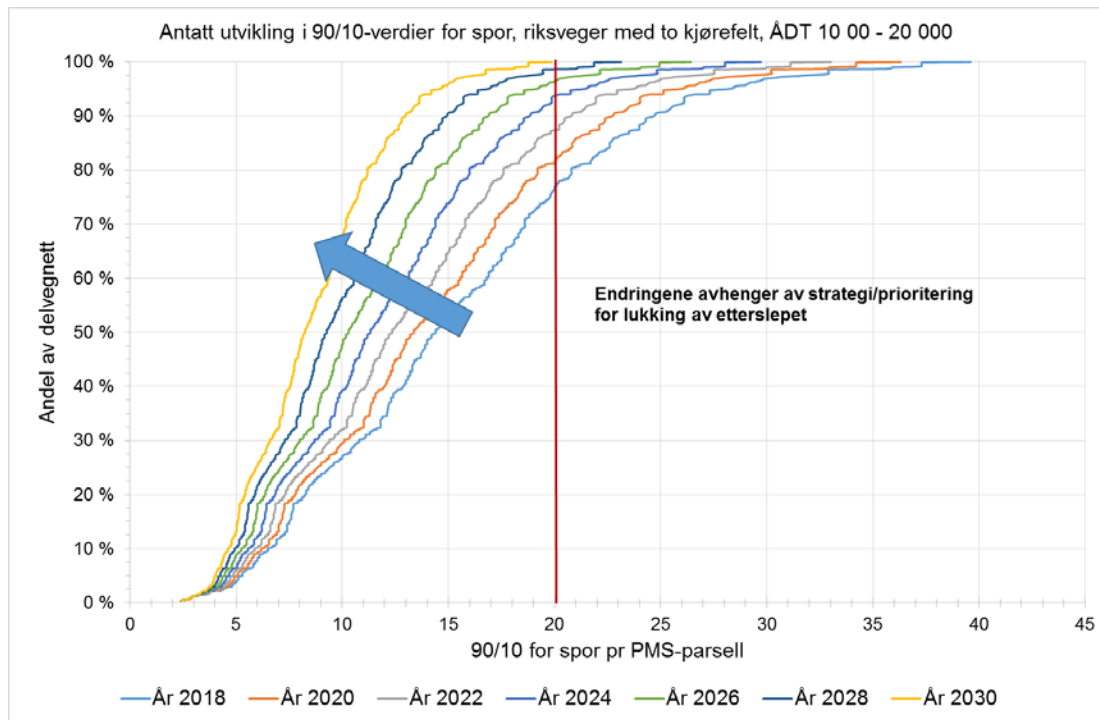


Endring i tilstandsfordeling – jevnhet IRI

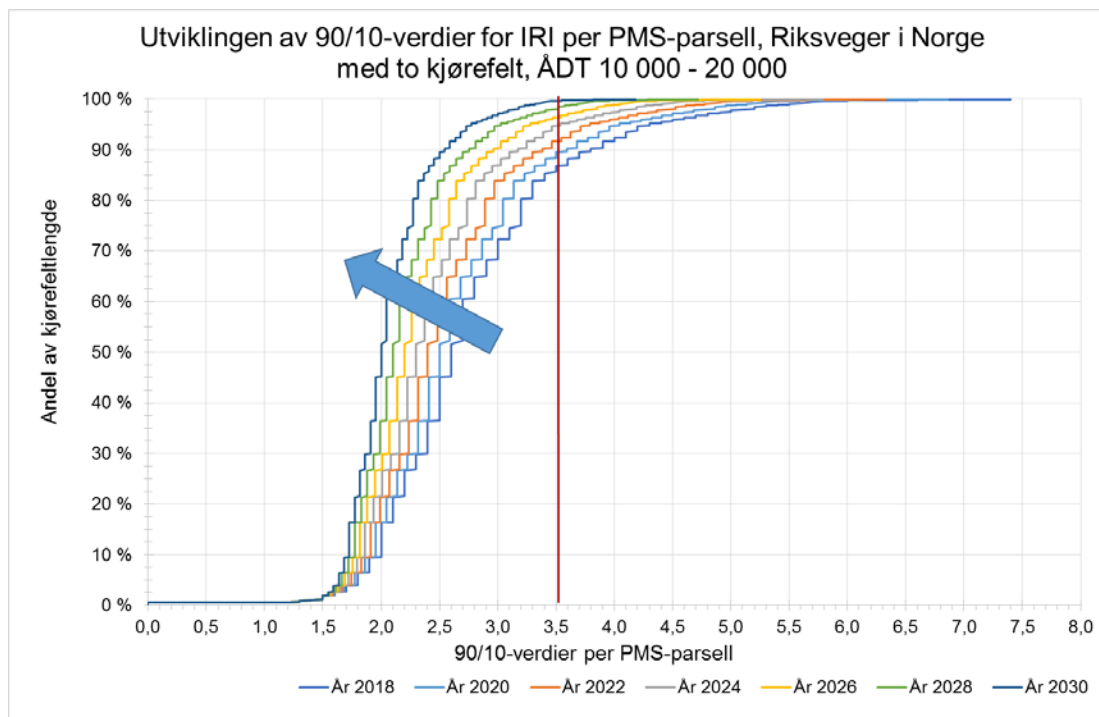


V2.5 ÅDT 10000 – 20000, to kjørefelt, fartsgrense over 60 km/t

Endring i tilstandsfordeling - spordybde

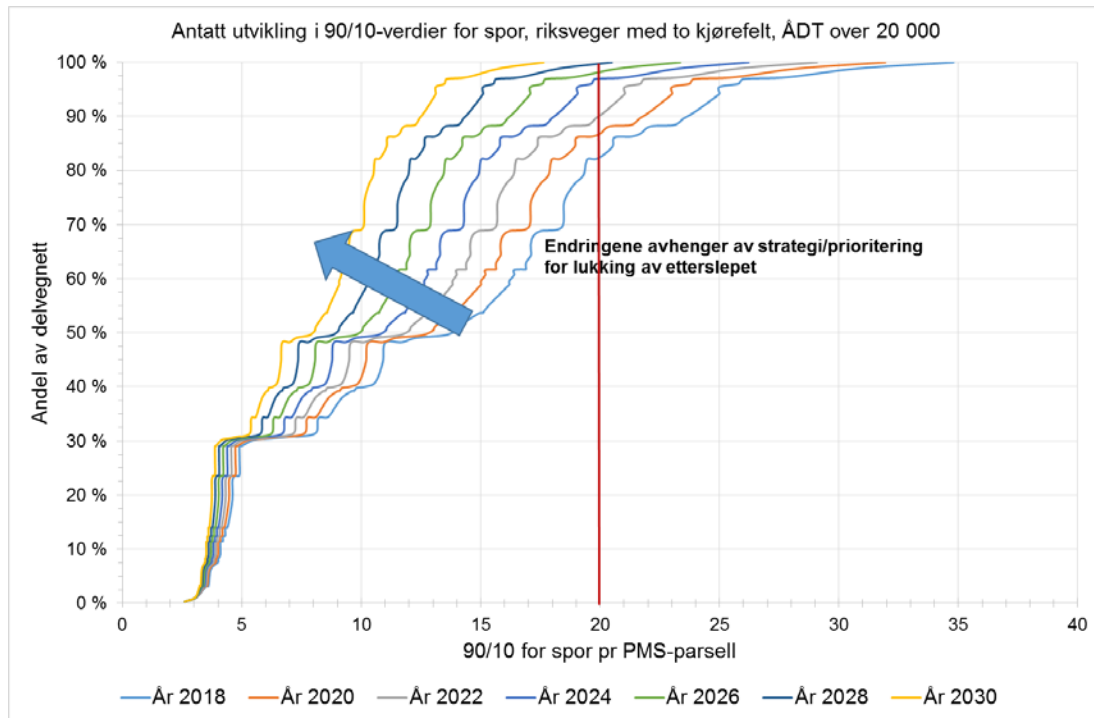


Endring i tilstandsfordeling – jevnhet IRI

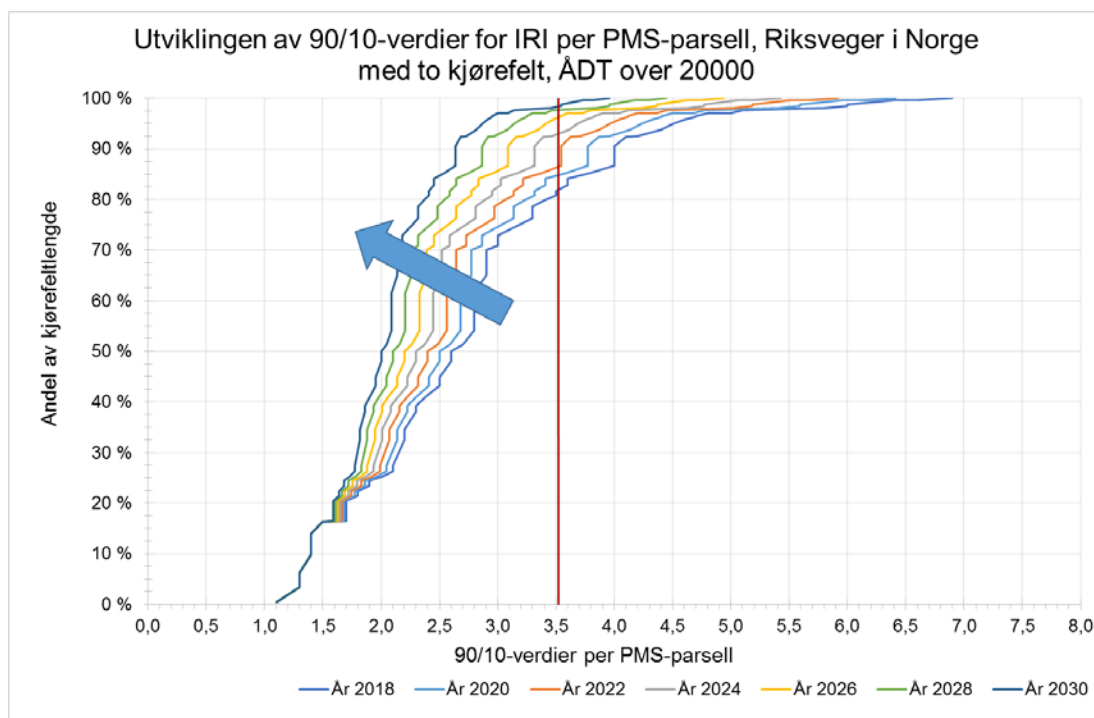


V2.6 ÅDT over 20000, to kjørefelt, fartsgrense over 60 km/t

Endring i tilstandsfordeling - spordybde

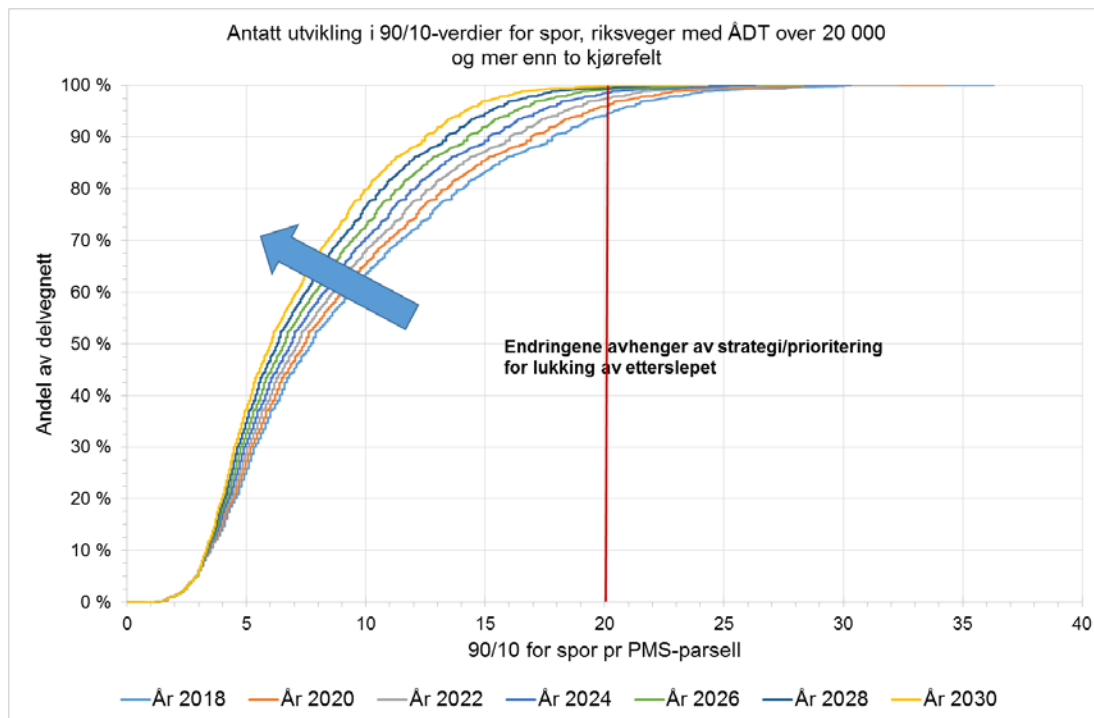


Endring i tilstandsfordeling – jevnhet IRI

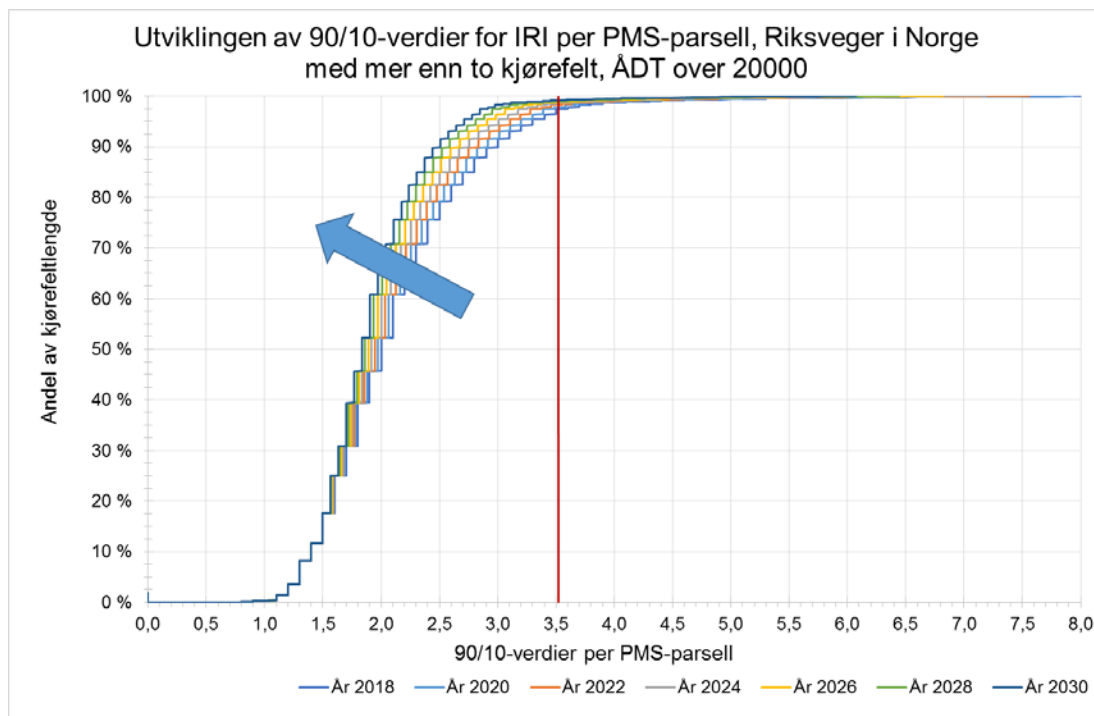


V2.7 ÅDT over 20000, mer enn to kjørefelt, fartsgrense over 60 km/t

Endring i tilstandsfordeling - spordybde



Endring i tilstandsfordeling – jevnhet IRI



Vedlegg 3 Basisresultater Nettonytte

Hovedtall (totalt og pr km) for kostnader (vegholder/trafikkant) og nettonytte.

Veger med fartsgrense over 60 km/t.

Riksvegnett med to kjørefelt, ÅDT 300 - 1500 **ÅDT 916**
Nåverdier over 40 år, Mill kroner 2016 **Riksveglengde 2762**

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	21 507	30 689	128 212	21 696	202 103	5 487	922	
Uten lukking av etterslep	21 561	31 443	128 946	21 649	203 599	5 793		
Differanse	53	755	735	-46	1 496	306	-922	879

Per kilometer veg

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	7,787	11,111	46,420	7,855	73,173	1,987	0,334	
Uten lukking av etterslep	7,806	11,384	46,686	7,838	73,714	2,097		
Differanse	0,019	0,273	0,266	-0,017	0,542	0,111	-0,334	0,318

Riksvegnett med to kjørefelt, ÅDT 1500 - 3 000 **ÅDT 2 209**
Nåverdier over 40 år, Mill kroner 2016 **Riksveglengde 2 182**

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	40 794	56 040	242 672	39 330	378 836	4 511	1 280	
Uten lukking av etterslep	40 899	57 445	243 869	39 342	381 556	4 649		
Differanse	104	1 406	1 197	12	2 719	138	-1 280	1 578

Per kilometer veg

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	18,696	25,683	111,215	18,025	173,619	2,067	0,587	
Uten lukking av etterslep	18,744	26,327	111,764	18,030	174,865	2,131	0,000	
Differanse	0,048	0,644	0,549	0,006	1,246	0,063	-0,587	0,723

Riksvegnett med to kjørefelt, ÅDT 3000 - 5 000 **ÅDT 3 935**
Nåverdier over 40 år, Mill kroner 2016 **Riksveglengde 1 001**

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	29 268	44 187	191 541	31 162	296 157	2 807	631	
Uten lukking av etterslep	29 336	45 107	192 257	31 146	297 846	2 844		
Differanse	68	921	717	-16	1 689	37	-631	1 096

Per kilometer veg

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	29,239	44,143	191,349	31,131	295,861	2,804	0,630	
Uten lukking av etterslep	29,306	45,062	192,065	31,115	297,549	2,841		
Differanse	0,068	0,920	0,716	-0,016	1,688	0,037	-0,630	1,095

Riksvegnett med to kjørefelt, ÅDT 5000 - 10 000 **ÅDT 7 055**
Nåverdier over 40 år, Mill kroner 2016 **Riksveglengde 1 083**

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	58 203	84 378	366 621	58 203	567 405	5 976	414	
Uten lukking av etterslep	58 324	86 118	368 113	58 385	570 940	4 471		
Differanse	121	1 740	1 492	182	3 535	-1 505	-414	1 616

Per kilometer veg

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	53,742	77,912	338,524	53,742	523,919	5,518	0,382	
Uten lukking av etterslep	53,854	79,518	339,901	53,910	527,183	4,128		
Differanse	0,112	1,607	1,378	0,168	3,264	-1,390	-0,382	1,492

Riksvegnett med to kjørefelt, ÅDT 10 000 - 20 000
Nåverdier over 40 år, Mill kroner 2016
ÅDT 13 759
Riksveglengde 612

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	60 562	90 162	388 791	61 692	601 208	4 836	459	
Uten lukking av etterslep	60 730	92 654	390 716	62 054	606 154	3 320		
Differanse	168	2 492	1 924	362	4 947	-1 516	-459	2 971

Per kilometer veg

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	98,958	147,323	635,280	100,804	982,365	7,902	0,750	
Uten lukking av etterslep	99,233	151,396	638,424	101,396	990,448	5,425		
Differanse	0,275	4,072	3,144	0,592	8,083	-2,478	-0,750	4,855

Riksvegnett med to kjørefelt, ÅDT over 20 000
Nåverdier over 40 år, Mill kroner 2016
ÅDT 24 890
Riksveglengde 465

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	74 981	123 741	541 538	81 463	821 723	5 089	346	
Uten lukking av etterslep	75 204	127 082	544 316	81 835	828 437	3 165		
Differanse	223	3 341	2 778	372	6 714	-1 925	-346	4 443

Per kilometer veg

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	161,250	266,109	1 164,598	175,190	1 767,147	10,945	0,744	
Uten lukking av etterslep	161,730	273,294	1 170,572	175,989	1 781,585	6,806		
Differanse	0,479	7,185	5,974	0,799	14,438	-4,139	-0,744	9,554

Riksvegnett med mer enn to kjørefelt, ÅDT over 20 000
Nåverdier over 40 år, Mill kroner 2016
ÅDT 49 173
Riksveglengde 430

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	142 229	223 166	974 270	72 859	1 412 524	6 922	596	
Uten lukking av etterslep	142 383	225 307	975 527	73 010	1 416 227	6 050		
Differanse	155	2 141	1 257	151	3 703	-873	-596	2 234

Per kilometer veg

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Med lukking av etterslep	330,957	519,294	2 267,063	169,537	3 286,851	16,108	1,388	
Uten lukking av etterslep	331,317	524,275	2 269,987	169,888	3 295,468	14,077		
Differanse	0,360	4,981	2,925	0,351	8,617	-2,031	-1,388	5,198

 Veger med to kjørefelt Riksveglengde 8105
 Veger med mer enn to kjørefelt Kjørefeltlengde 1719

	Drivstoff	Rep og serv	Tidskost	Ulykkeskost	Sum vegbruker	Vegh. vedlikeh	Vegh. lukking	Netto nytte
Differanse	892	12 795	10 099	1 017	24 803	-5 338	-4 649	14 817

Arbeidsdokument 50857

Oslo 10.11.2015

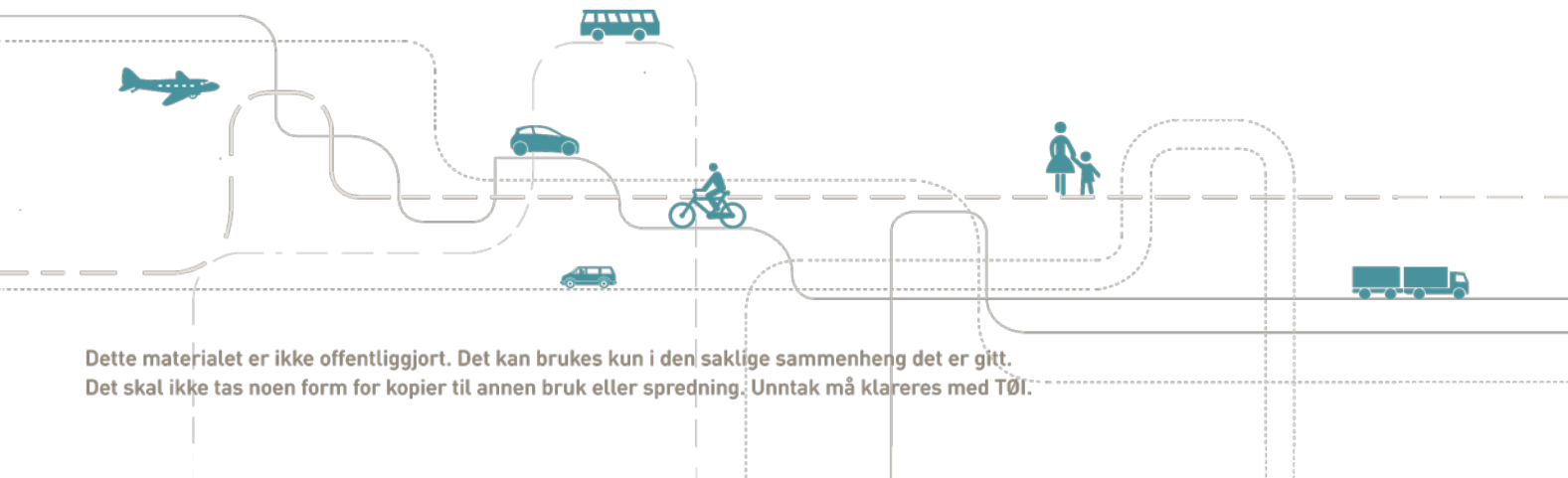
9930 ramme NTP 16 27, avrop 41 SØA Vedlikehold

Harald Minken

Vegard Østli

Marius Fossen

Samfunnsøkonomisk vurdering av å øke vedlikeholdsbudsjettet i jernbanesektoren



Innhold

1	Bakgrunn	3
2	Kort om modellen	4
3	Matematisk beskrivelse av modellen	6
3.1	Generelt	6
3.2	Jernbanetilfellet	9
3.2.1	Brukerkostnader	9
3.2.2	Fornyingskostnader og årlige vedlikeholdskostnader	11
3.2.3	Samlede brukerkostnader i en fornyingsperiode	11
3.2.4	Samlede etatskostnader i fornyingsperioden	12
3.2.5	Funksjonene $G(n)$ og $H(n)$, samt høyresida i likning (3)	12
3.2.6	Budsjettbetingelsen	13
3.3	Sammenhengen mellom de ulike etatskostnadene	14
4	Inndata og forutsetninger	15
4.1	Data og estimering	17
4.2	Kalibrering	18
5	Resultater med drøfting	19
5.1	Første forsøk	19
5.2	Andre forsøk	22
5.3	Forsøk med hypotetiske data	23
5.4	Framtidig bruk av modellen	25
6	Konklusjoner	26
	Litteraturliste	27

1 Bakgrunn

Samferdselsdepartementets retningslinjer for transportetatenes og Avinors arbeid i planfasen til Nasjonal transportplan 2018-2029 (R2) behandler hvordan drift og vedlikehold skal inkluderes i planen. I analyse- og strategifasen, som pågikk i fjor, har etatene og Avinor gitt oppdaterte tall for drifts- og vedlikeholdsbehov og vedlikeholdsetterslep. De mangler imidlertid metoder og verktøy for å gjøre en samlet prioritering. I retningslinjene for etatenes arbeid i planfasen understreker derfor departementet nå at det bør jobbes videre med å utvikle verktøy og metoder som støtte for avveiningene som skal gjøres i plangrunnlaget, og at bruk av samfunnsøkonomiske analyser på delelementer vil være en støtte til disse avveiningene.

Som et ledd i etatenes arbeid med å følge opp dette har TØI og Jernbaneverket samarbeidet om å prøve ut en ny metode for å vurdere den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet. Dette arbeidet rapporteres her.

I dette arbeidet har Jernbaneverket analysert data om feil på skinnegangen, og har funnet fram til en sammenheng mellom meldinger om skinnefeil og registrerte forsinkelser som skyldes saktekjøring. Dette er brukt til å beregne en indikator på hvilke brukerkostnader som manglende vedlikehold av skinnegangen medfører. Jernbaneverket har også estimert hvordan jernbaneverkets egne vedlikeholdskostnader utvikler seg med tida. Sammen med andre data som etaten har lagt til rette, har dette gitt TØI grunnlag for å implementere en optimeringsmodell der den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet er viktigste resultat.

Kapittel 2 gir en generell beskrivelse av modellen. Kapittel 3, som har en mer teknisk karakter, beskriver de matematiske sammenhengene i modellen slik de ser ut i vårt spesielle tilfelle, gitt de sammenhengene mellom kostnader og manglende vedlikehold som Jernbaneverket har estimert seg fram til. Kapittel 4 beskriver inndata og forutsetninger som er brukt i analysen. Kapittel 5 gir resultatene og en kritisk vurdering av dem. Kapittel 6 drøfter hva slags konklusjoner som kan trekkes. Vi vurderer også hva som må til av videre arbeid i framtida for at det skal bli mulig å trekke sterkere konklusjoner.

2 Kort om modellen

Modellen blei først formulert i kapittel 2 i Minken, Dahl og Steinsland (2008), og er tatt opp igjen i Minken, Dahl og Voll (2014).¹ Situasjonen som er modellert er følgende: En beslutningstaker har ansvaret for vedlikehold og fornying av et visst antall infrastrukturobjekter, som for eksempel vegstrekninger eller jernbanestrekninger. Disse skal holdes i så god stand som det er mulig og samfunnsøkonomisk fornuftig, men det må skje innafor årlige budsjetter.

Visse deler av objektene kan antas å ha evig levetid, mens andre må fornyes regelmessig. Tidsperspektivet er evigheten. For enkelhets skyld antar vi at verken bruken av objektene, teknologien, kostnadene eller budsjetttildelingen endrer seg med tida. Vi er altså ute etter å finne den beste vedlikeholdsstrategien som ikke bare er forenlig med budsjettet på kort sikt og med det vi nå veit om bruk og nedbrytning av objektene, men som også faktisk lar seg videreføre fra år til år så langt vi kan se. Det vil si at det ikke skal oppstå etterslep fordi vi blir nødt til å redusere vedlikeholdet på ett eller flere av objektene.

Vi kan si dette på en annen måte: Hvis det finnes etterslep i dag, forutsetter vi at det tas inn først, og først når det er gjort, oppstår det problemet som modellen tar for seg, nemlig å finne den samfunnsøkonomisk beste måten å forme ut en langsiktig bærekraftig vedlikeholdsstrategi på.

Modellen har bare en type av virkemiddel, nemlig fornying. Nærmere bestemt gjelder det å finne den optimale fornyingstakta (eller den optimale lengden på en fornyingssyklus) for hvert av objektene. Men vedlikeholdsbudsjettet skal også dekke andre vedlikeholdskostnader, nemlig korrektivt og preventivt vedlikehold. Kostnadene til begge disse formene for vedlikehold øker etter hvert som lengden på fornyingssyklusen øker, eller etter hvert som tida går siden siste fornying. Vi skal derfor ikke anta at det skjer sjølstendige beslutninger om hva som må gjøres på disse vedlikeholdsområdene. Innsatsen bestemmes helt ut av hvor langt ut i fornyingssyklusen objektet har kommet.

Foruten de tre formene for kostnader som skal dekkes innafor budsjettet, vil også *brukerne* pådra seg kostnader etterhvert som infrastrukturobjektene forfaller. Det kan dreie seg om økt ulykkesrisiko, risiko for stengning, innstilling og forsinkelser, redusert fart, mer ubehagelig transport og andre kostnader og ulemper.

Det gjelder altså å velge fornyingstakt for hvert av objektene slik at vi minimerer tre slags kostnader, nemlig brukerkostnader, årlige vedlikeholdskostnader (av to slag) og fornyingskostnader. Og det skal skje slik at det årlige gjennomsnittsnivået

¹ Begge steder er det trykkfeil. I den siste rapporten gjelder det en feil i figuren som skal illustrere førsteordensbetingelsen, samt at to av leddene i funksjonen $H(n)$ i formel 2.6 har blitt funksjoner av t , ikke av n som det skulle vært.

for budsjettet, dvs. annuiteten av de årlige vedlikeholdskostnadene og fornyingskostnadene, holder seg innafor et gitt budsjettnivå. (Det vil være mulig å overskride dette nivået i enkelte år, men ikke i det lange løp.)

For enkelhets skyld ser vi bort fra at brukerne ikke bare har kostnader ved ordinær bruk, men også som følge av selve fornyingsarbeidet. I praksis kan slike kostnader være betydelige. Det kan være i form av skiltet omkjøring, nedsatt fart, buss for bane o.l. Men vi mangler data til å ta dem med her.

Dersom ingenting endrer seg fra periode til periode, vil det å velge fornyingstakt være det samme som å velge hvor langt objektet skal brytes ned før vi setter i gang en fornying. Ting vil jo endre seg i praksis, og en helt statisk politikk vil måtte føre galt av sted etter en stund. Likevel holder vi fast på denne forenklingen. Modellen er nemlig primært ikke ment som et hjelpemiddel til å fastlegge fornyingspolitikken. Til en slik bruk ville vi jo uansett trenge å undersøke objektene tilstand i virkeligheten før vi bestemmer oss for hva vi skal fornye. Det vi trenger modellen vår til, er ikke praktisk vedlikeholdsplanlegging, men å si noe på et grovt nivå om budsjettet er passe stort, eller om det lønner seg å øke det. Da er det ikke så dumt å identifisere valget av et fast fornyingsintervall med valget av det tilstandsnivået som skal utløse en ny fornying.

Det vi får ut av modellen er nemlig ikke bare de «optimale» fornyingstaktene for alle objektene, men også skyggeprisen på budsjettet. Skyggeprisen er i dette tilfellet hvor mye de samlede samfunnsøkonomiske kostnadene blir redusert dersom budsjettet økes med 1 krone. Hvis den ene krona fører til en samlet kostnadsreduksjon på mer enn en krone, er en marginal budsjettøkning samfunnsøkonomisk lønnsom. Skyggeprisen er altså her det samme som den gamle nyttekostnadsbrøken som vi brukte før år 2006. Skyggeprisen minus 1 er lik den nye «netto nytte per budsjettkrone». På den måten er det mulig med en direkte sammenlikning mellom å bruke pengene på investeringsprosjekter og å øke vedlikeholdsbudsjettet.

Det finnes egentlig bare en handling i modellen, og det er å velge når vi skal ta den første fornyingen. Alle de seinere fornyingene vil jo per definisjon komme i samme takt som den første. La oss tenke oss at vi befinner oss et stykke ut i den første fornyingsperioden. Skal vi fornye nå, eller skal vi utsette det ett år? Av den matematiske formelen som gir betingelsen for løsning for hvert av objektene, kan vi utlede en handlingsregel for dette valget som kan uttrykkes i ord.

Hvis vi fornyer, vil kostnadene fra da av være bestemt en gang for alle. Disse kostnadene kan omregnes til en såkalt annuitet, som er den gjennomsnittlige kostnaden ved den valgte politikken i hvert eneste år fra nå til evigheten.

Vi veit at både brukerkostnader, korrektive og preventive vedlikeholdskostnader og fornyingskostnaden vil øke for hvert år vi utsetter fornyingen. Om vi fornyer i år, sparer vi ett års kostnader på det nivået de nå er, samt den marginale økningen i rehabiliteringskostnadene som følger av ett års utsettelse. Men vi sikrer oss i stedet en kostnadsstrøm som har en viss annuitet. Hvis annuiteten er større enn de nåværende årlige kostnadene, kan vi vente minst et år til med å fornye, men hvis den er mindre, er vi allerede for seint ute.

Slik er regelen om budsjettet ikke er bindende. Har vi et budsjett å ta hensyn til, vil vi måtte vente litt lenger. Hvor lang utsettelsen bør være, avhenger av hvor raskt brukerkostnadene øker ut over gjennomsnittsnivået ved ett års utsettelse. Men er budsjettet altfor stramt, finns det ingen løsning på problemet.

Tre ulike situasjoner kan altså forekomme i løsningen av modellen.

1. Budsjettbetingelsen er ikke bindende. Løsningen for hvert av objektene er den best oppnåelige. Da er skyggeprisen på budsjettet lik null, og budsjettøkning fører ikke til noen samlet forbedring.
2. Modellen har ingen løsning. Budsjettbetingelsen er for stram til at det finnes noen mulighet til å bringe alle objektene regelmessig opp til den initielle standarden, slik som forutsatt. I dette tilfelle vil ett eller flere av objektene forfalle mer og mer, og det oppstår et vedlikeholdsetterslep.
3. Budsjettbetingelsen lar seg tilfredsstillende og er bindende, dvs. skyggeprisen er positiv. Modellen har en løsning, men i forhold til tilfellet der budsjettbetingelsen ikke er bindende, skal alle objektene ha langsommere fornyingstakt. Sagt på en annen måte: Objektene skal brytes lengre ned før det blir aktuelt å fornye dem. De ekstra kostnadene som dette påfører brukerne, er prisen som må betales for at budsjettet er for snaut. Om det er verdt prisen eller ikke, kommer an på om skyggeprisen er større eller mindre enn 1.

3 Matematisk beskrivelse av modellen

3.1 Generelt

Framstillingen her er en kortversjon av kapittel 2 i Minken, Dahl og Voll (2014). Den skal i første rekke tjene til å gjøre leseren kjent med begrepene og notasjonen, samt kunne danne seg et bilde av hva det er vi har programmert i regnearket som følger dette arbeidsdokumentet. Men andre ord: Den skal gjøre det lettere for andre enn utviklerne å bruke og vurdere modellen i praksis.

Vi begynner med litt notasjon:

Tabell 1 Notasjon

Investeringskostnad	C_0
Tidsavhengige årlige brukskostnader	$C_B(t)$
Tidsavhengige årlige etatskostnader	$C_E(t)$
Brukernytte	N
Antall år mellom hver fornying	n
Fornyingskostnad	$R(n)$
Kalkulasjonsrente	ρ

Alle disse størrelsene, bortsett fra kalkulasjonsrenta, er spesifikke for det enkelte objekt. Vi antar det er J objekter, indeksert med j . Netto nytte for objektene samlet er en funksjon $W(\mathbf{n})$ av vektoren $\mathbf{n} = (n_1, n_2, \dots, n_J)$ av fornyingsperiodene. Vi har:

(1)

$$W(\mathbf{n}) = \sum_{j=1}^J \left(\left(\frac{N_j}{\rho} - C_{0j} \right) - (1 - e^{-\rho n_j})^{-1} \left\{ \int_0^{n_j} (C_{Bj}(t) + C_{Ej}(t)) e^{-\rho t} dt + R_j(n_j) e^{-\rho n_j} \right\} \right)$$

Legg først merke til at leddet $(N_j \rho^{-1} - C_{0j})$ ikke er en funksjon av \mathbf{n} , og derfor kan betraktes som en konstant som ikke vil ha noen betydning under optimeringen. Den opprinnelige investeringen er derfor irrelevant for vedlikeholdet, og det samme gjelder brukernytten i den grad den er konstant uansett vedlikeholdsnivå. Problemet da er egentlig et kostnadsminimeringsproblem. Integralet inni klammeparentesen er brukerkostnader og etatskostnader fra begynnelsen av en fornyingsperiode til den neste fornyingen, neddiskontert til begynnelsen av perioden. Også den avsluttende fornyingen er neddiskontert til periodens begynnelse. Hele klammeparentesen er derfor alle kostnader i en periode, neddiskontert til periodens begynnelse. Faktoren som klammeparentesen multipliseres med, er summen av en uendelig geometrisk rekke med kvotient $e^{-\rho n_j}$. Alt i alt betyr det at alle kostnaden fra nå til uendelig er neddiskontert til tidspunktet for første fornying, altså til beslutningstidspunktet for den eneste beslutning som finnes i modellen.

Vi har en felles budsjettbetingelse for alle objektene. Den gjelder budsjettet for hele den uendelige levetida samlet, eller med andre ord nåverdien av den gjennomsnittlige årlige budsjettutgiften. Kall dette gjennomsnittet M . Budsjettbetingelsen kan da skrives:

$$(2) \quad \sum_{j=1}^J \frac{1}{1 - e^{-\rho n_j}} \left\{ \int_0^{n_j} C_{Ej}(t) e^{-\rho t} dt + R_j(n_j) e^{-\rho n_j} \right\} \leq \frac{M}{\rho}$$

La oss kalle skyggeprisen på budsjettrestriksjonen μ . Det kan vises at den kostnadsminimale fornyingsperioden n_j^* for objekt j er løsningen av følgende likning:

$$G_j(n_j) - H_j(n_j) = \frac{\mu}{1 + \mu} \left[\frac{\rho}{1 - e^{-\rho n_j}} \int_0^{n_j} C_{Bj}(t) e^{-\rho t} dt - C_{Bj}(n_j) \right]$$

der

$$(3) \quad G_j(n_j) = \frac{\rho}{1 - e^{-\rho n_j}} \left\{ \int_0^{n_j} (C_{Bj}(t) + C_{Ej}(t)) e^{-\rho t} dt + R_j(n_j) \right\}$$

$$H_j(n_j) = C_{Bj}(n_j) + C_{Ej}(n_j) + R'_j(n_j)$$

Det trekket ved (3) som en først kan merke seg, er at den optimale fornyingsperioden n_j^* for objekt j kan beregnes uten å blande inn de andre objektene. Med gitt μ kan vi bruke en solver i et regneark for å gjøre det for alle objektene.² Deretter kan vi legge sammen etatskostnadene og fornyingskostnadene for alle objektene og se om budsjettbetingelsen (2) er oppfylt. Er den ikke det, må vi øke eller senke μ og gjøre alle beregningene på nytt til vi får (2) oppfylt med likhet eller nesten likhet. Når det er oppnådd, kan vi sammenlikne netto nytte per budsjettkrone $\mu - 1$ med et hvilket som helst investeringsprosjekt.

Tolkningen av (3) er nettopp den vi ga i kapittel 2. $G(n_j)$ er annuiteten og $H(n_j)$ er kostnadsøkningen ved å holde på et ekstra år.

² Vi har laget en makro i EXCEL som finner optimal fornyingsperiode for alle objektene samtidig.

3.2 Jernbanetilfellet

Modellen er generell, men er i vårt tilfelle implementert på vedlikehold av skinnegangen i jernbanetransport. 20 banestrekninger der data virket tilfredsstillende, er valgt ut, og kostnadene for brukerne og etaten er estimert.

3.2.1 Brukerkostnader

Vi antar at antall feil eller avvik per kilometer som oppstår på en banestrekning, er en eksponentialfunksjon av tida siden siste fornying. Brukernes kostnader (her i form av forsinket ankomst på grunn av saktekjøring, og eventuelt også innstilte avganger) er proporsjonale med antall feil. Vi betrakter i første omgang et enkelt objekt, og ser derfor bort fra indeksen j som brukes til å identifisere objektene. Vi har altså:

$$C_B(t) = Be^{bt}$$

der B er brukerkostnaden i utgangspunktet og b er økningen i brukerkostnaden med tida. Brukerkostnaden i utgangspunkt, B , er produktet av følgende faktorer:

- banestrekningens lengde i kilometer,
- antall feil per kilometer,
- konsekvensen for en bruker av at en feil oppstår,
- den enkelte brukers verdsetting av konsekvensen, og
- antall brukere som rammes av feilen.

Jernbaneverket snakker om forsinkelsestimer, som er antall togtimer som brukes ut over det som ruteplanen skulle tilsi. Vi har estimert sammenhengen mellom skinnefeil per kilometer og antall forsinkelsestimer. Dette er konsekvensen av at en feil oppstår. Multiplisert med antall passasjerer og antall tonn gods i togene som er påført slike forsinkelsestimer, og verdien av en forsinket time for hver av dem, gir det kostnaden for brukerne. Hver banestrekning har sine særtrekk når det gjelder antall avganger, antall passasjerer og antall tonn gods, miksen mellom passasjertog og godstog, miksen mellom korte og lange reiser osv., og dette har vi tatt hensyn til ved beregningene av kostnadene.

Vi skal nå beskrive disse sammenhengene mer presist:

Banestrekningen består av mange komponenter, som skinner, sviller, ballast, signalsystem osv. Vi ser her bare på skinnefeil. Gjennomsnittlig antall skinnefeil per kilometer og år er en estimert funksjon av tida siden skinnegangen var ny eller sist blei fornyet. Funksjonen, som vi kaller feilfunksjonen, har forma ae^{bt} . Faktoren a , altså antall skinnefeil per kilometer rett etter en fornying, inngår som en del av B .

Parametrene a og b i feilfunksjonen er estimert for høytrafikkerte og lavtrafikkerte banestrekninger. Vi skriver koeffisienten a i de to tilfellene som a_H og a_L . Når det gjelder b , er det en konstant for høytrafikkerte strekninger. Vi skriver den b_H . For lavtrafikkerte strekninger viser det seg at b er en funksjon som avhenger av den

årlige trafikkbelastningen, målt i bruttotonn. Funksjonen er spesifisert og estimert som $b_L(x_j) = b_L x_j$, der b_L er en konstant og x_j er bruttotonn per år, dvs. togets vekt med last, ganget med antall tog per år på strekningen j . Vi får derfor ikke bare ulik feilutviklingstakt b for lavtrafikkerte og høytrafikkerte strekninger, men også ulik takt på feilutviklingen på alle de lavtrafikkerte strekningene, alt etter belastningen.³

Legg ellers merke til at dette gjør feilutviklingen i lavbelastningstilfellet til en funksjon av den *kumulative* belastningen xt , hvilket virker umiddelbart riktig.

Nå lar vi k være en indeks som kan anta de to verdiene H og L , altså høytrafikkerte og lavtrafikkerte strekninger. Siden b for lavtrafikkerte strekninger generelt er en funksjon av bruttotonn per år, og dette er data som er spesifikke for hver strekning, skriver vi nå b_{kj} i stedet for b . B må nå egentlig skrives B_{kj} . Som vi så, vil en av faktorene i B_{kj} være a_k . De andre faktorene er:

- Lengden av banestrekningen i kilometer. Vi kaller den L_j .
- En faktor som gir gjennomsnittlig forsinkelse per innmeldt feil. Den vil i prinsipp være produktet av antall forsinkede tog og den gjennomsnittlige varigheten av forsinkelsen per tog. Varigheten av forsinkelsen per feil kaller vi D_j og måler den i forsinkelsestimer, altså togtimer ut over det antall som kreves etter tuteplanen. Andelen godstog per time på banestrekning j kaller vi y_{gj} , og andelen persontog per time kaller vi y_{pj} .
- Hvert passasjertog har et gjennomsnittlig belegg w_{pj} , og hvert godstog har en gjennomsnittlig last i tonn på w_{gj} . Disse er spesifikke for hver banestrekning. En gjennomsnittspassasjer på strekningen har tidsverdien V_{pj} ved forsinkelser, og hvert tonn gods har tilsvarende tidsverdien V_g . Den gjennomsnittlige forsinkelseskostnaden per innmeldt feil er derfor $(V_{pj} w_{pj} y_{pj} + V_g w_{gj} y_{gj}) D_j$. (Grunnen til at passasjerenes tidsverdi er objektspesifikk er at miksen av lange og korte reiser er forskjellige på de ulike banestrekningene.)

Samlet finner vi altså:

$$(4) \quad C_{Bj}(t) = B_{kj} e^{b_{kj}t} = (V_{pj} w_{pj} y_{pj} + V_g w_{gj} y_{gj}) D_j L_j a_k e^{b_{kj}t}$$

Her er $L_j a_k e^{b_{kj}t}$ antall feil på banestrekningen som funksjon av tida, D er forsinkelsen per feil, målt i togtimer, og parenteser er kostnaden ved en gjennom-

³ Grunnen til at feilene på strekninger med høy belastning ikke er funksjoner av belastningen, er trolig at slike strekninger er bygget mer solid, med lavere avstand mellom svillene osv.

snittlig forsinket togtime. Tidsverdiene er i kroner, men siden de skal multipliseres med passasjerene og godset som rammes, er det mest hensiktsmessig å angi hele $C_{Bj}(t)$ i millioner kroner per år.

3.2.2 Fornyingskostnader og årlige vedlikeholdskostnader

Fornyingskostnaden er også en eksponentialfunksjon av tida siden siste fornying:

$$R_j(t) = R_j e^{rt}$$

Vi mangler data om hvordan fornyingskostnadene øker når fornyingen utsettes med ett år, altså om r , og har i utgangspunktet satt $r = 0$.

Etatens kostnader for korrigerende og preventivt vedlikehold antas på den andre sida å være lineære funksjoner av tida siden siste fornying. Det er denne funksjonsformen som ga de beste estimeringsresultatene. Etatskostnadene er estimert på aggregert nivå og fordelt på banestrekningene etter bruttotonn-kilometer, altså etter andelen $\gamma_j = L_j x_j / \sum_j L_j x_j$. Vi kaller banestrekningenes korrektive og preventive kostnader per år for C_{Kj} og C_{Pj} , og har:

$$(5) \quad \begin{aligned} C_{Kj}(t) &= \gamma_j (k_0 + k_1 t) \\ C_{Pj}(t) &= \gamma_j (p_0 + p_1 t) \end{aligned}$$

Vi skal anta at etatens samlede årlige vedlikeholdskostnader knyttet til banestrekning j i år hvor det ikke forekommer fornying er summen av korrektivt og preventivt vedlikehold, altså:

$$C_{Ej}(t) = C_{Kj}(t) + C_{Pj}(t).$$

Vi skal nå sette disse spesifiserte funksjonene inn i funksjonene $G_j(n_j)$ og $H_j(n_j)$ i relasjon (3) og i uttrykket på høyresida i (3). Til dette trenger vi blant annet integralet av funksjonene C_{Bj} og C_{Ej} fra null til n , dvs. de samlede brukerkostnadene i hele tida fra én fornying til den neste, og de samlede etatskostnadene i samme periode (fornyingsperioden).

3.2.3 Samlede brukerkostnader i en fornyingsperiode

Vi begynner med å beregne integralet til $C_{Bj}(t)$. Vi finner lett at

$$(6) \quad \begin{aligned} \int_0^{n_j} C_{Bj}(t) e^{-\rho t} dt &= \int_0^{n_j} B_j e^{b_j t} \cdot e^{-\rho t} dt = B_j \int_0^{n_j} e^{(b_j - \rho)t} dt \\ &= \frac{B_j}{b_j - \rho} \left(e^{(b_j - \rho)n_j} - 1 \right) = \frac{B_j}{\rho - b_j} \left(1 - e^{(b_j - \rho)n_j} \right) \end{aligned}$$

I utgangspunkt kan vi ikke vite om konstanten b_j , altså økningen i brukerkostnaden med tida, er større eller mindre enn kalkulasjonsrenta ρ . Vår estimering viser imidlertid at for alle banestrekninger er kalkulasjonsrenta mindre enn b_j .

3.2.4 Samlede etatskostnader i fornyingsperioden

Vi tar først for oss integralet til C_{Kj} . C_{Pj} vil være helt lik, bare med en annen fotskrift.

$$\int_0^{n_j} C_{Kj}(t) e^{-\rho t} dt = \gamma_j k_0 \int_0^{n_j} e^{-\rho t} dt + \gamma_j k_1 \int_0^{n_j} t e^{-\rho t} dt$$

Her vil det første leddet være enkelt å løse, men det andre må vi bruke delvis integrasjon for å få løst. Etter litt regning får vi:

$$(7) \quad \int_0^{n_j} C_{Kj}(t) e^{-\rho t} dt = \frac{\gamma_j}{\rho} \left(k_0 + \frac{k_1}{\rho} \right) (1 - e^{-\rho n_j}) - \frac{\gamma_j k_1}{\rho} n_j e^{-\rho n_j}$$

Tilsvarende får vi for forebyggende kostnader:

$$(8) \quad \int_0^{n_j} C_{Pj}(t) e^{-\rho t} dt = \frac{\gamma_j}{\rho} \left(p_0 + \frac{p_1}{\rho} \right) (1 - e^{-\rho n_j}) - \frac{\gamma_j p_1}{\rho} n_j e^{-\rho n_j}$$

Summen av de to blir:

$$(9) \quad \int_0^{n_j} C_{Ej}(t) e^{-\rho t} dt = \frac{\gamma_j}{\rho} \left((k_0 + p_0) + \frac{k_1 + p_1}{\rho} \right) (1 - e^{-\rho n_j}) - \frac{\gamma_j (k_1 + p_1)}{\rho} n_j e^{-\rho n_j}$$

3.2.5 Funksjonene $G(n)$ og $H(n)$, samt høyresida i likning (3)

Likningene (10), (11), (12) og (13) nedenfor skal brukes til å finne optimal n_j for hver j . Som vist i likning (3), trenger vi da å beregne $G(n_j)$, $H(n_j)$ og høyresida i likningen. Vi får:

(10)

$$G(n_j) = \frac{\rho}{1 - e^{-\rho n_j}} \left[\frac{B_j}{\rho - b_j} \left(1 - e^{-(\rho - b_j)n_j} \right) + \frac{\gamma_j}{\rho} \left((k_0 + p_0) + \frac{k_1 + p_1}{\rho} \right) (1 - e^{-\rho n_j}) - \frac{\gamma_j (k_1 + p_1)}{\rho} n_j e^{-\rho n_j} + R_j e^{-\rho n_j} \right]$$

Videre blir $H(n_j)$:

$$(11) \quad H(n_j) = B_j e^{b_j n_j} + \gamma_j (k_0 + p_0) + \gamma_j (k_1 + p_1) n_j + r R_j e^{m_j}$$

Venstresida i likning (3) er:

$$(12) \quad VS_j = G(n_j) - H(n_j)$$

Høyresida i likning (3) blir:

$$(13) \quad HS_j = \frac{\mu}{\mu + 1} \left[\frac{\rho}{1 - e^{-\rho n_j}} \frac{B_j}{\rho - b_j} \left(1 - e^{-(\rho - b_j) n_j} \right) - B_j e^{b_j n_j} \right]$$

Parameteren μ skal vi i første omgang anta er et gitt ikke-negativt tall. Om vi nå tilpasser n_j slik at $VS = HS$, så har vi ifølge rapporten funnet den optimale fornyingsfrekvensen for dette objektet, gitt de etablerte empiriske sammenhengene, dvs. funksjonene $C_{B_j}(t)$, $C_{E_j}(t)$ og $R_j(t)$, og de gitte parametrene, dvs. kalkulasjonsrenta ρ og denne mystiske μ , som vi kommer tilbake til.

Oppgava i jernbanetilfellet vårt er altså å løse $VS = HS$ for hvert objekt med gitt μ , og tilpasse μ slik at budsjettbetingelsen er tilfredsstilt, som forklart i avsnitt 3.1. Men dette krever at vi kan spesifisere de konkrete parametrene og variablene som inngår i funksjonene, og det er dette arbeidet som dokumenteres i kapittel 4.

3.2.6 Budsjettbetingelsen

Vi kaller det årlige budsjettet M . Dersom vi ønsker å undersøke om nåværende vedlikeholdsbudsjetter bør økes, må M være etatsens gjennomsnittlige samlede utgifter over de siste årene på alle de formene for vedlikehold som vi har tatt opp her: fornying, forebyggende og avbøtende vedlikehold. Men det må justeres for forekomsten av spesielle omstendigheter eller spesiell innsats i disse årene.

Når vi deler på kalkulasjonsrenta ρ , får vi nåverdien av å beholde dette budsjett-nivået i det uendelige framover. Det passer godt sammen med forutsetningen om at trafikkfall og driftsopplegg heller ikke kommer til å endre seg, og har den fordel at vi ikke behøver å avslutte analyseperioden på et tidspunkt der de ulike objektene befinner seg på forskjellig sted i fornyingssyklusen.

Med våre funksjonsformer blir den samlede budsjettbetingelsen:

(14)

$$\sum_{j=1}^J \frac{1}{1-e^{-\rho n_j}} \left(\frac{\gamma_j}{\rho} \left((k_0 + p_0) + \frac{k_1 + p_1}{\rho} \right) (1 - e^{-\rho n_j}) - \frac{\gamma_j (k_1 + p_1)}{\rho} n_j e^{-\rho n_j} + R_j e^{(r-\rho)n_j} \right) \leq \frac{M}{\rho}$$

Bortsett fra n_j er alle størrelser på venstresida her empiriske data om de enkelte objektene (C_j og R_j) og kjente parametre (ρ , c og r). Det er altså ingen problemer med å beregne om vedlikeholdskostnadene holder seg innafor budsjettet. Vi kan få et greiere uttrykk for budsjettbetingelsen om vi multipliserer med ρ og ordner litt:

$$(15) \quad \left((k_0 + p_0) + \frac{k_1 + p_1}{\rho} \right) \cdot \sum_{j=1}^J \gamma_j + \sum_{j=1}^J \left(\rho R_j e^{m_j} - \gamma_j (k_1 + p_1) n_j \right) \frac{e^{-\rho n_j}}{1 - e^{-\rho n_j}} \leq M$$

Her er første ledd en kostnad som gjelder systemet som helhet. Per definisjon summerer andelene γ_j seg til 1, men vi har tatt det med her for det tilfellet at vi ønsker å gjøre analyser på utvalgte banestrekninger, slik som for eksempel byområdene. Andre ledd er summen av kostnadselementer som er spesifikke for de enkelte strekningene. Vi kan kalle venstresida i (15) for det årlige finansieringsbehovet. Høyresida M er budsjettet som er bevilget eller planlagt brukt.

Men hvordan skal vi fastsette budsjettet M ? Husk at M skal være et budsjett som kan holdes fra nå til evigheten, så det kan være aktuelt med en skjønnsmessig justering av det budsjettnivået som er observert i de siste årene. Det er jo mulig at budsjettet fra de siste årene inneholder midler som er lagt inn for å bygge ned et vedlikeholdsetterslep, eller at de siste årene inneholder uvanlig store (eller små) fornyingsarbeider, eller at det er uvanlig på andre måter. I så fall er det vel helst de regnskapsførte fornyingskostnadene som bør justeres til et nivå som er forenlig med fornuftige og akseptable langsiktige fornyingsperioder.

Etter optimering vil naturligvis fornyingsperiodene endre seg, og beregninger av finansieringsbehovet med utgangspunkt i venstresida i (15) vil endre seg med det. Om man setter budsjettet basert på dette, risikerer man å gå i sirkel: Det man trur er det langsiktige budsjettnivået med nåværende politikk, blir nærmest per definisjon omtrent også det optimale nivået.

3.3 Sammenhengen mellom de ulike etatskostnadene

Visse former for forebyggende vedlikehold vil kunne utsette fornyingsbehovet. For enkelhets skyld må vi anta at denne typen av vedlikehold holdes på et konstant nivå. Ellers ville intervallene mellom fornyingene kunne variere.

I virkeligheten vil ulike slags forebyggende vedlikehold fungere som substitutt for fornying, men avveiningen av om pengene skal brukes på hyppig fornying og lite forebyggende, eller om de snarere bør brukes på mer forebyggende og sjeldnere fornying, krever en mer komplisert modell, og er ikke noe vi vil prøve på foreløpig.⁴

Vi kan kanskje anta at det skjer en riktig avveining mellom disse to formene for bruk av vedlikeholdsmidler i dag, slik at en krone mer til fornying kaster like mye av seg som en krone til forebygging. I så fall vil det årlige vedlikeholdet kunne betraktes som styrt av fornyingstakten, og den samfunnsøkonomiske lønnsomheten vi finner, vil kunne tolkes både som lønnsomheten av å øke budsjettet til fornying og til forebygging.

Bortsett fra det sterke innslaget av tilfeldighet, som vi har sett bort fra her, er korrektivt vedlikehold også en enkel konsekvens av fornyingspolitikken.

4 Inndata og forutsetninger

Tabell 2 viser hvilke parameterverdier som er brukt i analysen av vedlikehold av skinnegangen. Tidsverdiene og forsinkelsesfaktorene for passasjerer er tatt fra Halse, Flügel og Killi (2010), og tidsverdien for gods er fra Halse og Killi (2013). Vi mangler grunnlag for å anslå r , som derfor er satt til 0. Parametrene i de lineære funksjonene for korrektivt vedlikehold og preventivt vedlikehold som funksjon av tid, dvs. k - og p -parametrene, er estimert på aggregert nivå, og datamaterialet som er brukt, omfatter derfor både objekter som har vært gjenstand for fornying og objekter som ikke har vært det. Meningen med disse likningene var jo at de skulle vise hvordan objektene blei dyrere å vedlikeholde for hvert år fornying ikke fant sted. Men denne sammenhengen er i vårt materiale delvis forstyrret av fornyingen som noen av objektene har gjennomgått. Siden dette er de data vi har om det korrektive og preventive vedlikeholdet, har vi likevel brukt dem.

⁴ I vår modell finnes det bare en type tiltak, nemlig fornying. Vi har tidligere, i TØI-rapport 957/2008, etablert en modell med mange typer av virkemidler og mange nivåer for innsatsbruken for hvert virkemiddel. Denne modellen viste seg å være ganske vanskelig både å etablere og tolke resultatene fra, slik at vi nå i første omgang har gått tilbake til en enklere modell.

Tabell 2 Parameterverdier

μ	skyggepris	valgvariabel
ρ	kalkulasjonsrente	0,04
V_{plang}	Tidsverdi lange reiser	99*
V_{pkort}	Tidsverdi korte reiser	54*
S_{pkort}	Forsinkelsesfaktor kort	2,81
S_{plang}	Forsinkelsesfaktor lang	2,05
V_g	Forsinkelsesverdi gods	89**
V_D	Ekstra driftskostnader ved feil	0 (Ikke definert)
r	Prosentvis kostnadsøkning per	0
k_0	Konstantledd, korrektivt	10,1574 mill. 2014-kroner
k_1	Tidsavhengig ledd, korrektivt	0,61446 mill. 2014-kroner
p_0	Konstantledd, forebyggende	28,9097 mill. 2014-kroner
p_1	Tidsavhengig ledd,	2,9242 mill. 2014-kroner

*2009-priser ** prisår ikke oppgitt

Vi har ingen opplysninger om de ekstra driftsutgiftene som en feil vi medføre for togselskaper, passasjerer og gods, derfor er denne parameteren satt til 0. Noe av det samme gjelder r , altså økningen i fornyingskostnadene når fornyingen utsettes ett år (fordi servicenivået etter fornyingen er antatt å være gitt gjennom faste regler).

Tabell 3 viser estimerte parametre i feilfunksjonen:

Tabell 3 Objektklasse-variable (fotskrift k)

$a_{høy}$	Konstantledd, feilfunksjon høytrafikk	0,0447
a_{lav}	Konstantledd, feilfunksjon lavtrafikk	0,0418
$b_{høy}$	EkspONENT, feilfunksjon lavtrafikk	0,025
b_{lav}	Konstant i eksponent, feilfunksjon	$6 \cdot 10^{-6}$

Merk at b_{lav} er en konstant, tidligere kalt b_L , som må multipliseres med x_j for å finne hele eksponenten i feilfunksjonen i lavtrafikktilfellet.

Tabell 4: Objektspesifikke variable. Fotskrifta j er ikke tatt med i tabellen her.

L	Lengde (km)	
w_p	Passasjerer per avgang	
w_g	Tonn per avgang	
y_p	Andel passasjertog	
y_g	Andel godstog	
α	Andel lange reiser	
D	Forsinkelse per feil	Se nedenfor
x	Bruttotonn per år	
γ_i	Fordelingsnøkkel, etatskostnader	
C_{Kj}	Objektets kostnad, korrektivt vedlikehold	Andel i kroner
C_{Fi}	Objektets kostnad, forebyggende	Andel i kroner
R	Fornyingskostnad	

4.1 Data og estimering

De fleste opplysninger om data stammer fra Jernbaneverkets systemer. På noen punkter har vi måttet fylle ut manglende informasjon etter skjønn.

I tabell 4 er derfor ikke alle data av samme kvalitet. Banelengder og antall avganger med godstog og passasjertog er data som i prinsippet ikke skulle by på problemer. Men andelen lange reiser på en strekning er til en viss grad satt på skjønn. Manglende data for enkeltobjekter andre steder er noen steder erstattet med landsgjennomsnitt. Passasjerer og tonn per avgang har lenge vært data som er ivrig vaktet av NSB, og kan derfor være satt skjønnsmessig.

Fordelingsnøkkelen som vi har brukt for å fordele kostnadene ved korrektivt og forebyggende vedlikehold på strekninger, er brutto tonnkilometer, siden det er en variabel som både avhenger av banestrekningens lengde og trafikkbelastningen. Den virkelige kostnadsfordelingen kjenner vi ikke.

Alle banestrekninger blir ikke fornyet i hele sin lengde på én gang, slik som forutsatt i modellen. Fornyingskostnadene som vi har data om, gjelder bare deler av våre 20 objekter, og vi veit ikke engang hvor store deler det er. Det gjør det vanskelig å bruke registrerte fornyingskostnader til å beregne fornyingskostnadene i modellen. Vi har i stedet antatt en fast kostnad på 1,8 millioner kroner per kilometer med utskifting av skinnene.

Vi skulle også ønske å kunne ta med andre former for konsekvenser enn forsinkelser av for lite vedlikehold. En slik konsekvens er innstillinger. Noen følgeforsinkelser som egentlig kan føres tilbake til skinnefeil, kan også ha blitt registrert på andre måter. Et forsinket tog kan jo ofte måtte prioriteres lavere enn

tog som ikke er forsinket, eller det omvendte kan skje, nemlig at andre tog blir forsinket av de togene som opprinnelig ble forsinket av en skinnefeil.

Jernbaneverket har stått for estimeringen av antall skinnefeil per kilometer som funksjon av skinnenes alder, dvs. tida siden de sist blei skiftet ut. Jernbaneverket har også estimert sammenhengen mellom skinnefeil og forsinkelser. Forsinkelsene er målt som forsinkelsestimer, som er togtimer ut over det antall som ruteplanen skulle tilsi. Estimeringen har gitt store konfidensintervaller. En grunn kan være at datakvaliteten i det såkalte TIOS-systemet⁵, som er Jernbaneverkets system for å registrere tilstanden i jernbanesystemet, er varierende. Men i tillegg er det også et problem at registreringen av feil og avvik faktisk er blitt bedre år for år i perioden vi har estimert på. Det betyr jo at vi estimerer en raskere feilutvikling enn det som virkelig foregår.

Endelig har Jernbaneverket også estimert de årlige vedlikeholdskostnadene som funksjon av skinnenes alder. Også dette har gitt relativt usikre anslag.

Et prinsipielt problem som knytter seg både til estimeringen av skinnefeilenes tidsutvikling og vedlikeholdskostnadenes tidsutvikling, er at dette ikke er eksogent gitte prosesser, men er påvirket av inngrep av forskjellig slag. Det viktigste i den forbindelsen er at det faktisk foregår fornying i varierende omfang hvert år. Det finnes teori om hvordan en skal gå fram i slike tilfeller, se for eksempel Ben-Akiva og Ramaswamy (1993), Ben-Akiva m.fl. (1993), Chu og Durango-Cohen (2008a, 2008b). En litt nærmere omtale finnes i kapittel 5 i Minken, Dahl og Voll (2014). I det foreliggende prosjektet er det foretatt en enkel tidsserieanalyse, og slike mer avanserte metoder er ikke brukt.

4.2 Kalibrering

Budsjettet M , slik det er nå eller slik det ville se ut om nåværende tilstand skulle videreføres på langt sikt, er selve grunnlaget for vurderingen av om det lønner seg å øke vedlikeholdsbudsjettet. Det er derfor viktig å ha dette som et gitt fast anslag for alle analyser og følsomhetsanalyser som gjelder de objektene vi tar for oss.

Det er det registrerte kostnadsnivået for våre objekter samlet i det siste året, eller de siste åra, som er brukt her, men modifisert slik at ekstra fornyingstiltak for å fjerne et langsiktig etterslep er tatt ut. Dersom det er grunn til å tru at forfallet har vært så stort at de korrektive kostnadene er større enn de vil bli på langt sikt, kan det også være aktuelt å korrigere for det. Modellen gjelder jo en langsiktig likevektstilstand.

I dag brukes det omtrent 800 millioner i forebyggende og korrektivt vedlikehold av banen per år. I tillegg kommer rundt 200 millioner til fornying. Et anslag på hvor mye av dette som brukes på skinner spesielt, er ti prosent. Det gir 80 millioner kroner i forebyggende og korrektivt vedlikehold av skinner. I tillegg kommer så et skjønnsmessig justert fornyingsbudsjett som muliggjør full

⁵ TIOS er forkortelse for trafikkinformasjons- og oppfølgingssystem.

utskiftning av skinnene over en rimelig periode. En annen mulighet er å anta samme fornyingsperiode på alle strekninger og bruke det til å beregne venstresida i (15). Med data fra tabell 2 og 4, og med $n = 40$, gir det 160 millioner kroner inklusive fornying, og med 30 år gir det 200 millioner.

De årlige brukerkostnadene i vår analyse utgjør bare en tiendedel av dette. Det er muligens riktig at det skal være slik, og at brukerkostnadene skal holdes nede på dette nivået ved hjelp av relativt mye høyere vedlikeholdskostnader. Men det er likevel trolig at brukerkostnadene er betydelig undervurdert og trenger et skjønnsmessig påslag.

5 Resultater med drøfting

5.1 Første forsøk

Tabell 5 viser hovedresultatene av første forsøk på å vurdere den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av økte budsjetter til vedlikehold og fornying av skinnene på 20 norske banestrekninger.

Budsjettet M er satt til 120 millioner kroner per år. Det inkluderer annuiteten av fornyingskostnadene. Vi ser at vedlikeholdskostnadene som følger av optimeringen av fornyingsperiodene i dette tilfellet, innebærer et visst årlig merforbruk, nemlig 121 millioner kroner per år. Neddiskontert over alle år fra nå til uendelig gir det en underdekning på 24 millioner kroner. Skyggeprisen på budsjettet er 2. Om vi kan stole på det, er det altså samfunnsøkonomisk lønnsomt å øke budsjettet marginalt (Netto nytte per budjettkrone er lik 1).

Men det er flere grunner til at vi ikke kan stole på dette. For det første har vi helt urealistiske fornyingsperioder på flere av banene med lite trafikk, slik som særlig bane 1 og 9. Men også resultatet for de andre banene som har optimal fornyingstakt over 100 år, må anees å være feil. Årsakene til feilen er dels at den årlige vekstraten for brukerkostnadene er oppgitt til å være ekstremt liten for disse banene, og delvis at de har små brukerkostnader fordi trafikkbelastningen er liten. Det spiller også en rolle at vedlikeholdskostnadene er estimert til å vokse med et gitt beløp hvert år, uavhengig av hvor lenge det er siden siste fornying.

For det andre viser det seg at det er nærmest umulig å redusere kostnadene slik at budsjettet holdes. Vi skulle jo egentlig ha økt skyggeprisen til budsjettbetingelsen blei tilfredsstilt, men det lar seg neppe gjøre sjøl med skyggepris over 1000. Dette viser til en mer grunnleggende svakhet ved de dataene vi har brukt. Ser vi en gang til på likning (13), viser den at skyggeprisen på budsjettet ikke påvirkes direkte av etatskostnader, men bare av brukerkostnader. Jo mindre brukerkostnadene er i forhold til etatskostnadene, jo større endring i faktoren $\mu/(1 + \mu)$ må til for å oppnå likhet mellom høyresida og venstresida i optimalitetsbetingelsen. Men denne faktoren kan ikke bli større enn 1, uansett hva vi gjør med μ . Det eksemplet vårt viser, er altså at det ikke er mulig å finne en optimal fornyingspolitikk for hver av de 20 banestrekningene innenfor det budsjettet vi har brukt. Den dypere

årsaka til dette er at det ikke er brukerkostnadene som bestemmer dansen her, men etatskostnadene. Brukerkostnadene er for små til å spille noen rolle, eller etatskostnadene er for store.

Vi har altså et tilfelle av at det ikke er mulig å finne noen løsning for alle objektene innafor budsjettet, dvs. tilfelle 2 av de tre tilfellene som er nevnt i kapittel 2.

Tabell 5 Resultater fra første forsøk

Årlig budsjett (millioner kroner)	120
Årlig behov (millioner kroner)	121
Underdekning (mill.kr, nåverdi ved uendelig tidshorisont)	26
Skyggepris på budsjettet	2
Samfunnsøkonomisk kostnad (mill.kr, uendelig tidshorisont)	9 902

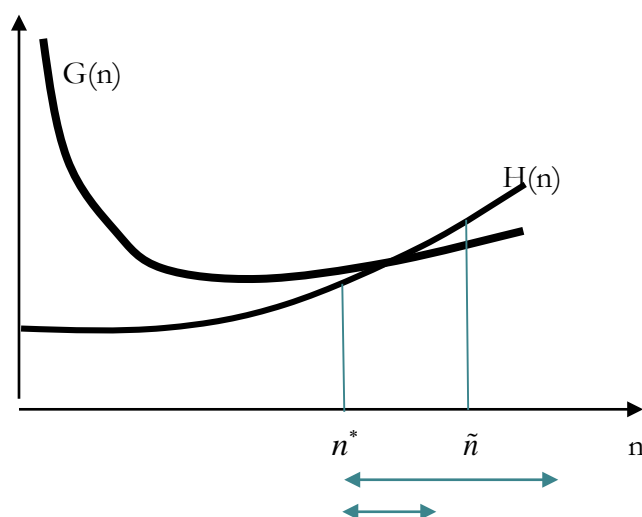
Fornyingsstakt (år)

1	Arendalsbanen(nelaug-arendal)	13 040
2	Askerbanen(lysaker-asker)	77
3	Bergensbanen(hønefoss- bergen)	161
4	Dovrebanen(eidsvoll-trondheim)	65
5	Drammenbanen(oslo s-gulskogen)	76
6	Gjøvikbanen(oslo s-gjøvik)	65
7	Hovedbanen(oslo s-eidsvoll)	39
8	Kongsvingerbanen(lillestrøm-riks grensen)	51
9	Meråkerbanen(hell-storlien)	30 698
10	Nordlandsbanen(trondheim-bodø)	158
11	Oftobanen(narvik vassijaure)	37
12	Raumabanen(dombås-åndalsnes)	1 182
13	Roa-Hønefossbanen(roa-hønefoss)	230
14	Rørosbanen(hamar-støren)	1 512
15	Solørbanen(kongsvinger-elverum)	1 290
16	Spikkestadbanen(asker-spikkestad)	164
17	Sørlandsbanen(gulskogen-stavanger)	72
18	Vestfoldbanen(drammen-eidanger)	96
19	Østfoldbanen vestre linje(oslo s-kornsjø)	59
20	Østfoldbanen østre linje(ski-sarpsborg)	156

Brukerkostnadene i denne analysen viser seg å være bare rundt en tiendedel av etatskostnadene. Bare den årlige veksten i preventive vedlikeholdskostnader aleine utgjør mer enn de årlige brukerkostnadene. Det er derfor ikke rart at vi fort mister tilpasningsmulighetene når det er brukerkostnadene som bestemmer hvor store de er. Fordi brukerkostnadene er en liten del av alle kostnader, endrer de optimale fornyingsperiodene seg ganske lite når faktoren $\mu/(1 + \mu)$ går fra 0 til 1, og følgelig blir området der fornyingsperiodene ikke er forenlige med en langsiktig likevektsløsning, desto større.

Figur 1, som er en korrigert og modifisert versjon av et tilsvarende diagram i Minken, Dahl og Voll (2014), kan illustrere dette problemet. Figuren viser de to kurvene $G(n)$ og $H(n)$ fra likning (10) og (11). Der de skjærer hverandre er den kostnadsminimale fornyingstakta når budsjettet ikke er bindende, mens punkter til høyre, slik som \tilde{n} , er kostnadsminimum når budsjettet tvinger fram lengre tid mellom fornyingene. Enda lenger til høyre ligger punkter som ikke gir løsning. Under diagrammet har vi markert to intervaller – et bredt som kan forbindes med en stor verdier av B , og et smalt som kan forbindes med en liten B (se likning (13)).

Figur 1



I det ekstreme tilfellet uten brukerkostnader vil det bare være ett eneste budsjett-nivå som er forenlig med en langsiktig løsning, og fornyingsperiodene vil bli like for alle strekninger, siden de alle har kostnader som er en gitt andel (γ) av totalkostnadene.

Modellen fungerer i dette forsøket nærmest som en kritikk av våre data, våre antakelser og våre estimeringsmetoder. Det er liten tvil om at store deler av brukerkostnadene er utelatt i mangel på data. Det gjelder blant annet kostnadene ved innstilte avganger og følgeforsinkelser, og ekstra kostnader og ulemper og tidstap knyttet til og overgang til alternativ transport. Det har også blitt klarere gjennom forsøket at mye av den årlige økningen i vedlikeholdskostnadene (k_1 og p_1) skyldes at bevilgningene til vedlikehold har økt i årene som vi har estimert på, og ikke har noe med aldersutviklingen isolert sett å gjøre. Begge deler kan ha bidratt til at vi havner i tilfelle 2.

Vi ser at banestrekninger med lav trafikk stort sett har «optimale» fornyingsperioder som er lengre enn det Jernbaneverket anser som levetida for skinner (40 år). Tungt belastede strekninger, og strekninger med tunge godstog, har derimot fornyingsperioder som samsvarer bedre med Jernbaneverkets antatte levetid for skinner. Selv om forsøket ikke finner noen bestemt verdi på skyggeprisen μ , og selv om data har mangler, tror vi denne tendensen er riktig. Vi mener derfor å kunne slå fast at det er usannsynlig at fornying på banestrekninger med lite trafikk kan begrunnes samfunnsøkonomisk. Fornyning på slike banestrekninger må begrunnes med sikkerhetshensyn og hensyn til et bredt transporttilbud i distriktene. Derimot kan intensivert fornying av skinnegangen på strekninger med mye trafikk godt vise seg å være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

5.2 Andre forsøk

I dette forsøket har vi eliminert alle banestrekninger som kom ut med fornyingsperioder over 100 år. De ti gjenværende strekningene har ca 80 prosent av de årlige vedlikeholdskostnadene i første forsøk, og vi har redusert budsjettet tilsvarende. Vi har videre gitt brukerkostnadene, unntatt Dovrebanen, en tredobling for å illustrere hva det kan bety å ta hensyn til utelatte kostnadselementer. Resultatene er gjengitt i tabell 6.

Tabell 6. Resultater fra andre forsøk

Årlig budsjett (millioner kroner)	96,5
Årlig behov (millioner kroner)	97,63
Underdekning (mill.kr, nåverdi ved uendelig tidshorisont)	3
Skyggepris på budsjettet	1,5
Samfunnsøkonomisk kostnad (mill.kr, uendelig tidshorisont)	2 845

		Fornyingstakt (år)
2	Askerbanen(lysaker-asker)	101
4	Dovrebanen(eidsvoll-trondheim)	75
5	Drammenbanen(oslo s-gulskogen)	107
6	Gjøvikbanen(oslo s-gjøvik)	81
7	Hovedbanen(oslo s-eidsvoll)	43
8	Kongsvingerbanen(lillestrøm-riks grensen)	59
11	Oftobanen(narvik vassijaure)	39
17	Sørlandsbanen(gulskogen-stavanger)	92
18	Vestfoldbanen(drammen-eidanger)	159
19	Østfoldbanen vestre linje(oslo s-kornsjø)	72

Fornyingsperiodene er litt høyere enn før, men ikke vesentlig. Det kunne tyde på at våre antakelser om budsjettet er litt romsligere for disse ti strekningene enn det var for de 20 opprinnelige. Vi opplever imidlertid ikke noen stor effekt av å tredoble brukerkostnadene. Det er fremdeles like vanskelig å tilpasse kostnadene til budsjettet, og endringer i μ har fremdeles liten virkning på tilpasningen. Det er derfor i realiteten ikke noen grunn til å skille mellom skyggeprisen på 1,5 her og skyggeprisen på 2 i første forsøk, sjøl om tilpasningen til budsjettet gir mindre underdekning her.

Konklusjonen er at sjøl om resultatet ikke virker urimelig, virker modellen fremdeles ufølsom overfor endringer i brukerkostnadene, og det er vanskelig å tilpasse μ slik at budsjettbetingelsen er oppfylt med likhet. Det er litt usikkert hva dette skyldes, men en mulighet er at vedlikeholdskostnaden, og den årlige økningen i dem, fremdeles dominerer hele optimeringen på en uheldig måte.

5.3 Forsøk med hypotetiske data

I dette forsøket bygger vi fremdeles på modellen og data fra de to første forsøkene. Vi bruker også de samme ti strekningene som i andre forsøk. I motsetning til de to første forsøkene, der vi beholdt et budsjett som vi mente tilsvarte det virkelige nivået i nåsituasjonen, vil vi her variere budsjettet på en systematisk måte. Vi ser på fire tilfeller:

1. De samme kostnadene som i første og andre forsøk
2. Brukerkostnadene tidobles
3. Kostnaden til preventivt vedlikehold er konstant (utvikler seg ikke med tida)
4. Brukerkostnadene tidobles og kostnaden til preventivt vedlikehold er konstant

Det vi skal studere, er hvordan brukerkostnadene og den estimerte sammenhengen for det preventive vedlikeholdet påvirker muligheten til å finne optimale fornyingsfrekvenser når budsjett betingelsen er bindende. Det vil si: Hvilket spillerom er det egentlig for å finne løsninger med forlenget fornyingsfrekvens dersom budsjettet er for stramt til å gjennomføre den ideelle løsningen?

Tabell 7 Originale brukerkostnader og etatskostnader

Gj.snittlig årlig kostnad	M	μ	Optimale fornyingsfrekvenser			-W
			Gj.snitt	Min	Maks	
97,0	97,0	0	62,6	34,8	95,0	2810
96,5	96,5	1,4	65,0	36,7	98,4	2816
96,4	96,4	2,8	65,8	37,3	99,4	2820
96,35	96,35	5,6	66,5	37,8	100,2	2825
96,32	96,32	1000	67,7	38,4	101,3	2825

Kolonnen $-W$ i tabellen (og i de neste tabellene) er den samfunnsøkonomiske kostnaden ved driften av de ti strekningene fra nå til uendelig, altså likning (1) minus konstantleddene, men med motsatt fortegn.

$M = 97,0$ er grensa mellom tilfellene der budsjettet er bindende og tilfellene hvor det ikke er det. Systematiske forsøk på å redusere budsjettet fra dette nivået viser at $M = 96,32$ er det minste budsjettet som er forenlig med en langsiktig løsning. Lavere budsjetter vil uvegerlig medføre tilbakevendende vedlikeholdsetterslep, om vi skal tru på funksjonssammenhengene i modellen. De optimale fornyingsfrekvensene er kanskje litt for høye til at vi kan gjøre det.

Budsjettreduksjonen fra $M = 97$ til $M = 96,32$ er på bare 0,7 prosent. I tabell 7 er det derfor svært lite spillerom for å tilpasse seg til budsjettet ved å forlenge fornyingsperioden. Med de opprinnelige brukerkostnadene er derfor modellen nokså uinteressant. Om brukerkostnadene hadde vært enda mindre, slik de er når det gjelder bruvedlikehold, finnes det bare to alternativer i praksis, nemlig å finne den eneste riktige fornyingsfrekvensen for hver bru, eller å opparbeide regelmessige etterslep.

Tabell 8 Brukerkostnadene multiplisert med 10.

Gj.snittlig årlig kostnad	M	μ	Optimale fornyingsfrekvenser			$-W$
			Gj.snitt	Min	Maks	
107,8	107,8	0	48,8	22,7	73,7	5871
100,7	100,7	1,4	55,4	28,4	83,2	5961
98,8	98,8	2,8	58,2	30,9	87,9	6055
97,5	97,5	5,6	60,9	33,4	92,5	6181
96,32	96,32	1000	67,58	38,4	101,2	6673

I tabell 8 er området der det finns langsiktig holdbare budsjettnivåer større (10,6 prosent). I tabell 9 og 10 har vi tatt vekk den årlige veksten i det forebyggende vedlikeholdet. Som ventet gir det lengre fornyingsperioder. (I dette tilfellet har de åpenbart blitt *for* lange.) Forskjellen mellom budsjettet når $\mu = 0$ og når $\mu = 1000$ er 2,3 prosent i tabell 9 og 30 prosent i tabell 10. Virkningen av å tidoble brukerkostnadene er derfor relativt sett like kraftig enten den årlige veksten i det preventive vedlikeholdet er slik eller slik, mens å ta vekk vedlikeholdsveksten øker mulighetsområdet for budsjettet med rundt tre ganger, uavhengig av nivået på brukerkostnadene.

Tabell 9 Opprinnelige brukerkostnader og ingen vekst i preventivt vedlikehold

Gj.snittlig årlig kostnad	M	μ	Optimale fornyingsfrekvenser			-W
			Gj.snitt	Min	Maks	
45,22	45,22	0	133,5	64,5	208,4	1577
44,1	44,1	1,4	156,6	81,3	234,6	1591
43,83	43,83	2,8	168,3	89,9	247,8	1603
43,7	43,7	5,6	181,8	99,6	263	1619
43,5	43,5	1000	263,8	132,5	391,7	1678

Tabell 10 Tidoble brukerkostnader og ingen vekst i preventivt vedlikehold

Gj.snittlig årlig kostnad	M	μ	Optimale fornyingsfrekvenser			-W
			Gj.snitt	Min	Maks	
62,2	62,2	0	74,8	27,8	136	4884
51,7	51,7	1,41	96,2	39,7	163,9	5022
48,75	48,75	2,8	107,6	47,1	178,3	5171
46,3	46,3	5,6	122,5	56,7	195,5	5407
43,5	43,5	1000	235,8	128,1	325	6868

Sluttproduktet i vår modell er μ^* , skyggeprisen på en økning av M/ρ . Disse hypotetiske forsøkene indikerer at dersom en skal trekke klare konklusjoner om lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet, er det av største viktighet å få så riktige data som mulig. Modellen er enkle nok, men det vanskelige arbeidet er å etablere gode data og funksjonssammenhenger. Spesielt ser det ut til at brukerkostnadene bør være minst like store som etatskostnadene.

Når μ er større enn 1000 bryter modellen sammen, og det finns ingen andre løsninger på langt sikt enn å betale det det koster å holde infrastrukturen i optimal stand. Det er da ikke bare umulig å anslå lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet, det er faktisk også helt unødvendig å gjøre det.

Konklusjonen på det hypotetiske eksemplet er altså at datakvaliteten er avgjørende for om vi kan stole på modellen, og at området for budsjettnivåer som gir langsiktige likevektsløsninger avhenger helt av størrelsen på brukerkostnadene i forhold til etatskostnadene.

5.4 Framtidig bruk av modellen

For å kunne bruke modellen i framtida, må vi skaffe et mer fullstendig bilde av brukerkostnadene, og vi må revurdere hvordan etatskostnadene avhenger av infrastrukturens tilstand. Det kan være en fordel å trekke inn langt mer enn bare skinnefeil, ikke minst fordi det er en viss sammenheng mellom skinnefeil og

svillebrudd, for eksempel. En breiere anlagt analyse vil også gjøre det lettere å knytte an til regnskapsdata og offisielle budsjetter.

Det finnes åpenbart ikke noen veg utenom et større arbeid på disse områdene dersom en virkelig skal kunne si noe om nytten av å øke budsjettene.

6 Konklusjoner

Vi har laget en modell for vurdering av den samfunnsøkonomiske gevinsten ved å øke vedlikeholdsbudsjettet, og har anvendt den på en liten del av vedlikehold og fornyelse i jernbanesektoren, nemlig vedlikehold og fornying av skinner.

Modellen vi har bygget opp, fungerer stort sett som forventet. Men det er tydelig at dersom et bredt spekter av langsiktige likevektsløsninger for det enkelte objekt skal kunne eksistere, krever det at brukerkostnadene utgjør en vesentlig større del av de samlede kostnadene enn de gjør i vårt tilfelle.

Som nevnt kan tre ulike situasjoner kan forekomme i løsningen av modellen.

1. Budsjettbetingelsen er ikke bindende. Da er skyggeprisen på budsjettet lik null, og budsjettøkning fører ikke til noen samlet forbedring.
2. Modellen har ingen løsning. Budsjettbetingelsen er for stram til at det finnes noen mulighet til å bringe alle objektene regelmessig opp til den initielle standarden, slik som forutsatt.
3. Budsjettbetingelsen lar seg tilfredsstillende og er bindende, dvs. skyggeprisen er positiv. Modellen har en løsning, men i forhold til når budsjettbetingelsen ikke er bindende, skal alle objektene ha langsommere fornyingstakt.

Våre forsøk med modellen viser at med de data vi nå har, havner vi som regel i situasjon nummer to, altså ingen holdbar løsning. Dette kommer til syne ved at vi ikke kan finne en skyggepris som reduserer det årlige finansieringsbehovet til det vi antar er budsjettet. Vi har analysert årsakene til dette, og mener hovedårsakene er at brukerkostnadene vi har brukt, er for små i forhold til jernbaneverkets egne kostnader, og at vi ikke har funnet helt ut av hvordan jernbaneverkets kostnader til korrektivt vedlikehold henger sammen med infrastrukturens tilstand. Heller ikke forholdet mellom forebyggende vedlikehold og infrastrukturens utvikling har vi helt fått grepet om.

Etter vårt syn er det derfor ikke mulig å trekke konklusjoner om lønnsomheten av å øke vedlikeholdsbudsjettet ut fra disse forsøkene.

Derimot ser vi et mønster i resultatene når det gjelder fornyingsperiodenes lengde, nemlig at baner med lite trafikk kommer ut med «optimale» fornyingsperioder som er til dels mye lengre enn fornyingsperiodene på banene med høy trafikk, og også mye lengre enn Jernbaneverkets offisielle anslag på levetida for skinner (40 år). Noe av dette skyldes huller i dataene for noen av banene, men tendensen er uansett klar. Vi kan derfor anta at om banestrekningene med lite trafikk skal

fornyes med 40-50 års mellomrom, vil det ikke være samfunnsøkonomisk lønnsomt. Derimot ser de «optimale» fornyingsperiodene for banestrekninger med mye trafikk, eller med tunge godstog, ut til å samsvare bedre med Jernbaneverkets anslag.

Med bedre data og estimeringsmetoder vil modellen kunne gi mer nyttig informasjon. For å kunne bruke modellen i framtida, må vi skaffe et mer fullstendig bilde av brukerkostnadene, og vi må revurdere hvordan etatskostnadene avhenger av infrastrukturens tilstand. Vi er kjent med at dette er oppgaver som Jernbaneverket nå arbeider med. Det kan være en fordel å trekke inn langt mer enn bare skinnefeil, ikke minst fordi det er en viss sammenheng mellom skinnefeil og svillebrudd, for eksempel. En breiere anlagt analyse vil også gjøre det lettere å knytte an til regnskapsdata og offisielle budsjetter.

Stort enklere enn det vi her har gjort, er det ikke mulig å modellere de kompliserte sammenhengene mellom innsats og nyttevirkning på jernbaneområdet. Dette til tross har vi likevel hatt problemer med datakvaliteten. Vi anbefaler derfor at man arbeider videre med vår modell før man prøver å lage den mer sofistikert, og at hovedinnsatsen heller rettes mot å skaffe gode data og identifisere og estimere de vesentlige sammenhengene mellom feil og kostnader og mellom vedlikeholds-innsats og feil. Spesielt bør en ta i bruk mer avanserte former for tidsserieanalyse, som tar hensyn til målefeil, usikkerhet og at deler av banestrekningen blir fornyet i perioden vi bruker til å estimere kostnadssammenhengene på.

Framtidig arbeid med modellen bør ta sikte på å inkludere flere komponenter i banesystemet enn bare skinnene. Det vil både redusere behovet for å anslå skjønnsmessig hva som skal brukes som budsjett i modellen, hvilke feil som skal henføres til skinner spesielt, og hvilke konsekvenser som er relevante.

Det kan finnes andre bruksområder for modellen enn bare å anslå skyggeprisen på budsjettet. For eksempel vil modellen kunne beregne nytten av å ta inn et etterslep i løpet av et gitt tidsrom. Vi må da gjøre en vurdering av om det er langsiktig holdbart å la være å ta inn etterslepet. Om det er tilfelle, dreier det seg om å sammenlikne to likevektssituasjoner med ulik skyggepris på budsjettet fra og med et gitt tidspunkt, samt vurdere hvilke ekstrakostnader som må til fram til dette tidspunktet for å etablere hver av de to langsiktig holdbare situasjonene.

Regnearkene som har vært benyttet i våre forsøk, vil kunne oversendes til de som ber om det. Det foreligger ikke noen fullstendig forklaring av modellen i selve regnearket, men det foreliggende arbeidsdokumentet vil kunne avklare de aller fleste spørsmål.

Litteraturliste

Ben-Akiva, M., F. Humplick, S. Madanat and R. Ramaswamy (1993) Infrastructure management under uncertainty: Latent performance approach. *Journal of Transportation Engineering* **119**(1), 43-58.

- Ben-Akiva, M. and R. Ramaswamy (1993) An approach for predicting latent infrastructure facility deterioration. *Transportation Science* **27**(2), 134-153.
- 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.
- Halse, A.H., S. Flügel og M. Killi (2010) Den norske verdsettingsstudien. Korte og lange reiser (tilleggsstudie). Verdsetting av tid, pålitelighet og komfort. TØI-rapport 1053h/2010).
- Halse, A.H. og M. Killi (2013) Hva koster et forsinket godstog? Anvendelse av nyere forskningsresultater. TØI-rapport 1250/2013.
- Minken, H., G. Dahl og C. Steinsland (2008) Samfunnsøkonomisk vurdering av vedlikeholdsstrategier, oppgradering og standardutforming i vegnettet, TØI-rapport 957/2008.
- Minken, H., G. Dahl og N.G. Voll (2014) Modeller for økonomiske analyser av vedlikeholdsstrategier og vedlikeholdsbudsjetter. TØI-rapport 1380/2014.

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.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se 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 trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport 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.

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no