

2021:00476 - Åpen

Rapport

Gjennomgang av slitasjekostnader for godstransport på veg og jernbane

Forfatter(e)

Dag Bertelsen, Andreas Dypvik Landmark, Anders Kroksæter (alle SINTEF)
Johnny M. Johansen, ViaNova



Rapport

Gjennomgang av slitasjekostnader for godstransport på veg og jernbane

EMNEORD:Slitasjekostnader
Veg
Jernbane**VERSJON**

1.0

DATO

2021-04-29

FORFATTER(E)Dag Bertelsen, Andreas Dypvik Landmark, Anders Kroksæter (alle SINTEF)
Johnny M. Johansen, ViaNova**OPPDRAKSGIVER(E)**

Transportvirksomhetene

OPPDRAKSGIVERS REF.

Oskar Kleven

PROSJEKTNR

102024187

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

20+ vedlegg

Kort oppsummering

Denne rapporten inneholder i hovedsak rimelighetsvurderinger av de godstransport-relaterte slitasjekostnadene på veg og jernbane som er beskrevet i TØI-rapport 1704/2019 og implementert i beregningsverktøyet GodsNytte tilknyttet Nasjonal godsmodell. Rapporten inneholder også noen konkrete forslag til korreksjoner av slitasjekostnadsberegningene. Dessuten inneholder rapporten en sammenligning av slitasjekostnadsberegningene i GodsNytte med tilsvarende beregninger i Jernbanedirektoratets analyseverktøy SAGA og Statens vegvesens analyseverktøy EFFEKT. Det er til dels store forskjeller i beregningsmetodikk mellom disse verktøyene, ikke minst i beregningene av slitasjekostnader. Det pekes på flere muligheter for samordning av metodikken i de aktuelle verktøyene.

Oppdragsgiver for arbeidet med denne rapporten har vært transportvirksomhetene, deriblant Statens vegvesen, Nye Veier, Jernbanedirektoratet og Bane NOR. SINTEF Community, SINTEF Digital, SINTEF Narvik og ViaNova Plan og Trafikk har stått for arbeidet.

UTARBEIDET AV

Dag Bertelsen m. fl

KONTROLLERT AV

Lars Harald Vik

GODKJENT AV

Unn Karin Thorenfeldt

SIGNATUR



SIGNATUR



SIGNATUR

**RAPPORTNR**

2021:00476

ISBN

978-82-14-07663-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn og opplegg for prosjektet	5
1.2	IT-verktøy for NK-analyser av godstransport.....	5
2	Rimelighetsbetraktninger av slitasjekostnader for veg.....	7
3	Korrigerede slitasjekostnader for veg.....	9
4	Rimelighetsbetraktninger av slitasjekostnader for jernbane.....	10
5	Korrigerede slitasjekostnader for jernbane	11
6	Sammenligning av beregningsmetodikken for veg og jernbane	12
6.1	Metodikk for beregninger av slitasjekostnader for veg og bane i GodsNytte.....	12
6.2	Forskjeller i slitasjekostnader for veg og bane i GodsNytte	13
6.3	Slitasjekostnadsberegninger i SAGA basert på godstransportdata fra NGM	15
6.4	Slitasjekostnadsberegninger i EFFEKT basert på godstransportdata fra NGM.....	16
6.5	Samordning av slitasjekostnadsberegninger i GodsNytte, SAGA og EFFEKT.....	16
6.6	Godstransportberegninger basert på mer spesifikke strekningsdata	17
6.7	Harmonisering av metodikk og verktøy for person- og godstransportanalyser.....	18
6.8	Kort oppsummering av spørsmål som det er grunn til å se nærmere på.....	18
7	Referanser.....	20

VEDLEGG

Vedlegg 1: ViaNova Plan og Trafikk: Slitasjekostnad veg Rimelighetsvurdering TØI 1704/2019

Vedlegg 2: SINTEF: Rimelighetsvurdering Slitasjekostnad jernbane

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og opplegg for prosjektet

TØI-rapport 1704/2019 [1] presenterer enhetspriser for beregning av eksterne kostnader ved person- og godstransportanalyser med ulike transportformer. Med "eksterne kostnader" menes i denne sammenheng kostnader som transportutøverne ikke hensyntar, men som likevel må inngå i en samfunnsøkonomisk analyse. TØI-rapporten [1] ble utarbeidet på oppdrag for transportvirksomhetene.

Transportvirksomhetene lyste i oktober 2020 ut et oppdrag på å gjennomføre en rimelighetsvurdering av grunnlaget for, og størrelsen på, de marginale enhetsprisene for slitasjekostnader på veg og jernbane som er presentert i kapittel 12 og 13 i TØI-rapporten [1]. Dersom rimelighetsvurderingene skulle tilsi det, ønsket en også forslag til korreksjoner av enhetsprisene i rapporten. "Marginale slitasjekostnader" er her å forstå som det tillegget i vedlikeholdskostnader som oppstår ved at en ekstra transportenhet belaster en veg- eller jernbanestrekning.

SINTEF Community fikk, sammen SINTEF Digital, SINTEF Narvik og ViaNova, i oppgave å gjennomføre dette oppdraget. Prosjektgjennomføringen har omfattet 5 digitale prosjektmøter med oppdragsgiverne, 3 digitale prosjektmøter for vegdelen og 3 digitale prosjektmøter for jernbanedelen. Anders Kroksæter har vært prosjektleder for SINTEF, og for vegdelen av prosjektet. Andreas Dypvik Landmark har vært prosjektleder for jernbanedelen i SINTEF. Oskar Kleven har styrt prosjektet fra oppdragsgivernes side med en rekke støttespillere både fra veg- og jernbanesiden.

Gjennom tilbudet og et par avklaringsnotater som ble diskutert på de første møtene, ble det oppnådd en felles forståelse av hva en ønsket at prosjektet skulle klarlegge. Det har vært fokusert på de enhetsprisene for godstransport som brukes i modulen GodsNytte som er tilknyttet Nasjonal godsmodell (NGM), samt ved analyser med jernbanemyndighetenes analyseverktøy SAGA.

1.2 IT-verktøy for NK-analyser av godstransport

Dagens metodikk for samfunnsøkonomiske analyser av offentlige tiltak i transportsektoren er stort sett basert på Finansdepartementets *Veileder i samfunnsøkonomiske analyser*. Den siste utgaven av denne veilederen kom i 2018. Transportvirksomhetene har utarbeidet mer spesifikke veiledere for sine ansvarsområder. Virksomhetene har, dels hver for seg, dels i fellesskap, utviklet flere ulike IT-verktøy for NK-analyser.

Resultatene fra TØI-rapporten [1] er implementert i følgende verktøy:

- GodsNytte, en beregningsmodul som baserer seg på output fra Nasjonal Godsmodell (NGM)
- SAGA, NK-analyseverktøy for jernbaneprosjekter
- EFFEKT, NK-analyseverktøy for vegprosjekter

Disse verktøyene er kort omtalt nedenfor.

Nasjonal godsmodell (NGM) inklusiv modulen GodsNytte

NGM er et verktøy utviklet for analyser av nasjonale strategier for godstransport. Verktøyet er utviklet av Transportøkonomisk institutt i samarbeid med Sitma AS og Significance (NL) på oppdrag for de statlige transportvirksomhetene. Med utgangspunkt i kartlegging av dagens transportstrømmer for ulike vareslag i og mellom soner i Norge og en rekke andre land, lager NGM prognoser for tilsvarende godstransportstrømmer i årene fremover. Den aktuelle infrastrukturen omfatter transportårer (veger, jernbaner, farleder og flyruter) med tilhørende transportmidler (biler, tog, skip og fly) samt terminaler for uttransport, omlasting og mottak av ulike typer gods.

Det finnes ofte flere aktuelle transportruter fra en sone til en annen, i noen tilfeller med omlasting underveis fra et transportmiddel til et annet. NGM beregner hvor mange transportenheter som trengs for å få transportert de aktuelle transportmengdene fra en sone til en annen. Det korrigeres for varierende kapasitetsutnyttelse for ulike transportmidler og godsslag. Transportørenes privatøkonomiske kostnader for alle aktuelle transportruter og transportmidler beregnes slik i NGM:

- Avstandskostnader (kr/km spesifikke for hvert enkelt transportmiddel)
- Tidskostnader (kr/tonntime og godsslag med fast fremføringshastighet for hvert transportmiddel)
- Terminalkostnader (Kr/tonntime + behandlingkostnader for hvert enkelt godsslag)
- Andre direkteutgifter (kr/transportenhet for ferje, bompenger mm.)

NGM beregner med dette den privatøkonomisk sett billigste transportløsningen for alle transporter mellom alle soner i analyseområdet i aktuelle beregningsår. NGM er basert på at godsstrømmene fra sone til sone er faste i et gitt beregningsår. Eventuelle tiltak som medfører endringer transportkostnader, påvirker kun transportmiddel- eller rutevalget for de transportstrømmene. Godsstrømmene endrer seg imidlertid fra det ene året til det neste.

Avgifter eller tilskudd kan være kompensasjon for fordeler eller ulemper som transportutøverne ikke tar i betraktning når de gjør sine valg. I så fall bidrar dette til en samfunnsøkonomisk sett riktig bruker-atferd. I motsatt fall vil brukerne velge løsninger som samfunnsmessig sett ikke alltid er de beste. Samfunnsøkonomiske analyser av tiltak i transportsystemet må imidlertid baseres på de faktiske rammebetingelsene som gjelder for transportsektoren.

Godstransport, så vel som persontransport, medfører visse samfunnsmessige kostnader eller ulemper som ikke inngår i transportørenes regnskaper, herunder ulykkesrisiko, støyulemper, forurensning og slitasje på transportinfrastrukturen. Disse eksterne kostnadene beregnes i en egen regnearkbasert modul (GodsNytte) tilknyttet NGM. Som selve transportkostnadene, blir også disse eksterne kostnadene beregnet på grunnlag av det samlede transportarbeidet, altså kr/kjøretøykm for godstransport på veg og kr/togkm for jernbane (som kommer som input fra NGM). Dette gjelder også slitasjekostnadene som er i fokus i denne rapporten.

SAGA for NK-analyser av jernbaneprosjekter

Jernbanemyndighetene har utviklet et regnearkbasert IT-verktøy (SAGA) for samfunnsøkonomiske analyser av tiltak i jernbanenettet. SAGA kan behandle både gods- og persontransport, også problemstillinger der godstransport på bane kan være et alternativ til andre transportmidler. SAGA kan importere trafikkdata mm. både fra NGM og de regionale persontransportmodellene (RTM).

EFFEKT for NK-analyser av vegprosjekter

EFFEKT er Statens vegvesens offisielle verktøy for samfunnsøkonomiske analyser av vegprosjekter. Verktøyet er utviklet av SINTEF og kan i dag benyttes sammen med blant annet den nasjonale og de regionale persontransportmodellene (NTM og RTM) med tilhørende moduler for beregning av trafikantnytte (TNM) og kollektivtransportkostnader (KM). Beregningene i EFFEKT gjøres for hver enkelt veglenke i analyseområdet basert på spesifikke vegstandarddata for hver enkelt lenke, herunder trafikkmengde (ÅDT) fordelt på lette og tunge kjøretøyer. Kostnadene til dekkevedlikehold omfatter reasfaltering og er en funksjon av trafikkmengde, men verken andel tunge kjøretøyer eller godsmengde inngår i disse beregningene i dag.

2 Rimelighetsbetraktninger av slitaskostnader for veg.

Sammendraget av rimelighetsbetraktningene fra ViaNovas notat [2] er gjengitt nedenfor. For en grundigere gjennomgang vises det til notatet fra ViaNova.

Marginalkostnad for det norske vegnettet knyttet til en momentan økning i trafikkmengde, er estimert av TØI og dokumentert i TØI-rapport 1704/2019 [1]. Marginalkostnad er i denne sammenhengen definert som nåverdien av økningen i framtidige vedlikeholdskostnader som følge av en engangstrafikkøkning.

Det er gjennomført en rimelighetsvurdering av metode og resultat av estimeringen av marginalkostnaden. Vurderingen viser at det er store metodiske utfordringer knyttet til den valgte metoden for fastlegging av marginalverdien, i hovedsak knyttet til følgende forhold:

- Definisjon av marginalkostnad som er egnet og relevant for aktuell analyse
- Levetid/tid mellom tiltak/tiltaksintervall: Definisjon
- Tiltak: Hvilke tiltak skal inkluderes i analysen og kostnadsanslaget
- Tiltakskostnad: Avhenger også av valg mht, levetid og tiltak
- Konsekvenser av kombinasjon levetid/tiltak: Etterslepsproblematikk
- Nedbrytende effekt av tunge kjøretøy
- Trafikkmengde: Informasjonsmangler knyttet til tungtrafikk

Den valgte metode for estimering fører til en underestimering av marginalkostnaden, spesielt knyttet til dekkelevetid, men også på grunn av en feil ved overføring av data fra den svenske studien til Jan-Eric Nilsson [3] som TØI-rapporten [1] bygger på.

Den største svakheten ved den estimerte marginalkostnaden utgjøres imidlertid av aggregeringsnivået som benyttes, verdi beregnet på basis av midlere data for alle riks- og fylkesveger i Norge. En slik aggregering skjuler meget store variasjoner fra veg til veg på grunn av ulik vegtype, trafikkmengde og sammensetning, vegoverbygning, undergrunn, vegbredder, terreng/topologi, klima, vegholderstrategier (mht. vedlikehold, o.a.), m.m. Denne problemstillingen er knyttet til at endret trafikk på grunn av overføring av gods til/fra vegtransport ikke skjer jevnt fordelt over hele vegnettet, men på spesifiserte vegstrekninger/ruter. Det er derfor vanskelig å se at bruk av nasjonale middelverdier, slik de er beregnet, kan gi forsvarlig grunnlag for valg av godstransportstrategi. Dette forholdet bedres ikke vesentlig av å gjøre tilpassing for ulike kjøretøygrupper, fordi også denne tilpassingen er preget av manglende informasjon og kunnskap om virkelig trafikk på det norske vegnettet.

Det er mulig å korrigere beregningen av marginalkostnaden etter samme opplegg som TØI benytter, med reviderte inngangsdata. Men dette vil ikke endre hovedproblemstillingen knyttet til aggregeringsnivået for marginalkostnaden.

Denne vurderingen av estimeringen av slitaskostnader for veg i TØIs rapport 1704/2019 [1] viser at det finnes to prinsipielt forskjellige tilnærminger for videre arbeid:

1. Revidere eksisterende estimat av marginalkostnaden som beregnet i TØI rapport 1704/2019 [1], i hovedsak ved å korrigere input-data fra Nilsson studie [3] samt benytte bedre estimat for norsk dekkelevetid, eventuelt kombinert med andre justeringer for tiltakskostnader m.m. (ressursbehov avhengig av ambisjon for forbedring)
2. Utvikle og implementere en metode som ivaretar variasjoner i marginalkostnader, eller andre representasjoner av kostnaden, over vegnettet (omfattende arbeid over lang tid)

Det er mulig å gjøre analyser á la Nilsson for det norske vegnettet og dermed skaffe kunnskap om marginalkostnader med en betydelig høyere detaljeringsgrad enn det informasjonen i TØI rapport 1704/2019 [1] gir. Datagrunnlaget er tilgjengelig på samme nivå som i Sverige. Men det kreves et betydelig arbeid med å tilrettelegge datagrunnlaget for en slik analyse. Og det kreves et bredt tverrfaglig samarbeid for å kunne gjennomføre arbeidet.

For å kunne utnytte slik detaljert informasjon må antagelig analyseverktøyene rigges på en annen måte. Full utnyttelse og nytte av detaljert informasjon kan antagelig bare fås ved å nytte et strekningsbasert og transportmodellbasert analyseverktøy.

Det finnes også andre tilnæringsmetoder som kan nyttes for å ta fram kostnadseffekter av endret godstransport. Tidligere er det f.eks. arbeidet med (strekningsvise) vurderinger av nødvendig forsterkning for å beholde uendret dekkelevetid.

3 Korrigerte slitasjekostnader for veg

Korrigerte slitasjekostnader fra ViaNovas notat [2] er omtalt og presentert nedenfor. Dette er grundigere behandlet i notatet til ViaNova.

Resultatet for marginalkostnaden slik det framkommer i TØI-rapporten [1] innebærer en underestimering knyttet til to forhold:

1. Det er benyttet anslag for dekkelevetid fra Sverige (17 år), norsk dekkelevetid anses å være kortere enn det benyttede anslaget fra Sverige.
2. Oppjustering fra forenklet beregningsmetode til detaljert beregningsmetode er utført med feil verdi fra Nilssons notat [3].

Et første enkelt estimat for typisk norsk dekkelevetid kan tas fram ved bruk av normerte dekkelevetider fra vegnormal N200 Vegbygging. Variasjonen i normert dekkelevetid for ulike ÅDT og ulike dekketyper er 4 – 16 år. Vekting av normerte dekkelevetider med relevant lengde riksveg og fylkesveg i Norge gir en estimert dekkelevetid for Norge på 12,5 år.

Korrigerings for underestimering av marginalkostnaden pga. feil inputdata fra Nilsson og bruk av svenske data for dekkelevetid gir følgende verdi for marginalkostnaden, iht. TØIs anvendelse av forenklet beregningsmetode og oppjustering til nivå tilsvarende detaljert beregningsmetode for Sverige:

Tabell 1: Oppjustert marginalkostnad i øre/ESAL-km

Marginalkostnad	Marginalkostnad (øre/ESAL-km)
TØI-rapport 1704/2019	5,6
Marginalkostnad: Korrigert for norsk dekkelevetid 12,5 år	7,6
Oppjustert til nivå for detaljert beregningsmetode, faktor 4,8	37,0

Tilsvarende marginalkostnad i TØI-rapporten [1] er 22,8 øre/ESAL-km.

4 Rimelighetsbetraktninger av slitasjekostnader for jernbane

Modellen for slitasjekostnad på jernbane som presenteres i TØI 1704/2019 er metodisk ikke ulik den som er anvendt for veg. I korte trekk innebærer denne metoden at det beregnes en

a) *gjennomsnittlig kostnad (for vedlikehold og reinvestering) per togkilometer*, samt at man beregner en

b) *kostnadselastisitet (endring i vedlikeholdskostnad som en funksjon av trafikk)*.

Disse multipliseres for å gi en marginal *vedlikeholdskostnad* – som benyttes som marginal slitasje ved at man antar at årlig vedlikeholdskostnad dekker slitasjen (altså at banens kvalitet holdes over tid).

De betenknninger som er presentert for marginal slitasjekostnad på veg, spesielt rundt *definisjonen* av marginalkostnad og til hvilke typer analyser den er egnet for, er analogt for jernbane. Det er derimot noen forhold som taler til at metoden kan gjennomføres med et mer pålitelig resultat for jernbane enn for veg. Dette knytter seg i hovedgrunn til at det (teoretisk sett) er mulig å innhente et datagrunnlag for transportarbeidet på jernbanen antageligvis av en mye høyere kvalitet enn hva som finnes for vei. Jernbanen som en sentralt styrt og kontrollert transportform betyr også at statistikk over transport, og variasjonen mellom ulikt transportarbeid er kjent og formodentlig mer komplett registrert. Dette taler for at tilnærmingen rent prinsipielt nok er «bedre egnet» for jernbane.

Sentrale utfordringer ved gjennomføringen (antatt mest kritisk først), og som dermed hefter ved resultatene i TØI 1704/2019:

- Tilgjengelig tidsserie for kostnader på 4 år er *veldig* kort. Til sammenligning er den svenske studien den er inspirert av basert på en 18 års serie.
- For reinvesteringer er den korte tidsserien ekstra utfordrende, da mange av de større komponentene i antall og kostnad (som f.eks. skinner, sviller, m.m.) har levetider som er mange ganger lengre enn lengden på tidsserien. Det er logisk å anta at dette vil føre til variasjon i kostnadsnivået som ikke vil fanges i en kort tidsserie.
- Fordelingen av kostnader i drift og reinvestering er datakvalitetsmessig problematisk. Skillet mellom drift og reinvestering (fornyelse, strategisk fornyelse, mindre fornyelse og vedlikeholdsarbeid) er nok i mindre grad definert av arbeidets natur, men mer av budsjettmessige føringer. Arbeid som ikke gjennomføres i inneværende år, kan godt gjennomføres i et fornyelsesprosjekt på et senere tidspunkt. Dette kan bidra til en skeivhet mellom drift- og reinvesteringskostnader, hvor sistnevnte også inneholder vedlikeholdsetterslep og ikke utelukkende reinvestering. I tillegg har reinvesteringsprosjekter ofte et mål om å tilbakeføre banen til en *høyere* kvalitet enn kun å utbedre den marginale slitasjen som også gjør at når man inkluderer den totale kostnaden så dekker det mer enn marginalsitasjen.
- Omregningen fra togkilometer til bruttotonnkilometer baserer seg på en generalisering til en vekt som er i overkant høy (861 tonn, rapportens side 193 – et gjennomsnitt for samlet togtrafikk i Norge antas å være på omtrent halvparten). På grunn av måten kostnaden generaliseres så utgjør vekten en faktor som gir stort utslag på marginalkostnadene.
- Da modellen ble etablert så var norske infrastrukturdata ikke tilgjengelige i tilstrekkelig kvalitet. Disse finnes i dag – og betyr at man kan unngå en antagelse og omregning fra svenske tall til norske.

Mer generelle utfordringer knyttet til metode:

- Vi antar at en av de viktigste faktorene i slitasje på infrastrukturen er i den direkte kontakten hjul/skinne og pantograf/kontaktledning. Dette fanges ikke av noen faktorer i dagens modeller, fordi rullende materiell og beskaftenhet ikke er representert i noen av datakildene.
- Hjul/skinne er et samspill hvor godt vedlikeholdte hjul, boggier som også er tilpasset skinnens geometri sterkt kan påvirke skinnens levetid – og dermed også behovet for vedlikehold og reinvesteringer.
- Data om dimensjonering av infrastrukturen – like viktig som aksellasten er hvilken dimensjonering infrastrukturen har. Infrastruktur dimensjonert for 30 tonn/aksellast vil ha en betydelig høyere investeringskostnad, men lavere vedlikeholdsbehov ved høy aksellast enn en «svakere» dimensjonert bane.

5 Korrigerede slitasjekostnader for jernbane

TØIs resultater viser en marginal slitasjekostnad (drift og vedlikehold) på 14-21 kroner per togkilometer (2019-kroner, spredning representerer de 6 geografiske områdene), og tilsvarende 16-75 kroner per togkilometer for reinvestering. Som med et vektet snitt gir *18,08 kr for drift og vedlikehold, og 32,74 kr for reinvesteringer* – eller en **total marginalkostnad på 50,82 kroner per togkilometer**.

Notatet (vedlegg 2) angir en del mulige korrigeringer, som også diskutert i kapittel 4 over, men som oppsummeringen av tidligere resultater i Notatets kapittel 4.1 viser, så er TØIs beregning i det lavere sjiktet på marginalkostnad per bruttotonn-km for drift/vedlikeholdskostnader. Samtlige kilder i sammenligningen løper den samme utfordringen – nemlig at de er beregnet over relativt korte tidsserier. Omregnet til 2020-kroner så spenner de fra 0,03 kroner – 0,127 kroner pr bruttotonn-km.

Behov for differensiering

Den overordnede diskusjonen om slitasjekostnad og en rimelighetsvurdering starter og slutter med «rimelig for hva ...». Et grep som vil øke "anvendbarheten" er å prøve å differensiere enhetsprisen slik at den kan bli representativ for ulike typer transport og geografi. Her skiller behov og løsning seg mellom analyser som f.eks. setter søkelys på å dreie gods fra veg til bane – eller hvor man bygger nye tilbud eller mer kapasitet. Ett tall vil neppe være representativt for alle behov.

Som notatet (vedlegg 2) diskuterer mer inngående, så er det ulike faktorer som driver slitasje – og det er derfor fornuftig å forfølge et spor hvor man tilskriver større eller mindre slitasje til ulike transportere. En åpenbar mulighet er å differensiere kostnaden på aksellast (eller totalvekt, metodisk kan det utføres ganske likt). Dette kan gjennomføres ved å introdusere en skaleringsfaktor av typen

$$\left(\frac{\text{Aksellast på ytterligere transport}}{\text{Gjennomsnittlig aksellast på eksisterende transport}} \right)^{\text{(elastisitet for aksellast)}}$$

som benyttes som en skalering rundt en kostnad. Det kan se slik ut i et regnestykke:

$$\text{Tot slitasjekostnad} = \text{togkm} * \frac{\text{Kost}}{\text{togkm}} * \text{brt} * \frac{\text{Kost}}{\text{brtkm}} * \left(\frac{\text{Aksellast}}{\text{gj.snitt aksellast}} \right)^{\text{aks.last marginal}}$$

Det siste leddet vil, f.eks. hvis man legger til grunn en gjennomsnittlig aksellast i Norge på 15,3 tonn, og elastisitet mellom faktisk aksellast og vedlikeholdskostnad¹ på 1,44% kunne se slik ut:

$\left(\frac{22,5}{15,3}\right)^{1,44}$ for et tog som benytter «fullt ut» tilgjengelig last. Disse tallene er tilgjengelig i vognopptak hos Bane NOR – så en regneøvelse for å kalibrere gjennomsnitt og vekter er mulig.

Dette vil ha den fordel at man langt på vei kan benytte samme tall for hele Norge, men vil kunne slå uheldig ut hvor banen er dimensjonert for nevneverdig tyngre aksellast (som f.eks. Ofofbanen). Det taler i så fall også for at man skal operere med ulike satser for geografiske regioner for å unngå at det eventuelt blir en skeivfordeling.

¹ Som funnet av Bane NOR

6 Sammenligning av beregningsmetodikken for veg og jernbane

Begrepsbruken varierer både fra person til person, fra fagområde til fagområde og fra sektor til sektor. Dette skinner også gjennom i kapitlene foran. Vi har ingen ambisjoner om å rydde opp i begrepsbruken, men finner det riktig å gjengi den forståelsen vi har lagt til grunn for omtalen i dette kapitlet av følgende sentrale termer:

- Drift som sørger for at infrastrukturen er farbar, for eksempel å fjerne snø og sørge for trygge kjøreforhold
- Vedlikehold av transportinfrastrukturen slik at den beholder en tilfredsstillende bruksstandard
- Slitasje er stort sett benyttet som en betegnelse på den bruken av vegen eller jernbanesporet som medfører løpende eller periodisk vedlikehold og reparasjon
- Fornyelse, rehabilitering, reinvestering er begreper som er brukt på tiltak som kan inneholde elementer av standardheving, og til dels bli finansiert over virksomhetenes investeringsbudsjett

I de neste delkapitlene har vi benyttet termen "slitasjekostnader" på de kostnadene som anses å oppstå som en direkte følge av den godstransporten som foregår på henholdsvis veg og jernbane. Dette er i samsvar både med oppdragsgivers betegnelse på forskningsprosjektet og tittelen på vår sluttrapport.

NGM/GodsNytte er utviklet for å kunne gjøre samfunnsøkonomiske analyser av alternative løsninger for transport av gods. Analysene er basert på at den samme mengde av alle godsslag er flyttet mellom de samme avsendere og mottakere i de alternativene som en ønsker å sammenligne. Det er kun transportmåte og/eller transportrute som forskjellig for de aktuelle alternativene. Funksjonen til NGM og GodsNytte er beskrevet i delkapittel 1.2.

TØIs Rapport 1704/2019 [1] redegjør for beregningene av såkalte "eksterne" kostnader, det vil si kostnader som må være med i det samfunnsøkonomiske regnestykket, men som transportbrukerne og transportørene normalt ikke tar i betraktning når de velger sine transportløsninger. I disse "eksterne" kostnadene inngår det ekstra vedlikeholdet som er nødvendig på veg og bane som en følge av selve godstransporten. Grunnlaget for beregning av disse kostnadene for henholdsvis veg og jernbane er gjennomgått og kommentert i kapitlene foran.

TØIs rapport 1704/2019 [1] inneholder en relativt detaljert dokumentasjon av det faglige grunnlaget for beregning av slitasje- og vedlikeholdskostnader for veg- og jernbaneinfrastruktur. Det siste skrittet over til de faktiske enhetsprisene for aktuelle godsbiler og -tog som behandles i GodsNytte, er ikke like godt dokumentert. Det har betydning for noen av de spørsmålene som er omtalt i de neste kapitlene.

I delkapitlene nedenfor ser vi nærmere på:

- Metodikk for beregning av slitasjekostnader i GodsNytte
- Forskjeller i slitasjekostnader mellom veg og bane i GodsNytte
- Beregning av slitasjekostnader i SAGA basert på data fra NGM
- Beregning av slitasjekostnader i EFFEKT basert på data fra NGM, RTM og TNM
- Muligheter for samordning av metodikken i de aktuelle analyseverktøyene

6.1 Metodikk for beregninger av slitasjekostnader for veg og bane i GodsNytte

Modulen GodsNytte mottar data fra Nasjonal Godsmodell (NGM), med kjørelengder og godsmengder for alle de ulike transportmidlene som frakter godset fra avsender til mottaker via aktuelle terminaler. Beregningsresultatene fra NGM er blant annet basert på vurderinger av lastutnyttelse og tomkjøring for de aktuelle transportene. Vi har ikke hatt ressurser til å avklare ut hvordan volumgods, tomkjøring og kapasitetsutnyttelse blir behandlet i NGM, og hvordan dette påvirker slitasjekostnadene.

For jernbanetransport er det i dokumentasjonen av GodsNytte skilt mellom kostnader til (1) "Daglig" drift og vedlikehold, og (2) Reinvesteringer. Vedlegg 2 viser resultatene av vår gjennomgang av den kostnadsberegningemetodikken som er presentert i TØI 1704/2019. Dette er oppsummert i kapittel 4 og kapittel 5 foran i vår rapport.

NGM beregner transportørenes kostnader ved aktuelle transportmidler og -ruter. Den billigste transportløsning blir så lagt til grunn for videre beregninger, blant annet i GodsNytte. Gods som skal fraktes på jernbane er da fordelt ut som vognlaster på egnede vogner. I GodsNytte blir dette aggregert til tre ulike togtyper som alle forutsettes å gi det samme bidrag til slitasjekostnadene. I enhetsprisene for slitasje skilles det imidlertid mellom ordinært vedlikehold og reinvesteringer. Det er den marginale (eller variable) andelen av disse kostnadene som utgjør slitasjekostnadene, altså 31 % av vedlikeholds-kostnadene og 51 % av reinvesteringskostnadene. Enhetspriser fremgår av Tabell 2.

Tabell 2: Marginale (eller variable) slitasjekostnader for togtransport

Kostnadstype	Enhet	Jernbane
Vedlikehold alle tog	Kr/togkm	18,08
Reinvestering alle tog	Kr/togkm	32,74

Vi har ikke presentert noe konkret forslag til korreksjon av disse enhetsprisene.

For vegtransporten omfatter beregningene i NGM 11 ulike kjøretøytyper som blir aggregert til tre ved beregningene i GodsNytte. Det totale transportarbeidet (kjøretøykm) i analyseområdet for disse tre kjøretøytypene danner grunnlag for beregning av blant annet slitasjekostnadene på vegnettet beregnet som kr/kjøretøykm for hver kjøretøytype.

Tabell 3: Slitasjekostnader for aktuelle kjøretøyer ved vegtransport

Kostnadstype	Enhet	Veg
Dekkeslitasje liten lastebil	Kr/kjøretøykm	0,04
Dekkeslitasje stor lastebil	Kr/kjøretøykm	0,08
Dekkeslitasje trailer/vogntog	Kr/kjøretøykm	0,23

Disse kostnadene gjelder den reasfalteringen av vegene som i hovedsak utløses av trafikken i form av antallet ekvivalente 10-tonnsaksler. I kapittel 3 foreslår vi at disse enhetskostnadene blir oppjustert med en faktor på $37,0/22,8 = 1,62$. Denne oppjusteringen er ikke tatt inn i tabell 3 over.

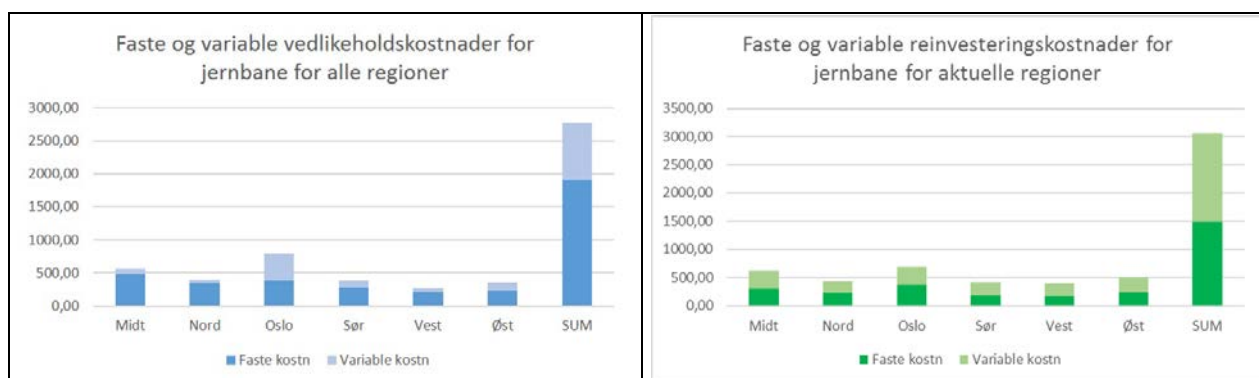
Slitasjekostnadene knyttet til godstransport på veg omfatter altså kun kostnader til ordinær reasfaltering. Alle andre kostnader til drift og vedlikehold av vegnettet er antatt å være faste og uavhengige av den aktuelle godstransporten. Dette er nok en litt unyansert antakelse, tatt i betraktning at vedlikeholdsstandarden, og dermed kostnadene, for mange av vedlikeholdsoppgavene er tilpasset både vegstatus og trafikkmengde på de enkelte strekningene.

6.2 Forskjeller i slitasjekostnader for veg og bane i GodsNytte

Tidligere har vi presentert noen av utfordringene knyttet til å det å beregne de samfunnsøkonomiske slitasjekostnadene ved alternative løsninger for godstransport i Norge. En av utfordringene består i å identifisere hvilke kostnader som faktisk er knyttet til godstransporten, og ikke til den persontransporten som i stor grad benytter og sliter på den samme infrastrukturen. En annen utfordring består i å identifisere andre årsaker til slitasje på infrastrukturen, f.eks. klimapåkjenninger, aldring, gjengroing mm.

I kapittel 2 og kapittel 4 er det redegjort for den metodikken som er benyttet for å etablere kostnadsmodeller for den slitaskjen som godstransporten forårsaker på veg- og jernbanenettet. Disse slitaskjekostnadene er av praktiske grunner i GodsNytte brutt ned på et begrenset antall representative transportenheter i form av kr/kjøretøykm og kr/togkm.

Tabell 13.5 i TØIs Rapport 1704/2019 [1] viser marginale kostnader og gjennomsnittskostnader per togkm til drift og vedlikehold og til reinvesteringer. På dette grunnlag har vi beregnet de totale kostnadene til vedlikehold og reinvesteringer på hele jernbanenettet, fordelt på det vi finner det mest riktig å betegne som faste og variable kostnader. De variable slitaskjekostnadene er de som påvirkes av antall enheter som produseres, i vår sammenheng godstransportarbeidet. I Rapport 1704/2019 [1] er disse variable slitaskjekostnadene betegnet som marginale kostnader. Når produksjonskostnadene per enhet er uavhengig av produksjonsmengden, vil de variable og de marginale kostnadene være sammenfallende.



Figur 1: Faste og variable slitaskjekostnader (mill kr) for jernbane basert på Tabell 13.5 i [1]

Tallene som framgår i Figur 1 viser at en betydelig andel både av vedlikeholdskostnadene og reinvesteringer på jernbane er å betrakte som variable kostnader i forhold til togtrafikken. For jernbanenettet som helhet er 31 % av vedlikeholdskostnadene og hele 51 % av reinvesteringer en funksjon av produserte togkm. Det er store forskjeller mellom regionene i andelen av variable vedlikeholdskostnader. Kostnadene til dekkevedlikehold av veger utgjør til sammenligning kun 20 % av de totale kostnadene til drift og vedlikehold, dette gjelder både for riks- og fylkesveger.

Fra en jernbaneteknisk synsvinkel er det naturlig å forholde seg til bruttotonnasjen, altså den samlede vekten av togmateriell og gods som belaster og sliter på skinner og skinnefundament. Det er bruttotonnasjen som er bestemmende for de slitaskjekostnadene som skal inngå i de samfunns-økonomiske analysene av alternative godstransportløsninger. Disse kostnadene kan eventuelt brytes ned på vognlaster eller aksellaster.

Samtidig er det av interesse å se slitaskjekostnadene i forhold til den nyttelasten som transporteres med de aktuelle togene. I prinsippet er dette et enkelt regnestykke, det er de totale slitaskjekostnadene per tonnkm gods transportert. I praksis er det utfordrende å beregne endringen i slitaskjekostnader ved en gitt endring i godsmengde. Hvis det er ledig kapasitet på de aktuelle strekningene, kan ekstrakostnadene bli lave, omvendt hvis det må settes opp nye tog. Det kan også være vanskelig å vite hvordan en best skal ta hensyn til nødvendig returtransport av tomme godsvogner.

Tallene i tabell 4 (under) er ikke direkte sammenlignbare, av årsaker omtalt over. Tallene ville være mer sammenlignbare hvis man kunne vise slitaskjekostnader som kr/tonnkm nyttelast. Samtidig er det nok ikke så lett fremskaffe riktig nyttelast som grunnlag for denne sammenligningen. Og en slik sammenligning ville fremdeles være basert på de forutsetningene som er omtalt tidligere, blant annet at

metodikken i 1704/2019 [1] omfatter betydelig mer for jernbane enn for veg, der bare reasfaltering inngår i slitasjekostnadene.

Tabell 4: Sammenligning enhetsprisene for slitasjekostnader i GodsNytte for henholdsvis veg og bane

Kostnadstype	Enhet	Veg	Jernbane	Kr/tonnkm nyttelast
Dekkeslitasje liten lastebil	Kr/kjøretøykm	0,04		
Dekkeslitasje stor lastebil	Kr/kjøretøykm	0,08		
Dekkeslitasje trailer/vogntog	Kr/kjøretøykm	0,23		
Vedlikehold alle tog	Kr/togkm		18,08	
Reinvestering alle tog	Kr/togkm		32,74	

Veger og jernbaner er bygd opp på forskjellige måter og utsettes for ulike typer av påkjenninger. Det er derfor naturlig at slitasjemekanismene er forskjellig, og dermed også de vedlikeholdskostnadene som godstransporten utløser. Det kan imidlertid være vanskelig å skille mellom slitasje forårsaket av godstransport og persontransport, kanskje særlig på jernbane.

Det grepet som er benyttet i 1704/2019 [1] med å ta utgangspunkt i ekvivalente aksellaster for vegtransport, er interessant. For jernbanetransport fremstår det problematisk å benytte en slik innfallsvinkel for beregning av slitasjekostnader. Også for veg er det noen uløste spørsmål med denne metodikken, først og fremst hvordan en skal regne om fra en vilkårlig aksellast til et antall standard aksellaster (ESAL). Den såkalte 4.-potensregelen som ligger til grunn for dagens omregninger til ESAL-beregninger i GodsNytte, er omstridt også blant vegteknologer.

6.3 Slitasjekostnadsberegninger i SAGA basert på godstransportdata fra NGM

SAGA er Jernbanedirektoratets verktøy for samfunnsøkonomiske analyser av infrastrukturtiltak på jernbanen, se omtale i delkapittel 1.2. Beregningsresultatet fra NGM og GodsNytte kan, med noen justeringer, tas inn i SAGA, blant annet som grunnlag for analyser av tiltak i jernbanenettet. SAGA benytter delvis det samme kostnadsgrunnlaget som NGM og GodsNytte, men inneholder også en del mer spesifikke beregninger for selve jernbanetransporten.

I NGM blir godset fordelt på et antall ulike typer vogner som settes sammen til godstog med tilhørende nyttelaster og bruttovekter. Dette er grunnlaget for å beregne både distanseavhengige kostnader (basert på elektrisitet der det er mulig, ellers diesel) og tidsavhengige kostnader for gods, personell og togmateriell. I GodsNytte beregnes slitasjekostnader og andre "eksterne" kostnader som kr/togkm.

Fra 2017 innførte Bane NOR en generell kjøreveisavgift for togselskapenes bruk av jernbaneinfrastrukturen. Denne avgiften er basert på regler fastsatt av EU og skal dels sikre rettferdig konkurranse mellom togselskapene, dels dekke kostnader til vedlikehold av infrastrukturen.

På denne bakgrunn har Bane NOR etablert et sett med enhetspriser for tog som trafikkerer det norske jernbanenettet. Denne kjøreveisavgiften er i dag 0,97 (0,47), 2,50 (2,50) og 1,47 (1,06) øre per bruttotonnkm for persontog (godstog) for henholdsvis Osloområdet, Ofotbanen og landet for øvrig. Den modellen som ligger til grunn for kjøreveisavgiftene omfatter blant annet kostnader til vedlikehold og reinvesteringer i kjøreveien, men inkluderer også en del andre elementer som ikke kan sies å gjenspeile de slitasjekostnadene som er forbundet med selve togtransporten.

Ifølge brukerveilederen for SAGA blir sporavgift (Bane NORs kjøreveisavgift) anvendt som et uttrykk for slitasjekostnadene for infrastrukturen. Kjøreveisavgiften er angitt med en pris på 0,0106 kr/bruttotonnkm for godstog. Et gjennomsnittlig godstog er i den sammenheng oppgitt å ha en egenvekt på 480 tonn og en totalvekt på 650 tonn, det vil si en nyttelast på 170 bruttotonn/tog. Dette resulterer i

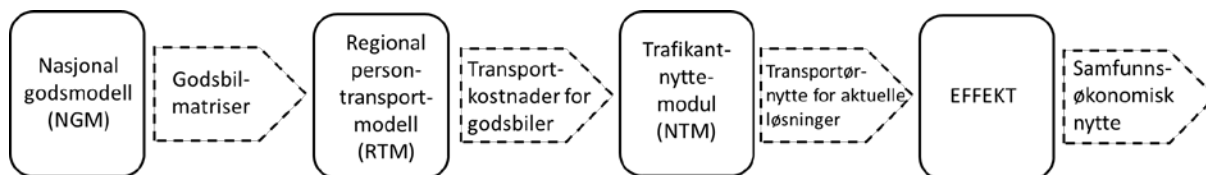
en kostnad på 6,89 kr/togkm. Det er angitt at godstog tilgodeses med en rabatt på 75 %, men det er uklart om denne rabatten inkludert i den angitte kjøreveisavgiften på 6,89 kr/togkm.

Vi ser at det kan være noen utfordringer med å få behandlet kjøreveisavgiften på riktig måte i de samfunnsøkonomiske analysene. I henhold til opplysninger fra TØI inngår ikke kjøreveisavgiften i dagens beregninger verken i NGM eller i GodsNytte. Vi vil foreslå en samordning av behandlingen av kjøreveisavgiften i NGM/GodsNytte og SAGA.

SAGA inneholder muligheter for å beregne godstransportkostnader også for transport på veg etter samme prinsipper som GodsNytte. Kanskje kunne det vært nyttig å ta en sjekk på hvordan disse kostnadene samsvarer med tilsvarende beregninger i EFFEKT.

6.4 Slitasjekostnadsberegninger i EFFEKT basert på godstransportdata fra NGM

Faste kjøretøymatriser for godstransport fra NGM kan importeres til de regionale persontransportmodellene (RTM). Beregningene i RTM gjøres da på grunnlag av veggeometri og trafikkforhold på hver enkelt veglenke. Dermed blir transportkostnadene (inkludert kjø og forsinkelser) mer detaljert og korrekt enn tilsvarende beregninger i NGM.



Figur 2: Gangen i godstransportanalyser fra NGM via RTM og TNM til EFFEKT

Fra RTM blir kjøretøymatrisene eksportert til EFFEKT, som beregner vedlikeholdskostnadene for hver enkelt vegstrekning i det aktuelle analyseområdet. Kostnadene til dekkevedlikehold beregnes som funksjon av totaltrafikken på den enkelt vegstrekning, andelen tunge eller lange kjøretøyer inngår ikke eksplisitt i disse beregningene. EFFEKT beregner altså ikke konkrete endringer i slitasjekostnader som funksjon av gitte endringer i den mengden gods som transporteres på hver enkelt vegstrekning.

I tillegg til kostnader for dekkevedlikehold beregner EFFEKT også kostnader for en rekke andre drifts- og vedlikeholdsoppgaver, f.eks. ferjedrift, vedlikehold av bruer, tunneler og vegutstyr av forskjellig slag samt snørydding og annet vintervedlikehold. Selv om enkelte av disse kostnadene til en viss grad er trafikkavhengig, kan de i det store og hele betraktes som faste kostnader i relasjon til de variable slitasjekostnadene knyttet til mengden gods som transporteres på de enkelte vegstrekningene.

De faste kjøretøymatrisene for godstransport som kan behandles i RTM, TNM og EFFEKT, omfatter kun vegtransport. Tiltak i vegnettet kan bety at godstransportørene finner nye og billigere transportruter. Dette vil bli fanget opp i de samfunnsøkonomiske analysene i TNM og EFFEKT. Derimot vil disse analysene ikke fange opp eventuell nytte som følge av at godstransport kan flyttes over fra ett transportmiddel til et annet, for eksempel fra veg til bane eller omvendt. Det er kun NGM og GodsNytte som kan analysere problemstillinger på tvers av transportmidlene.

6.5 Samordning av slitasjekostnadsberegninger i GodsNytte, SAGA og EFFEKT

I delkapitlene foran har vi pekt på noen vesentlige forskjeller i fremgangsmåten for beregning av de kostnadene godstransporten medfører på transportinfrastrukturen. Dette gjelder følgende forhold:

- Hvilke mekanismer som har størst betydning for størrelsen på slitasjekostnadene

- Hvilke transportenheter og tilhørende enhetspriser som legges til grunn for beregningene
- Hvilket detaljeringsnivå for beskrivelse av transportinfrastrukturen beregningene baseres på

Det er klare forskjeller i GodsNytte i måten slitasjekostnader blir beregnet på for veg og jernbane. Selv om slitasjekostnadene kun utgjør en liten andel av de samfunnsøkonomiske godstransportkostnadene, bør dette så vidt mulig gjøres mer likt.

I SAGA blir kjøreveisavgiften ansett for å omfatte kostnadene til godsrelatert vedlikehold av infrastrukturen. Dette virker som en litt grov antakelse. Det kan være grunn til å vurdere hvordan kjøreveisavgift og slitasjekostnader skal behandles for å unngå dobbelttelling i de samfunnsøkonomiske analysene.

Godstransportanalysene i NGM legger til grunn at en fast mengde av alle aktuelle godsslag i et gitt år skal transporteres fra hver enkelt avsender til hver enkelt mottaker. Analysene skal så kunne gi svar på hvilke av to eller flere alternative transportløsninger som samfunnsøkonomisk sett vil være å foretrekke.

En samfunnsøkonomisk sammenligning av to alternativer forutsetter at det samme godset er transportert dit det skal i begge alternativer. Dette er det vanskelig å kontrollere med dagens beregninger fordi det opereres med ulike varianter av transportmidler i ulike deler av analysene. Beregningene av slitasjekostnader i GodsNytte gjøres for andre transportenheter enn dem som er benyttet i NGM. Dette spriket blir enda mer markant når data fra NGM blir bearbeidet videre i SAGA eller i EFFEKT. Ingen av disse verktøyene er tilrettelagt for å sikre samsvar i godsmengder for beregninger av aktuelle alternativer. Dette er i alle fall et metodisk problem for slitasjekostnadsberegningene, men sannsynligvis også for andre kostnadselementer i godstransportanalysene.

Dagens godstransportanalyser i både i NGM, GodsNytte og SAGA er for en stor del basert på gjennomsnittsdata for veg- og banestrekningene i analyseområdet. ViaNova peker i sitt notat [2] på at slitasjekostnadene på veg varierer betydelig som funksjon av blant annet veggeometri og vegkonstruksjon. En modell som er basert på mer spesifikke strekningsdata, vil kunne gi mer korrekte slitasjekostnader, og samtidig mer korrekte beregninger av andre eksterne kostnader, blant annet ulykkeskostnader og ulemper knyttet til støy og utslipp, se også delkapittel 6.7.

Det er ikke helt lett ut fra tilgjengelig dokumentasjon å identifisere alle forskjellene i beregningsmetodikk mellom de aktuelle verktøyene. Vi tror derfor det ville være interessant om de aktuelle institusjonene kunne gjennomføre en del testberegninger for å identifisere vesentlige forskjeller i beregningsresultater og prøve å finne årsakene til disse forskjellene. Dette gjelder beregninger av slitasjekostnader så vel som andre godsrelaterte transportkostnader, se også delkapittel 6.7.

6.6 Godstransportberegninger basert på mer spesifikke strekningsdata

Som nevnt foran vil en kunne forbedre beregningene av slitasjekostnader betraktelig ved å anvende mer detaljerte grunnlagsdata for de enkelte veg- og jernbanestrekningene. Også selve transportkostnadene er sterkt avhengig av stigningsforhold og veggeometrien på de enkelte strekningene som inngår i godsbilenes rutevalg. Beregningene av godstransportkostnader i NGM skjer i dag på grunnlag av en gjennomsnittskostnad i kr/kjøretøykm uavhengig av kurvatur og trafikkforhold på de aktuelle vegstrekningene. Et beregningsopplegg basert på spesifikke data for hver enkelt vegstrekning ville gi mer korrekte beregninger både av kjørefart og transportkostnader, blant annet hvis farts- og energimodulen (som er finansiert av transportvirksomhetene) kan benyttes i de aktuelle verktøyene. Dette kan åpne for analyser av et større spekter av problemstillinger enn det dagens NGM er tilrettelagt for.

6.7 Harmonisering av metodikk og verktøy for person- og godstransportanalyser

Nye Veier fikk høsten 2020 gjennomført beregninger av godstransportnytte for 12 ulike vegprosjekter på to forskjellige måter:

- Beregninger i RTM, TNM og EFFEKT med faste kjøretøymatriser for tunge kjøretøyer med ukjent mengde gods
- Beregninger med NGM og GodsNytte med faste godsmatriser for alle transportmidler for mange ulike godsslag

Resultatene er presentert i en rapport fra Nye Veier [4] og viser betydelige forskjeller i godstransportnytte mellom de to beregningsmåtene. Dette er interessante resultater som forhåpentligvis vil bli fulgt opp både med grundigere undersøkelser av årsaker til forskjellene, og med videreutvikling og harmonisering av beregningsmetodikken.

Det er i stor grad den samme transportinfrastrukturen som benyttes både for person- og godstransport. Forskjeller i beregningsmetodikk i de enkelte IT-verktøyene betyr at en ikke uten videre kan plukke beregningsresultater fra ulike analyseverktøy og sette dette sammen til en korrekt NK-analyse for en gitt problemstilling. Noen virkninger kan bli beregnet på ulike måter i ulike verktøy, andre virkninger blir kun delvis, eller slett ikke, beregnet i enkelte av verktøyene. Det er viktig å kjenne til hvordan de ulike verktøyene responderer på de enkelte elementene i de aktuelle tiltakspakkene. utfordringer kan være knyttet til:

- Standardiserte beskrivelser av scenarioer med tilhørende tiltakspakker
- Sonestruktur og transportinfrastruktur
- Behandling av avgifter som bompenger, spor- og bilavgifter
- Kostnader til ferjedrift, samt drift og vedlikehold av transportinfrastrukturen
- Varierende behandling av person- og godstransport
- Prognoser for utvikling i kjøretøypark, reisevaner, befolkning osv.
- Beregning av transportbrukernytte for ulike transportter

I den videre harmoniseringsprosessen vil det være behov for å avklare hvilken metodikk og hvilke verktøy som egner seg best for ulike deler av de aktuelle beregningene.

6.8 Kort oppsummering av spørsmål som det er grunn til å se nærmere på

Varierende begrepsbruk i de ulike transportsektorene kan by på utfordringer ved godstransportanalyser på tvers av sektorene. Det har ikke vært mulig å etterstrebe et entydig begrepsapparat i denne rapporten, men vi har i dette kapitlet forsøkt å klargjøre hva vi legger i begrepet "slitasjekostnader", nemlig at det er de kostnadene som oppstår som en direkte følge av den godstransporten som foregår på henholdsvis veg og jernbane. Begrepsavklaringer vil alltid være viktig når ulike fagmiljøer med ulik bakgrunn og kultur skal samarbeide om felles løsninger, for eksempel ved utvikling av metodikk for nytte-kostnadsanalyser.

Av andre viktige forhold som er omtalt foran i dette kapitlet, vil vi trekke frem følgende:

- For vegtransport omfatter metodikken i 1704/2019 [1] (grunnlaget for GodsNytte) i hovedsak det som etter definisjonen ovenfor er å anse som slitasjekostnader. For jernbanetransport omfatter metodikken i 1704/2019 [1] betydelig mer enn det som er å anse som slitasjekostnader.
- Jernbanedirektoratets analyseverktøy SAGA omfatter kjøreveisavgifter for et godstog av midlere størrelse, disse kostnadene er antatt å gjenspeile de slitasjekostnadene som følger med godstransporten.

- Statens vegvesen og Nye Veiers analyseverktøy EFFEKT beregner kostnader til drift og vedlikehold av vegnettet, blant annet på grunnlag av trafikkmengder, men tungtransport inngår ikke eksplisitt i disse beregningene.
- NGM forholder seg til mange ulike transportenheter når godset blir fordelt ut på transportnettet. Ved beregningene i GodsNytte blir dette aggregert til tre kjøretøytyper og et midlere godstog. Ved eventuelle beregninger i SAGA og EFFEKT blir antallet transportenheter ytterligere aggregert. Denne aggregeringen gjør at beregningen av slitasjekostnader, trolig også andre kostnader, blir mindre nøyaktige.
- Slitasjekostnadene for veg i GodsNytte beregnes med en gjennomsnittskostnad (kr/kjøretøykm) felles for alle veger i analyseområdet. I EFFEKT blir tilsvarende beregninger basert på spesifikke data for hver enkelt veglenke, noe som har stor betydning for beregningsnøyaktigheten, også for beregningene av vedlikeholdskostnadene.

Flere av de punktene som er omtalt ovenfor, vil ha betydning for kvaliteten på beregningene av slitasjekostnader som følge av godstransport. Flere av punktene kan dessuten ha stor betydning for beregninger av selve transportkostnadene, og det er kanskje det viktigste argumentet for å videreutvikle og forbedre den beregningsmetodikken vi har i dag. Det er også viktig å huske på at nødvendig detaljeringsnivå og nøyaktighet i beregningene er avhengig av hvilke avveininger og beslutninger beregningsresultatene skal danne grunnlag for.

Til slutt vil vi peke på at godstransport og persontransport i stor grad benytter den samme transportinfrastrukturen. Derfor trengs det en samordning og harmonisering av dagens metodikk og verktøy slik at person- og godstransport kan ses i sammenheng når nye transportløsninger analyseres og prioriteres.

7 Referanser

- [1] TØI rapport 1704/2019: Eksterne kostnader ved transport i Norge
- [2] ViaNova Plan og Trafikk AS, notat av 2021-02-08: Slitasjekostnad veg Rimelighetsvurdering TØI 1704/2019
- [3] Jan-Eric Nilsson m.fl. 2020: Estimating the marginal cost of road wear
- [4] Nye Veier 2020: NTP Oppdrag 9 – Prissatte konsekvenser

Vedlegg

- 1: ViaNova Plan og Trafikk: Slitasjekostnad veg Rimelighetsvurdering TØI 1704/2019.pdf
- 2: SINTEF: Rimelighetsvurdering Slitasjekostnad jernbane

Vedlegg 1:
Slitasjekostnad veg Rimelighetsvurdering

Notat

Slitasjekostnader for veg

TØI rapport 1704/2019 Eksterne kostnader ved transport i Norge

Rimelighetsvurdering

Til:	SINTEF Anders Kroksæter	Fra:	ViaNova Plan og Trafikk AS Johnny M. Johansen Ragnar Evensen Åsmund Holen
Dato:	2021-01-28	Referanse:	VNPT 21064/50
Rev.:	Prosjektmøte 2021-02-04	Rev. dato:	2021-02-08

Formål

Notatet dokumenterer en rimelighetsvurdering av de marginale slitasjekostnadene for veg slik de er estimert i TØI rapport 1704/2019 «Eksterne kostnader ved transport i Norge».

Innhold

Sammendrag	3
1. Innledning	5
2. Estimating the marginal costs of road wear (Nilsson)	6
2.1 Innledning	6
2.2 Vegteknisk modell - tilstandsutviklingsmodell	7
2.3 Økonomisk modell	8
2.4 Kostnadsdata.....	9
2.5 Kjøretøy – nedbrytende effekt	10
2.6 Dekkelevetid	11
2.7 Marginalkostnad	13
3. Eksterne kostnader ved transport i Norge (TØI 1704/2019)	14
3.1 Basis beregningsmetode	14
3.2 Beregning for Norge	15
3.2.1 Kostnadsdata	15
3.2.2 Trafikktall	16
3.2.3 Tid mellom tiltak – dekkelevetid.....	16
3.2.4 Marginalkostnad	17
3.2.5 Marginalkostnad pr kjøretøytype	18
4. TØI rapport 1704/2019 – Godsnyttmodulen	20
5. Rimelighetsvurdering	21
5.1 Innledning	21
5.2 Metodiske utfordringer.....	22
5.3 Marginalkostnader - resultater.....	25
5.3.1 Nilsson	25
5.3.2 TØI.....	25
5.4 Sluttvurdering	26
6. Marginalkostnad: Korrigert verdi.....	27
Referanser	28

Sammendrag

Marginalkostnad for det norske vegnettet knyttet til en momentan økning i trafikkmengde, er estimert av TØI og dokumentert i TØI rapport 1704/2019 Eksterne kostnader ved transport i Norge. Marginalkostnad er i denne sammenhengen definert som nåverdien av økningen i framtidige vedlikeholdskostnader som følge av en engangs-trafikkøkning.

Det er gjennomført en rimelighetsvurdering av metode og resultat av estimeringen av marginalkostnaden.

Vurderingen viser at det er store metodiske utfordringer knyttet til den valgte metoden for fastlegging av marginalverdien, i hovedsak knyttet til følgende forhold:

- Definisjon av marginalkostnad som er egnet og relevant for aktuell analyse
- Levetid/tid mellom tiltak/tiltaksintervall: Definisjon
- Tiltak: Hvilke tiltak skal inkluderes i analysen og kostnadsanslaget
- Tiltakskostnad: Avhenger også av valg mht, levetid og tiltak
- Konsekvenser av kombinasjon levetid/tiltak: Etterslepsproblematikk
- Nedbrytende effekt av tunge kjøretøy
- Trafikkmengde: Informasjonsmangler knyttet til tungtrafikk

Den valgte metode for estimering fører til en underestimering av marginalkostnaden, spesielt knyttet til dekkelevetid, men også på grunn av en feil ved overføring av data fra den svenske studien som TØI bygger på.

Den største svakheten ved den estimerte marginalkostnaden utgjøres imidlertid av aggregeringsnivået som benyttes, verdi beregnet på basis av midlere data for alle riks- og fylkesveger i Norge. En slik aggregering skjuler meget store variasjoner fra veg til veg på grunn av ulik vegtype, trafikkmengde/sammensetning, vegoverbygning, undergrunn, vegbredder, terreng/topologi, klima, vegholderstrategier (mht. vedlikehold, o.a.), m.m. Denne problemstillingen er knyttet til at endret trafikk på grunn av overføring av gods til/fra vegtransport ikke skjer jevnt fordelt over hele vegnettet, men på spesifiserte vegstrekninger/ruter. Det er derfor vanskelig å se at bruk av nasjonale middelveidier, slik de er beregnet, kan gi forsvarlig grunnlag for valg av godstransportstrategi. Dette forholdet bedres ikke vesentlig av å gjøre tilpassing for ulike kjøretøygrupper, fordi også denne tilpassingen er preget av manglende informasjon og kunnskap om virkelig trafikk på det norske vegnettet.

Det er mulig å korrigere beregningen av marginalkostnaden etter samme opplegg som TØI benytter, med reviderte inngangsdata. Men dette vil ikke endre hovedproblemstillingen knyttet til aggregeringsnivået for marginalkostnaden.

Denne vurderingen av estimeringen av slitasekostnader for veg i TØI rapport 1704/210 viser at det finnes to prinsipielt forskjellige tilnærminger for videre arbeid:

1. Revidere eksisterende estimat av marginalkostnaden som beregnet i TØI rapport 1704/2109, i hovedsak ved å korrigere input-data fra Nilsson samt benytte bedre estimat for norsk dekkelevetid, eventuelt kombinert med andre justeringer for tiltakskostnader m.m. (ressursbehov avhengig av ambisjon for forbedring)
2. Utvikle og implementere metode som ivaretar variasjoner i marginalkostnader, eller andre representasjoner av kostnaden, over vegnettet (omfattende arbeid over lang tid)

Korrigerings for underestimering av marginalkostnaden pga. feil inputdata fra Nilsson og bruk av svenske data for dekkelevetid gir følgende verdi for marginalkostnaden, iht. TØI's anvendelse av forenklet beregningsmetode og oppjustering til nivå tilsvarende detaljert beregningsmetode for Sverige:

Marginalkostnad	Marginalkostnad (øre/ESAL-km)
TØI-rapport 1704/2019	5,6
Marginalkostnad: Korrigert for norsk dekkelevetid 12,5 år	7,6
Oppjustert til nivå for detaljert beregningsmetode, faktor 4,8	37,0

Tilsvarende marginalkostnad i TØI-rapporten er 22,8 øre/ESAL-km.

Det er mulig å gjøre analyser á la Nilsson for det norske vegnettet og dermed skaffe kunnskap om marginalkostnader med en betydelig høyere detaljeringsgrad enn det informasjonen i TØI rapport 1704/2019 gir. Datagrunnlaget er tilgjengelig på samme nivå som i Sverige. Men det kreves et betydelig arbeid med å tilrettelegge datagrunnlaget for en slik analyse. Og det kreves et bredt tverrfaglig samarbeid for å kunne gjennomføre arbeidet.

For å kunne utnytte slik detaljert informasjon må antagelig analyseverktøyene rigges på en annen måte. Full utnyttelse og nytte av detaljert informasjon kan antagelig bare fås ved å nytte et strekningsbasert og transportmodellbasert analyseverktøy.

Det finnes også andre tilnæringsmetoder som kan nyttes for å ta fram kostnadseffekter av endret godstransport. Tidligere er det f.eks. arbeidet med (strekningvis) vurderinger av nødvendig forsterkning for å beholde uendret dekkelevetid.

1. Innledning

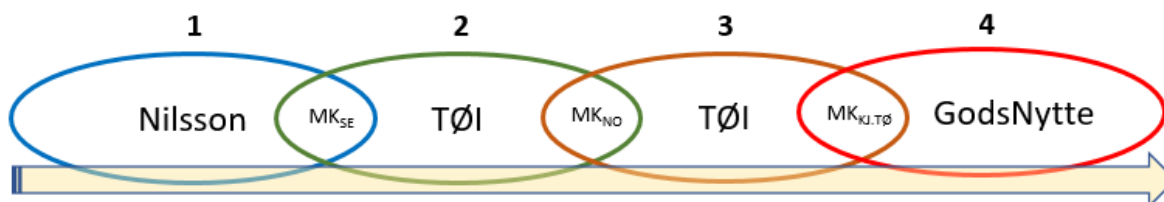
TØI rapport *Eksterne kostnader ved transport i Norge*, Del 5, kap. 12, Kostnader ved vegtransport [1] søker å finne løsning på følgende problemstilling: Dersom det skjer en momentan økning i trafikkmengden på et gitt tidspunkt vil kostnadene for vedlikehold av vegen øke fordi vedlikeholdsintervallene reduseres (tiltaksfrekvensen økes), slik at det må gjennomføres vedlikeholdstiltak i) før og ii) oftere enn i situasjonen uten den momentane økningen i trafikkmengde. For anvendelse i godstransportanalyser etterspørres informasjon om (estimat av) nåverdien av denne tilleggskostnaden. TØI rapporten uttrykker det slik:

Mer presist spør vi om hvordan en marginal øking i ÅDT vil påvirke nåverdien av reinvesteringskostnadene.

Denne nåverdien betegnes som «marginal reinvesteringskostnad» eller «marginalkostnad».

TØI rapport 1704/2019 gjennomfører en estimering av slike marginale reinvesteringskostnader ved å bygge på en studie gjort av VTI og Trafikverket, *Estimating the marginal cost of road wear*, [2]¹ og tilpasse resultatene fra denne studien slik at de i størst mulig grad reflekterer norske forhold. TØI angir at egne studier av drift og vedlikehold i Norge ikke kunne gjennomføres fordi det ikke har vært mulig å etablere et datagrunnlag for slike studier.

Estimeringen av marginalkostnaden (MK) og påfølgende anvendelse av resultatet skjer gjennom 4 trinn som illustrert nedenfor.



1. Estimering av marginalkostnad for svensk vegnett, MK_{SE} (Nilsson)
2. Tilpassing og omregning av marginalkostnad til norske forhold, MK_{NO} (TØI 1704/2019)
3. Estimering av marginalkostnad for kjøretøygrupper, $MK_{KJ.TØY}$ (TØI 1704/2019, GodsNytte)
4. Anvendelse av marginalkostnad i godstransportanalyse (Godsnytte-modulen)

Rimelighetsvurderingen av estimeringen av marginalkostnaden er gjennomført for disse 4 trinnene hver for seg.

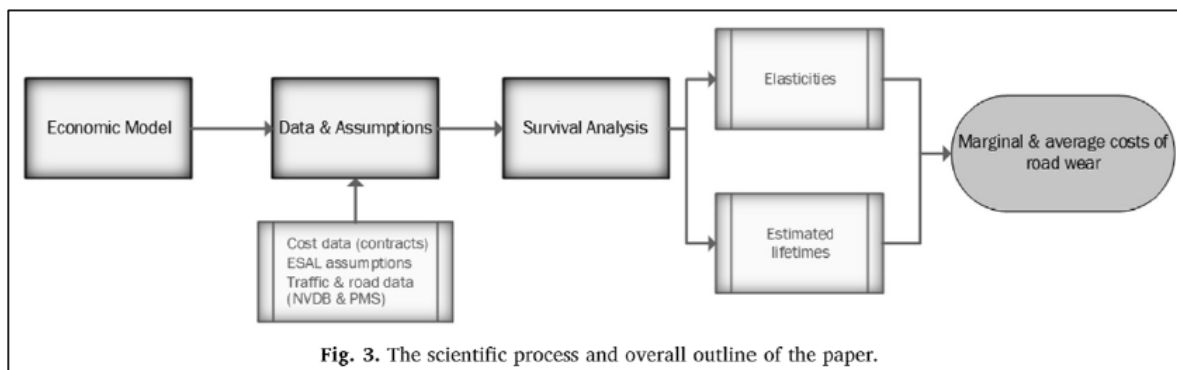
Forhold knyttet til offentlige avgifter og behandling av disse i Sverige og Norge er ikke berørt i denne vurderingen.

¹ TØI-arbeidet er basert på en upublisert versjon av denne artikkelen. Rimelighetsvurderingen som er dokumentert i dette notatet benytter den angitte publiserte versjonen som grunnlag.

2. Estimating the marginal costs of road wear (Nilsson)

2.1 Innledning

Nilsson estimerer marginalkostnaden i en prosess som vist nedenfor.



Nilsson estimerer både marginalkostnad og middelkostnad. Det er kun marginalkostnaden som benyttes videre i de aktuelle godstransportanalysene. Derfor omfatter denne rimelighetsvurderingen kun estimeringen av marginalkostnaden.²

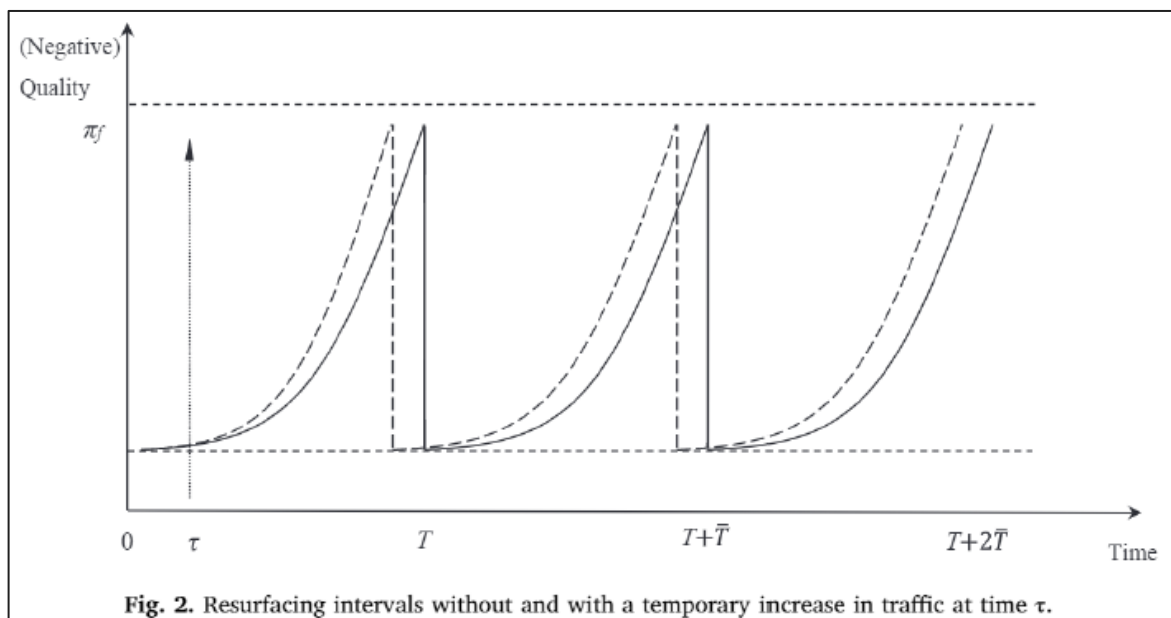
Godstransportanalysene anvender kun marginalkostnader knyttet til tunge kjøretøy. Rimelighetsvurderingen er gjennomført for estimeringen av marginalkostnaden for både lette og tunge kjøretøy. Av ressurs hensyn er kun rimelighetsvurderingen for marginalkostnad for tunge kjøretøy dokumentert i dette notatet. De fleste av de omtalte forhold i rimelighetsvurderingen for tunge kjøretøy, vil gjelde også for lette kjøretøy. De mest vesentlige forskjellene er følgende:

- Tunge kjøretøy har nedbrytende effekt på hele vegoverbygningen, og aksellast har stor betydning.
- Lette kjøretøy har nedbrytende effekt i hovedsak bare på vegdekket, og piggedekkslitasje har stor betydning.

² Nilsson gir, som angitt i teksten, en presis definisjon av marginalkostnaden. Middelkostnad (average costs) synes imidlertid ikke å være definert i Nilssons artikkel og er derfor vanskelig å evaluere.

2.2 Vegteknisk modell - tilstandsutviklingsmodell

Nilsson legger til grunn for analysen en tilstandsutviklingsmodell for vegoverbygning/vegdekke som vist nedenfor, med regelmessige gjentatte tiltak i normalsituasjonen og forkortede tiltaksintervall i situasjonen med temporær økning i trafikkmengde ved tid τ .



Bruk av beskrivelsen «temporær» trafikkøkning skaper usikkerhet knyttet til den vegtekniske modellen. Tidligere utgaver av Nilsson (2015) beskriver trafikkøkningen som en «marginal increase in traffic at time τ ».

En mulig tolkning (a) er at den økte trafikkmengden kun finner sted i første syklus, og at trafikken i de påfølgende syklusene går ned til samme nivå som før den temporære trafikkøkningen fant sted. I dette tilfellet er skissen i Figur 2 av modellen riktig.

En annen tolkning (b) er at trafikkøkningen er permanent etter at økningen fant sted. I det tilfellet er skissen i Figur 2 ikke riktig, da vil også framtidige tiltakssykluser bli forkortet.

Det er vanskelig å se at tolkning (a) kan være en representativ modell for overføring av last til/fra vegtransport.

Det synes imidlertid som om den økonomiske modellen er bygd i henhold til tolkning (b), noe som gjør den logisk for vurdering av effekten av godsoverføring til/fra vegtransport.

Tilstandsutviklingsmodellen synes også å være skissert for en situasjon med ordinær trafikkvekst lik null (like lange tiltaksintervall). Det er vanskelig å identifisere håndteringen av ordinær trafikkvekst i dokumentasjonen av den detaljerte beregningsmodellen, men deler av dokumentasjonen kan tyde på at det i alle fall i noen deler av beregningene er tatt hensyn til en ordinær trafikkvekst gjennom å benytte en midlere trafikkmengde som er større enn i utgangspunktet (f.eks. kap. 5 1. Example: Calculation of the national average marginal cost).

2.3 Økonomisk modell

Nilsson benytter en metode som kalles «indirect approach» for å estimere kostnader ved vegbruk. Denne metoden benytter følgende definisjon av marginalkostnad:

«indirect approach defines the marginal costs as the present value of costs from additional vehicles that use the roads relative to ex ante predictions.»

En probabilistisk tilnærming gir følgende uttrykk for marginalkostnaden (eq. 5):

$$E \left[\frac{\delta PVC_{\tau}}{\delta Q_{\tau}} \right] = -\varepsilon \frac{C}{E[T] \bar{Q}} \frac{r}{(1 - e^{-rT})} \int_0^{\infty} e^{-rv - rv^x} dv$$

Her er T uttrykk for tiltakstid/dekkelevetid, C for tiltakskostnad, r er rentefoten og Q uttrykk for trafikkmengde. Videre er:

- Første komponent: ε nedbrytningselastisitet
dekkelevetidens følsomhet overfor endring i trafikk
 $\frac{\delta T}{\delta \bar{Q}} = \varepsilon \times \frac{T}{\bar{Q}}$
- Andre komponent: kostnad pr kjøretøy
- Tredje komponent: nåverdiberegning
- Fjerde komponent: usikkerhet relatert dekkelevetid (iht. valgt fordeling for dekkelevetid)

Med en deterministisk tilnærming kan marginalkostnaden framstilles tilsvarende:

$$E \left[\frac{\delta PVC_{\tau}}{\delta Q_{\tau}} \right] = -\frac{Cr\varepsilon}{\bar{Q}T} \frac{1}{(1 - e^{-rT})} \left[-\frac{1}{r} e^{-rv} \right]_0^T = -\varepsilon \frac{C}{\bar{Q}T}$$

2.4 Kostnadsdata

Tiltakskostnader er fastlagt på basis av informasjon fra 285 dekkeentrepriser i perioden 2012-2013.

Nilsson opererer med en inndeling av Sverige i 6 geografiske regioner. Videre kategoriseres tiltakene i 3 typer:

1. Asfaltering – varm
2. Asfaltering – kald
3. Overflatebehandling

Typiske resultater er:

Region		Type of pavement			Total
		Surface dressing	Cold	Hot	
National	Average cost, SEK	27 (9)	124 (42)	90 (45)	87
	No. of contracts	47	56	179	285
	$\sum_i m_i^2$ million	20.7	9.7	261	56.8
Middle	Average cost, SEK	26	127	110	98
	No. of contracts	8	9	19	37
	$\sum_i m_i^2$ million	5.1	1.9	4.2	11.3
North	Average cost, SEK	21	148	108	124
	No. of contracts	4	25	19	50
	$\sum_i m_i^2$ million	4.1	2.8	2.9	9.9

^a Costs are in the price level of the respective years, but inflation was around zero during this period.

Kostnaden for tiltak Asfaltering – kald er høyere enn for Asfaltering varm, i motsetning til hva som er vanlig oppfatning. Dette forklares med at Asfaltering – kald oftest benyttes på vegger som er preget av svak vegoverbygning og stor nedbrytning og at tiltaket derfor ofte inneholder elementer av forsterkning, ulike forarbeider før asfaltering eller annen utbedring av veggen.

Nilsson angir at daglig drift/lett vedlikehold av vegdekker (TS-tiltak og enkle levetidsforlengende tiltak) ikke er inkludert i kostnadsanslagene. Informasjonen over viser i tillegg at elementer av vegutbedring er inkludert i noen tilfeller. Det må antas at all vegutbedring (forsterkning, kantreparasjoner, breddeutvidelse, setning-/telehiv-utbedring, o.l.) ikke er inkludert. Dette gir et uklart grensesnitt for hvilke kostnader som inkluderes i kostnadsanslaget.

Nilsson angir at «*The resurfacing activity and the ensuing cost is triggered when the surface standard of the road is found inappropriate, and the choice has been made to use this figure in the estimations of marginal costs.*»

2.5 Kjøretøy – nedbrytende effekt

Tunge kjøretøys effekter på nedbrytning (komprimering av vegoverbygning og undergrunn) behandles iht. 4. potens regelen (angis også som bekreftet av HVS-forsøk ved VTI).

Antall kjøretøy på den enkelte vegseksjon er kjent, inkludert informasjon om tunge kjøretøy, ÅDT-T. Data om kjøretøyvekt, antall aksler pr kjøretøy og aksellaster er sparsomme i Sverige (som i Norge).

Tungtrafikken regnes om til «ekvivalent standard aksellast» (ESAL). Basert på input fra Trafikverket ble følgende tommelfingerregel benyttet for estimering av ESAL fra ÅDT-T:

- Europaveger: x1,1
- Nasjonale veger: x1,0
- Länsveger (county roads) med ÅDT-T < 13 %: x0,8
- Länsveger (county roads) med ÅDT-T > 13 %: x1,5

Metoden synes å være hentet fra Trafikverkets metode for bestemmelse av trafikkmengde N_{ekv} i dimensjoneringsperiode ved dimensjonering av vegoverbygning, med tallverdier fra en eldre versjon av dimensjoneringsystemet.

Etter at Trafikverket har tatt inn resultater fra BWIM-målinger inn i sitt dimensjoneringsystem for vegoverbygning, er denne omregningsfaktoren revidert flere ganger. Dagens omregningsfaktor er relativ kompleks og uegnet for implementering i denne type analyser.

Nilsson Tabell 1 viser noen eksempler på tunge kjøretøy med fordeling av aksellaster og beregninger av innvirkningen på ESAL.

I delprosjekt Vegvennlighet under Vegdirektoratets etatsprogram BUAB ble relativ nedbrytende effekt, Load Equivalency Factor (LEF), beregnet for i alt 56 klasser tunge kjøretøy. Av disse var bare 6 av den typen som er beskrevet i Tabell 1. Dataene ble utarbeidet av Kjøretøyteknisk kontor i Vegdirektoratet på grunnlag av data i Autosys. Eksempelene i Tabell 1 synes ikke å være representative for de tunge kjøretøy som står for majoriteten av godstransport på norske veier. Heller ikke aksellastfordelingene i Tabell 1 harmonerer godt med de verdier som ble benyttet i prosjektet Vegvennlighet. Verken enkeltaksler på 12,8 tonn eller frontaksler på 9,25 tonn var vanlig i den analysen.

Verdiene for LEF i Tabell 1 ser ut til å være beregnet ut fra en referanseaksellast på 10 tonn, som er vanlig i både Norge og Sverige, mens teksten presiserer at referansen skal være 18 kips.

Noen bruk av informasjonen i Tabell 1 kan imidlertid ikke spores i dokumentasjonen.

2.6 Dekkelevetid

Dekkelevetid fastlegges ved analyse av Trafikverkets PMS (2012-versjon) med tilknyttede data fra den svenske vegdatabanken NVDB.

Dekkeleggingsdata fra perioden 1960-2012 inngår i analysen. Dette gir i utgangspunktet et stort datagrunnlag til nytte for nøyaktigheten i estimatene for dekkelevetider. På den andre siden innebærer dette at man analyserer en periode med til dels store endringer i vedlikeholdsstrategi og vedlikeholdsstandard, varierende budsjettnivåer og teknologisk utvikling mht. metoder og materialer. I tillegg må man forvente at kvaliteten på registrering av data kan variere mye over en så lang periode med ulike organiseringer av vegetaten. Denne typen analyser står alltid overfor dette dilemmaet: Lang nok periode for å få tilstrekkelig datagrunnlag, ikke for lang periode bakover i tid for å kunne speile dagens og morgendagens situasjon rimelig riktig.

Analysen av levetid baseres på en overlevelsesanalyse (time to event) med antagelse om at dekkelevetid følger en Weibull-fordeling [3]. Det synes som om dekkelevetid T i analysen fastlegges som tid mellom tiltak, dvs. i prinsippet uavhengig av tilstand (men med en intern forutsetning om at vegforvalter gjennomfører tiltak når tilstand tilsier det iht. gjeldende vedlikeholdsstandard).

Analysen av dekkelevetid har ikke til hensikt å avklare fullstendig alle forhold som påvirker vegdekkenes tilstandsutvikling og dekkelevetiden, derfor kan følgende modell for tid mellom tiltak, T , kan benyttes (eq. 13):

$$\ln T = \ln Q_{car} \beta_{Q_{car}} + \ln Q_{ESAL} \beta_{Q_{ESAL}} + \beta_M M$$

M representerer de tre tiltakstypene og de seks geografiske regionene, og β_M de tilhørende koeffisientene.

Med estimater for β_Q kan nedbrytningselastisiteten også estimeres:

$$\hat{\epsilon}_{ESAL} = \frac{\delta \ln T}{\delta \ln Q_{ESAL}} = \hat{\beta}_{Q_{ESAL}} \quad \hat{\epsilon}_{car} = \frac{\delta \ln T}{\delta \ln Q_{car}} = \hat{\beta}_{Q_{car}}$$

Estimater for dekkelevetid og nedbrytningselastisitet³ er vist nedenfor.

	Coefficient	Std. Error	T-statistic	p-value
Intercept	4.03	0.014	282.1	0.0000
$\hat{\epsilon}_{ESAL}$	-0.09	0.002	-45.4	0.0000
$\hat{\epsilon}_{car}$	-0.10	0.003	-40.4	0.0000
Hot*	0.00			
Cold	-0.24	0.005	-48.0	0.0000
Surface dressing	-0.14	0.004	-36.3	0.0000
Sthlm*	0.00			
Middle	0.14	0.007	19.8	0.0000
North	0.24	0.008	31.0	0.0000
South	0.19	0.007	29.0	0.0000
West	0.20	0.007	30.0	0.0000
East	0.03	0.007	3.71	0.0002
$\log(1/\alpha)$	-0.48	0.002	-249.8	0.0000
α	1.61			

* – reference category.

³ Mer nøyaktige verdier for nedbrytningselastisitet er $\epsilon_{ESAL} = 0,0888$ og $\epsilon_{car} = 0,1036$.

Eksempler på resultater for dekkelevetid er vist nedenfor (for to regioner og for Sverige).

Region	Surface	ADT cars	ADT ESAL	Median life (years)
Middle	Cold	344	22	16.7
Middle	S.D.	455	36	17.2
Middle	Hot	1339	105	16.2
North	Cold	326	36	17.8
North	S.D.	242	26	20.8
North	Hot	1244	110	17.9
Average		2280	143	17

Notes: ADT = average daily traffic. S.D. = surface dressing.

Vi kan ikke se at dokumentasjonen gir informasjon om hvordan dekkelevetid defineres ut fra Weibull-fordelingen i analysen.

I diskusjonen hos Nilsson omtales forskjeller i vegfundamentet som en forklaringsvariabel for forskjeller i marginalkostnader, da basert på en sammenlikning mellom lensveger, nasjonale og Europaveger. Dette er ikke en del av de foregående analyser av 6 regioner og 3 tiltakstyper og betyr kanskje at analysene er mer omfattende enn det som er presentert i denne artikkelen?

Formuleringen «the timing of major pavement resurfacings» indikerer at dekkelevetid er satt lik tiltaksintervall, noe man i Norge holder helt adskilt fra funksjonell dekkelevetid. Tiltaksintervall for reasfaltering er i stor grad påvirket av budsjetter og ressursfordeling. Slike forhold er også diskutert i rapporten fra Nilsson.

2.7 Marginalkostnad

En detaljert beregning av marginalkostnader (og average cost) er gjennomført med data fra den svenske vegdatabanken (477 262 vegseksjoner med tilhørende data om trafikk, vegbredde, mm). Resultatet av denne beregningen er vist nedenfor.

Region and pavement type	ESAL		Car	
	Marginal	Average	Marginal	Average
	Cost		Cost	
Middle, Cold	0.60	7.09	0,07	0,63
Middle, S.D.	0.25	3.02	0.02	0.21
Middle, Hot	0.25	2.86	0.04	0.43
North, Cold	0.54	7.38	0.07	0.75
North, S.D.	0.14	1.94	0.01	0.14
North, Hot	0.36	4.78	0.01	0.16
Stockholm, Cold	1.14	13.46	0.08	0.72
Stockholm; S.D.	0.25	2.97	0.02	0.15
Stockholm, Hot	0.38	4.39	0.02	0.20
South, Cold	0.67	7.98	0.05	0.44
South, S.D.	0.33	3.99	0.02	0.20
South, Hot	0.19	2.27	0.01	0.12
West, Cold	0.42	5.05	0.03	0.32
West, S.D.	0.14	1.69	0.01	0.09
West, Hot	0.19	2.33	0.01	0.14
East, Cold	0.68	7.92	0.05	0.44
East, S.D.	0.20	2.37	0.01	0.13
East, Hot	0.30	3.50	0.02	0.19
All	0.32	3.78	0.03	0.27

Note: S.D. – surface dressing.

Nilsson gjør også en beregning basert på midlere kjøretøy på midlere vegseksjoner (iht. kap. 2.3). Dette gir følgende resultat for marginalkostnaden sammenlignet med resultat fra den detaljerte beregningen:

Metode	Marginalkostnad (SEK per ESAL kilometer)
Middelberegning	0,066
Detaljert beregning	0,32

Dette viser en faktor for forskjell på om lag 4,8 mellom forenklet beregning og detaljert beregning. Det framgår dermed at denne type forenklete beregninger ikke kan anvendes i dette tilfellet, som naturlig er, gitt de store variasjonene som finnes i trafikk, dekketiltak, kostnader, klima, vegkvalitet, mm.

For å få en kvalitetsmessig vurdering av de analyser som er presentert, er det nødvendig å gjenta de viktigste av de analyser som er presentert. Dette er det ikke rom for i dette arbeidet.

3. Eksterne kostnader ved transport i Norge (TØI 1704/2019)

3.1 Basis beregningsmetode

TØI etablerer først en basis beregningsmetode for marginalkostnad ved hjelp av Nilssons forenklete beregningsmetode, etter følgende formel:

$$MK_T = K \cdot E_T \cdot B \cdot 0,975 / (17 \cdot 365 \cdot \text{ÅDT}_T)$$

Her er:

MK_T	Marginalkostnad pr km for tunge biler	
K	Dekkekostnad per kvadratmeter	Sverige: SEK 87 i 2012-2013
E_T	Nedbrytningselastisitet for tunge biler (slitasjeelastisitet)	0,0888
B	Gjennomsnittlig vegbredde	Sverige 6,75 m
17	Tid mellom tiltak, dekkelevetid	Sverige 17 år
ÅDT_T	Gjennomsnittlig ÅDT-tunge	Sverige 125
0,975	Sammensatt faktor for bl.a. nåverdiberegning, omregning til ESAL?, m.m.	

Svenske beregninger benytter rentefot 3,5 %, det er ikke dokumentert om dette eventuelt er korrigeret i beregningene for Norge.

Ifølge Nilsson gir dette en MK_T for Sverige på SEK 0,066 pr ESAL-km, dvs. økt nedbrytningskostnad på 6,6 svenske øre pr standard aksel.

3.2 Beregning for Norge

3.2.1 Kostnadsdata

TØI beregner kostnadstall for Norge basert på informasjon fra Statens vegvesen om kostnader for «slitelag» i asfaltkontrakter fra perioden 2014-2018. Tiltak «slitelag» omfatter mange typer tiltak, som flatelapping av mindre arealer, fresing for å fjerne spor, oppretting + slitelag og mer omfattende forsterkning i enkelte tilfeller.

Dette innebærer at de mer driftsrettede tiltakene og kostnadene (for TS-tiltak og enkle levetidsforlengende tiltak) ikke er inkludert i kostnadene. Det er også meget sannsynlig at en stor del av utbedringstiltakene ikke er inkludert i kostnadsanslaget.

Kostnadene beregnes ut fra:

- Samlede kostnader
- Asfaltert veglengde, asfaltert areal (midlere vegbredde)

Resultatet er i 2018-prisnivå:

Snittkostnad: 126 kr/m²
 Snittkostnad Rv: 131 kr/m²
 Snittkostnad Fv: 123 kr/m²

Eller i 2013-prisnivå:

Snittkostnad: 108,5 kr/m²
 Snittkostnad Rv: 113 kr/m²
 Snittkostnad Fv: 106 kr/m²

Tilsvarende SE-kostnad for Sverige var SEK 87 kr/m² = NOK 76,5 kr/m² (kurs 0,88 NOK/SEK).

Variasjon i kostnadstall og vegbredde er vist nedenfor.

Tabell 12.2: Asfaltert areal og kostnad per kvadratmeter 2014-2018. Mill kr (2018). Kilde: SVV.

		Areal (km ²)	Kr/kvm	Vegbredde
Riksveg	Øst	8,8	135	5,9
	Sør	6,4	120	7,1
	Vest	7,4	113	6,3
	Midt	5,7	129	7,3
	Nord	7,2	156	6,7
	Landet	35,6	131	6,6
Fylkesveg	Øst	16,0	130	6,3
	Sør	13,0	119	6,0
	Vest	11,2	90	5,4
	Midt	10,6	124	6,2
	Nord	5,9	177	5,8
	Landet	56,7	123	6,0
Riks og fylkesveger		92,4	126,3	6,2

3.2.2 Trafikktall

Trafikktall hentes fra NVDB, med data for riksveger (fordelt på Europaveger og øvrige riksveger) og fylkesveger (fordelt på 5 geografiske regioner).

Tabell 12.3: ÅDT 2017 etter veg- og biltype (over/under 5,7 m). Kilde: SVV.

	ÅDT 2017			ÅDT 2017	
	KM vei	Totalt	% lange	Korte	Lange
Europaveger	6917	6047	14	5 203	844
Riksveger	3869	3753	13	3 283	470
Riksvegnettet	10786	5224	14	4 514	710
ØST	10332	1378	9	1 255	123
SØR	8523	1489	8	1 368	121
VEST	8502	1233	9	1 126	107
MIDT	9370	894	9	811	83
NORD	9291	489	10	440	49
FYLKESVEIER	46018	1094	9	997	97
NORGE	56805	1878	11	1 665	213

3.2.3 Tid mellom tiltak – dekkelevetid

TØI benytter midlere tid mellom tiltak (dekkelevetid) fra Nilsson, dvs. 17 år.

Dette representerer for det første en sterk aggregering av verdien for tid mellom tiltak. Dekkelevetid er vesentlig avhengig av trafikkmengde, tiltakstype og geografisk region, men også av andre parametere.

Dessuten innebærer dette at man bruker resultat fra en detaljert analyse av dekkelevetider på svensk vegnett basert på statistiske analyser og overfører en form for «midlere» verdi for bruk for det norske vegnettet.

Forskjeller mellom dekkelevetid i Sverige og Norge blir også påvirket av at vedlikeholdsstandarden for vegdekker er ulik i de to landene.

TØI angir på generelt grunnlag følgende:

«Vi har lite belegg for å anta at beregninger av slitastjekostnader for Sverige kan overføres på Norge, men inntil SVV finner det hensiktsmessig å systematisere data på et detaljnivå som gir grunnlag for egne analyser, foreligger det ikke andre tilnæringsmåter enn å legge analyser fra andre land til grunn. Analyser av svenske data er da det mest nærliggende å ta utgangspunkt i.»

Det er i mange tilfeller metodisk akseptabelt å gjøre antagelser knyttet til overføring av data framskaffet for en situasjon til bruk under andre rammebetingelser. Men da må det gjøres en studie av om det kan sannsynliggjøres at denne antagelsen er gyldig. En meget rask og enkel sjekk ville være å kontrollere denne dekkelevetiden mot de normerte dekkelevetidene i N200 Vegbygging.

3.2.4 Marginalkostnad

TØI beregner først marginalkostnad etter Nilssons forenklete midlere beregningsmetode (kap. 3.1):

Tabell 12.4: Anslått marginalkostnad per km i Norge basert på svensk regneeksempel. Norske øre/km (2018).

Regneeksempel Norge 2014-2018	Bil<5,7 m	ESAL
Riksveg	0,3	1,8
Fylkesveg	1,3	11,5
Riks og fylkesvei	0,9	5,6

Som tidligere omtalt har ikke TØI hatt tilgang på data for å gjøre en detaljert beregning av marginalkostnader for det norske vegnettet. TØI velger derfor å oppjustere resultatet fra den forenklete norske beregningen med samme faktor som er funnet mellom svensk detaljert beregning og forenklet beregning. Denne oppjusteringsfaktoren er beregnet som vist nedenfor.

Tabell 12.5: Anslått marginalkostnad per km i Sverige. Svenske øre/km (2012-13).

	Personbil	ESAL
Regneeksempel 2012-13	0,5	6,6
Detaljert resultat Sverige 2012-13	3,0	27,0
Forhold detaljert beregning/eksempel	5,8	4,1

Den utledede faktoren 4,1 er imidlertid feil fordi detaljert resultat for Sverige er 32,0 og ikke 27,0 for tunge kjøretøy. Faktoren skal være 4,8. Dette gir en feil for den marginalkostnaden som videreføres, på om lag 20 %.

Det er ikke dokumentert i TØI-rapporten om, og i tilfelle hvordan, omregning fra ÅDT-T til ESAL foretas, men slik omregning er forhåpentligvis gjort etter samme omregningsprosedyre som i Nilsson.

Etterregning av marginalkostnader gir ikke samme resultat som i Tabell 12.4. Dette skyldes sannsynligvis ulike vurderinger av inputdata og «midling» av disse. Som formelen over for MK viser, gjør TØI noen «interne» beregninger hvor valg av inputdata ikke er dokumentert.

TØI velger å benytte marginalkostnader beregnet for Norge etter forenklet metode, skalert opp etter oppjusteringsfaktor beregnet fra forholdet mellom forenklet og detaljert metode for Sverige. Dette gir følgende marginalkostnad:

Tabell 12.6: Justerte marginalkostnader. Øre/km (2018).

	Bil<5,7 m	ESAL
Alternativ 1		
Regneeksempel Norge (justert for andel piggdekk for personbiler)	0,5	5,6
Oppjusteringsfaktor fra Sverige	5,8	4,1
Oppjustert marginalkostnad	3,0	22,8

Korrigert for avlesningsfeil for svensk marginalkostnad for tunge biler, gir dette

$$\text{Marginalkostnad: } 5,6 * 4,8 = 27,2 \text{ øre/km (2018)}$$

Denne metoden kan sies å gi en bedre verdi mht. størrelsesorden, men verdien er beheftet med en vesentlig svakhet, nemlig at den representerer en form for middel med parametere med meget stor variasjon.

3.2.5 Marginalkostnad pr kjøretøytype

Beregning av slitasje pr type lastebil gjennomføres etter følgende opplegg:

1	ESAL-tabell for godsbil uten henger, basert på maksimal totalvekt (tillatt totalvekt?), kilde SOU 2017:11 [Tabell 12.7]
2	Gjennomsnittsvekt for godsbiler med last (med og uten henger, 2 aksler på henger), kilde Den norske lastebilundersøkelsen 2016-2017 [Tabell 12.8]
3	Basert på 1 og 2: ESAL for godsbiler med gjennomsnittlig total vekt innen hver kjøretøygruppe for godsbiler med last for norske godsbiler 2016-2017 [Tabell 12.9]
4	Basert på 3: Beregnet slitasjekostnad ved 22,8 øre/ESAL-km for norske godsbiler med last, NOK/vognkm [Tabell 12.10] NB: 22,8 øre/ESAL-km er feil verdi.
5	Informasjon om norske godsbiler med last [Tabell 12.11] Angitt med % % er ikke forklart, betyr det andel biler med maksimal last og at resten av bilene kjører uten last?
6	Basert på 4 og 5: Beregnet slitasjekostnad ved 22,8 øre/ESAL-km for alle norske godsbiler med og uten last, NOK/vognkm. [Tabell 12.12] NB: 22,8 øre/ESAL-km er feil verdi. Slitasjekostnad alle NO-godsbiler = Slitasjekostnad for godsbil med last x Andel godsbiler med last Hvordan håndteres bilene som kjøres uten last, jf. pkt. 8 nedenfor? TØI: «Det gir en gjennomsnittlig slitasjekostnad på 0,15 NOK/vognkm (2018-kr).»
7	Informasjon om mill. vognkm i den norske lastebilundersøkelsen 2016-2017. [Tabell 12.13] TØI: «Totalt utgjør dette 3886 millioner km.»
8	Basert på 6 og 7: Beregnet total marginal slitasjekostnad for godsbilene i lastebilundersøkelsen. Mill NOK. [Tabell 12.14] TØI: «Total oppsummert marginal slitasje for godsbilene i lastebilundersøkelsen 2016-17 blir 573 millioner NOK (2018-kr). Legger en til slitasje fra godsbiler uten last så øker total beregnet marginalkostnad med 2 prosent. Vi har valgt å se bort fra dette her.» Hva er tolkningen av «total marginal slitasjekostnad»?

Til slutt sammenlignes resultatet, beregnet som vektet middel med data fra Tabell 12.12 og Tabell 12.13, mot tidligere resultater (TØI 2014):

Tabell 12.15: Beregnet marginal slitasjekostnad for norske godsbiler i lastebilundersøkelsen sammenlignet med beregningen presentert i TØI (2014). NOK/vognkm.

Maks t	Ny beregning	TØI (2014)
Personbil	0,03	0,00
<=7,5 t	0,00	0,01
>7,5-14 t	0,03	0,10
>14-20 t	0,09	0,42
>20-28 t	0,07	0,76
>28-40 t	0,03	
>40-50 t	0,15	
>50-60 t	0,23	

Disse resultatene må (som minimum) beregnes på nytt pga. bruk av feil oppjusteringsfaktor fra forenklet beregning til detaljert beregning.

4. TØI rapport 1704/2019 – Godsnyttmodulen

Overgang fra TØI rapport 1704/2019 til Godsnyttmodulen (heretter kalt GodsNytte) beskrives som følgende (mail fra TØI 2021-01-18):

Overgangen mellom tabell 12.15 i rapporten og GodsNytte finner du i arkfanen «Hjelpeark 3» i GodsNytte. LightLorry er en vektet aggregering av vektclassene <7,5t, 7,5-14t og 14t-20t. HeavyLorry er en vektet aggregering av vektclassene 20t-28t, 28t-40t og 40t-50t. LargeTrucks sammenfaller med vektclassen 50t-60t. Vektingen er gjort utfra årlige kjøretøykilometer slik det er forutsatt i HBEFA-modellen som SSB bruker.

Vektingen det vises til er denne:

Radetiketter	Summer av Trafikkarbeid	%-tot	% - internt	
<=7.5t	214 595 566	10 %	46 %	
>7.5-14t	55 928 374	3 %	12 %	
>14-20t	163 983 599	7 %	35 %	
>20-28t	168 115 376	8 %	38 %	
>28-40t	146 469 833	7 %	33 %	
>40-50t	130 158 163	6 %	29 %	
>50-60t	1 308 269 155	59 %	100 %	
petrol	27 742 426	1 %	6 %	
Totalsum	2 215 262 493	100 %		

Dette gir marginalkostnader som benyttes i GodsNytte:

Slitasje, drift og vedlikehold								2019
Spredt bebyggelse	LightLorry	Slitasje	kr/km					0,04
Tettsted (15 000 - 100 000 innb.)	LightLorry	Slitasje	kr/km					0,04
Tettsted (>100 000 innb.)	LightLorry	Slitasje	kr/km					0,04
								2019
Spredt bebyggelse	HeavyLorry	Slitasje	kr/km					0,08
Tettsted (15 000 - 100 000 innb.)	HeavyLorry	Slitasje	kr/km					0,08
Tettsted (>100 000 innb.)	HeavyLorry	Slitasje	kr/km					0,08
								2019
Spredt bebyggelse	LargeTrucks	Slitasje	kr/km					0,23
Tettsted (15 000 - 100 000 innb.)	LargeTrucks	Slitasje	kr/km					0,23
Tettsted (>100 000 innb.)	LargeTrucks	Slitasje	kr/km					0,23

5. Rimelighetsvurdering

5.1 Innledning

TØI skal ha kredit for å gå opp en sammenhengende løype fra fysisk nedbrytning av veg pga. belastning fra tunge kjøretøy til enhetskostnader for «slitasje» for bruk i samfunnsøkonomiske analyser av godstransport. Langs denne løypen finnes det flere områder med mangler mht. faktainformasjon og kunnskap, men TØI har klart å komme gjennom eller rundt disse ved å foreta forenklinger eller bygge på spesielle antagelser. Selv om grunnlaget for noen av antagelsene ikke synes å være underlagt et rimelighetssjekk og sluttresultatet kanskje ikke har nødvendig nøyaktighet eller tilfredsstillende differensiering for å kunne brukes med rimelig sikkerhet i de ønskede analyser, gir en slik framgangsmåte en helhetlig oversikt over prosessen og god innsikt i manglende fakta og kunnskap og dermed godt grunnlag for videreutvikling.

5.2 Metodiske utfordringer

TØI's estimering av enhetskostnader, representert ved marginalkostnaden knyttet til en (momentan) økning i ÅDT ved et gitt tidspunkt, er basert på en analyse av tilstandsutvikling og tilhørende tiltak på svensk vegnett utført av VTI (Nilsson).

De metodiske utfordringene i denne analysen er knyttet til flere elementer som omtales nedenfor.

Marginalkostnad: Definisjon

Presis definisjon av «marginalkostnad», egnethet og relevans for aktuell analyse samt riktig anvendelse i analysen er av avgjørende betydning for analyseresultatet og dermed for de vurderinger og beslutninger som skal fattes på grunnlag av analysen.

Levetid/tid mellom tiltak/tiltaksintervall

Hvordan skal levetid (for vegdekker) eller tid mellom tiltak defineres? To nærliggende alternativer finnes:

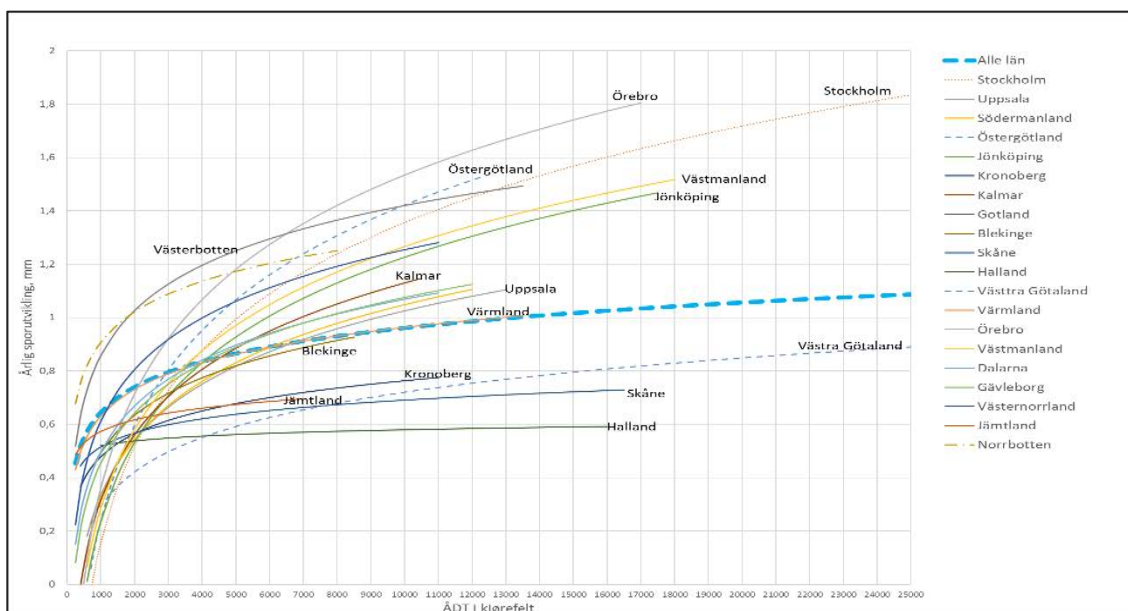
- Funksjonell levetid = Tid fra nylegging til gjeldende vedlikeholdsstandard er overskredet
- Praktisk levetid = Tid mellom to konkrete tiltak (tiltaksintervall)

Praktisk levetid (tiltaksintervall) er i hovedsak bestemt av det til enhver tid gjeldende budsjettnivået og kan avvike vesentlig fra funksjonell levetid.

Nilsson:

Baseres på analyse av praktisk levetid, basert på Trafikverkets PMS-data og med bruk av overlevelsesanalyse (Weibull-fordeling).

Detaljert analyse for Sverige gir midlere levetider for regioner og kategorier av tiltak. Dette er allikevel antagelig ikke tilstrekkelig til å dekke opp for den store spredningen som finnes i levetider på et reelt vegnett, jf. resultater for årlig sporutvikling for vegnettet i Sverige, se figur nedenfor⁴.



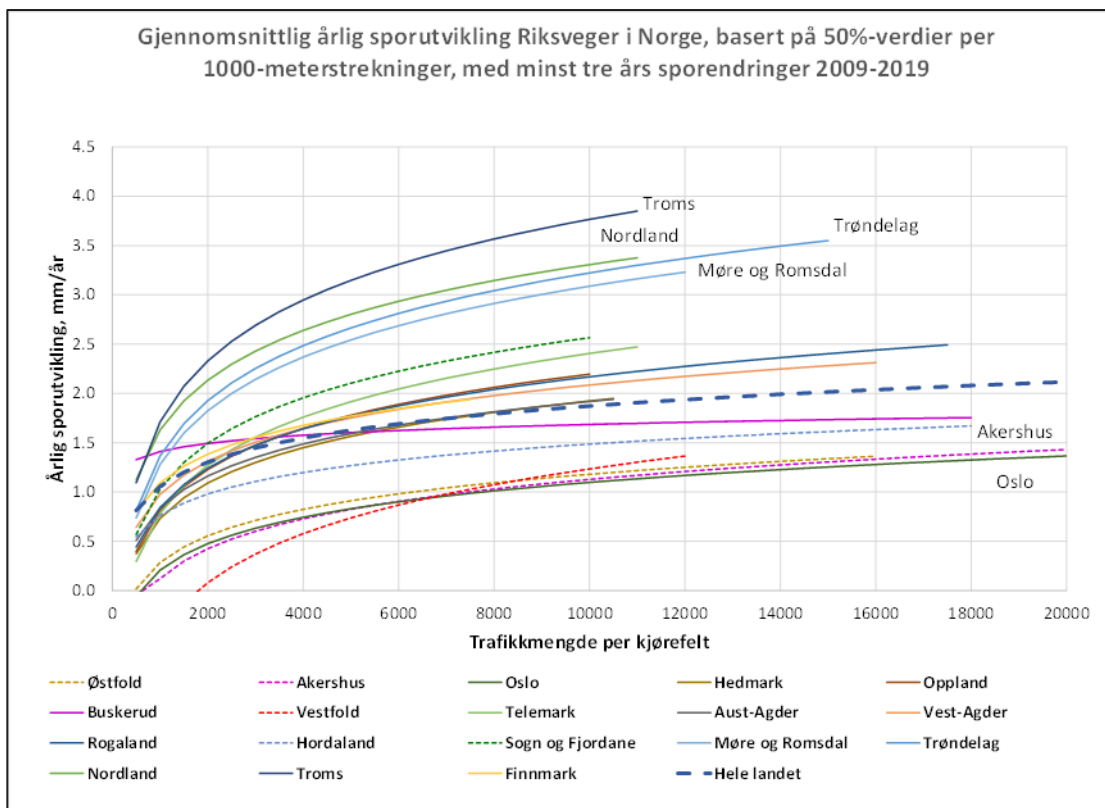
⁴ Foreløpige resultater fra Statens vegvesens FoU-prosjekt VegDim.

TØI:

Benytter midlere svensk dekkelevetid (tid mellom tiltak) lik 17 år, det gjøres ikke justeringer for norske forhold.

En første rimelighetssjekk på antagelsen som leder til bruk av svenske dekkelevetider for Norge, kunne vært kontroll mot normerte dekkelevetider i N200 Vegbygging, som har et spenn på dekkelevetid 4 – 16 år.

Nyere analyser viser klare forskjeller mellom svenske og norske dekkelevetider, jf. resultater for årlig sporutvikling for vegnettet i Norge, se figur nedenfor⁵, sammenlignet med tilsvarende informasjon for Sverige gitt over.



Dette innebærer at overføring av dekkelevetid fra Sverige til Norge kan gi stor feil.

Tiltak

Hvilke tiltak skal inkluderes i analysen og kostnadsanslaget (jf. omtale nedenfor)?

Dekkevedlikehold kan spenne fra enkle TS-tiltak og levetidsforlengende tiltak, via tiltak som flatelapping, overflatebehandling og sporfylling til oppretting/reasfaltering, og endog til vegutbedringstiltak inkludert forsterkningstiltak.

Nilsson:

Inkluderer i hovedsak tiltak midt på skalaen, ikke daglig drift/lett vedlikehold, men med innslag av rehabiliteringstiltak, dvs. uklart grensesnitt på hva som inngår i kostnadene.

⁵ Foreløpige resultater fra Statens vegvesens FoU-prosjekt VegDim.

TØI:

Inkluderer i stor grad samme type tiltak som Nilsson, men antagelig med mindre andel av utbedringstiltak (basert på hvilke typer tiltak som normalt inngår i de entreprisene som TØI har fått informasjon om).

Nivået på kvadratmeterkostnaden tilsier også at det i hovedsak er enkle reasfalteringer som er inkludert.

Tiltakskostnad

Kostnadsnivået vil i første rekke følge av beslutninger som gjøres vedrørende hvilke typer tiltak som skal inkluderes, dernest av type levetid som analysen baseres på.

Konsekvenser av kombinasjon levetid/tiltak

Som følge av valg av levetidstype og tiltakstyper kan det oppstå problemstillinger knyttet til tilstandsutviklingen på vegnettet i form av utvikling eller utbedring av (eksisterende) vedlikeholdsetterslep.

Nilsson:

Problemstillingen behandles ikke.

TØI:

Problemstillingen behandles ikke.

Effekt av tunge kjøretøy

Nedbrytende effekt av tunge kjøretøy (kjøretøytyper, antall aksler, aksellast) må fastlegges ut fra ÅDT-T og kunnskap om sammensetning av kjøretøypark, lasttilstand for kjøretøyene og kjørelengder. Faktakunnskap er her mangelvare og tilnæringsmetoder må benyttes.

En tilleggsproblemstilling her er behandling av veger med flere enn to kjørefelt. Sverige har bare informasjon om fordeling av trafikkmengden mellom de to kjøreretningene, ikke fordeling på hvert kjørefelt.

Nilsson:

Omregning fra ÅDT-T til ESAL iht. eldre versjon av svensk system for dimensjonering av vegoverbygning.

Det anses som sannsynlig at analysen ikke har kunnet håndtere veger med flere enn to kjørefelt på en god måte. Dette forholdet er ikke drøftet hos Nilsson.

TØI:

Ikke dokumentert, hverken metode eller konkret beregning, men det må antas at det benyttes samme metode som Nilsson.

Trafikkmengde

Informasjon om total trafikkmengde på vegnettet, ÅDT, er normalt godt tilgjengelig. Data om tungtrafikk, ÅDT-T eller ÅDT-L, kan være mangelfullt for deler av vegnettet. Informasjon om fordeling av trafikk mellom kjørefelt er tilgjengelig fra trafikktelepunkter, men er ikke bearbeidet slik at de kan sies å være allment tilgjengelig. Data om tungtrafikkens sammensetning, kjøretøyvekter, antall aksler og aksellaster er mangelfulle.

Vegbredde

Informasjon om vegbredde må tilpasses anvendelsen av informasjonen. I tilknytning til tiltak som enkel reasfaltering vil relevant bredde være vegdekkebredde, for mer komplekse utbedringstiltak kan det være andre representasjoner av vegbredde som må benyttes.

5.3 Marginalkostnader - resultater

5.3.1 Nilsson

Nilsson etablerer midlere marginalkostnader for lette og tunge kjøretøy for 6 geografiske regioner og for tre typer dekketiltak, samt overordnede middelveier for europaveg, nasjonale veier og lensveier, samt for hele det nasjonale vegnettet.

I tillegg beregner Nilsson midlere marginalkostnad etter en forenklet modell basert på middelveier for levetid, tiltakskostnad og ÅDT-T.

Midlere nasjonal verdi fra detaljert analyse er SEK 0,32 per ESAL-km, mens regionvis/dekketypevis verdi varierer mellom 0,14 og 1,14.

5.3.2 TØI

TØI gjør en beregning av marginal kostnad for norske data etter svensk forenklet metode og oppjusterer den funne verdien med en faktor beregnet fra forholdet mellom marginal kostnad fra forenklet metode og midlere marginal kostnad fra detaljert analyse for Sverige.

Omregning til norske forhold omfatter:

- Kostnad (basert på Statens vegvesens data for dekkevedlikehold)
- ÅDT (basert på NVDB-data)
- Levetid (benytter svensk levetid 17 år)
- ÅDT-T til ESAL (antatt benyttet svensk metode for omregning)

For levetid gjennomføres ikke noen justering for norske forhold. Dette gir en underestimering av marginalkostnad.

TØI benytter feil verdi fra svensk detaljert analyse. Oppjusteringen blir derfor gjort med faktor om lag 4 i stedet for faktor om lag 5, dette gir en underestimering av marginalkostnaden på om lag 20 %.

Deretter beregnes marginalkostnad for typer av tunge kjøretøy basert på (svensk) informasjon om ESAL-verdi for typer tunge kjøretøy samt norsk informasjon om maksimal vekt for godsbiler, gjennomsnittsvikt for godsbiler med last og lastutnyttelse.

Denne beregningen er preget av usikkerheter som i hovedsak er knyttet til tungtrafikkens sammensetning på vegnettet samt variasjoner av utnyttelsen av tillatt nyttelast.

Tilpassing av inputdata for GodsNytte gjøres ved en aggregering for kjøretøytyper til tre kjøretøygrupper og vektning av marginalkostnader for kjøretøytyper med trafikkarbeid.

TØI gjennomfører også beregninger av «total marginal slitaskostnad». Denne beregningen synes ikke å ha betydning for inputdata til GodsNytte, og er derfor ikke vurdert nærmere.

5.4 Sluttvurdering

Nilssons analyse og beregninger (detaljert analyse) er beheftet med metodiske utfordringer knyttet til følgende forhold:

- Definisjonen av tiltak som skal inngå i analysen
- Fastlegging av kostnadsnivå (i stor grad en følge av punktet over)
- Fastlegging av tiltaksintervall, definisjon av levetid, effekt av at budsjettstyrt levetid, etterslepsproblematikk, grunnlagsdata fra lang periode (1960-2012)
- Fastlegging av tunge kjøretøyers nedbrytende effekt, tungtrafikkens sammensetning på vegnettet samt variasjoner av utnyttelsen av tillatt nyttelast

Nilsson etablerer og dokumenterer løsninger for disse utfordringene. Det kan være forbedringspotensiale for alle de valgte løsningene ved å nytte oppdatert kunnskap, men endelige og fullgode løsninger foreligger ikke i dag.

Nilsson oppnår en viss differensiering for marginalkostnadene i sin detaljerte analyse ved å benytte data fra konkrete vegseksjoner og benytte en kategorisering med 6 geografiske regioner og 3 tiltakstyper. Dette aggregeringsnivået gir variasjon i marginalkostnad fra SEK 0,14 til SEK 1,14. Vegfaglig kunnskap tilsier at variasjonen er enda større dersom man bryter resultatene ned på vegstrekning/rute-nivå.

TØI-resultatet har de samme metodiske utfordringene som angitt for Nilssons basis-analyse. I tillegg møter TØI-analysen ytterligere metodiske utfordringer fordi TØI skal operasjonalisere bruken av estimert marginalkostnad for konkrete analyser i GodsNytte:

- Definisjon av marginalkostnad som er egnet og relevant for aktuell analyse
- Trafikkmengde: Informasjonsmangler knyttet til tungtrafikk

Den utførte omregningen til norske forhold gir ikke en riktig speiling av norske forhold i alle henseende. Valgt metode og inngangsdata innebærer med stor sannsynlighet en underestimering av marginalkostnaden.

Det er mulig å korrigere beregningen av marginalkostnaden etter samme opplegg som TØI benytter, med reviderte inngangsdata.

TØI opererer i realiteten kun på nasjonalt middel-nivå mht. marginalkostnad. Dette innebærer et aggregeringsnivå som det er vanskelig å se kan gi et riktig bilde for analyse av godstransport på et differensiert norsk vegnett. Marginalkostnaden ved endring av trafikkmengde på vegnettet vil variere mye fra veg til veg på grunn av ulik vegtype, trafikkmengde/sammensetning, vegoverbygning, undergrunn, vegbredder, terreng/topologi, klima, vegholderstrategier (mht. vedlikehold, o.a.), m.m. Denne problemstillingen er knyttet til at endret trafikk på grunn av overføring av gods til/fra vegtransport ikke skjer jevnt fordelt over hele vegnettet, men på spesifiserte vegstrekninger/ruter. Det er derfor vanskelig å se at bruk av nasjonale middelveidier, slik de er beregnet, kan gi forsvarlig grunnlag for valg av godstransportstrategi. Dette forholdet bedres ikke vesentlig av å gjøre tilpassing for ulike kjøretøygrupper, fordi også denne tilpassingen er preget av manglende informasjon og kunnskap om virkelig trafikk på det norske vegnettet.

Denne vurderingen av estimeringen av slitastjekostnader for veg i TØI rapport 1704/210 viser at det finnes to prinsipielt forskjellige tilnærminger for forbedringer og videre arbeid:

1. Revidere eksisterende estimat av marginalkostnaden som beregnet i TØI rapport 1704/2109, i hovedsak ved å korrigere input-data fra Nilsson samt benytte bedre estimat for norsk dekkelevetid, eventuelt kombinert med andre justeringer for tiltakskostnader m.m. (ressursbehov avhengig av ambisjon for forbedring)

2. Utvikle og implementere metode som ivaretar variasjoner i marginalkostnader, eller andre representasjoner av kostnaden, over vegnettet (omfattende arbeid over lang tid)

Det er mulig å gjøre analyser a la Nilsson for det norske vegnettet og dermed skaffe kunnskap om marginalkostnader med høyere detaljeringsgrad enn det informasjonen i TØI rapport 1704/2019 gir. Datagrunnlaget er tilgjengelig på samme nivå som i Sverige. Men det kreves et betydelig arbeid med å tilrettelegge datagrunnlaget for en slik analyse. Og det kreves et bredt tverrfaglig samarbeid for å kunne gjennomføre arbeidet.

Det finnes også andre tilnæringsmetoder som kan nyttes for å ta fram kostnadseffekter av endret godstransport. Tidligere er det f.eks. arbeidet med (strekningvis) vurderinger av nødvendig forsterkning for å beholde uendret dekkelevetid.

For å kunne utnytte slik detaljert informasjon må antagelig analyseverktøyene rigges på en annen måte. Full utnyttelse og nytte av detaljert informasjon kan antagelig bare fås ved å nytte et strekningsbasert og transportmodellbasert analyseverktøy.

6. Marginalkostnad: Korrigert verdi

Resultatet for marginalkostnaden slik det framkommer i TØI-rapporten innebærer en underestimering knyttet til to forhold:

1. Det er benyttet anslag for dekkelevetid fra Sverige (17 år), norsk dekkelevetid anses å være kortere enn det benyttede anslaget fra Sverige.
2. Oppjustering fra forenklet beregningsmetode til detaljert beregningsmetode er utført med feil verdi fra Nilsson.

Et første enkelt estimat for typisk norsk dekkelevetid kan tas fram ved bruk av normerte dekkelevetider fra vegnormal N200 Vegbygging [4]. Variasjonen i normert dekkelevetid for ulike ÅDT og ulike dekketyper er 4 – 16 år. Vekting av normerte dekkelevetider med relevant lengde riksveg og fylkesveg i Norge gir en estimert dekkelevetid for Norge på 12,5 år.

Korrigeringsene nevnt over gir følgende korrigert verdi for marginalkostnaden, iht. TØI's anvendelse av forenklet beregningsmetode og oppjustering til nivå tilsvarende detaljert beregningsmetode for Sverige:⁶

Marginalkostnad	Marginalkostnad (øre/ESAL-km)
TØI-rapport 1704/2019	5,6
Marginalkostnad: Korrigert for norsk dekkelevetid 12,5 år	7,6
Oppjustert til nivå for detaljert beregningsmetode, faktor 4,8	37,0

Marginalkostnaden må operasjonaliseres for anvendelse i GodsNytte, f.eks. i henhold til metode som benyttet i TØI-rapporten.

⁶ Omfanget av korrigerings av marginalkostnaden ble besluttet på prosjektmøte 2021-02-04, jf. «Møtereferat Oppfølgingsmøte slitasjekostnader veg», sak 3.

Referanser

- [1] Eksterne kostnader ved transport i Norge
Estimater av marginale skadekostnader for person- og godstransport
K. L. Rødseth, m.fl.
TØI Rapport 1704/2019

- [2] Estimating the marginal cost of road wear
Jan-Eric Nilsson, m. fl.
Transportation Research Part A 139 (2020) 455-471

- [3] Weibullfordelingen
Kjetil L. Nielsen
<https://docplayer.me/134455134-Weibullfordelingen-kjetil-l-nielsen-innhold-1-teori-1-1-tetthetsfunksjon-og-fordelingsfunksjon.html>

- [4] N200 Vegbygging
Statens vegvesen
Tabell 594.1 Normerte dekkelevetider (år) for ulike dekketyper og ÅDT

Vedlegg 2:
Rimelighetsvurdering Slitasjekostnad jernbane



SINTEF

SINTEF Digital
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Prosjektnotat

Slitasjekostnader Jernbane

Rimelighetsvurdering og overordnede betraktninger

VERSJON

1.0

DATO

2021-04-29

FORFATTER(E)

Andreas Dypvik Landmark, SINTEF Digital
Rune Nilsen, Roar Andreassen, Paul Abrahamsson (alle SINTEF Narvik)

OPPDRAGSGIVER(E)

Transportvirksomhetene

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Oskar Kleven

PROSJEKTNUMMER

102024187

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

19

Overskrift sammendrag

Dette notatet omfatter en rimelighetsvurdering og en del overordnede betraktninger rundt en økonometrisk tilnærming til marginal slitasjekostnad på jernbane.

Notatet gjennomgår «dagens» modell, med en diskusjon og vurdering av metode, datagrunnlag og resultater.

UTARBEIDET AV

Andreas Dypvik Landmark

SIGNATUR


AD Landmark (Apr 30, 2021 11:24 GMT+2)

GODKJENT AV

Lars H. Vik

SIGNATUR


Lars H. Vik (sign.) (Apr 30, 2021 11:23 GMT+2)

PROSJEKTNOTAT NR

1

GRADERING

Åpen





SINTEF

Historikk

VERSJON	DATO	Versjonsbeskrivelse
1.0	2021-04-29	Nye justeringer etter tilbakemeldinger
0.9	2021-04-16	Justert etter tilbakemeldinger
0.8	2021-02-01	Første utgave.



Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	4
2	Eksisterende modell og enhetskostnader	5
2.1	Tilpasning av svenske modeller til norske forhold.....	6
2.2	Trafikkgrunnet	6
2.3	Elastisiteter	7
2.4	Marginale kostnader	9
3	Jernbanetekniske betraktninger	11
3.1	Slitasjemekanismer på jernbanen.....	11
3.2	Ingeniørteknisk betraktning av «hvem sliter mest?»	13
4	Oppdatering av kjøreveisavgift og modellkjøring.....	15
4.1	Andre tidligere resultater for sammenligning	15
5	Rimelighetsvurdering	16
5.1	Er det noe av det som er presentert i rapporten som synes å være tvilsomt eller åpenbart galt?.....	16
5.2	Er de aktuelle kostnadsdataene i rapporten egnet som grunnlag for de samfunnsøkonomiske analyser som oppdragsgiver ønsker å gjøre?	17
5.3	Hvilken kvalitet og nøyaktighet trengs for beregning av slitasjekostnader til de bruksområdene oppdragsgiver har uttrykt ønsker om å dekke?	18
6	Litteraturliste	19



1 Introduksjon

Dette dokumentet er en besvarelse på den ønskede rimelighetsvurderingen av slitasjekostnadene som er anvendt på jernbane. Disse kostnadene er uttrykt som enhetskostnader i kr/tonnkm, og generalisert opp til tog.

Slitasjekostnaden er ment å skulle dekke slitasjekostnad ved fremføring av *ytterligere* ett tog, altså som en marginalkostnad som beskriver den addisjonale slitasjen på infrastrukturen ved fremføring av ett ekstra tog i forhold til «normal produksjon».

Arbeidet som ligger til grunn for dette er oppsummert i TØI-rapport 1704/19 Eksterne kostnader ved transport i Norge (av Rødseth m.fl). Denne rapporten behandler eksterne kostnader i sum, mens den delen som vurderes i dette notatet er eksplisitt «Drift og vedlikeholdskostnader» omfattet i kapittel 13 (samme kilde). TØIs arbeid bygger på en «fornorsking» av en svensk regnemodell. Dette går vi nærmere inn på i kapittel 2. Kapittel 3 oppsummerer dagens eksplisitte internalisering av denne marginale kostnader, nettopp kjøreveisavgiften og forholdet mellom slitasjekostnad og kjøreveisavgift. Her vil vi også forsøke å kortfattet oppsummere arbeid med oppdatering av kjøreveisavgift fra 2022.

I kapittel 3, presenterer vi de relevante jernbanefaglige betraktningene som vi mener ligger til grunn for en fornuftig *rimelighetsvurdering* av resultatet fra en slik regneøvelse. Dette er bevisst frikoblet fra økonometrisk metode, men skal innbefatte de jernbanetekniske forholdene som en økonometrisk tilnærming må beskrive - og må leses som viktige kriterier for vurdering et resultat heller enn en *spesifikasjon* for en oppdatert regnemodell. Dette kapitlet representerer notatets ingeniørtekniske tilnærming.

Dette bygger opp til en oppsummerende rimelighetsvurdering (kapittel 0) som søker å besvare følgende spørsmål:

- Er det noe av det som er presentert i rapporten som synes å være tvilsomt eller åpenbart galt?
- Er de aktuelle kostnadsdataene i rapporten egnet som grunnlag for de samfunnsøkonomiske analyser som oppdragsgiver ønsker å gjøre?
- Hvilken kvalitet og nøyaktighet trengs for beregning av slitasjekostnader til de bruksområdene oppdragsgiver har uttrykt ønsker om å dekke?



2 Eksisterende modell og enhetskostnader

Dette kapittelet presenterer den økonometriske modellen som er benyttet i TØIs rapport 1704/19. Dette utgjør den sentrale modellen og resultatene som dette notatet rimelighetsvurderer. Vi presenterer først modellen og noe av forarbeidene kort, med en antagelse om at leseren har en grunnleggende forståelse for økonometri. Videre presenterer vi kort resultatet fra modellkjøring på norske data, samt en gjennomgang av de sentrale datagrunnlagene for modellen.

Dette arbeidet er en klassisk økonometrisk modell som søker å beskrive en marginal slitasjekostnad gjennom en elasticitetsmodell for vedlikeholdskostnader og data om trafikk. Modellen bygger på etablerte metoder som er beskrevet og demonstrert i to VTI-rapporter (hvis modell også er hovedelementet i TØIs modell), og EU-prosjektet CATRIN som beskriver en empirisk størrelsesorden ved elasticitet beregnet i flere europeiske land. Som et apropos, så er det verdt å merke seg at vi omtaler dette som «en modell», mens det i realiteten er en kombinasjon av 2+1 modeller:

- To modeller for vedlikeholdskostnader, hvor modell 2 er en begrenset utgave kjørt med fokus på norske variabler¹
- En modell for reinvesteringer

I forlengelsen vil disse bli omtalt som «en modell», selv om resultatene kommer fra separat kjøring med ulike parametere.

TØIs resultater viser en marginal slitasjekostnad (drift og vedlikehold) på 14-21 kroner per togkilometer (2019-kroner, spredning representerer de 6 geografiske områdene), og tilsvarende 16-75 kroner per togkilometer for reinvestering. Som med et vektet snitt gir *18,08 kr for drift og vedlikehold, og 32,74 kr for reinvesteringer* – eller en *total marginalkostnad på 50,82 kroner per togkilometer*.

Metoden som er benyttet baserer seg på to sentrale elementer:

- Gjennomsnittlig vedlikeholdskostnad for en beskrevet infrastruktur (lengde, objekter, osv), og
- En utledet kostnadselastisitet (% endring i kostnad ved % endring i trafikk)

Ved å multiplisere disse to, får man en kostnad som er marginal for trafikk. Den konkrete tilnærmingen (og modellen) som er benyttet er beskrevet i Odolinski og Nilsson (over referert til som VTI-rapporter). Disse beskriver både utforming, kvalitetssikring og resultater fra modellkjøring på svenske data. Kombinert med arbeidet i CATRIN, så gir dette en «referansebane» for kostnadselastisiteter basert på flere europeiske baneforvaltninger. Den norske utgaven av denne modellen er beskrevet i vedlegg til TØIs 1704/19. Som bemerket i både TØI 1704/19 (med referanse til arbeidet fra CATRIN) så er elasticitetene mellom land «relativt» stabile, selv om de faktiske kostnadene i de ulike landene spriker tildels stort.

Tilsvarende arbeid har også tidligere blitt utført på norske data, f.eks. behørig beskrevet både empirisk og metodologisk i Frischsenterets Rapport 2/2003 «Marginalkostnader i jernbanenettet» (Daljord, 2003), som oppsummerer en del av de sentrale metodiske avveininger og behovet for både en kostnadsfunksjon, marginalkostnad og skalaegenskapene til funksjonen. Deres konklusjoner rundt metode og diskusjon av ulemper er i det store sammenfallende med TØIs konklusjon. Det er også verdt å merke seg at det er også

¹ Modell 1 bygger på en Translog kostnadsfunksjon som er beregnet med svenske data, mens modell 2 er en relativt sett enklere Cobb-Douglas modell basert på variabler tilgjengelig fra norsk infrastruktur.



beregnet i bla. (Thune-Larsen og Lea, 1992), (Skarstad, 1994), (Eriksen og Hovi, TØI 1019/95) og (Eriksen, Markussen og Pütz, TØI 464/99).

2.1 Tilpasning av svenske modeller til norske forhold

Modellen som ligger til grunn for kostnadsfunksjonen er beskrevet i Odolinskis arbeider med svenske «drift- og underhållskostnader». Dette er oppsummert i vedlegg 5 i TØI 1704 (side 198-). Dette er en direkte oppsummering av Odolinski og Nilssons arbeider (CTS Working paper 2018:22 og 2018:24). Overgangen til norske forhold er omhandlet spesifikt i avsnitt 2.3 med en utledning om arbeidet med hvordan de norske elastisitetene og marginalkostnader beregnes som en kombinasjon av svenske elastisiteter, rekalkibrert med norske data om togtetthet/trafikk og hastigheter.

Hovedårsaken til dette grepet er oppgitt som at på tidspunktet hvor modellene ble kjørt, så var tilgangen på nøkkeltall om infrastrukturen (objekter, og beskaffenhets) betydelig dårligere enn i dag. I tillegg var kostnadstall begrenset, og derfor lander man også på en kombinasjon av svenske elastisiteter utledet fra svenske data – men kombinert med togtetthet og hastigheter fra norske baneforhold. Dette fremstår som et fornuftig grep, gitt mangel på data på tiden modellen ble kjørt.

2.2 Trafikkgrunnlaget

Som nevnt, så er de tre sentrale pilarene for denne metoden, vedlikeholdskostnader, et trafikkgrunnlag og en utledet kostnadselastisitet. I dette avsnittet har vi valgt å tittle nærmere på trafikkgrunnlaget. I rapporten er det benyttet togkilometer delt i 6 regioner (for de samme årene som kostnadstallene foreligger). Dette er igjen omregnet til togtetthet ved å dele på sporkilometer for hvert område (se Figur 1).

Tabell 13.2: Beskrivelse av den norske jernbanen - trafikk

År	Togkilometer, millioner				Togtetthet (Togkm/Sporkm)				Gjennomsnitt 2014–2016 og 2018
	2014	2015	2016	2018	2014	2015	2016	2018	
Område									
Midt	6,03	5,11	4,32	6,71	4171	3539	2993	4641	3836
Nord	2,22	2,27	2,26	2,73	2554	2608	2596	3139	2724
Oslokorridoren	19,29	21,38	20,28	20,36	53300	59060	56013	56251	56156
Sør	4,80	4,22	4,95	5,91	7941	6983	8174	9776	8219
Vest	4,42	4,15	4,33	3,78	8734	8211	8551	7464	8240
Øst	7,12	7,22	6,90	7,67	17945	18184	17379	19317	18206

Figur 1 Faksimile av Tabell 13.2 (TØI 1704/19)

Vi konstaterer (se Tabell 1, under) at det ser ut som at det er gjort en form for seleksjon av transportarbeid som går inn i modellen, som ligger noe lavere enn andre kilders total når man summerer de ulike områdene. Dette vil ha en viss innflytelse på marginalkostnadene, fordi gjennomsnittlig vedlikeholdskostnad gjøres gjeldende for det totale transportarbeidet. Vi har ikke gravd noe nærmere i hvorfor det er til tider betydelig lavere togkilometer, det er ikke nærmere angitt hvilke definisjoner som ligger til grunn for målet på togkilometer i TØI 1704/19, eller hva kilden er.

Avviket gjelder selv om man holder transportarbeidet til arbeidsmaskiner utenfor. Vi har heller ikke gjort noen forsøk på å se om differansen er jevnt fordelt i de ulike områdene – men ser at totalene avviker.



Tabell 1 Oppstilling av togkilometer og sammenligning mot 13.2

År	Totalt antall millioner togkilometer (eksl arbeidsmaskiner)	Summen av 13.2	Differanse %
2014	46,47	43,88	-5,6%
2015	48,79	44,35	-9,1%
2016	47,20	43,04	-8,8%
2018	47,28	47,16	-0,3%

*Togkilometer er ikke en statistikk som benyttes ofte, så tallene for sammenligning (kolonne 2) er hentet fra Sikkerhetsrapport 2018, Statens jernbanetilsyn. Tallene er benyttet direkte uten hensyn på opphav, i kilderapporten så er de delt ut på Godstog, Persontog og Arbeidsmaskiner. Arbeidsmaskiner utgjør 3 millioner togkilometer $\pm 0,1$ i 2014-2016, med en økning til 3,5 millioner i 2018. Godstog utgjør $7,8 \pm 0,3$ millioner togkilometer per år.

2.3 Elastisiteter

Tabell 13.3: Utvalgte kostnadselastisiteter for drift og vedlikeholdskostnader og reinvesteringer

Område	Daglig drift og vedlikehold		Reinvesteringer
	Modell 1	Modell 2a	
Midt	0,1630	0,1790	0,5162
Nord	0,1178	0,1501	0,4725
Oslokorridoren	0,5181	0,4956	0,4659
Sør	0,2638	0,2560	0,5579
Vest	0,2642	0,2542	0,5670
Øst	0,3690	0,3526	0,5311

^aBasert på elastisiteter som er korrigert med faktoren 1.4633 (se Appendikset)

Figur 2 Faksimile av tabell 13.3²

Elastisitetene fra modellene holdes opp mot følgende tabell fra CATRIN, som angir «anbefalte» elastisiteter gitt en trafikk tetthet. Det er også et ledd i kvalitetssikringen av den originale modellen. Disse anbefalingene er basert på en gjennomgang av tall fra 6 europeiske baneforvaltninger, beregnet grovt sett over samme metode og må forstås mer som «erfaringstall» enn noen gullstandard. Datagrunnlaget ligger som vedlegg i CATRIN-rapporten. Selv om det er erfaringstall, så er resultatene forholdsvis konsistente mellom land og baneforvaltninger.

Table 1.1 Recommended usage elasticities by traffic density

Traffic density classification	Low	Medium	High
Traffic density range (tonne-km / track-km per annum)	< 3,000,000	3,000,000-10,000,000	> 10,000,000
Recommended Usage Elasticity	0.2	0.3	0.45

Figur 3 Anbefalte elastisitetsverdier fra CATRIN

² Korrigeringsfaktoren på 1.4633 er en korrigeringsfaktor for omitted variable bias, beregnet på forholdstallet mellom «jæmvæktselastisiteten» mellom modell 1 og 2. Dette er nærmere metodisk begrunnet i avsnitt 3 i (Odolinski, CTS 2018:24) og beregningen finnes i TØI 1704/19, side 209.



Det er verdt å merke seg at CATRIN oppgir anbefalingene for tonnkm/sporkm, mens TØIs tabell 13.2 oppgir togkm/sporkm. Enkelt korrigerert så kan man skalere tallene i tabell 13.2 med en faktor >100 (NSB Type 69 og type 92 veier over 100 tonn, et NSB74 enkeltsett veier 237 tonn, opptil godkjente vekter for godstog i størrelsesorden 700-900 tonn). Hvis man benytter et enkelt 74-sett som et regneeksempel så vil togtetthet for gjennomsnitt 2014-16 og 2018 se slik ut:

Tabell 2 Vår omregning fra Togettetthet til Tonnkm/Sporkmog sammenligning med anbefaling

Område	Togkm/Sporkm	Tonnkm/Sporkm (med 237 tonns «standardtog»)	Modell 2a (fra 13.3)	Anbefalt elastisitet (1.1)
Midt	3836	909 132	0,1790	0,2
Nord	2724	645 588	0,1501	0,2
Oslokorridoren	56 156	13 308 972	0,4956	0,45
Sør	8219	1 947 903	0,2560	0,2
Vest	8240	2 694 480	0,2542	0,2
Øst	18 206	4 314 822	0,3526	0,3

Etter vår mening samsvarer elastisitetene for daglig drift og vedlikeholdsmodellen godt med anbefalingene. Et gjennomsnitt for et tog vil nok være en bruttovekt noe over et enkeltsett, og selv med en dobling i gjennomsnitt så vil anbefalt elastisitet holde seg innenfor $\pm 0,05$ fra modell 2a.

Reinvesteringskostnader spesifikt

For reinvesteringskostnader, eksisterer det ikke et like godt sammenligningsgrunnlag som marginale vedlikeholdskostnader. CATRIN omtaler noen arbeider på «renewals», som må sies å tilsvare reinvestering, men her spriker det med en størrelsesorden mellom de ulike landene. De norske verdiene fra TØIs modell, kan sies å ligge i dette relativt store spennet. BaneNOR (og tidl. Jernbaneverket) skilte mellom fornyelse, strategisk fornyelse, mindre fornyelse og vedlikeholdsarbeid. Det er noe utydelig hvilke som inngår i kostnadstallene, selv om kategoriseringen mellom de ulike typene fornyelse kanskje primært handler om budsjettmessige forhold mer enn arbeidsnatur.



2.4 Marginale kostnader

Summen av dette arbeidet blir da til tallene fra modell 1 og 2 i tabell 13.5.

Tabell 13.5: Gjennomsnittlige (Gj. kost) og marginale (M. kost) kostnader per togkilometer. 2019 NOK

	Drift og vedlikehold			Reinvestering	
	Gj. kost	Modell 1	Modell 2	Gj. kost	M. kost
		M. kost	M. kost		
Midt	84,7	13,8	15,2	92,4	47,7
Nord	141,9	16,7	21,3	158,0	74,7
Oslokorridoren	39,0	20,2	19,3	34,1	15,9
Sør	65,0	17,2	16,6	70,0	39,1
Vest	72,3	19,1	18,4	105,7	59,9
Øst	46,8	17,3	16,5	65,5	34,8

Det viser en marginal kostnad på 15-21 kroner per togkilometer (2019). Det siste grepet som gjøres i tabellen, i et forsøk på å generalisere det tilbake til *ett* tog er å benytte et gjennomsnittlig tog med totalvekt på 861 tonn (!)³ slik at man oppnår en kostnad per bruttotonnkilometer som vist i tabell 13.6 under:

Tabell 13.6: Marginale (M. kost) kostnader per bruttotonnkilometer. 2019 NOK.

	Drift og vedlikehold		Reinvestering
	Modell 1	Modell 2	M. kost
	M. kost	M. kost	
Midt	0,02	0,02	0,06
Nord	0,02	0,02	0,09
Oslokorridoren	0,02	0,02	0,02
Sør	0,02	0,02	0,05
Vest	0,02	0,02	0,07
Øst	0,02	0,02	0,04

Kostnadene virker fornuftige og i tråd med andre sammenlignbare land, mens reinvesteringskostnadene nok virker sprikende, og forskjellene mellom regionene ikke nødvendigvis direkte åpenbare. Reinvesteringskostnadene er dog også de som vil sterkest påvirkes av den korte tidsserien.

³ Et ordinært godstog vil ha variabel bruttotonnasje etter hvor i landet det reiser, men f.eks. tall for Bergensbanen vil være i omfanget 700-900 tonn. En god tommelfingerregel er omtrent 2 tonn per meter tog, lastet. Motorvognsett benyttet i Norge har enklere tall, noen typiske tall vil være NSB74: 237t fullt lastet, NSB69: ca 155t (avhengig av serie).



Det andre åpenbare å påpeke er at generaliseringen til bruttotonnkilometer med et gjennomsnittlig tog, belager seg på en bruttotonnasje per tog som på overflaten kan sies å være høy. Et forsøk på å jevne det ut vil være å basere seg på et vektet snitt for gjennomsnittlig tog.

Som et regneeksempel; Hvis man benytter 900 bruttotonn for godstog og 250 bruttotonn (ca 1,2 ganger Type 74) som tonnasje, og en fordeling fra samme kilde som brukt i avsnitt 2.2, så gir det et forholdstall på 5,1:1 for hele nettet (balansen vil være ulik i nettverket, som vi ser under). Hvis vi benytter disse som vektter, så vil et vektet snitt for et generalisert tog veie 356 tonn. Hvis vi så benytter dette nye generaliserte tallet for å komme frem til en *justert* marginal kostnad for bruttotonnkilometer for dette betydelig lettere generelle toget så gir det en «oppdatert» tabell 13.6 som vist under.

Når trafikkgrunnet foreligger for all togproduksjon, så synes vi det er et litt ekstremt grep å generalisere det tilbake til de aller tyngste togene når det regnes til slitasjekostnad. Dette er jo også avhengig av type analyse som gjøres, hvis man regner på å flytte gods fra vei til *nytt* togtilbud så gir det mening å operere med noe som er representativt for et fullastet godstog.

Tabell 3 Oppdaterte marginalkostnader med vektet snitt for vekt på generalisert tog (Marginale kostnader per bruttotonnkilometer, 2019 NOK).

	Drift og vedlikehold		Reinvestering
	Modell 1 M. kost	Modell 2 M. kost	M. kost
Midt	0,04	0,04	0,13
Nord	0,05	0,06	0,21
Oslokorridoren	0,06	0,05	0,04
Sør	0,05	0,05	0,11
Vest	0,05	0,05	0,17
Øst	0,05	0,05	0,10



3 Jernbanetekniske betraktninger

I dette kapitlet vil vi presentere en del jernbanetekniske vurderinger som bør ligge til grunn når man skal rimelighetsvurdere resultatet de marginale drift- og vedlikeholdskostnadene for jernbane med utgangspunkt i det arbeidet som transportvirksomhetene gjennomførte og som er dokumentert i TØI-rapport 1704/2019 [1].

De marginale kostnader på jernbanen regnes som produktet av i) gjennomsnittlige kostnader (eks. vedlikeholdskostnader per togkilometer) og ii) en kostnadselastisitet (eks. prosentvis endring i vedlikeholdskostnader ved en prosents endring i togtkilometer).

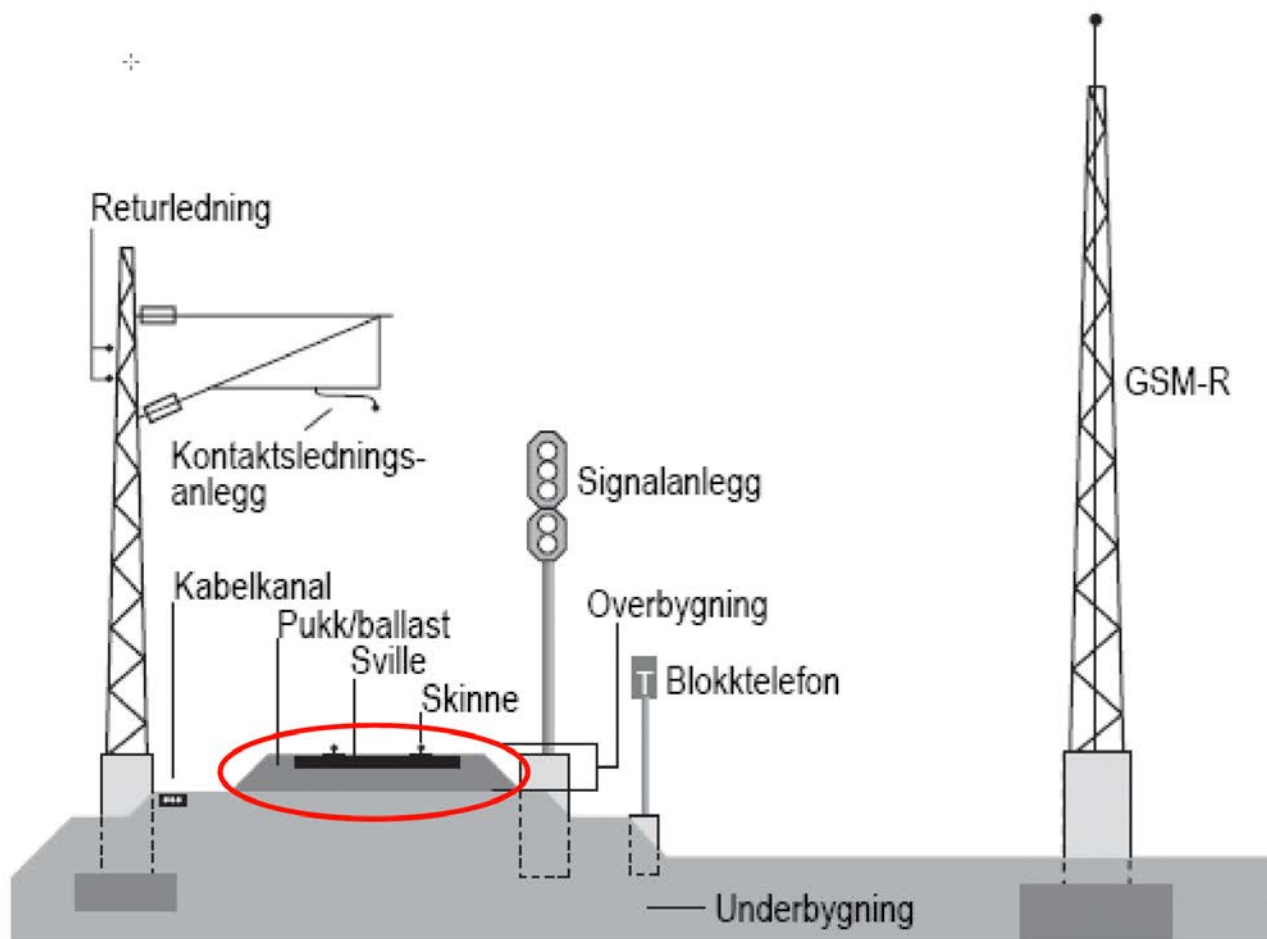
I TØI-rapporten har man i beregningene av de marginale kostnader tatt utgangspunkt i en omfattende studie innenfor EU-prosjektet CATRIN hvor det er vist at kostnadselastisitetene viser seg å være relativt sammenlignbare mellom landene som er omfattet av studien. Imidlertid viser samme studie at det er store forskjeller i gjennomsnittlige vedlikeholdskostnader mellom land.

3.1 Slitasjemekanismer på jernbanen

Sammenlignet med veg så er kjørebane for det rullende materiell/ togene dvs. jernbanen, mer kompleks. Den tradisjonelle jernbanen er vanligvis bygget opp med en underbygning og en overbygning. Sporkonstruksjonen og dens ulike komponenter skal ta opp både vertikale (egenlast fra rullende materiell og last) og horisontale belastninger under fremføring av tog. De horisontale belastningene virker både på tvers av sporet samt i sporets kjøreretning (traksjons- og bremsekrefter). Dynamiske tilleggsbelastninger definerer de bevegelser og tilleggskrefter som det rullende materiell utøver på grunn av hjulskader (urunde hjul og slaghjul), sporfeil, endring av opprinnelig sporgeometri, endring av hastighet og friksjon i sporet. Selvgenererende bevegelser som f.eks. sinusforløp og ustabil løp inngår i begrepene. De dynamiske tilleggsbelastningene opptrer både vertikal og horisontalt. De dynamiske tilleggene kan ofte bli svært høye og bidra til økt nedbrytning av jernbaneinfrastrukturen.

I utgangspunktet er det ikke stor forskjell mellom veg og bane når det gjelder underbygningen. Underbygningen danner underlaget for overbygningen og har som overordnet oppgave å være et bæredyktig og jevnt elastisk fundament. Størst forskjell er det på overbygningen. Vegens overbygning består noe forenklet at et slitelag (asfalt), mens jernbanens overbygning er bygget opp av ballastlag, sviller, skinnebefestigelser og jernbaneskinner, se Figur 4. Overbygningen skal ivareta samspillet mellom toget og sporet. Toget med sine faste aksler har hjul med koning som vugger sideveis for å utligne den differanse som hjulet i innerstreng og ytterstreng må tilbakelegge. Et korrekt justert spor gir toget en behagelig huskende bevegelse over rettstrekninger og kurver. Man kan si at sporets overbygning og det rullende materiell er en symbiose hvor det i et slitasjehenseende er viktig at både tog (hjul) og sporkonstruksjonen er i en akseptabel forfatning.

Et dårlig spor vil medføre økt slitasje på det rullende materiell, og vice versa. Samspillet mellom hjul og skinner har stor betydning for slitasje for både togtjul og sporkonstruksjon. Bane NOR har sammen med Trafikverket og LKAB studert forholdet mellom hjul og skinner for å finne en mest mulig optimal profil på begge. Dette arbeidet har bidratt til å forlenge levetiden til hjul og skinner. På de mest utsatte delene av Ofotbanen har man økt levetiden til skinnene betraktelig. Dette arbeidet har også hatt positive effekter på banevedlikeholdet, samt bidratt til å øke levetiden til øvrige komponenter i sporkonstruksjonen.



Figur 4 Jernbanens ulike hovedelementer

Slitasje på jernbaneinfrastruktur er svært sammensatt og avhenger bl.a. av en rekke forhold som for eksempel aksellast, togvekt (vekt av lokomotiv og vogner + vekt av lasten), årlig transportert tonnasje, fremføringshastighet, material i hjul/ skinner, dimensjoner og hjul-/ skinneprofil, gangdynamikk (boggi type og karakteristikk), kvalitet og frekvens på sporarbeider (enkelte typer sporarbeider kan en utilsiktet effekt at nedbrytningen av enkelte sporkomponenter øker), sporkonstruksjon (elastisitet), kurvatur, togtype, klimatiske forhold/ alder samt samvirkeeffekter der flere overnevnte årsaker virker sammen.

I tillegg spiller også utformingen av jernbaneinfrastrukturen, dvs. hvordan banen er bygget og hvilke komponenter den består av, en sentral rolle. Sporavsnitt med en krevende linjeføring, med mange kurvaturer, tunneler, broer og sporveksler vil både kunne påvirke nedbrytningen av jernbaneinfrastrukturen, og innebære at de ulike bestanddelene i sporkonstruksjonen gjør at vedlikeholdsoperasjonene blir mer krevende. Eksempelvis er sporveksler er en av jernbanens mest vedlikeholdskrevende komponenter.



Ofofbanen skiller seg ut fra øvrige baner i Norge ved at banen er dominert av tunge malmtog som transporterer malmprodukter fra Nord-Sverige til utskipningsanlegg i Narvik. I tillegg er banen bygget i et utfordrende terreng som innebærer at mer enn 50 % av banen består av kurver med radier mindre enn 500 meter. Til tross for at over 67 % av alt gods i Norge (målt i årlig tonnasje) transporteres her, utgjør banen kun 1 % av det norske jernbanenettet. Malmtogene som kjører på Ofofbanen, er de tyngste togene som trafikkerer på den norske jernbanen. Et fullastet malmtog har en samlet vekt på 8500 tonn tilhørende aksellaster på 30 tonn. Kapasiteten til Ofofbanen har opp gjennom årene blitt økt gjennom å kjøre tog med høyere aksellast. Denne aksellastøkningen har i stor grad foregått uten at jernbaneinfrastrukturen har blitt oppgradert og tilpasset togmateriellet som trafikkerer banen. Eksempelvis finner man komponenter på banen som er utviklet for 22,5 tonn aksellast, herunder vedlikeholdskrevende materiell som for eksempel sporveksler, jernbaneskinner og befestigelseskomponenter. En konsekvens av dette er at nedbrytningen av jernbaneinfrastrukturen er stor og at banen dermed krever stort vedlikehold. Det vites ikke hvorvidt dette er hensyntatt i beregningene av marginale slitasjekostnader TØI/VTI-rapporten. Dette vil etter vår vurdering kunne gi uheldige utslag i beregning av marginalkostnadene for Ofofbanen.

3.2 Ingeniørteknisk betraktning av «hvem sliter mest?»

Det er stor variasjon hvordan de ulike togtypene sliter på baneinfrastrukturen. I CATRIN er det gjort en diskusjon på differensiering av kjøreveisavgift på ulike togtyper (Kap. 1.4.3). Man henviser her til at forskningsresultater har demonstrert at det er store forskjeller mellom skader på infrastrukturen for enkelte togtyper per bruttotonkilometer. Tester utført i ORE-prosjektet understøtter dette resonnetet (Coenraad Esveld).

De fleste aktører er enige om at «de som sliter mest, skal betale mest», og man søker i beregninger typisk å differensiere ut ifra følgende variabler:

- Persontog/ godstog
- Aksellast
- Hastighet

Fra et jernbaneperspektiv vil det heller ikke være urimelig at “de som sliter mest betaler mest”, jfr. Bane NORs ønsker. I tillegg til at Bane NOR (myndighetene) vil kunne stille krav om at togoperatørene anvender et togmateriellet som er skånsomt mot jernbanen, vil det også kunne være et incentiv for togselskapene å anvende togmateriellet som sliter mindre på jernbanen. **Men**, eksempelvis vet man at et rullende materiell som gangdynamikk spiller *en betydelig rolle for slitasjen* på jernbaneinfrastrukturen. En boggi med gode løpeegenskaper gir en mykere fremføring og vil være snillere med sporkonstruksjonen og dermed kunne bidra til mindre slitasje på togmateriellet og jernbaneinfrastruktur. En togoperatør med et materiell som sliter mindre på banen bør etter vår mening derfor premieres med differensierte kjøreveisavgifter.

Et regime som innebærer at slitasjekostnadene baseres på aksellast vil etter vår mening ikke være rimelig. En jernbane for tungtransport vil ikke kunne bygges på samme måte som en bane som er dominert av passasjertog med inntil 22,5 tonn aksellast⁴. Et spor for 30t aksellast vil naturlig nok være mer kostbart å bygge, gitt “tyngre” og mer robuste komponenter, men dette er dog primært et investeringssspørsmål. De marginale slitasjekostnadene for en korrekt bygget bane for 30 tonn aksellast skulle i så måte ikke bli vesentlig større enn for en bane bygget for 22,5 tonn aksellast som trafikkeres av passasjertog, forutsatt at

⁴ Type 74/75, har en aksellast på ca 18,8t. Lokomotivet EL18 22,145t, mens B5/7 vogner er i omfanget 10-12t.



SINTEF

begge baner trafikkeres med tog med god gangdynamikk. Dersom gangdynamikken til det rullende materiell ikke hensyntas i beregning av slitasjekostnad (og mer direkte i kjøreveisavgift) så finns det ingen incentiver for togoperatørene å investere i dyre boggikonstruksjoner, opprettholde et omfattende vedlikehold, smøring mellom hjul og skinner, etc.

Det bør også stilles krav til at jernbaneinfrastrukturen er i en best mulig forfatning. På samme måte som at et dårlig togmateriell er skadelig for kjørebanelen (jernbanen) vil også en dårlig vedlikeholdt jernbane bidra til økte slitasjekostnader på det rullende materiell, dette igjen vil påvirke infrastrukturen ytterligere negativt. Kort sagt, dårlig vedlikehold koster.

Etter at sporet er oppgradert så er normalt vedlikeholdskostnadene lave, for deretter å stige etter hvert som det blir slitt (dette vises også i CATRIN-rapporten). Videre avhenger de reelle marginalkostnadene av at riktig vedlikehold utføres til rett tid. Kostnadene som togoperatørene betaler, kan ikke bero på om sporet er nybygget eller gammelt og slitt.



4 Oppdatering av kjøreveisavgift og modellkjøring

Parallelt med herværende prosjekt jobber Bane NOR med oppdatering av underlaget for kjøreveisavgift. Dette arbeidet er regulert av forordning (EU) 2015/909, med kriterier for tillatte kostnader. Arbeidet skal lede frem til en konklusjon mot sommeren 2021 (for oppdatering for neste periode med kjøreveisavgift som tar til i 2023). Vi gjenforteller her kort noen av resultatene fra dette arbeidet, med alt forbehold om at dette er midlertidige resultater, og deres gjengivelse her hefter ikke ved noen.

Forordningen tillater flere tilnærminger til fastsettelse av de direkte kostnader ved fremføring av tog, heriblant økonometrisk metode. Dette er i ordlyden («direkte kostnader ved fremføring av tog») ikke det samme som en marginal slitasjekostnad, men sammenlignet med metoden benyttet av TØI/VTI så er fremgangsmåten lik. Det inkluderes noen kostnader som ikke åpenbart er en slitasjekostnad i infrastrukturperspektiv (avskrivninger, trafikkstyring og ruteplanlegging) – men som i perspektivet fremføring av et ekstra tog korrekt nok vil påløpe. Noen av kostnadene vil åpenbart ha terskler (et ekstra tog utløser ikke nødvendigvis ytterligere ressursbruk i ruteplanlegging – selv om det også må planlegges).

Det er foreløpig kjørt en dobbeltlog-modell, hvor man har inkludert omtrent samme infrastrukturvariabler som TØI/VTI, med tillegg av tillatt bruttotonnm, person/godstog, hastighet, aksellast tillatt, aksellast faktisk og overbygningsklasse. Tidsperioden er 2017-2020. Midlertidige kjøring indikerte ikke noe godt resultat for oppdeling person- og gods, mens en modell med bruttotonnm og faktisk aksellast (ikke tillatt) gir lovende resultater. Estimater for faktisk aksellast viser en elastisitet på 1,44% (mot kostnad, statistisk signifikant). Estimater for pris som en funksjon av togkm og bruttotonnasje, gir en pris på 14,72 kroner/togkm (for et 450 tonns tog), eller 26,16 kroner/togkm (for et 890 tonns tog). Dette tallet går rett inn i spredningstallet fra TØI (14-21 kroner/km, 2019-kroner). Det er vanskelig å vurdere om disse resultatene representerer et vesentlig avvik fra TØIs modell ettersom de ikke er direkte sammenlignbare, og trafikkgrunnet benyttet er mye mer presist enn hva som forelå i TØIs tall. Det er en indikasjon om at tallene fra TØI 1704/19 og prisberegningen (som må bemerkes har en annen hensikt) sammenfaller godt.

4.1 Andre tidligere resultater for sammenligning

Vi har gjort noen enkle forsøk på å sammenligne med andre tidligere norske beregninger (oppgitt basisår):

1990: 0,031 kr / bruttotonnm (TØI 1019/95):	0,058 kr/bruttotonnm (2020-kroner ⁵)
1993: 0,033 kr / bruttotonnm (TØI 1019/95):	0,057 kr/bruttotonnm (2020-kroner)
1999: 0,031 kr / bruttotonnm (TØI 464/99):	0,047 kr/bruttotonnm (2020-kroner)
2004: 0,092 kr / bruttotonnm (Daljord):	0,127 kr/bruttotonnm (2020-kroner)
2014: 0,089 kr / bruttotonnm (Siedler/Voss):	0,102 kr/bruttotonnm (2020-kroner)
2019: 0,030 kr / bruttotonnm (TØI 1704/19):	0,030 kr/bruttotonnm (2020-kroner)
2021: (Bane NOR)	0,033 kr/bruttotonnm ⁶ (2020-kroner)

Som vi ser så er de kostnadene som både TØI⁷ og Bane NOR har kommet frem til, hver for seg, lave i forhold til historiske resultater. TØIs tall på 18,08 kr/togkm er da omregnet til 0,03 kr/bruttotonnm. Hvis man også inkluderer reinvestering så vil TØIs estimat på 50,82 kroner per togkilometer representere noe som er omregnbart til 0,11 kr/bruttotonnm (hvis man legger til grunn 50,82 kroner / 450 bruttotonn) – altså mer midt i resultatene.

⁵ For enkelthet er det benyttet KPI og ikke sektorspesifikk indeks.

⁶ Omregnet fra en sats for togkm og bruttotonnasje.

⁷ Hvis man holder reinvestering unna, altså betrakter kun til de 18,08 kroner per togkm, og uten reinvestering.



5 Rimelighetsvurdering

I dette kapitlet vil vi søke å svare ut de tre overordnede problemstillingene som gitt i introduksjonen:

- 1 Er det noe av det som er presentert i rapporten som synes å være tvilsomt eller åpenbart galt?
- 2 Er de aktuelle kostnadsdataene i rapporten egnet som grunnlag for de samfunnsøkonomiske analyser som oppdragsgiver ønsker å gjøre?
- 3 Hvilken kvalitet og nøyaktighet trengs for beregning av slitasjekostnader til de bruksområdene oppdragsgiver har uttrykt ønsker om å dekke?

5.1 Er det noe av det som er presentert i rapporten som synes å være tvilsomt eller åpenbart galt?

I hovedtrekk så er det TØI har gjort metodisk solid og fornuftig. Både i valg av metode og med det gitte datagrunnlag så er resultatet en konsekvens av et pragmatisk arbeid på et oppriktig vanskelig problem. Metodevalget er helt tradisjonelt i feltet, og elastisitetene som er fremkommet er i tråd med det som er «fornuftig» når en sammenligner med andre infrastrukturforvaltere i CATRIN-arbeidet. Det er nærliggende å tro at det ikke er enorme forskjeller mellom slitasje i Norge og Sverige slik at utledningen en svensk modell med tilpasning til norske data er et metodisk fornuftig grep da norske data av tilstrekkelig kvalitet ikke forelå.

Det er to relaterte problemstillinger som vi mener gir redusert pålitelighet ved modellkjøringen, og kanskje spesielt for behandling av reinvesteringskostnader. Datagrunnlaget er et *meget* begrenset utvalg år (4 år, 2014-2016 og 2018). Vi har ikke hatt innsyn til å vurdere den jobben som er gjort med allokering av kostnader, men helt generelt så mener vi dette er en veldig kort tidsperiode. Kostnadsbasen er både noe ugjennomsiktig og høyst sannsynlig forholdsvis sensitiv for den relativt korte tidsperioden som er benyttet. Til sammenligning benyttet de svenske arbeidene en periode som på 18 år (1999-2016).

I en så kort tidsperiode som 4 år så blir modellen også ekstra sårbar

- For den iboende antagelsen om likevekt i kostnader (altså at vedlikeholdsetterslepet er konstant i perioden).
Et estimat sier at økningen i etterslep fra 2017-2018 utgjorde omtrent 1 milliard kroner – sett mot et vedlikeholdsbudsjett på 2,9 milliarder så utgjør det en betydelig andel av slitasjen som da ikke er fanget i kostnadsbildet. Dette antas også å dukke opp som reinvesteringer på et senere tidspunkt heller enn løpende drift.
- For at det blir et tilfeldig (muligens fordreid) bilde av reinvesteringskostnader
En tidsperiode på 4 år, vil kun unntaksvis, fange større vedlikehold/reinvesteringer i komponenter med lang levetid (skinner, sviller, m.m.) som har levetid \gg 4 år på en representativ måte.

Når man holder fast ved metodevalget, så virker resultatene gitt datagrunnlaget fornuftig, kanskje i sær for de løpende driftskostnadene – mens det hefter mye større variasjon i resultatene for reinvesteringer. Marginalkostnad per togkilometer for drift og vedlikeholdskostnader har et vektet gjennomsnitt på 18,08 kr/togkilometer (2019 kroner) \pm 3,22 kr (for å omhulle den absolutte variasjonen). Reinvesteringskostnader på 32,74 kr/togkilometer (2019 kroner) med en spredning på \pm 41,94 kroner mellom de ulike baneområdene uten nærmere forklaring synes veldig høyt.



Usikkerhet rundt datagrunnlaget

Som nevnt så er datagrunnlaget en veldig kort tidsserie. Paradoksalt påpekes det også i Daljord (2002) at tidsserien er kort, og at (datidens) Jernbaneverket burde jobbe systematisk for å bygge opp en tidsserie (og at forutsetningene for det er gode). Den svenske modellen er bygget over en periode på 18 år, som fremstår mye nærmere å fange et reelt vedlikeholdsbehov som inneholder en større andel av større revisjon og vedlikeholdsarbeid (som f.eks. skinnebytte, bytte av pukk, revisjon av sporveksel).

Det er mange «gode grunner» til at et lengre datasett ikke finnes. Verken den geografiske inndelingen, regnskapspraksis, og organisasjonsformen til infrastrukturforvalteren har holdt seg stabilt over tiden. Dette gjør at det er en krevende øvelse å utvide datasettet bakover.

Vekten på det generaliserte toget

En mer konkret detalj er at TØIs rapport presenterer en generalisert kroner/bruttotonnkm som er basert på et generalisert tog som for mange baneområder fremstår som langt unna det generelle. Dette er dog en enkel faktorkorreksjon, og et eksempel på det er vist i Tabell 3 (på side 10).

En annen løsning på dette er å benytte togkilometer, eller en omregningsfaktor mellom togkilometer og *transportarbeid* – som kanskje er det de fleste analyser egentlig beregner.

5.2 Er de aktuelle kostnadsdataene i rapporten egnet som grunnlag for de samfunnsøkonomiske analyser som oppdragsgiver ønsker å gjøre?

Gjennom diskusjoner med interessentene så er behovet for grunnlagstall knyttet til litt ulike behov, på ulike nivåer:

- Fra et tilnærmet operasjonelt behov hos en infrastrukturforvalter for å gjøre betraktninger av om vedlikeholdsnivåene er korrekt for de ulike strekninger. Til det mener vi kategorisk dette er en uhensiktsmessig metode for å beregne vedlikeholdsnivåer.
- På et mer strategisk plan, som inngangsverdi i nyttekostnadsverktøy (spesifikt SAGA), så er metoden for å komme frem til en marginal slitasjekostnad hensiktsmessig. Enhetskostnadene kan i utgangspunktet også benyttes «direkte», *men* det er metodisk praktiske utfordringer rundt håndtering av reinvesteringskostnader som man bør rydde opp i – eventuelt velge å bruke *kun* drift- og vedlikeholdskostnader (også for å unngå at reinvestering dekkes inn av SAGAs egen reinvesteringsfaktor).

Kostnadstallene som ligger til grunn for TØIs arbeid, er nok blant de beste som eksisterer for perioden. Som en generell metodekommentar, heller enn en målrettet kritikk av TØIs arbeider så er en tidsserie på 4 år veldig kort for å fange de kostnadene som ikke dekkes i årlig vedlikehold (og havner i reinvestering). I vår mening vil et målrettet arbeid med å utvide tidsserien fremover (primært) være av høy nytte for å oppnå mer pålitelige tall. Antageligvis også mye mer effektivt for å øke modellens pålitelighet enn en direkte justering av modellen parametere.

I vår oppfatning blir det i arbeidet med oppdatering av kjøreveisavgift gjennomført en solid gjennomgang av kostnadsgrunnlaget. Vi mener at dette arbeidet (og ikke minst metodikken) bør tas vare på og benyttes i



fremtidige beregninger slik at man kan systematisk bygge opp en lengre tidsserie. Gitt kravene i EU-forordningen om tillatte kostnader vil dette arbeidet også ha en *tydeligere* definisjon av hvilke kostnader som går inn i drift og vedlikehold enn hva tidligere arbeider har hatt – uten at det nødvendigvis blir sammenlignbart med tidligere tall.

5.3 Hvilken kvalitet og nøyaktighet trengs for beregning av slitasjekostnader til de bruksområdene oppdragsgiver har uttrykt ønsker om å dekke?

I vår mening representerer metoden dette helt fornuftig. Vi mener også at hovedgevinsten vil ligge i å jobbe med kostnad- og trafikk tallene heller enn at modellen bør bygges om radikalt. For oss fremstår det som en kvalitet ved beregningen at man kan lande på et gjennomsnittlig korrekt tall med få parametere heller enn en høyt parametrisert slitasjekostnad med enda mer begrensede data til grunn for beregningen. Behovet er sånn sett kanskje tilfredsstillende dekket hvis man lander på en måte å bryte kostnadene ned i ulike transportarbeid (passasjer mot gods, og eventuelt gods videre nedover). Dette tror vi kanskje like godt gjøres via forholdstall på slitasjekostnaden som en utvidet modell.

Det har vært uttrykt klare ønsker om utvidelser i retning nedbryting på akselvekt og togtyper. Rent modellteknisk er det fullt mulig, og datagrunnlaget er også tilgjengelig for de senere år (og kan formodentlig generaliseres bakover i tid). Det er likevel utfordrende i forhold til bruken av slike tall, da man må gjøre en antagelse (likt hva TØI har gjort om vekten på «det generelle toget») om hva den generelle akselvekta vil være (og hvor mange akslinger – som indirekte er *hva totalvekten* på det generelle toget er).

Utfordringen i oppdelingen er at det rullende materiellets vedlikehold ikke fanges i modellen, og det som er enkelt å fange - akkurat hvilken type tog hjulet sitter på – ikke åpenbart driver slitasje. Dette støttes også i CATRIN: *“We do not provide elasticities by passenger and freight traffic since we have no clear evidence that passenger traffic is more or less damaging per gross tonne-km than freight traffic. The engineering study found that passenger did slightly more damage than freight and this was supported by the econometric studies, however there was little consensus in relative magnitudes of the marginal cost for the two traffic types with some of the econometric results looking unrealistic.”* (side 62).

Odolinski (2018) viser også at i samtlige modellkjøringer har bruttotonnasje en svakere koeffisient mot vedlikeholdskostnad enn antall tog (også svakere enn autoregresjonen mot vedlikeholdskostnad_{t-1}). Andersson (2009) sår også tvil om økonometrisk metode klarer å fange denne antatte økte slitasjen fra godstog: *«A challenging result is that the mean cost elasticity with respect to passenger traffic volumes is more than three times higher than the equivalent elasticity for freight. The confidence intervals are not overlapping, indicating a significant difference at the 5 percent level. In other words, passenger trains seem to drive maintenance costs more than freight trains, which is not in accordance with conventional wisdom among track engineers. Ceteris paribus, a freight train is considered to do more damage to the track than a passenger train (Öberg et al., 2007).»* (CATRIN vedlegg, side 75).

Tilsvarende resulater på fornyelseskostnader, fra Ecoplan (på sveitsiske data, vedlegg til CATRIN-rapporten) sier: *«However, we do not see the same picture for renewals: Marginal costs for passenger transport are three times the costs for freight transport. This shows that renewal costs are less weight-dependent than maintenance costs. We conclude that renewals depend more heavily on other factors such as e.g. traffic density.»* (side 86).



6 Litteraturliste

Dette utgjør de sentrale kildene som ligger til grunn for dette arbeidet.

Andersson, M., 2008. Marginal railway infrastructure costs in a dynamic context. EJTIR, 8, 268-286.

Coenraad Esveld: Modern Railway track, Second edition.

Daljord, Ø. Marginalkostnader i jernbanenettet. Rapport 2/2003. Stiftelsen Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning. 2003

Nilsson, J-E., Odolinski, K., 2018. Marginalkostnader för reinvesteringar i järnvägsanläggningar: En delrapport inom SAMKOST 3. CTS Working paper 2018:22, Centre for Transport Studies: Stockholm.

Odolinski, K., 2018. Marginalkostnader för järnvägsunderhåll: Trafikens påverkan på olika anläggningar. CTS Working paper 2018:24, Centre for Transport Studies: Stockholm.

Odolinski, K., Nilsson, J-E. 2017. Estimating the marginal maintenance cost of rail infrastructure usage in Sweden; does more data make a difference? Economics of Transportation, 10, 8- 17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2017.05.001>

Odolinski, K., Wheat, P. 2018. Dynamics in rail infrastructure provision: Maintenance and renewal costs in Sweden, Economics of Transportation, 14, 21-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecotra.2018.01.001>

Odolinski, K., Boysen, H.E., 2019. Railway line capacity utilization and its impact on maintenance costs. Journal of Rail Transport Planning & Management, 9, 22-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2018.12.001>

Smith, A.S.J, Odolinski, K., Nia, S.H., Jönsson, P-A., Stichel, S., Iwnicki, S., Wheat P., 2016. Estimating the marginal cost of different vehicle types on rail infrastructure. CTS working paper 2016:26. Centre for Transport Studies: Stockholm.

Wheat, P., Smith, A.S.J., Nash, C., 2009. CATRIN (Cost Allocation of Transport Infrastructure cost). Deliverable 8 – Rail Cost Allocation for Europe. VTI, Stockholm.

Öberg, J., Andersson, E., Gunnarsson, J., 2007. Track Access Charging with Respect to Vehicle Characteristics, Second edition. Rapport LA-BAN 2007/31, Banverket.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no