

NOTAT

Samfunnsøkonomisk analyse av økt fartsgrense

Oppdragsgiver: Nye Veier AS
Oppdrag: E18 Dørdal – Grimstad. Kommunedelplan
Dokumenttype: Notat
Notatnummer: Dok-F-017
Beregnet til: Nye Veier AS
Utarbeidet av: Heidi Ulstein, Peter Aalen, Andre Uteng, Øyvind Lervik Nilsen, Sindre Levinsen og Jorun Gjære
Dato: 02.04.2019
Revisjon: 01

Endringshistorie

Revisjon	Detaljer
00	Første utgivelse av leveransen
01	Planforslag til høring

INNHold

1	Innledning.....	3
2	Transportmodellenes behandling av høye hastigheter	3
3	Endring i trafikantnytte.....	5
4	Kjøretøy- og drivstoffkostnader ved økt fartsgrense	6
	Kjøretøykostnader	6
	Drivstoffkostnader.....	7
	Økte kostnader forbundet med CO ² -utslipp.....	11
5	Ulykkeskostnader ved økt fartsgrense	12
6	Anleggskostnader.....	14
	Innføring av 120 km/t	14
	Innføring av 130 km/t	15
7	Forenklet samfunnsøkonomisk kost-/nytteberegning av økt fartsgrense.....	16
8	Vurdering av usikkerhet.....	17
9	Konklusjon	18
	Referanser	19

1 Innledning

I forbindelse med oppdraget E18 Kommunedelplan Dørdal – Grimstad har Rambøll og Asplan Viak i samarbeid med Menon gjennomført følsomhetsberegninger av effektene av innføring av økt fartsgrenser fra 110 til 130 km/t på korridorene som inngår i prosjektet E18 Kommunedelplan Dørdal – Grimstad.. Som en del av arbeidet med følsomhetsberegningene er de ulike nytte- og kostnadselementene som kan ha signifikant effekt på resultatet av økt fartsgrense gjennomgått og analysert. Etter en gjennomgang med de ulike fagfeltene har følsomhetsanalysen blitt redusert i omfang til å omhandle kostnadene tilknyttet konstruksjon, kjøretøykostnader, klimakostnader og ulykker, mens vi for nytten av fartsgrense-økningen har sett på de estimerte endringene i trafikantnyttens.

Dette notatet gir en gjennomgang av de ulike momentene som har inngår i analysen, forutsetningene som ligger til grunn for beregningene, og en gjennomgang av resultatene fra den samfunnsøkonomiske analysen.

2 Transportmodellens behandling av høye hastigheter

Et sentralt spørsmål man står ovenfor i analysen av effektene fra å øke fartsgrensen fra 110 km/t til 120 og 130 km/t, er hvorvidt den regionale transportmodellen (RTM) evner å estimere endringene i trafikantnyttens til trafikantene. Dette spørsmålet kommer opp ettersom RTM ikke beregner reisetidene med utgangspunkt i skiltet fartsgrense, men estimerer hastigheten med utgangspunkt i en rekke ulike forhold, heriblant skiltet fartsgrense, vertikal- og horisontalgeometri, samt volum og hastighetskurver på strekningene (Tørset 2013).

For analysen av innføring av 120 og 130 km/t representerer volum- og hastighetskurvene en kilde til usikkerhet angående den faktiske trafikantnyttens som oppnås ved å øke fartsgrensen på strekningene. Blant de sentrale svakhetene til fartsmodellen man står ovenfor i analysen er at den kun inneholder volum-/hastighetskurver for hastigheter opp til 90 km/t¹, hvor disse kurvene også benyttes for hastigheter over 90 km/t. Denne forenklete metodikken for beregning av volum- /hastighetskurver for hastigheter over 90 km/t kan i teorien resultere i en feilaktig modellering av sammenhengene mellom kjørehastighet, geometri og trafikkbelastning, og derigjennom føre til for høye/lave estimater av trafikantnyttens.

Det er i hovedsak to forhold som kan ha en direkte innvirkning på den estimerte trafikantnyttens fra hastighetsøkningen. Det første av disse er forholdet mellom skiltet fartsgrense og gjennomsnittshastigheten. Vil en økning av skiltet fartsgrensa fra 110 km/t til 120, eller 130 km/t medføre at gjennomsnittsfarten øker med henholdsvis 10 og 20 km/t, eller vil den reelle gjennomsnittsfarten (og dermed også trafikantnyttens) øke mindre enn økning i skiltet fartsgrense?

Det andre sentrale spørsmålet er relatert til sammenhengen mellom trafikkvolumet på strekningene, og gjennomsnittsfarten. Er det slik at endringene i gjennomsnittsfarten fra en endring i trafikkmengden er den samme ved 120 og 130 km/t som ved 90 km/t, eller avtar gjennomsnittsfarten raskere med en høyere skiltet fartsgrense?

¹ Det pågår et arbeid med ny modellversjon 4 i RTM som vil blant annet inneholder reviderte volum-/hastighetskurver. Denne modellen var ikke klar da E18 Dørdal-Grimstad prosjektet startet opp, og er fortsatt til dels på uttestingsnivå.

For å kunne besvare disse spørsmålene er det gjennomført et litteratursøk etter relevante studier og/eller data fra inn- og utlandet som kunne ligge til grunn for analysen. Litteratursøket fant svært få eksempler på studier og data for overganger fra 110 til 130 km/t, og den eneste reelle datakilden vi fant var en studie det Danske Veidirektoratet gjennomførte av veinettet som har fått økt fartsgrense i Danmark (se Vejdirektoratet 2008).

Den danske studien (gjennom bruk av GPS-målinger) at strekningene med fartsgrense på 130 km/t hadde en gjennomsnittshastighet for personbiler (i lavtrafikkperiodene) på omtrent 120 km/t (DTU 2019). Basert på disse resultatene har man i Danmark valgt å gå bort i fra å kode 130 km/t i transportmodellene sine, men heller benytte 120 km/t ettersom denne er mer representativ for den faktiske hastigheten på strekningene. Dersom man antar at de norske trafikantene er relativt lik de danske, innebærer dette at trafikantnytten av å innføre 130 km/t på strekningene kun skal være marginalt høyere enn nytten av å innføre 120 km/t. Det er med andre ord en risiko for at trafikantnytten beregnet med utgangspunkt i skiltet fartsgrense på 130 km/t er for høy i forhold til det som vil være faktisk adferd på strekningen.

Funnene fra den Danske undersøkelsen har også hatt innvirkning på måten man i Danmark modellerer sammenhengene mellom gjennomsnittshastigheten og trafikkvolumet. Ettersom GPS-målingene viser at 120 km/t er mer representativt for den reelle farten på strekningene som er skiltet 130 km/t, benytter de volum-/hastighetskurvene tilhørende 120 km/t også på strekningene med skiltet fartsgrense 130 km/t. For å få et innblikk i de faktiske kvantitative sammenhengene mellom trafikkvolumet og gjennomsnittsfarten har vi sammenliknet den Danske og Norske metoden i Tabell 2-1.

En av utfordringene ved å sammenlikne den Danske og Norske metodikken ligger i at den norske metodikken tar utgangspunkt i volum-/hastighetskurver i forhold til årsdøgntrafikk (ÅDT) mens den danske opererer med trafikk på timenivå. For å få på plass sammenlikningen har vi derfor omregnet de norske ÅDT-tallene til timestrafikk. Merk at det er mange usikkerheter knyttet til omregningen fra ÅDT til timestrafikk som gjør at man skal tolke tallene med en sunn grad av skepsis.

Tabell 2-1: Volum-/hastighetskurve for 120 km/t basert på norsk og dansk metodikk (ÅDT-tall er avrundet)

Knekkpunkt	0	1	2
ÅDT (kjt/døgn)	0	27 600	40 000
Hastighet norsk metodikk	120	120	67
Hastighet dansk metodikk	120	110 ²	99 ³

Tabell 2-1 viser utviklingen i estimert hastighet på en strekning for tre ulike knekkpunkter, «0» – representerer uhindret trafikk, «1» – representerer moderat trafikkmengde, og «2» – representerer trafikkmengden hvor trengselen av biler resulterer i redusert gjennomsnittsfart. Knekkpunktene representerer med andre ord trafikkmengden hvor trafikkavviklingen på en strekning går fra én kø- tilstand til en annen. Som tabellen viser, forekommer det første

² Estimert med utgangspunkt i formel fra DTU / Vejdirektoratet i Danmark

³ Estimert med utgangspunkt i formel fra DTU / Vejdirektoratet i Danmark

knekkpunktet når års- døgntrafikken passerer 27 600 kjøretøy, og det andre knekkpunktet forkommer når trafikken passerer 40 000 kjøretøy. Tabellen viser videre at det første knekkpunktet medfører kun en marginal nedgang i gjennomsnittsfarten (ingen endring i den norske tilnærmingen, og en nedgang i på 10 km/t i den danske). Det andre knekkpunktet gir en derimot en betydelig nedgang i den norske metodikken (fra 120 til 67 km/t), mens den danske metodikken gir en nedgang i gjennomsnittsfarten tilsvarende nedgangen fra det første knekkpunktet (10 km/t). Tabell 2-1 viser at den norske metodikken tilsier en relativt flat utvikling i gjennomsnittshastigheten med et påfølgende fall i hastigheten når trafikken passerer 40 000 kjøretøy, mens den danske metodikken indikerer en mer gradvis reduksjon i gjennomsnittshastigheten med den økende årsdøgntrafikken.

Fra tabellen kan man trekke frem to forhold av direkte betydning for analysen av effekten av innføring av skiltet fartsgrense tilsvarende 120 og 130 km/t. Den første består av det faktum at ettersom den danske modellen er basert på faktiske trafikkobservasjoner fra veistrekninger med skiltet fartsgrense på 130 km/t, mens den norske er basert på observasjoner hvor skiltet fartsgrense er 90 km/t, virker det fornuftig å ta utgangspunkt i den danske metodikken. Vi kan med andre ord anta at effekten av trafikkvolumet på gjennomsnittsfarten er relativt marginal på strekningen. Det andre forholdet av betydning består av forholdet at man i både i den danske og den norske metodikken må opp i en ÅDT på over 27 500 kjøretøy for at trafikkvolumet skal ha noen effekt i det hele tatt, og at det neste knekkpunktet først forekommer på en ÅDT på over 40 000. Kombinert innebærer disse forholdene at trafikkmengdens innvirkning på gjennomsnittsfarten er i utgangspunktet liten, og at den ikke tiltar i styrke før man når en relativt høy trafikkmengde.

Den maksimale trafikkmengden på trasene er estimert til å utgjøre i overkant av 34 000 kjøretøy i år 2060. Traséenes maksimale trafikkmengde vil følgelig være under mengden som er nødvendig for at det skal gi noe vesentlig utslag på hastigheten for lette kjøretøy.

Basert på erfaringene fra Danmark kan vi trekke to konklusjoner angående den beregnede trafikantnyttens fra RTM:

- a) Å øke skiltet fartsgrense fra 120 til 130 km/t vil trolig ikke gi en tilsvarende økning i gjennomsnittshastigheten. Det er derfor trolig at RTM vil overestimere trafikantoverskuddet fra innføring av 130 km/t. Det kan være tilfelle at trafikantnyttens estimert for 120 km/t også er gjeldende for 130 km/t.
- b) Trafikkvolumet på strekningene er for lave til å påvirke gjennomsnittsfarten i betydelig grad. Den estimerte trafikantnyttens fra RTM kan derfor ansees å være representativ for den antatte gjennomsnittsfarten på strekningen.

3 Endring i trafikantnytte

Dersom trafikantene holder henholdsvis 120 eller 130 km/t heller enn 110 km/t på ny vei vil dette føre til redusert reisetid, og dermed økt trafikantnytte. I tillegg vil muligheten for å kjøre raskere føre til noe nyskapt trafikk. Trafikantnyttens er beregnet i DOM ATV for årene 2022 og 2060.⁴ Mellom disse punktene har vi som en tilnærming fremskrevet den årlige nytten lineært og

⁴ Trafikantnyttens er beregnet som 2013-kroner per dag. Disse tallene er aggregert til årlige effekter, rundet av til millioner kroner og KPI-justert til 2018-kroner.

neddiskontert nyttestrømmen med fire prosents rente til år 2022. Tabell 2-1 og Tabell 3-1 under viser beregnet trafikantnytte i mill. 2018-kroner ved 110 km/t. I tillegg vises årlig økning i trafikantnytte ved fartsgrense på 120 og 130 km/t for årene 2022 og 2060. Merk at RTM ikke tar høyde for at økt framføringshastighet vil medføre økte kjøretøykostnader per km og økte CO²-utslipp. Hvordan vi tar høyde for denne svakheten beskrives i det påfølgende kapittelet.

Tabell 3-1: Trafikantnytte per år ved 110km/t samt økt trafikantnytte ved økt fartsgrense i 2022 og 2060, mill. 2018-kr.

	Trafikantnytte per år 110 km/t		Økning i trafikantnytte ved 120 km/t relativt til 110 km/t		Økning i trafikantnytte ved 130 km/t relativt til 110 km/t	
	år 2022	år 2060	år 2022	år 2060	år 2022	år 2060
D-T veilinje 13130	254	408	44,2	68,3	77,2	125,1
D-T veilinje 13230	285	462	49,0	70,5	82,3	127,5
A-G veilinje 11130	77	116	17,1	25,4	31,3	46,4
A-G veilinje 16010	100	153	16,0	23,9	30,4	45,1

4 Kjøretøy- og drivstoffkostnader ved økt fartsgrense

Kjøretøykostnader

Når en skal vurdere effekten av økning i fartsgrense fra 110 til 120 eller 130 km/t, må en vurdere hvordan dette vil påvirke kjøretøykostnadene til trafikantene. Kjøretøykostnader deles inn i ulike kjøretøygrupper som har ulike enhetskostnader. Enhetskostnadene som brukes i EFFEKT, og i håndbok V712 til bruk i samfunnsøkonomiske analyser er delt inn i kjøretøygruppene: lette biler, tunge biler og busser. Vi har i denne analysen valgt å se bort ifra endret kjøretøykostnader for tunge biler og busser, da de ikke har lov til å øke hastigheten som følge av økt fartsgrense fra 110 til 120 eller 130 km/t.

Kjøretøykostnader for lette kjøretøy beregnes ved å ta alle løpende kostnader og kapitalkostnader for alle lette biler i Norge. Kostnadene vurderes opp mot gjennomsnittlig levetid på slike biler, og hvor langt de har kjørt i denne levetiden. Det gir mulighet til å beregne en distanseavhengig kjøretøykostnad gjennom kjøretøyets levetid. Kjøretøyene har ulik privatøkonomisk- og samfunnsøkonomisk kostnad som kommer av skatt/avgifter på de ulike kostnadskomponentene. Kostnadene fordeles på følgende kostnadskomponenter: drivstoff, olje/dekk, reparasjon mv. og kapitalkostnad. I Figur 4-1 er gjennomsnittlig distansekostnadene til bruk i ny EFFEKT versjon, som kommer våren 2019. Vi har valgt å ta utgangspunkt i dem for å vurdere hvor mye denne kostnaden vil endre seg med økt hastighet.

Den kostnadskomponenten som vil endre seg mest ved økt hastighet er drivstoff, som følge av behov for økt energibruk til å overvinne en større luftmotstand.

2.1 Distanseavhengige kjørekostnader for lette og tunge biler

Tabell 2-1 Kjørekostnader for lette og tunge biler, gjennomsnitt per kjøretøykilometer (kr/km, 2016-kroner). Sammenvektet for drivstoffkategorier 2017.

Kostnads-komponent	Lette kjøretøy		Tunge kjøretøy	
	Samfunns-økonomisk kostnad	Privat-økonomisk kostnad*	Samfunns-økonomisk kostnad	Privat-økonomisk kostnad
Drivstoff	0,32	0,76	1,72	3,28
Olje/dekk	0,23	0,28	1,09	1,09
Reparasjon mv.	0,89	1,07	1,29	1,29
Kapitalkostnad	0,50	0,92		
Sum	1,94	3,03	4,10	5,66

*: For lette biler regnes det mva. på 82 prosent av trafikkarbeidet (kapitalkostnader for el- og hydrogenbiler unntatt). Øvrige avgifter som inngår er drivstoffavgifter, engangsavgift og årsavgift.

Figur 4-1 – Distanseavhengig kjøretøykostnader for lette og tunge biler (COWI 2018)

Drivstoffkostnader

Det vil her bli presentert hvilke drivstoffkostnader ulike lette personbiler har og hvordan denne endrer seg med økt hastighet fra 110, til 120 og 130 km/t. Økt drivstofforbruk for et kjøretøy er produktet av økt energibruk til å overvinne luftmotstand og motoreffekt.

Det er stor forskjell i forbruk på elbiler og fossilbiler sin motoreffekt. I Figur 4-2 og Figur 4-3 ser man at motoreffekten varierer mye mellom fossil- og elbil. Vi har valgt å bruke motoreffekt for dieselbil (24 %) og elbil som ikke lades hjemme (80 %).

	Bensin	Diesel	LNG/ Metan	Hydrogen	E85	HVO100
Drivstoff tetthet[kg/l]	0,74	0,84	0,45	-	0,78	0,78
Drivstoff brennverdi [MJ/kg]	43,9	43,1	46	120	29,7	44,1
CO ₂ -produksjon [gram/kg]	3180	3140	2750	0	2104	2980
Typiske verdier for η_n (Fra tank til drivhjul)	0,20	0,24 (Personbil) 0,35 (Tung bil)		0,45	0,20	Som diesel

Figur 4-2 - Motoreffekt for bensin og diesel biler (Sintef 2017)

Virkningsgrader	Symbol	Verdi
Fremdrift, batteri til hjul	η_{fe}	0,8
Bremsing, hjul til batteri	η_b	0,8
Lading av batteri fra nett	η_l	0,85

Figur 4-3 – Motoreffekt for elbil (Sintef 2017)

Når vi beregner gjennomsnittlig økning i drivstoffkostnad som følge av økt hastighet, har vi valgt å se på to elbiler og to dieslbiler. Største forskjellen mellom elbilene er vekt og frontareal. Største forskjellen på dieslbilene er frontareal som påvirker luftmotstanden kjøretøyet må overvinne.

Tabell 4-1 – Data for de mest solgte lette kjøretøy (kilde: datablad til kjøretøy)

	Stv. diesel	Suv diesel	Liten elbil	Suv elbil
Egenvekt (kg)	1504	1540	1540	2364
Nyttelast 2 personer (kg)	150	150	150	150
A – Frontareal (m ²)	2,44	2,68	1,98	3,12
Virkningsgrad (%)	24	24	80	80

Det er laget ny fartsmodell til de regionale transportmodellene (Regmod v.4). Denne fartsmodellen bygger på energimodellen formelen Figur 4-4. Når et fartsprofil skal lages for en strekning må man ta høyde for hvor mye kjøretøyet må akselerere/bremse og hvor ofte kjøretøyet eventuelt må endre sin hastighet. E18 Dørdal - Grimstad har ikke så høyt trafikkvolum at det vil påvirke valg av kjørehastigheten for den enkelte bilfører og dermed kan vi anta at kjørehastigheten kan holdes stabil. Dette er en forenkling av, men noe vi velger for å beregne en gjennomsnittlig økning i hastighet. Vi har valgt å øke hastigheten med 10 km/t mellom fra 110 til 120, og fra 120 til 130 km/t.

Veien vil ha noe ulike stigningsforhold, men vi har valgt å anta at det i gjennomsnitt er 10 høydemeter/km som gir en snittstigning på 1 %. Antagelig vil det i hovedsak ligge under dette forholdet, men ta utjevner vi også ekstraforbruk ved større stigning. Beregningene tar ikke hensyn til at en dieselmotor har et visst forbruk på tomgang. Det vil ha liten betydning for de hastighetene vi beregner drivstofforbruket for. I Tabell 4-2 oppgis inndata vi har brukt i beregningene for hastighetene 110, 120 og 130 km/t. Resultatet av disse beregningene er vist i Tabell 4-3.

$$P_f = v \{ m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \cdot g \cdot C_r \cdot \cos \alpha + \rho \cdot 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot C_d + m_e \cdot a \}$$

, hvor:

v er fart,

m er masse,

m_e er ekvivalent masse, som kompenserer for effekten av rotasjonstregghet under akselerasjon,

g er tyngdeakselerasjon (9,81 m/s²),

α er helning,

C_r er koeffisient for rullemotstand,

ρ er lufttetthet (1,25 kg/m³ ved 7°C på havnivå),

A er kjøretøyetets frontareal,

C_d er koeffisient for luftmotstand,

a er akselerasjon.

Figur 4-4 - Formel for å beregne energibruk i ulike hastigheter

Tabell 4-2 - Inndata til beregning av energibruk til formel i Figur 4-4

	Stv. diesel	Suv diesel	Liten elbil	Suv elbil
v (m/s) 110/120/130 km/t	30,5/33,3/36,1	30,5/33,3/36,1	30,5/33,3/36,1	30,5/33,3/36,1
m (kg)	1654	1690	1690	2514
Me (kg)	1804,4	1844	1767	2632,2
g (m/s²)	9,81	9,81	9,81	9,81
alfa (%)	0	0	0	0
Cr (kg) klasse C	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084
p	1,25	1,25	1,25	1,25
A	2,44	2,68	1,98	3,12
Cd	0,284	0,29	0,27	0,25
a (m/s²)	Forutsetter 1 % snittstigning	Forutsetter 1 % snittstigning	Forutsetter 1 % snittstigning	Forutsetter 1 % snittstigning

Tabell 4-3 – Drivstoffforbruk for lette biler i 110, 120 og 130 km/t, verdier ved 1 % stigning er brukt som gjennomsnittlig forbruk

	Liter diesel/mil	Liter diesel/mil	KWH/mil	KWH/mil
Hastighet (km/t)	Stv. diesel	Suv diesel	Liten elbil	Suv elbil
110	0,81	0,87	2,14	3,15
120	0,90	0,97	2,35	3,45
130	0,99	1,08	2,57	3,78

Vi har med utgangspunkt i Tabell 4-3 beregnet prosentvis økning i drivstoff-/energiforbruk per km dersom man kjører i henholdsvis 120 og 130 km/t heller enn 110 km/t, se Tabell 4-4 under. I den samfunnsøkonomiske analysen har vi forutsatt at den prosentvise økningen blir lik gjennomsnittet av den mindre og større bilen for både elbilene og dieselbilene.

Tabell 4-4: Prosentvis økning i drivstoff-/energiforbruk per km ved 120 og 130 km/t relativt til 110 km/t.

Prosentvis økning i drivstoff-/energiforbruk per km relativt til 110km/t						
Hastighet (km/t)	Stv. diesel	Suv diesel	Gj.snitt dieselbil	Liten elbil	Suv elbil	Gj.snitt elbil
120	10,9 %	11,4 %	11,1 %	9,6 %	9,5 %	9,6 %
130	22,8 %	23,7 %	23,3 %	20,0 %	19,9 %	19,9 %

Videre er det forutsatt at drivstoffkostnad per km ekskl. avgifter brukt i ny versjon av EFFEKT er representativt for kostnaden ved 110 km/t. Vi har i resterende beregninger gruppert elbiler og hybrider sammen, og lagt til grunn gjennomsnittet av drivstoffkostnaden per km ekskludert avgifter for elbiler og ladbare hybrider. Dette gir en kostnad på 20 øre per km ved 110 km/t. Tilsvarende gruppert diesel- og bensinbiler sammen lagt til grunn gjennomsnittet av drivstoffkostnaden per km ekskludert avgifter for elbiler og ladbare hybrider diesel- og bensinpersonbiler, som i ny versjon av EFFEKT er 30,5 øre. Nettoøkningen i drivstoffkostnaden per km ved å kjøre henholdsvis 120 km/t og 130 km/t heller enn 110 km/t finnes ved å gange disse

verdsettelsesfaktorene med gjennomsnittlig prosentvis økning i forbruk hentet fra Tabell 4-4. De resulterende verdsettelsesfaktorene i Tabell 4-5.

Tabell 4-5: Økt drivstoffkostnad ekskl. avgifter per kilometer ved 120 og 130 km/t relativt til 110 km/t.

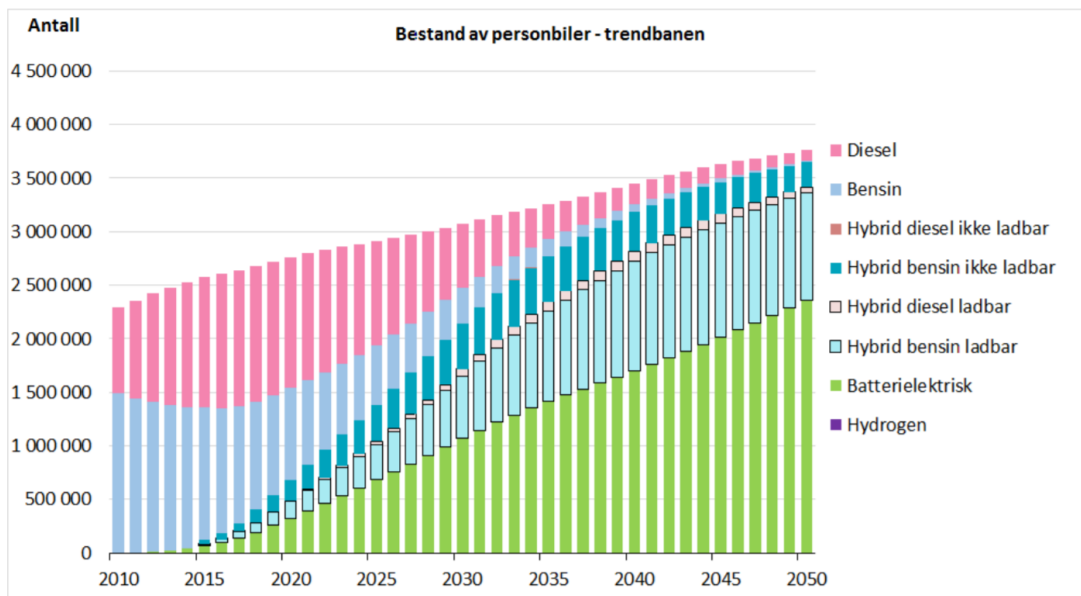
Økt drivstoffkostnad per km relativt til 110 km/t, 2018-kr		
Hastighet (km/t)		
120	0,020	0,036
130	0,042	0,074

For å beregne hvor den samfunnsøkonomiske kostnaden må disse verdsettelsesfaktorene multipliseres med antall km som kjøres per år på hver av veilinjene for E18 Dørdal-Tvedestrand og Arendal-Grimstad. Vi har forutsatt at andelen el-/hybridbiler og diesel-/bensinbiler følger framskrivningene for bestanden av biler i rapporten «Kjøretøyparkens utvikling og klimagassutslipp» (TØI rapportnr. 1518/2016), vist i Figur 4-5 under. Ved å multiplisere hver av de fire veilinjenes lengde med ÅDT, andel el-/hybridbiler og verdsettelsesfaktor per km fra Tabell 4-5 finner vi årlig samfunnsøkonomisk tap som følge av økte drivstoffkostnader for el- og hybridbiler. Kostnaden for bensin-/dieselbiler beregnes på tilsvarende vis, ved bruk av andel og verdsettelsesfaktor for fossildrevne biler. ÅDT er beregnet for årene 2022 og 2060 ved hjelp av RTM, og fremskrevet lineært mellom disse punktene for de resterende årene. Ettersom kostnadsøkningen er størst for bensin- og dieselbiler og deres andel av bilbestanden er raskt synkende vil de totale samfunnsøkonomiske kostnadene forbundet med økt drivstofforbruk ved høyere hastigheter falle over analyseperioden. Samlet netto økning i samfunnsøkonomiske kostnader forbundet med økt drivstofforbruk ved økte fartsgrenser er vist i Tabell 4-6.

Tabell 4-6: Netto samfunnsøkonomiske kostnader forbundet med økt drivstofforbruk over veienes levetid, mill. 2018-kr, neddiskontert over perioden 2022-2060, samlet for alle biltyper.

	120 km/t	130 km/t
A-G veilinje 11130	75	156
A-G veilinje 16010	69	144
D-T veilinje 13130	130	272
D-T veilinje 13230	125	261

Figur 4-5: Framskrivning av bestand av personbiler. Kilde: TØI, rapportnr.1518/2016



Figur S.3 Observert og framskrevet *bestand av personbiler*, etter drivstoff/energibærer. *Trendbane* basert på videreføring av trenden 2010-2015.

Økte kostnader forbundet med CO²-utslipp

For bensin- og dieslbilene vil det økte drivstofforbruket medføre økte klimagassutslipp. For å finne mengden økt CO₂ utslipp ganges drivstofforbruk per km ved 110 km/t fra Tabell 4-3 med drivstofftetthet og deretter med CO₂-produksjon per kg drivstoff, hentet fra Tabell 4-2.⁵ Dette gir oss gram CO₂ produsert per km for diesel- og bensinbiler ved 110km/t. Ved å multiplisere dette med lengden på veilinjene, deres ÅDT, andel bensin-/dieslbiler og den prosentvise økningen i drivstofforbruk per km ved henholdsvis 120km/t og 130km/t finner vi nettoøkningen i CO₂-utslipp utløst av høyere fartsgrense. Tabell 4-7 under viser verdsettingsfaktorer over tid for slike utslipp. Vi har forutsatt at 2018-kr/tonn CO₂ vokser lineært mellom årene 2020 og 2030, og er konstant i årene etter 2030.

Tabell 4-7: Verdsettingsfaktorer for utslipp av CO₂-utslipp. Kilde: Statens Veivesen V712

År	2018-kr/tonn CO ₂
2020	397
2030	988

Samlet netto økning i samfunnsøkonomiske kostnader forbundet med økte CO₂-utslipp ved økte fartsgrenser er vist i Tabell 4-8.

⁵ Vi benytter gjennomsnittet av bensin- og dieslbiler for disse verdiene.

Tabell 4-8: Netto samfunnsøkonomiske kostnader tilknyttet økt CO₂-utslipp over veienes levetid, mill. 2018-kr, neddiskontert over 2022-2061.

	120 km/t	130 km/t
A-G veilinje 11130	16	33
A-G veilinje 16010	15	30
D-T veilinje 13130	27	57
D-T veilinje 13230	48	101

5 Ulykkeskostnader ved økt fartsgrense

Et sentralt spørsmål i analysen av økning av fartsgrensen fra 110 til 120 eller 130 km/t er hvordan endringen vil virke inn på ulykkeskostnadene på strekningen. Det å evaluere dette spørsmålet på en tilfredsstillende måte er en svært kompleks oppgave ettersom økningen i fartsgrensen har et mangfold av motstående effekter på ulykkeskostnadene. Innenfor trafiksikkerhetsmiljøet er det godt dokumentert at økt hastighet medfører i seg selv økt risiko for ulykker ved at det både gir økt bremselengde, reaksjonslengde, og mer kinetisk energi i sammenstøtene/kollisjonene (1). Samtidig kan mye av risikoen tilknyttet fartsøkningen motvirkes gjennom tiltak i infrastruktur og veimiljøet, som geometrisk utforming av veier og økt sikt, redusere risiko ved den enkelte fartsgrense. For å få en oversikt over de ulike risikoelementene som kan innvirke på ulykkeskostnadene, har vi kartlagt og beskrevet de mest åpenbare elementene i Tabell 5-1.

Tabell 5-1: Sammenstilling av risikofaktorer virkninger og relevans.

Risiko-faktor	Virkning	Relevans
Økt bremselengde	Økt fart medfører økt bremselengde. En dobling av hastigheten firedobler nødvendig bremselengde. 120 km/t gir 11 meter lengre bremselengde enn 110 km/t og 130 km/t gir 23 meter lengre bremselengde.	Det vurderes at økt risikobidrag fra nevnte punkter til dels kan motvirkes av økt kvalitet og geometriske forhold på veien, samt bedre sideterreng og rekkverk.
Økt kollisjonshastighet	Økt bremselengde vil medføre en høyere kollisjonshastighet. Denne økte hastigheten medfører økt konsekvens.	
Endret ulykkesfrekvens	Ulykkesdata viser at ulykkesfrekvens reduseres med økt fartsgrense. Dette skyldes muligens økt veistandard og geometriske krav.	
Økt fartsspredning	Økt fartsspredning gir økt risiko (2), men graden av risikoøkning knyttet til fartsspredning er ikke like forent, eller definert som risikoen tilknyttet fartsøkning.	Usikker størrelse på risikobidraget, men fartsspredning vurderes å øke ved økt hastighet. Utgjør trolig det største risikobidraget
Sjokkbølger	Økt fartsspredning gir en økning i antall sjokkbølger, hvor disse igjen bidrar til redusert trafikkavvikling og øker risiko for kollisjoner.	Risikobidraget avhenger av antall kjørefelt. Få kjørefelt gir flere sjokkbølger som følge av hyppige forbikjøring. Flere kjørefelt bidrar til færre forbikjøring og sjokkbølger

Tabell 5-1 gir en kort beskrivelse av virkningen og relevansen til de mest virkningsfulle faktorene fra en økning av fartsgrensen til 120 og 130 km/t. Som tabellen viser er det først og fremst fire faktorer av betydning, endring i bremselengde, kollisjonshastighet, ulykkesfrekvens, fartsspredning og sjokkbølger. Av disse gir endringene i bremselengde og kollisjonshastigheten en strengt større ulykkeskostnad, mens endringen i ulykkesfrekvens har en statistisk tendens til å redusere ulykkeskostnaden. Hvorvidt en slik reduksjon i ulykkesfrekvens også vil finne sted ved en økning fra 110 til 120-130 km/t er derimot svært usikkert ettersom endringene i veistandarden og de geometriske kravene mer marginal ved en endring fra 110 til 130 km/t, enn fra endringen fra 80 km/t til 110 (da det er denne typen endringer statistikken i stor grad er basert på).

Som det kommer frem i tabellen eksisterer det altså et motstående forhold mellom risikofaktorene, hvor en økning i ulykkesrisiko fra økt bremselengde og kollisjonshastighet kan motvirkes av økt kvalitet og geometriske forhold på veien, samt bedre sideterreng og rekkverk. Ulykkeskostnadene kan med andre ord motvirkes gjennom å øke anleggskostnadene, og dette gjør det vanskelig å tallfeste sammenhengene mellom endringene i bremselengde, kollisjonshastighet, ulykkesfrekvens og ulykkeskostnadene.

Vanskeligheten med å kvantifisere ulykkesrisikoen er også i stor grad til stede for effektene av fartsspredning og sjokkbølger. I et forsøk på å kvantifisere risikoen knyttet til økt fartsspredning så vi på fire ulike studier angående temaet. Fra øvelsen oppdaget vi at det var forholdsvis store forskjeller mellom studiene i måten de modellerte risikoen knyttet til fartsspredning. Disse forskjellene kom både i form av parameter-verdier, og i form av det antatte risikobidraget fra fartsspredningen. To av studiene bygget på en sterk sammenheng mellom ulykkesrisiko og fartsspredning, mens de to øvrige antok en langt svakere sammenheng. Denne mangelen på konsensus innenfor faglitteraturen gjør det vanskelig å kvantifisere ulykkeskostnadene forbundet med den forventede økningen i fartsspredning. Denne usikkerheten blir så igjen forstørret av det faktum at det er en relativt stor usikkerhet tilknyttet den faktiske størrelsen på fartsspredningen ved innføring av 120 og 130 km/t.

Basert på litteraturgjennomgangen ble det raskt konkludert at arbeidet med å generere en vitenskapelig robust tilnærming for kvantifisering av risikoendring fra innføring av fartsgrense 120 eller 130 km/t krever en omstendelig gjennomgang av relevant forskning og datamateriale.

Fra et trafikksikkerhetsperspektiv vil risiko øke ved høyere fartsgrenser, men at graden og nivået av økningen til de ulike faktorene er ukjent og vanskelig å kvantifisere med bakgrunn i dagens tilgjengelige forskning. Gjennomføringen av en fullverdig kvantifisering av risikoen vil derfor kreve en data-innsamling og analyse som går langt utover den tilgjengelige tidsrammen i prosjektet.

Som følge av disse manglene og begrensningene har vi i analysen av ulykkeskostnadene valgt å ta utgangspunkt i en forenklet tilnærming. Fra transportmodellen og ulykkes-modulen i EFFEKT får vi beregnet at innføring av ny vei med fartsgrense 110 km/t gir en reduksjon i ulykkeskostnadene. Størrelsen på reduksjonen for hver av de fire veilinjene er vist i andre kolonne av Tabell 5-2. For fartsgrensene utover 110 km/t antar vi at reduksjonen i ulykkeskostnadene vil bli mindre dersom skiltet fartsgrense settes høyere. Vi antar altså at en økning i hastighet vil redusere skadekostnadene i form av lavere ulykkesfrekvens ettersom trafikk overføres til de nye traseene med høyere standard (midt-deler, bedre geometri, osv.), men at en økende andel av effekten motvirkes av at den økte farten som også gir økt skadeomfang for enkeltulykkene (som følge av økt bremselengde og kollisjonshastighet).

Ved innføring av 120 km/t antar vi at reduksjonen i ulykkeskostnadene reduseres med 10 % i forhold til 110 km/t. For 130 km/t antar vi at reduksjonen i ulykkeskostnadene reduseres med 30 % i forhold til 110 km/t.

Tabell 5-2 viser reduksjon i ulykkeskostnader relativt til basisår 2022 for ulike traséer og fartsgrenser. Reduksjonen for veilinjer med 110 km/t er beregnet i EFFEKT på bakgrunn i RTM-kjøring, mens denne er forutsatt å bli 10 og 30 prosent lavere enn ved 110 km/t for henholdsvis 120 km/t og 130 km/t.

Ettersom vi i dette notatet omhandler endring i nettonytte av traséene dersom fartsgrensen settes til 120 eller 130 km/t vises det også hvor mye høyere ulykkeskostnadene estimeres til å bli ved disse fartsgrensene relativt til 110 km/t. De sistnevnte beløpene benyttes i den samfunnsøkonomiske kost- /nytteanalysen.

Tabell 5-2: Reduksjon i ulykkeskostnader relativt til dagens veisystem ved ulike fartsgrenser, mill. 2018-kroner, neddiskontert til 2022, levetid 40år.

	Reduksjon i ulykkeskostnader relativt til dagens veisystem			Økte ulykkeskostnader relativt til ny vei med fartsgrense 110 km/t	
	110 km/t	120 km/t	130 km/t	120 km/t	130 km/t
A-G veilinje 11130	380	342	266	38	114
A-G veilinje 16010	300	270	210	30	90
D-T veilinje 13130	1 275	1 148	893	127	382
D-T veilinje 13230	1 090	981	763	109	327

6 Anleggskostnader

Som en del av den samfunnsøkonomiske analysen er det gjennomført en overordnet analyse av de forventede endringene i anleggskostnadene fra å endre fartsgrensen til 120 og 130 km/t. Arbeidet med å estimere innvirkningen på anleggskostnadene fra innføring av 130 km/t innehar en særegen kompleksitet som følge av at det ikke eksisterer krav i veinormalen for hastigheter over 120 km/t. I tillegg finnes det få sammenliknbare veistrekninger som kan ligge til grunn for analysen fra utlandet.

Analysen av anleggskostnadene vil derfor bære preg av å være veldig overordnet, men vi mener likefullt at vi har gjennomført en realistisk gjennomgang av kostnadsaspektene som påvirkes/endres av endringen i fartsgrensen. Tematikken er for stor til å gjennomgå i sin helhet, og gjennomgangen har derfor blitt innsnevret til de mest sentrale problemstillingene. Dette innebærer at man i analysen kun har sett på forhold som normalprofil, geometri, tunnel- og brukkostnader, og tilsvarende større kostnadsposter.

Innføring av 120 km/t

Basert på gjennomgangen har vi funnet at en økning fra 110 til 120 km/t kun vil ha marginal innvirkning på kostnadene for strekningene Dørdal – Tvedestrand og Arendal – Grimstad. En av

årsakene er at vertikal- og horisontalkurvaturen er lik for begge hastighetene. I tillegg krever begge hastighetene et tilnærmet det samme normalprofil (23 meter ved 110 km/t og 23,5 ved 120 km/t). Forskjellen i normalprofil er noe større for bru og tunnel, men omfanget av disse er for små til å utgjøre en betydelig kostnad. Økningen i hastighet vil heller ikke medføre større forskjeller i masseuttak. Samlet sett tilsier disse forholdene at en innføring av 120 km/t har en marginal effekt på anleggskostnadene. Vår vurdering er at å bygge etter standard som tillater 120 km/t vil medføre en merkostnad på mellom 0 og 2 prosent av beregnede anleggskostnader ved 110 km/t skiltet fartsgrense. I den samfunnsøkonomiske kost-/nytteanalysen har vi i våre hovedanslag forutsatt et kostnadspåslag på 1 prosent.

Innføring av 130 km/t

Etter å ha gjennomgått de ulike kostnadselementene som inngår i økningen fra 110 til 130 km/t, har vi funnet at økningen i hastighet blant annet kan resultere i høyere kostnader på grunn av en potensiell utvidelse av akselerasjonsfeltene og økte bru-kostnader. Økningen i brukostnadene er knyttet krav om bredere midtdeler og er derfor kun til stede ved bruk av sammenhengende brokasse. Dersom det bygges med to brokasser vil derimot denne merkostnaden falle bort. Innføring av 130 km/t vil derimot ikke gi noen spesielle merkostnader for tunnelene. Relativt til 110 km/t og 120 km/t antas det noe større utfordringer for delstrekningen Arendal -Grimstad med tanke på vertikal-/horisontalkurvaturen, men kostnadsomfanget av disse er forventet å være marginal.

Angående normalprofilen har vi ikke funnet gode grunner til at en innføring av 130 km/t vil gi store endringer i forhold til kravene som er gjeldende for 90-120 km/t. Det er derfor ansett som usannsynlig at det vil være store forskjeller i kostnadene. En potensiell merkostnad kan komme fra innføring av fire meter midtdeler, men det er usikkert hvorvidt dette faktisk er forankret i kravspesifikasjonene. Angående veiskuldrene er det ikke funnet at innføring av 130 km/t medfører behov for vesentlige endringer relativt til 120 km. Det er foreliggende forslag og utredninger fra ulike hold og det er også sett på krav som blir brukt i andre land. Det foreligger få signaler fra veidirektoratet på hvilke krav som eventuelt ville bli satt til 130 km/t.

Basert på gjennomgangen av de ulike kostnadselementene er det derfor anslått at innføringen av 130 km/t vil gi en merkostnad i forhold til 110 km/t på 2-5% uavhengig av valgt veilinje. I den samfunnsøkonomiske kost-/nytteanalysen har vi i våre hovedanslag lagt til grunn en kostnadsøkning midt i dette spennet, dvs. 3,5 prosent. Anleggskostnadene for de ulike veilinjene og hastighetene er oppsummert i Tabell 6-1. Til høyre i tabellen ligger også anslått differanse i anleggskostnader mellom å bygge veilinjene etter standarden som kreves ved 120 og 130 km/t relativt til 110 km/t. I den samfunnsøkonomiske kost-/nytteanalysen må man også ta høyde for skattefinansieringskostnaden for investeringene til det offentlige. Denne settes til 20 prosent av disse anleggskostnadsøkningene i de to kolonnene lengst til høyre i tabellen.

Usikkerhet rundt hvilke krav som vil stilles til både normalprofil og kurvatur bidrar til høy usikkerhet rundt merkostnadsanslagene.

Tabell 6-1: Anleggskostnader ved ulike fartsgrenser og økte anleggskostnader relativt til ved 110 km/t, mill. 2018-kr, neddiskontert til 2022.

	Anleggskostnader			Økte anleggskostnader relativt til ny vei med fartsgrense 110 km/t	
	110 km/t	120 km/t	130 km/t	120 km/t	130 km/t
A-G veilinje 11130	5 773	5 831	5 975	58	202
A-G veilinje 16010	5 664	5 721	5 863	57	198
D-T veilinje 13130	9 659	9 755	9 997	97	338
D-T veilinje 13230	10 848	10 957	11 228	108	380

7 Forenklet samfunnsøkonomisk kost-/nytteberegning av økt fartsgrense

Vi beregner først nåverdien av alle nytte- og kostnadskomponentene over veiens levetid som er forutsatt å være fra år 2022 til 2061 for de fire veilinjene og to alternative fartsgrenser.

Nullalternativet er definert som å bygge traséene etter standarden som kreves ved 110 km/t.

Tabell 7-1 viser nettonytte og de forskjellige nytte- og kostnadselementene for alle veilinjer og alternative fartsgrenser neddiskontert til år 2022.

Tabell 7-1: Nytte- og kostnadselementer, mill. 2018-kr, neddiskontert til 2022, relativt til samme veilinje ved 110 km/t.

	DT 13130		DT 13230		AG 11130		AG 16010	
	120 km/t	130 km/t	120 km/t	130 km/t	120 km/t	130 km/t	120 km/t	130 km/t
Trafikantnytte	1 099	1 965	1 177	2048	416	763	389	736
Kostnader								
Investeringskostnad	97	338	108	380	58	202	57	198
Skattefinansieringskostnad	19	68	22	76	12	40	11	40
Ulykker	127	382	109	327	38	114	30	90
Kjøretøykostnad el/hybrid	80	167	77	160	45	95	42	88
Kjøretøykostnad bensin/diesel	50	105	48	101	29	61	27	56
CO2-kostnad	27	57	26	55	16	33	15	30
Sum kostnader	400	1 116	391	1 098	198	545	181	502
Nettonytte	698	849	787	950	219	218	207	234

Gitt våre forutsetninger vil alle veilinjer bli mer lønnsomme dersom de bygges med tilstrekkelig god standard til å kunne innføre både fartsgrense 120 og 130 km/t. Med unntak av veilinje AG 11130

finner vi at nettonytten vil bli høyere med 130 km/t enn med 120 km/t. Usikkerheten rundt resultatene for 130 km/t er imidlertid langt større enn for 120 km/t, og mye taler for at resultatene for 130 km/t skiltet fartsgrense kan være overestimerte.

8 Vurdering av usikkerhet

Som forklart i kapittel 2 viser erfaringer fra Danmark at fremføringshastigheten ved skiltet fartsgrense på 130 km/t kan vise seg å bli nær 120 km/t. Dersom dette blir gjeldende også på disse nye traséene på E18 vil det endre resultatene av den samfunnsøkonomiske analysen av skiltet fartsgrense 130 km/t betydelig. Dette kommer av at trafikantnyttene, samt de mindre kostnadskomponentene som kjøretøykostnader og klimautslippskostnader, i så fall vil være nær sine beregnede verdier ved 120 km/t. Ulykkeskostnadene vil trolig reduseres noe, på grunn av økt veistandard og lavere gjennomsnittsfart. Samtidig vil det ved skiltet fartsgrense 130 km/t trolig være større fartsspredning enn ved 120 km/t også dersom reell gjennomsnittsfart vil være 120 km/t både ved 120 og 130 km/t skiltet fartsgrense. Det sistnevnte taler for at skiltet fartsgrense på 130 km/t vil medføre noe høyere ulykkeskostnader enn ved 120 km/t uavhengig av reell gjennomsnittsfart ikke er identisk ved disse to fartsgrensene. Til slutt vil investerings- og skattefinansieringskostnaden ikke påvirkes av gjennomsnittsfarten som holdes ved skiltet fartsgrense 130 km/t. Usikkerheten rundt merkostnadene ved å bygge vei med 130 km/t skiltet fartsgrense er også større enn for 120 km/t. Både 120 km/t og 130 km/t vil være mer samfunnsøkonomisk lønnsomt enn 110 km/t også dersom man legger øvre anslag på anleggskostnader til grunn. På grunn av usikkerheten rundt reell gjennomsnittsfart ved 130 km/t skiltet fartsgrense er det imidlertid uklart om det å bygge traséene etter standard for 130 km/t eller 120 km/t skiltet fartsgrense vil være mest lønnsomt.

Tabell 8-1: Usikkerhetsanalyser, mill. 2018-kroner, neddiskontert til 2022, relativt til samme linje ved 110 km/t.

Nettonytte	Nettonytte dersom gjennomsnittsfart blir 120 km/t også for skiltet 130 km/t		Nettonytte ved øvre anslag på anleggskostnader		Nettonytte ved øvre anslag på anleggskostnader	
	120 km/t	130 km/t	120 km/t	130 km/t	120 km/t	130 km/t
D-T veilinje 13130	698	409	582	675	814	1 023
D-T veilinje 13230	787	461	657	754	917	1 145
A-G veilinje 11130	219	46	150	114	288	322
A-G veilinje 16010	207	37	139	132	275	336

9 Konklusjon

Vår forenklete samfunnsøkonomiske analyse viser at det vil være mer lønnsomt å bygge E18 Dørdal-Grimstad i en noe høyere standard, dersom dette gjør det mulig å sette skiltet fartsgrense høyere enn 110 km/t. Dette gjelder for alle fire veilinjene vi har gjennomført beregninger for, og for både 120 km/t og 130 km/t skiltet fartsgrense. I våre hovedanslag kommer skiltet fartsgrense 130 km/t ut som noe mer lønnsomt enn 120 km/t. Dette gjelder spesielt for de to veilinjene på strekningen Dørdal-Tvedestrand. Høyere skiltet fartsgrense beregnes til å øke lønnsomheten av utbyggingene med mellom 700 og 950 millioner 2018-kroner for veilinjene for Dørdal-Tvedestrand, og i overkant av 200 millioner 2018-kroner for veilinjene mellom Arendal og Grimstad.

Robustheten til resultatene er langt høyere for 120 km/t enn for 130 km/t. Dette kommer for det første av større usikkerhet rundt hva slags standard som vil kreves for at en slik fartsgrense skal tillates. For det andre viser erfaringer fra Danmark at trafikanter i liten grad holder 130 km/t dersom dette er skiltet fartsgrense. I Danmark er observert gjennomsnittshastighet 120 km/t på veier med 130 km/t skiltet fartsgrense. For 120 km/t og 110 km/t er avviket mellom skiltet fartsgrense og gjennomsnittsfart lavere. Som vist i kapittel 0 beregnes skiltet fartsgrense på 130 km/t som lang mindre lønnsomt enn 120 km/t dersom gjennomsnittshastigheten ved skiltet fartsgrense 130 km/t blir 120 km/t.

Samlet sett peker vår analyse mot at å bygge E18 Dørdal-Grimstad med en standard som tillater 120 km/t skiltet fartsgrense vil være mer lønnsomt for samfunnet enn å bygge etter standarden som gjelder for 110 km/t. Det er imidlertid uklart om samfunnet har noe å vinne på en ytterligere økning i standard og skiltet fartsgrense fra 120 km/t til 130 km/t.

Referanser

Lars K. Reiff, Inger Foldager, Tove Hels m.fl. i samarbeid med DTU Transport: «130 km/t på motorveje, Virkning på faktisk hastighed, uheld og miljøbelastning. Rapport 337» Vejdirektoratet, juni 2008.

Johnson, S. Murray D, 2010, «Empirical Analysis of Truck and Automobile Speeds on Rural Interstates: Impact of Posted Speed Limits» TRB 2010

Robertson J, Fitzpatrick K, Park S F and Iragavarapu V, 2014, Determining Level of Service on Freeways and Multilane Highways with Higher Speeds”, Journal of transport research board, pp.85-93

1: Nilsson, G. 2004. Traffic safety dimensions and the Power Model to describe the effect of speed on safety. Bulletin 221. Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Traffic Engineering, Lund.

2: Elvik, R. 2014. Speed and road safety - new models. Report 1296. Oslo, Institute of Transport Economics. ISBN 978-82-480-14492-8

3. Lee, C., Hellinga, B., Saccomanno, F. 2003. Real-time crash prediction model for application to crash prevention in freeway traffic. Transportation Research Record, 1840, 67-77.

4: Abdel-Aty, M, Uddin, N., Pande, A., Abdalla, M. F., Hsia, L. 2004. Predicting freeway crashes from loop detector data by matched case-control regression. Transportation Research Record, 1897, 88-95.

5: Zheng, Z., Ahn, S., Monsere, C. 2010. Impact of traffic oscillations on freeway crash occurrences. Accident Analysis and Prevention, 42, 626-636.

6: Quddus, M. 2013. Exploring the relationship between average speed, speed variation, and accident rates using spatial statistical models and GIS. Journal of Transportation Safety and Security, 5, 27-45.