



Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning



Sikkerhetsmarginer under press

Hva betyr vegutforming for trafikksikkerhet og hva betyr samfunnsutvikling for vegutforming

Rune Elvik, Alena Katharina Høye, Vibeke Milch Uhlving,
Inga Margrete Ydersbond

2008/2023

Oppdragsgiver:





Tittel:	Sikkerhetsmarginer under press : Hva betyr vegutforming for trafiksikkerhet og hva betyr samfunnsutvikling for vegutforming
Tittel engelsk:	Squeezing safety margins : How does the design of roads affect road safety and how do societal changes affect the design of roads?
Forfatter:	Rune Elvik, Alena Katharina Høye, Vibeke Milch Uhlving, Inga Margrete Ydersbond
Dato:	12.2023
TØI-rapport:	2008/2023
Antall sider:	82
ISSN elektronisk:	2535-5104
ISBN elektronisk:	978-82-480-1495-9
Finansieringskilder:	Statens vegvesen
TØIs p.nr.:	5340 – Sikkerhetsmarginer under press
Prosjektleder:	Rune Elvik
Kvalitetsansvarlig:	Tor-Olav Nævestad
Ferdigstilling:	Trude Kvalsvik
Fagfelt:	Sikkerhet og resiliens
Emneord:	Trafiksikkerhet, vegplanlegging

Kort sammendrag

Rapporten tar opp spørsmålet om samtidige endringer av flere av de sikkerhetsmarginer som er bygget inn i veger kan ha større virkninger enn summen av virkningene av hver endring (samspillseffekter). Det konkluderes med at samtidige reduksjoner av flere marginer kan ha større virkning enn summen av individuelle virkninger. Videre drøftes samfunnsmessige utviklingstrekk som kan påvirke kravene til vegutforming. Til slutt drøftes hva vegsektoren eventuelt kan lære av jernbane og luftfart med tanke på samtidige endringer i flere sikkerhetsmarginer. Vegsektoren kan lære utvikling av god sikkerhetskultur, hyppigere kontroll av infrastruktur, og tettere oppfølging av innrapporterte avvik, fra jernbanesektoren og luftfarten.

Summary

The report discusses whether simultaneous changes in several of the safety margins built into roads can have greater effects than the sum of the effects of each change (interactive effects). It is concluded that interactive effects are likely to be present, reducing more than one safety margin may have greater effects than the sum of the individual effects of the changes. The report also discusses whether societal trends imply that design standards for roads can be different in the future. Finally, the report discusses what the road sector can learn from aviation and rail with respect to simultaneous changes in several safety margins. The road sector may benefit from developing a stringer safety culture, similar to than found in rail and aviation, by following up notification of irregularities even more systematically, and by inspecting infrastructure more frequently.

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



Forord

Statens vegvesen har de siste årene opplevd at de sikkerhetsmarginer som er bygget inn i veger og tekniske elementer knyttet til veger er endret. Spørsmålet er om en samtidig endring av flere sikkerhetsmarginer, eksempelvis skulderbredde, kurveradius og maksimal stigning, kan ha større virkninger på trafiksikkerheten enn summen av virkningene av de enkelte endringer (samspillseffekter). Rapporten drøfter dette spørsmålet ved å gå gjennom relevant litteratur. Det fremkommer at samspillseffekter ved samtidige endringer av flere sikkerhetsmarginer kan tenkes å forekomme.

Samfunnsutviklingen kan også innebære at kravene til vegers utforming og utstyr må endres. I denne rapporten drøftes også hva ny kjøretøyteknologi, befolkningsendringer og klimautvikling kan bety for vegers fremtidige utforming.

Jernbane og luftfart er to transportformer som har oppnådd svært høy sikkerhet. Rapporten undersøker hva aktører i disse sektorene erfarer rundt håndtering av samtidige endringer av sikkerhetsmarginer de siste årene, og om dette kan ha overføringsverdi til vegsektoren. Informasjon om sikkerheten i jernbane og luftfart ble innhentet blant annet gjennom to fokusgruppeintervjuer, og resultatene er mer utførlig dokumentert i en egen rapport (TØI-rapport 2015/2024).

Undersøkelsen er utført på oppdrag for Statens vegvesen. Oppdragsgivers kontaktpersoner har vært Mona Tveraaen og Arild Ragnøy. Vi takker for gode møter og detaljerte og nyttige kommentarer til arbeidet underveis i prosjektet.

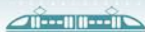
Forsker Rune Elvik har vært prosjektleder. I tillegg har forskerne Alena Katharina Høye, Vibeke Milch Uhlving og Inga Margrete Ydersbond medvirket på prosjektet. Alle har bidratt til rapporten. Rune Elvik er hovedforfatter av kapitlene 1-3 og 8 og 9. Alena Katharina Høye er hovedforfatter av kapitlene 4-6 samt vedleggene. Inga Margrete Ydersbond er hovedforfatter av kapittel 7.

Forskningsleder Tor-Olav Nævestad har stått for kvalitetssikring av rapporten.

Oslo, desember 2023
Transportøkonomisk institutt

Bjørne Grimsrud
Administrerende direktør

Trine Dale
Avdelingsleder



Innhold

Sammendrag

Summary

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn.....	1
1.2	Problemstillinger	2
2	Elementer i linjeføring og tverrprofil.....	4
2.1	Standardkrav i dagens vegnormaler (N100).....	4
2.2	Ulike typer firefeltsveg i dagens vegnormaler (N100).....	5
3	Metoder	7
3.1	Vegutforming og trafiksikkerhet.....	7
3.2	Fokusgruppeintervjuer	10
4	Vegers tverrprofil, linjeføring og tekniske elementer.....	12
4.1	Kjørefeltbredde	12
4.2	Skulderbredde	12
4.3	Horisontalkurvatur	13
4.4	Vertikalkurvatur og stigninger	14
4.5	Vegbelysning.....	15
4.6	Midtrekkverk	16
4.7	Siderekkverk og sideterreng (sikkerhetssone)	16
4.8	Fartsgrenser.....	18
4.9	Vegvedlikehold og vinterdrift	18
4.10	Forsterket vegoppmerking	18
4.11	Tiltak i kurver	20
4.12	Fartskontroll	21
4.13	Stopplommer.....	21
4.14	ITS-tiltak.....	22
5	Samtidige endringer av flere elementer	24
5.1	Oversikt.....	24
5.2	Kjørefelt- og skulderbredde og andre elementer.....	26
5.3	Linjeføring og andre elementer.....	37
5.4	Sikkerhetssone/siderekkverk og andre elementer	39
5.5	Vegbelysning og andre elementer.....	40
5.6	Drift/vedlikehold og andre elementer	41
5.7	Forsterket vegoppmerking, tiltak i kurver og fartsregulerende tiltak.....	41
6	Samfunnsmessige utviklingstrekk og vegutforming	42
6.1	Kjøretøypark og teknologi	42



6.2	Befolkningsutvikling.....	45
6.3	Klima	48
7	Sikkerhet i jernbane og luftfart – hvordan håndteres sikkerhetsmarginer i andre sektorer?...50	
7.1	Jernbane	50
7.2	Luftfart.....	51
7.3	Håndtering av sikkerhetsmarginer i jernbane og luftfart.....	52
8	Drøfting av resultater	54
8.1	Samtidige endringer av flere elementer i sikkerhetsmarginer.....	54
8.2	Mulige tiltak for bedre sikkerhet.....	55
8.3	Samfunnsutvikling og sikkerhetsmarginer	56
8.4	Sikkerhet i luftfartssektoren	57
8.5	Sikkerhet i jernbanesektoren	58
8.6	Mulighetene for læring knyttet til samtidige endringer av flere tekniske elementer i sikkerhetsmarginer	59
9	Konklusjoner	62
	Referanser	63
	Vedlegg.....	69
	Vedlegg 1. Kjørefeltbredde	70
	Vedlegg 2. Skulderbredde	73
	Vedlegg 3. Interaksjonseffekter i empiriske studier	77
	Vedlegg 4. Virkninger på antall ulykker av ulike typer firefeltsveg (H3)	82

Sikkerhetsmarginer under press

Hva betyr vegutforming for trafiksikkerhet og hva betyr samfunnsutvikling for vegutforming?

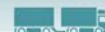
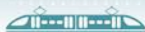
TØI rapport 2008/2023 • Forfattere: Rune Elvik, Alena Katharina Høye, Vibeke Milch Uhlving, Inga Margrete Ydersbond • Oslo 2023 • 82 sider

Rapporten tar opp tre hovedtemaer: (1) Hvilken betydning samtidige endringer i flere elementer ved vegutforming og vegutstyr (rekkverk, skilt, belysning) har for trafiksikkerheten, herunder spesielt hvordan eventuelle samspillseffekter mellom elementene kan tenkes å påvirke trafiksikkerheten; (2) Hvordan samfunnsmessige utviklingstrekk kan tenkes å påvirke kravene til vegutforming; (3) Om det finnes andre sektorer/bransjer/land hvor systemer for samtidige endringer flere tekniske elementer er håndtert, og om dette eventuelt har overføringsverdi til vegsektoren.

Vegelementers betydning for trafiksikkerheten

Vegnormalene stiller krav til utforming av tekniske elementer ved veger, slik som vegbredde og radius i horisontalkurver. Kravene er utformet slik at enhver veg har en innbygget sikkerhetsmargin: ethvert kjørefelt er bredere enn største tillatte bredde på kjøretøy; enhver kurve er slakere enn minste svingradius for et kjøretøy; sikten er (etter vegnormalkrav) alltid lengre enn lengste stopplengde; og så videre. De siste årene er flere av disse sikkerhetsmarginene endret. Spørsmålet er hvordan en samtidig endring av flere sikkerhetsmarginer kan tenkes å påvirke trafiksikkerheten. Dette er bakgrunnen for dette prosjektet. Her oppsummeres først hovedpunktene i kunnskapene om hvordan de enkelte elementer i vegers utforming og vegutstyr påvirker trafiksikkerheten. Deretter drøftes eventuelle samspillseffekter mellom disse elementene. Dagens kunnskap kan oppsummeres slik:

- Veger med bredere kjørefelt har i gjennomsnitt færre ulykker enn veger med smalere kjørefelt, men denne sammenhengen kan variere mellom ulike vegtyper.
- Veger med brede skuldre har færre ulykker enn veger med smale skuldre.
- Sammenhengen mellom horisontalkurvatur og ulykker er kompleks og trolig påvirket av flere samspillseffekter.
- Stigninger, samt høybrekks- og lavbrekkskurver, øker ulykkestallet.
- Vegbelysning reduserer antall ulykker i mørket; mest for alvorlige ulykker.
- Midtrekkverk reduserer antall ulykker; mest for alvorlige ulykker.
- Siderekkeverk og økt bredde på sikkerhetssonen langs vegen reduserer antall ulykker og skadegraden i ulykkene.
- Fartsgrenser har stor betydning for trafiksikkerheten gjennom å påvirke fart.



- Vegvedlikehold og vinterdrift har stor betydning for trafiksikkerheten, fordi spor, ujevnheter og lav friksjon øker ulykkesrisikoen.
- Forsterket vegoppmerking (rumlefelt) kan redusere møte- og utforkjøringsulykker.
- Retningsmarkering og kantstolper med refleks reduserer antall ulykker i kurver.
- Fartskontroll (automatisk eller av politiet) reduserer antall ulykker.

Samspillseffekter mellom vegelementer

Samspillseffekter mellom vegelementer er mindre undersøkt enn betydningen av ett og ett element for trafiksikkerheten. Kunnskapene er derfor mer usikre. Hovedpunktene i dagens kunnskap kan oppsummeres slik:

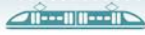
- Brede kjørefelt kombinert med smalere skuldre øker ulykkestallet. Hvis både kjørefelt og skuldre blir smalere, øker ulykkestallet.
- Skulderbredde har større betydning for ulykkestallet i kurver enn på rette strekninger. Hvis både kurveradius og skulderbredde reduseres vil dette trolig ha større virkning enn summen av virkninger av å redusere bare ett av elementene.
- En samtidig reduksjon av både kjørefeltbredde og horisontalkurveradius gir trolig større ulykkesøkning enn summen av de to reduksjonene sett hver for seg.
- Redusert standard på drift og vedlikehold har trolig større betydning for ulykkestallet dersom kravene til veggeometri også senkes enn dersom disse kravene ikke senkes. På den annen side kan økt innsats i drift og vedlikehold trolig i noen grad kompensere for lavere krav til veggeometri.
- En kombinasjon av horisontal- og vertikalkurver gir flere ulykker enn isolerte horisontal- eller vertikalkurver.
- Reduseres både kurveradius og sikkerhetssonen langs vegen kan dette gi større økning i ulykkestall enn summen av endringer i hvert av elementene.
- Reduksjon av sikkerhetsmarginene ved både vegens linjeføring og vinterdrift kan gi større ulykkesøkning enn man vil forvente ut fra virkningene av hver faktor.

I mange tilfeller er kunnskapene for usikre til å si om det vil forekomme samspillseffekter eller ikke.

Samfunnsmessige utviklingstrekk

Flere utviklingstrekk i samfunnet kan tenkes å påvirke kravene til vegutforming. Hovedpunktene i drøftingen av dette kan oppsummeres slik:

- Mer avanserte førerstøttesystemer og gradvis overgang til selvkjørende biler kan trolig i noen grad kompensere for reduserte sikkerhetsmarginer knyttet til veggeometri.
- Økt andel motorsykler og tunge kjøretøy kan øke betydningen av sikkerhetsmarginer knyttet til linjeføring.
- Andelen eldre førere kan ventes å øke, men økningen i deres ulykkesrisiko kan bli mindre enn den har vært tidligere.
- Reduserte sikkerhetsmarginer, særlig knyttet til sikkerhetssoner og vegbelysning kan ha større betydning for eldre føreres sikkerhet enn for andre førere.
- Klimautviklingen kan bety at veger utsettes for mer slitasje fra vær og vind. Økte nedbørmengder stiller større krav til drenering.



Læring fra jernbane og luftfart

Det siste temaet for undersøkelsen, er om det finnes det andre sektorer/bransjer/land hvor samtidige endringer i flere tekniske elementer som definerer sikkerhetsmarginer er gjennomført, og om måten slike endringer er håndtert på eventuelt har overføringsverdi til vegsektoren. For å få et grunnlag for å drøfte dette ble det gjennomført fokusgrupper med representanter for jernbane og luftfart. Disse representantene ga uttrykk for at sikkerhetsmarginer knyttet til tekniske elementer ved infrastrukturen etter deres mening ikke er redusert i jernbane og luftfart de siste årene. Det foreligger dermed ikke noe grunnlag for å si hva vegsektoren kan lære av andre sektorer når det gjelder samtidige endringer av flere tekniske elementer som definerer sikkerhetsmarginer.

På et mer generelt grunnlag kan trolig vegsektoren bidra til å bedre trafiksikkerheten ved i større grad å innføre følgende elementer fra jernbane og luftfart:

- Hyppigere og mer systematiske inspeksjoner av veger og vegutstyr.
- Stille krav om at alle som skal inngå kontrakter med vegmyndighetene har innført et formelt sikkerhetsstyringssystem, eksempelvis ISO 39001.
- Bedre utnytte informasjon fra hendelsesrapporter som kommer inn til vegtrafikk-sentralene.

Squeezing safety margins

How does the design of roads affect road safety and how do societal changes affect the design of roads?

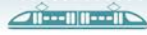
TØI Report 2008/2023 • Authors: Rune Elvik, Alena Katharina Høye, Vibeke Milch Uhlving, Inga Margrete Ydersbond
• Oslo 2023 • 82 pages

This report deals with three main topics. (1) What is known about the safety impacts of various design elements of roads, in particular cross section and alignment? Are there interactions between the design elements with respect to their effects on safety? (2) How may future societal developments influence the design standards for roads? (3) Can the road sector learn anything from aviation sector and rail sector concerning how to increase safety? It is concluded that current knowledge regarding design elements of roads is highly uncertain. The results of empirical studies are not always consistent, and there are very limited studies of interactions between design elements. The implications of future societal developments for the design of roads are difficult to predict. The aviation and rail sectors have attained very high safety. The road sector may try to introduce some of the elements that may have contributed to the safety of aviation and rail.

Elements of road design and equipment

The first topic addressed in this report is to summarise current knowledge about the impacts on safety of design elements of roads and potential interactions between design elements. As far as the relationship between each design element and traffic control device and road safety is concerned, the main points of current knowledge can be summarised as follows:

- Wider lanes tend to improve safety, but the relationship may vary according to the type of road.
- Wider shoulders are associated with fewer accidents.
- Horizontal alignment (e. g. curve radius, curve length) has a complex relationship to safety which is influenced by many interactions.
- Vertical grades and crest and sag curves are associated with an increased number of accidents.
- Road lighting reduces the number of accidents.
- Median guard rails reduce the number of accidents, in particular the most severe accidents.
- Guardrails along the edge of the road, as well as clear safety zones, reduce both the number and severity of accidents.



- Speed limits are important for safety by influencing speed, which is a major risk factor for accidents and injuries.
- The quality of the road surface (e. g. evenness, rut depth, friction) has a major influence on road safety.
- Rumble strips are associated with fewer accidents.
- Directional markings and retroreflective delineator posts improve safety in horizontal curves.
- Speed enforcement reduces the number of accidents.

Interactions between design elements

Less is known about interactions between design element and road safety than about the relationship between each design element and road safety. The main points of current knowledge can be summarised as follows:

- Increasing lane width combined with reduced shoulder width increases the number of accidents. If both lane width and shoulder width are reduced, there will also be an increase in the number of accidents.
- Shoulder width has a larger effect on accidents in curves than on straight sections. The effect of a combined reduction of horizontal curve radius and shoulder width are likely to be greater than the sum of their separate effects.
- Reducing both lane width and horizontal curve radius may have a greater effect than changing just one of these elements.
- Reduced road maintenance may have a greater effect if design standards are also reduced than if they are unchanged.
- Shoulder rumble strips may offset (partly or completely) the detrimental effects of narrower shoulders.
- Centreline or shoulder rumble strips may (partly or completely) offset the detrimental effects of narrower lanes.
- A combination of horizontal and vertical curves increases the number of accidents more than isolated changes in horizontal or vertical curves.
- Sharper curves combined with a smaller safety zone may have a greater effect on accidents than the sum of separate changes of each element.
- A combined reduction of alignment standards and winter maintenance may have a greater effect than the sum of the separate changes.

These are the cases where interactions have been found or are likely to occur. In many cases, knowledge is lacking or inconclusive.

Societal changes and road design

The second main topic addressed in this report concerns the implications of societal changes for the design of roads. The main findings can be summarised as follows:

- More advanced driver support systems and increasingly automated driving may to some extent offset the impact of poor road design.
- An increasing share of motorcycles and heavy vehicles will increase the importance of safety margins.
- The number of older drivers will increase, but their accident rate may increase less than it did in the past.
- Lower safety margins, for example smaller safety zones, reduced road lighting or road maintenance can affect older drivers more than other age groups.

- Climate change may increase the wear and tear of road surfaces and necessitate a higher standard for drainage and renewal of road surfaces.

Lessons from aviation and rail

Aviation and rail are very safe modes of transport. The third topic addressed in the study is what the road sector can learn from these modes of transport in order to make travel by road safer than it is today. This topic was investigated in focus groups with persons with detailed knowledge of the safety of aviation and rail, interviews and document studies. The main findings can be summarised as follows:

- Aviation and rail are both characterised by a more highly developed safety culture than the road sector. Highway agencies can promote the development of safety culture in professional road transport by making it a requirement when entering contracts with e. g. construction companies or transport companies.
There is extensive event reporting in both aviation and rail. A similar system does not exist in the road sector, but the regional traffic management centres receive many unsolicited reports from road users. A more systematic use of these reports could identify risk factors that may be brought under better control before they lead to accidents.
Aviation and rail practice very frequent inspections of infrastructure. The road sector might want to consider a programme of inspecting roads and their equipment more frequently in order to prevent defects from developing or repair them more quickly than today.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Nullvisjonen, som fikk tilslutning fra Stortinget i 2001, danner grunnlaget for transportsikkerheten i Norge. Nullvisjonen sier at det langsiktige idealet for transportsikkerhet (alle transportformer) er at ingen skal bli drept eller få varige skader som følge av transportulykker. I Nasjonal transportplan (2022–2033) er det i tillegg formulert en ambisjon om at antall drepte eller hardt skadde i vegtrafikk i 2030 ikke skal overstige 350 personer, av dem høyst 50 drepte. Det er videre en ambisjon at null drepte i trafikken skal oppnås innen 2050 (Samferdselsdepartementet 2021).

Et langsiktig mål om null drepte og hardt skadde er et argument for å prioritere de mest kostnads-effektive trafikkisikkerhetstiltakene. Et tiltak er mer kostnadseffektivt jo mindre det koster per drept eller hardt skadd person det forebygger. Nullvisjonen avviser tanken om at trafikkisikkerhet kan veies mot andre goder, det vil si at samfunnet kan godta at det er flere enn null drepte eller hardt skadde for å oppnå andre mål, for eksempel god framkommelighet. Men Nullvisjonen er ikke det eneste målet eller langsiktige idealet i transportpolitikken. Det er også mål om blant annet å få mer for pengene, og å oppnå effektiv bruk av ny teknologi, Norges klima- og miljømål, samt FN's bærekraftsmål (Samferdselsdepartementet 2021).

Planleggingen av Statens vegvesens tiltak innenfor rammen av Nasjonal transportplan bygger delvis på samfunnsøkonomiske nyttekostnadsanalyser, der ulike mål omregnes til pengeverdier slik at de kan sammenlignes (prissatte virkninger), og delvis på andre analyser der samfunnsøkonomiske hensyn ikke er like viktige. For alle store vegprosjekter gjøres samfunnsøkonomiske analyser; og store utbyggingsprosjekter med estimert verdi over 1 milliard kroner inngår i statens prosjektmodell (Finansdepartementet 2019, 2023). For mindre utbyggingstiltak eller drift og vedlikehold gjøres det ikke alltid samfunnsøkonomiske nyttekostnadsanalyser.

Samfunnsøkonomiske analyser av vegprosjekter viser at mange av disse gir en nytte som er mindre enn kostnadene (Halse og Fridstrøm 2018). Det har de siste årene derfor vært økende interesse for hvordan kostnadene ved å bygge veger kan begrenses, slik at prosjektene kan bli mer samfunnsøkonomisk lønnsomme.

I tillegg har Statens vegvesen i 2023 innført to nye vegklasser for firefelts veger med midtrekkverk (H3 i vegnormalen N100). Mens den opprinnelige varianten har fartsgrense 110 km/t og er relativt bred (23 meter), er de to nye klassene smalere, har mindre strenge krav til linjeføringen og har lavere fartsgrenser (90 og 100 km/t). Smalere motorveger med mer liberale krav til linjeføringen er billigere å bygge og gir lavere inngrep i naturen; de krever mindre areal og gir større frihet ved trasévalget.

Kravene til vegers tverrprofil og linjeføring har en innebygget sikkerhetsmargin. Det betyr, for eksempel, at alle horisontalkurver har så stor radius at førere uten problemer kan kjøre gjennom dem i høyeste lovlig fart på vegen. Et kjørefelt er bredere enn største tillatte bredde på kjøretøy. Minste stoppsikt er lenger enn den korteste strekningen førere kan stoppe på fra høyeste lovlig fart. Vegskuldre som er brede nok til å romme et kjøretøy, gjør det mulig å fjerne et havarert kjøretøy fra et kjørefelt, slik at det ikke utgjør en fare for, eller hindrer trafikken, i kjørefeltet.

Spørsmålet er om flere sikkerhetsmarginer kan endres (reduseres) samtidig, uten at det fører til flere ulykker. Dette spørsmålet har sammenheng med spørsmålet om hvordan veger kan utformes slik at man får mest mulig trafikkisikkerhet for pengene. Dette er bakgrunnen for undersøkelsen som legges fram i denne rapporten.

1.2 Problemstillinger

Studien har tre hovedmål:

1. Å oppsummere kunnskap om hvordan ulike elementer ved vegutforming og andre tekniske elementer påvirker trafikksikkerheten, herunder spesielt om det er samspillseffekter mellom de ulike elementene
2. Å drøfte hvordan samfunnsutviklingen kan tenkes å påvirke kravene til vegutforming i fremtiden
3. Å drøfte om det finnes det andre sektorer/bransjer/land hvor systemer for slike samlede effekter er håndtert, og har dette eventuelt overføringsverdi til veisektoren.

I det første temaet, **hvordan vegutformingen påvirker trafikksikkerheten**, er blant annet følgende spørsmål viktige: Hvor mye kan man redusere vegbredden for å spare kostnader og natur/miljø uten at det går ut over sikkerheten og hvor store sikkerhetsmessige effekter kan man forvente, avhengig av hvor mye smalere veger man tillater? Hva skjer hvis man gjør flere slike endringer, som hver for seg kanskje bare har en liten sikkerhetsmessig effekt, for eksempel også tillater litt krappere kurver? Vil disse endringene kunne forsterke hverandre, slik at den samlede effekten blir betydelig større enn summen (eller produktet) av de enkelte effektene? Er det mulig å motvirke slike interaksjonseffekter med tiltak som koster så lite at man fortsatt får kostnadsbesparelser?

Hovedspørsmålene som skal besvares i den første delen av undersøkelsen kan formuleres slik:

- Hvilke elementer i vegers tverrprofil og linjeføring har betydning for trafikksikkerheten og hvor stor betydning har de ulike elementene?
- Hvor stor effekt har endringer i vegers tverrprofil og linjeføring på trafikksikkerheten når flere mindre endringer gjøres samtidig?
- Er det mulig å sette inn avbøtende tiltak som kan hindre en eventuell ulykkesøkning (for eksempel vegbelysning eller rekkverk) uten at de, samlet sett, medfører kostnadsøkninger?

Det andre temaet for undersøkelsen tar utgangspunkt i hvordan **samfunnsutviklingen** kan tenkes å påvirke kravene til vegutforming.

Eksempler på samfunnsmessige utviklingstrekk som kan ha betydning for kravene til vegutforming er:

- Kjøretøypark og teknologi: For eksempel kan man tenke seg at økt utbredelse av ny kjøretøy-teknologi vil gjøre vegbredden mindre relevant, da kjøretøy i større grad vil være i stand til å holde seg selv på vegen. Også endringer i for eksempel antall motorsykler (trenden er for tiden økende) og tunge kjøretøy kan ha betydning for hvordan tverrprofil og linjeføring påvirker ulykkestall. Størrelse på kjøretøyene kan også ha betydning, for eksempel at personbiler har blitt større og at lastebiler kan være lengre enn tidligere.
- Befolkningssammensetning: For eksempel kan man tenke seg at en økende andel eldre førere kan trekke i motsatt retning av ny teknologi, det vil si at blant annet kjørefeltbredden vil være mer relevant; eldre førere har tradisjonelt hatt høyere risiko enn yngre, men de siste årene har dette endret seg slik at det nå er først i den høyeste aldersgruppen at man finner en tydelig risikøkning. I tillegg kan økt utbredelse av førerstøttesystemer påvirke i hvilken grad eldre førere kjører bil og de kan tenkes å ha ulik effekt blant eldre og yngre førere.
- Klima: For eksempel kan endringer blant annet i temperatur og nedbør føre til at vegdekkstandarder endrer seg. Dette vil kunne endre sammenhengen mellom blant annet kurveradius og ulykker da standarden på vegdekket har betydning for hvordan kurveradius påvirker ulykkesrisikoen. For eksempel er krappere kurver farligere når vegen har lav friksjon enn når friksjonen er god. De neste tiårene viser prognoser at ekstremvær av ulik sort vil bli mer og mer vanlig.

Hovedspørsmålet er om det vil være nødvendig eller ønskelig å endre kravene til vegers geometriske utforming for å ta hensyn til samfunnsmessige endringer, eller om vegutbyggere kan sette inn tiltak for å motvirke eventuelle negative virkninger av samfunnsmessige endringer. Her kan spesielt endringer i kjøretøyparken tenkes å være relevante. Vegers linjeføring kan tenkes å bli mindre viktig dersom mange biler har teknologi som gjør at bilen og føreren enklere kan håndtere vanskelige kurver. Dersom dette imidlertid fører til mindre strenge krav til linjeføringen, kan en eventuell slik endring også føre til at alle biler uten slik teknologi vil få høyere ulykkesrisiko.

Tredje tema for undersøkelsen handler om mulighetene for å lære fra andre sektorer/bransjer/land hvor systemer for slike samlede effekter er håndtert, og drøfte om dette eventuelt har overføringsverdi til veisektoren. Vi har identifisert jernbane og luftfart som sektorer som opplever press for å redusere sine kostnader. For begge sektorer har vi innhentet informasjon om endringer i sikkerhetsmarginer knyttet til tekniske elementer.

2 Elementer i linjeføring og tverrprofil

Prosjektet er avgrenset til de elementer i vegers tverrprofil og linjeføring som det stilles krav til for nye veger i Vegnormalene. Geometriske elementer som inngår i studien, er:

- Vegens tverrprofil: Dette er i hovedsak kjørefelt- og skulderbredde.
- Vegens linjeføring: Dette omfatter både horisontal linjeføring (i hovedsak horisontalkurveradius, men også klotoidelengder mv.) og vertikal linjeføring (i hovedsak stigninger, høy- og lavbrekk).
- Vegens sideterreng (sikkerhetssone) og siderekkeverk.

Øvrige elementer som inngår i studien, er:

- Vegbelysning
- Midtrekkverk
- Siderekkeverk og vegens sideterreng (sikkerhetssone)
- Fartsgrenser
- Vegvedlikehold og vinterdrift
- Forsterket vegoppmerking
- Tiltak i kurver
- Fartskontroll
- Stopplommer
- ITS-tiltak (intelligente trafikksystemer, eksempelvis informasjon til trafikanter)

Dette kapitlet gir en oversikt over de mest sentrale krav i dagens vegnormaler for hovedveger generelt, samt spesielt for ulike typer firefeltsveg. Hvordan kravene for ulike typer firefeltsveg kan forventes å påvirke ulykkesrisikoen, er diskutert i avsnitt 5.2.4.

2.1 Standardkrav i dagens vegnormaler (N100)

Tabell 2.1 viser kravene for hovedveger som er beskrevet i Statens vegvesens håndbok N100 (2023) og som er mest relevante i denne rapporten:

- Vegens tverrprofil: Samlet bredde, kjørefelt, skulder- og midtdelerbredde
- Horisontalkurvatur: Kurveradius, klotoidelengde, overhøyde
- Vertikalkurvatur: Stigning, stoppsikt, høy- og lavbrekk, resulterende fall.

Kravene er vist for de mest relevante aktuelle vegklassene; H1, H2 og H3 er hovedveger, Hø1 og Hø2 er såkalte «øvrige hovedveger». I tillegg definerer N100 krav til lokale veger med fartsgrense 50, 60 eller 80 km/t (ikke vist i tabellen). Tabellen viser i tillegg den «gamle» vegklassen H8 fra 2013-utgaven av N100. Dette var firefeltsveger med fartsgrense 100 km/t, slik at de er mest sammenlignbare med dagens H3-veger.

For H3-vegene viser tabellen ulike verdier for total og skulderbredde; disse viser hvilken variasjon vegnormalene tillater.

Tabell 2.1: Krav til vegers tverrprofil og linjeføring på hovedveger i Vegnormalene (Statens vegvesen, Håndbok N100, 2023, tabell 3.3 -3) og på H8-veger (N100, 2013, Tabell C.2).

	H8 (2013)	H2 (2023)	H3 (2023)	H3 (2023)	H3 (2023)	H1 (2023)	Hø1 (2023)	Hø2 (2023)
Årsdøgntrafikk (ÅDT)	12' - 20'	6' - 12'	> 12'	> 12'	> 12'	< 6'	< 4'	< 12'
Fartsgrense (km/t)	100	90	90	100	110	80	80	60
Antall kjørefelt	4	2	4	4	4	2	2	2
Total bredde (meter)	20	12,5	20,5 / 21,5	22,5 / 23	23	9	7,5	7,5
Skulderbredde (meter)	1,50	1,50	1,5 / 2,0	2,0 / 2,75	2,75	1,00	0,75	0,75
Kjørefeltbredde (meter)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,25	3,00	3,00
Indre skulderbredde (meter)	0,50	0,75	0,75	0,75	0,75	-	-	-
Skille kjøreretninger (meter)	2,00 ^a	0,5-1,0 ^a	2,00 ^a	2,00 ^a	2,00 ^a	0,50 ^b	-	-
Min. hor.kurveradius (meter)	700	400	400	550	800	250	225	125
Min. klotoidelengde (meter)	245	170	175	245	260	125	115	75
Min. stoppsikt (meter)	255	150	160	192	227	115	105	65
Min. høybrekkradius (meter)	13600	4700	5300	7500	11000	2800	2300	900
Min. lavbrekkradius (meter)	3400	2300	2600	3100	3700	1900	1000	600
Maks. overhøyde (%)	8,0	8,0	8,0	8,0	7,5	8,0	8,0	8,0
Maks. stigning (%)	6	6	6	5	5	6	8	6
Maks. resulterende fall (%)	10	10	10	9,4	9	10	11,3	10

^a Midtdeler med rekkverk

^b Forsterket midtoppmerking

2.2 Ulike typer firefeltsveg i dagens vegnormaler (N100)

For firefeltsveger (H3) i dagens N100 gjelder, i tillegg til kravene som er vist i Tabell 2.1, følgende:

- Vegene har midtdeler med rekkverk
- Vegene har ingen avkjørsler og alle kryss er planskilte med en minste avstand på 5 km mellom kryss
- Vegene er belyst
- Vegene er dimensjonert for modulvogntog.

Vegklassen H3, firefeltsveg med midtrekkverk, var fram til 2022 kun definert med fartsgrense 110 km/t; i 2023 kom to nye varianter av H3 med fartsgrense 90 og 100 km/t. De nye H3-klassene med fartsgrense 90 og 100 km/t har omtrent samme tverrprofil som den tidligere H8-klassen (Tabell 2.1). Forskjellene er at de nye klassene har bredere skuldre (like brede i den smaleste varianten med 90 km/t) og at de kan ha krappere kurver.

Den nye H3-klassen med fartsgrense 90 km/t har omtrent samme krav som H2 (også 90 km/t), bortsett fra at den har flere kjørefelt.

I forhold til H3 (110 km/t) tillater de to H3-variantene med fartsgrenser 90 og 100 km/t smalere skuldre, krappe horisontal- og vertikalkurver og brattere stigninger. De har derimot samme kjørefeltbredde og samme type skille mellom kjøreretninger.

For å redusere den samlede bredden på H3-veger, tillater N100 at man reduserer både midtdeler- og skulderbredder under visse forutsetninger.

Redusert midtdelerbredde på H3-veger: Bredden på midtdeleren er i utgangspunktet på 2,0 meter for alle H3-veger. Den kan reduseres til et minimum på 0,5 meter når ÅDT er under 20.000. Forutsetningen er at dette «gir tilfredsstillende løsninger for rekkverk, skilting og arbeidsvarsling og -sikring» (N100, krav 3.3.3-3).

Redusert skulderbredde på H3-veger: Skulderbredden kan under visse forutsetninger reduseres. Forutsetningene er basert på trafikkmengden, og omfatter tiltak som må settes inn dersom man reduserer skulderbredden. Krav til minste skulderbredder for H3-veger under ulike forutsetninger er oppsummert i tabell 2.2. For eksempel skal H3-veger med fartsgrense 110 km/t i utgangspunktet ha 2,75 meter brede skuldre. Dersom man setter inn avbøtende tiltak og trafikkmengden ikke er høyere enn en ÅDT på 12.000, kan skulderbredde reduseres til 1,5 meter. H3-veger med 90 km/t krever, uansett skulderbredde, at man bygger stopplommer, og skulderbredden kan reduseres fra 2,0 til 1,5 meter dersom ÅDT ikke overstiger 20.000.

Tabell 2.2: Krav til minste skulderbredder på H3-veger (N100, 2023) og hvilke tiltak som må settes inn for å kunne bygge H3-veger med de gitte fartsgrenser og skulderbredder.

ÅDT	H3 (90 km/t)	H3 (100 km/t)	H3 (110 km/t)
Over 20'	2,00 Stopplommer ^a	2,75 Ingen (standard)	2,75 Ingen (standard)
12' til 20'	2,00 Stopplommer	2,75 Ingen (standard)	2,75 Ingen (standard)
	1,50 Stopplommer	2,00 Stopplommer	2,00 Avbøtende tiltak
8' til 12'	1,50 Stopplommer	1,50 Avbøtende tiltak	2,00 Stopplommer
			1,50 Avbøtende tiltak

^a Ved «svært høye trafikkmengder» bør bredere skuldre vurderes for å opprettholde fremkommeligheten.

Der det skal anlegges **stopplommer**, skal disse ha en avstand på 3 km for hver retning.

Avbøtende tiltak må settes inn når skulderbredden skal reduseres på veier med ÅDT under 20.000 (110 km/t) eller under 12.000 (100 km/t). Hvilke avbøtende tiltak som kan settes inn, er beskrevet i SVV (2023B). Tiltakene og avsnitt i denne rapporten hvor de er beskrevet, er:

- (1) Automatisk detektering av hendelser (avsnitt 4.14)
- (2) Kameraovervåking av spesielle strekninger (avsnitt 4.14)
- (3) Bruk av variable skilt og informasjonstavler (avsnitt 4.14)
- (4) Bruk av kjørefeltsignal (avsnitt 4.14)
- (5) Kombinerte ITS-tjenester og tiltak (avsnitt 4.14)
- (6) Sideterreng og rekkverk (avsnitt 4.7 og kapittel 5)
- (7) Økt bruk av stopplommer (avsnitt 4.13 og kapittel 5)
- (8) Permanent nedsatt fartsgrense (avsnitt 4.8).

3 Metoder

3.1 Vegutforming og trafikksikkerhet

3.1.1 Kunnskapskilder

Vi tar utgangspunkt i to TØI-rapporter om vegers tverrprofil og linjeføring og trafikksikkerhet. Den ene (Høye 2021) handler om tverrprofil og inkluderer både en litteraturgjennomgang og en analyse av norske data. Den andre (Elvik 2023A) handler om linjeføring og inneholder også en litteraturgjennomgang og en analyse av norske data. Det er gjort et litteratursøk for å identifisere studier av vegers tverrprofil og trafikksikkerhet publisert etter 2020. For vegers linjeføring er det bygget på rapporten fra 2023 og noe nytt litteratursøk er ikke gjort. Begge rapporter er utarbeidet som ledd i revisjonen av Trafikksikkerhetshåndboken og danner grunnlag for kapitler om tverrprofil og linjeføring i denne.

I begge rapporter er litteraturen oppsummert delvis kvalitativt og delvis ved hjelp av meta-analyse. Meta-analyser er vanskelige, både når det gjelder tverrprofil og linjeføring. Mange nyere studier av ulike elementer i vegers tverrprofil er multivariate ulykkesmodeller som skiller seg fra hverandre blant annet når det gjelder hvilke variabler som inngår, hvordan disse er definert, hvilke ulykkestyper som er inkludert (ulykker i kryss kan ofte være utelatt), hvilket trafikkmiljø som er studert (tettbygd, spredtbygd) og ulykkenes alvorlighetsgrad (Nord-amerikanske studier bygger ofte på en blanding av materiellskadeulykker og personskadeulykker) (Høye 2021). Disse forskjellene mellom studiene kan påvirke resultatene og gjøre det vanskelig å vite når ulike studier er like nok til at det gir mening å kombinere resultatene av dem ved hjelp av meta-analyse. Noen forskjeller mellom studiene kan lett overvinnes, for eksempel kan fot omregnes til meter. Men resultater av studier utført i ulike trafikkmiljøer kan muligens ikke kombineres. For eksempel kan bredere vegger gi økt sikkerhet i spredtbygd strøk, men ha motsatt virkning i tettbygd strøk, der fotgjengere og syklistene må bruke lengre tid på å krysse en bred veg enn en smal.

Studier av ulike linjeføringselementer og trafikksikkerhet er også svært uensartede. Det er ikke mulig å sammenfatte resultatene av disse undersøkelsene ved hjelp av vanlige teknikker for meta-analyse (Elvik 2023A). Det har imidlertid vist seg at ulike definisjoner av variabler som inngår i studiene ofte kan omregnes til en standard definisjon i meter. For hvert linjeføringselement er det beregnet en funksjons-sammenheng mellom elementet og ulykkestall. Som grunnlag for dette er det for hvert linjeføringselement definert et sett av verdier som funksjonen er anvendt på. Horisontalkurveradius, for eksempel, ble gitt verdiene 50, 100, 200, 300, 400, 500 og 600 meter. For hver radius ble et modellpredikert ulykkestall beregnet. For å gjøre resultatene av ulike undersøkelser sammenlignbare ble relative ulykkestall beregnet. Relativt ulykkestall i horisontalkurver ble satt lik 1,00 i kurver med radius 600 meter, ut fra en forventning om at krappere kurver ville ha høyere ulykkestall (alt annet likt).

Vi bygger på faglig skjønn i vurderingen av hvilke resultater det gir mening å oppsummere formelt ved hjelp av meta-analyse. For linjeføringselementer er resultater oppsummert ved å beregne medianverdier. Statistiske vektorer er ikke benyttet. Medianverdier deler resultatene på midten. Halvparten viser mindre økning i risiko enn medianen, halvparten viser større økning i risiko. Medianen ble valgt fremfor gjennomsnittet, fordi gjennomsnittet er mer følsomt for avvikende resultater enn medianen.

3.1.2 Analyser og metodiske valg

Ved anvendelse av den kunnskap som er oppsummert i studiene om tverrprofil og linjeføring, må det gjøres en rekke analytiske valg. La oss bruke kunnskap om sammenhengen mellom horisontalkurveradius og ulykkesrisiko som eksempel på slike valg.

Det er funnet i alt 47 studier av sammenhengen mellom horisontalkurveradius og ulykkesrisiko. Alle de 47 studiene viser at ulykkesrisikoen øker når kurveradius blir mindre. De tallmessige anslag på økningen i risiko varierer imidlertid mye. Vi står da overfor følgende valg:

1. Skal vi bygge på alle studier, eller skal vi bare bygge på resultatene av de metodisk beste studiene?
2. Skal vi bygge på alle studier, eller skal vi bare bygge på norske studier?
3. Skal vi bygge på funksjoner føyd til datapunkter eller direkte på datapunktene selv om disse kan avvike fra de føyde funksjonsverdier?
4. Skal vi oppsummere resultater i form av gjennomsnittsverdier eller i form av medianverdier?

De valg som gjøres på disse punktene, har stor betydning for hvilke resultater vi kommer fram til.

Hvis vi bygger på alle studier, er medianverdien av relativ ulykkesrisiko i en kurve med radius 50 meter på 3,58 når risikoen settes lik 1,00 i en kurve med radius 600 meter. Hvis vi kun bygger på studier som har kontrollert for minst 10 andre variabler når de har beregnet en koeffisient for horisontalkurveradius, blir relativ risiko i en kurve med radius 50 meter på 1,68 (1,00 ved radius 600 meter).

Hvis vi kun bygger på den nyeste norske undersøkelsen om linjeføring (Elvik og Haugvik 2023), som inneholder flere elementer i linjeføring enn noen tidligere publisert undersøkelse, blir relativ risiko i en kurve med radius 50 meter på 7,11. Hvis vi bygger på funksjoner føyd til datapunkter, blir relativ risiko i en kurve med radius 50 meter 1,54 hvis vi bygger på studier som har kontrollert for minst 10 variabler i tillegg til kurveradius. Datapunktet viste en relativ risiko på 1,68.

Når alle studier inkluderes, er gjennomsnittsverdien for relativ risiko i en kurve med radius 50 meter lik 5,99 (1,00 ved radius 600 meter). Medianverdien er, som nevnt, 3,58.

Disse anslagene på relativ risiko i de krappeste kurvene varierer mellom 1,54 og 7,11. Det har vesentlig betydning for resultatene hvilket anslag som legges til grunn.

Vi har i denne rapporten valgt å følge følgende regler ved anvendelse av resultatene av de undersøkelsene vi bygger på:

- 1. Vi bygger på alle undersøkelser, uansett hvor godt de har kontrollert for andre variabler enn den som har hovedinteresse i undersøkelsen (med mindre metoden er åpenbart uegnet til å undersøke det den er ment å undersøke).**
- 2. Vi bygger på funksjoner tilpasset medianverdien av resultatene i de enkelte undersøkelser.**
- 3. Vi bygger på norske undersøkelser når det ikke foreligger utenlandske undersøkelser, eller når resultatene av de utenlandske undersøkelsene avviker betydelig fra de norske.**

Den første regelen begrunnes med at alle undersøkelser bidrar til den samlede kunnskapen vi har. I Trafikksikkerhetshåndboken blir, som hovedregel, bare resultater av de metodisk beste undersøkelsene presentert, fordi vi mener at resultater av dårlige undersøkelser kan være misvisende og ofte har en tendens til å overvurdere virkningene av et trafikksikkerhetstiltak. Elementer i tverrprofil og linjeføring inngår ofte som kontrollvariabler i multivariate modeller og vi antar at deres virkninger i langt mindre grad vil være systematisk overestimert enn virkninger av rene trafikksikkerhetstiltak som for eksempel vegbelysning. Det vil som regel heller ikke være påvirket av metodiske svakheter som regresjons-effekter.

For en del elementer i tverrprofil eller linjeføring foreligger det så få undersøkelser at vi blir sittende igjen med bare ett eller noen få resultater hvis vi begrenser oss til de metodisk beste undersøkelsene. Det er dessuten en skjønsmessig vurdering å avgjøre hvilke undersøkelser som er de beste på et område.

Valget av medianverdi i stedet for gjennomsnittsverdi er allerede begrunnet. I noen tilfeller har vi valgt å bygge på norske undersøkelser. Et eksempel på dette er klotoidlengde. Det finnes få undersøkelser om dette. Elvik (2023A) beskriver dem slik:

I likhet med overhøyde, er det få studier av overgangskurver. Zegeer mfl. (1992) inkluderte «spiral transition curve» i sin ulykkesmodell. En spiral transition curve er en klotoide. Koeffisienten var negativ, noe som betyr et lavere ulykkestall med en klotoide enn uten. Forskjellen i ulykkestall var likevel liten. En kurve med radius 300 meter og lengde 300 meter kan beregnes å ha 3,2 % færre ulykker dersom den har to overgangskurver i stedet for ingen. I en kurve med radius 50 meter og lengde 50 meter, er beregnet ulykkestall 2,2 % lavere med overgangskurver enn uten. Hvis radius og lengde er 600 meter, er ulykkestallet 2 % lavere med overgangskurver enn uten.

Council (1998) fant større forskjeller i ulykkestall knyttet til overgangskurver. På veier i flatt terreng var det samspill mellom kurveradius og overgangskurver. I kurver med radius 200 meter hadde kurver med overgangskurver 55 % færre ulykker enn kurver uten overgangskurver. Ved en radius på 600 meter var forskjellen mindre: med overgangskurver var ulykkestallet 3 % lavere enn uten. På veier i kupert terreng hadde kurver med overgangskurver 28 % færre ulykker enn kurver uten dette. Anvendelse av koeffisientene for veier i fjellterreng ga ikke meningsfulle resultater og kan tyde på at det er trykkfeil eller andre feil i de oppgitte koeffisientene.

Aram (2010) fant at forlengelse av en overgangskurve med 10 meter innebar 99,3 % reduksjon av ulykkestall. Resultatet virker svært urimelig og tyder på at koeffisienten er estimert feil eller at det er trykkfeil i artikkelen.

Alt i alt er disse resultatene svært sprikende og lite troverdige. Zegeer m.fl. (1992) sier bare noe om forekomst av klotoide, ikke lengde. Council (1998) fant sprikende, og til dels meningsløse, resultater for veier i ulike terreng. Resultatet til Aram (2010) er høyst sannsynlig feil. I slike tilfeller, har vi valgt å bygge på resultater av norske undersøkelser.

Mange resultater er usikre, men vi har i beregningene i denne rapporten ikke gjort noe forsøk på å tallfeste usikkerheten.

3.1.3 Beregning av endringer i ulykkesrisiko

Ved beregning av endringer i ulykkesrisiko knyttet til endrede krav til tverrprofil eller linjeføring tas det utgangspunkt i de krav som stilles i dagens Vegnormaler. Risikoen på en veg som oppfyller disse kravene, settes lik 1,00. Det beregnes så hvor mye risikoen endres – det vil vanligvis si øker – når disse kravene gjøres mindre strenge. Framgangsmåten kan illustreres ved å sammenligne en vanlig og smal firefelts veg. En smal firefelts veg tilsvarende vegklasse H8 i 2013-utgaven av Vegnormalene. Tabell 2.1 (avsnitt 2.1) viser kravene til tverrprofil og linjeføring for de to vegklassene.

Horisontalkurveradius kan brukes som eksempel. Relativ risiko i en kurve med radius 800 meter settes slik 1,00. Risikoen i en kurve med radius 700 meter er da 1,071 (basert på en funksjon føyd til resultater gjennomgått av Elvik 2023A). Den neste parameteren med endret verdi er horisontalkurvelengde.

Det forutsettes at hver kurve har en lengde som er lik radius dividert med 3. Det betyr at hver kurve har en avbøyningsvinkel på $57,3/3 = 19,1$ grader. Dette stemmer godt overens med gjennomsnittlig avbøyningsvinkel for 63.969 kurver analysert av Elvik og Haugvik (2023). Det er også rimelig å anta at kurver på firefelts veier vanligvis ikke har stor avbøyningsvinkel.

Elvik (2023A) fant at ulykkesrisikoen i kurver øker med lengden, regnet i meter, opphøyd i en potens på 0,7115. Siden koeffisienten er lavere enn 1, betyr de at antall ulykker ikke øker proporsjonalt med lengden av en horisontalkurve, men mindre enn proporsjonalt med lengden. Hvis relativt ulykkestall i en kurve på 266,7 meter settes slik 1,00, er det 0,909 i en kurve på 233,3 meter.

Slik fortsetter beregningene for de enkelte elementer. De kombinerte virkninger av å endre flere elementer samtidig beregnes etter samme metode som benyttes for å beregne kombinerte virkninger av trafiksikkerhetstiltak (Elvik og Høyve 2018). Det forutsettes at de kombinerte virkningene av endringer i flere elementer oppstår ved at de enkelte virkninger ganges med hverandre. For endringer i horisontalkurveradius og horisontalkurvelengde blir de kombinerte virkninger dermed (beste anslag): $1,071 \cdot 0,909 = 0,974$. Det er rimelig å anta at elementer som trekker i ulike retninger kan oppveie hverandre. I dette eksemplet mer enn oppveies økningen i ulykkesrisiko knyttet til lavere radius av at kurven blir kortere

med lavere radius. Når endringer i risiko knyttet til alle elementer ganges med hverandre, forutsettes det at virkningene er uavhengige av hverandre. Det forutsettes, for eksempel, at en reduksjon av kurveradius fra 800 til 700 meter øker ulykkesrisikoen med 7,1 prosent uansett hvilke endringer som gjøres i andre elementer i tverrprofil eller linjeføring. Det finnes lite kunnskap om hvor riktig en slik forutsetning er.

Det er likevel lett å tenke seg at forutsetningen om at virkningene er uavhengige av hverandre ikke er riktig. Det kan, for eksempel, tenkes at når radius i en kurve reduseres fra 800 til 700 meter øker ulykkesrisikoen med mer enn 7,1 prosent dersom, for eksempel, skulderbredden samtidig blir redusert fra 2,75 til 1,50 meter. En smalere skulder gir en mindre margin for feilnavigering gjennom en kurve.

3.1.4 Interaksjonseffekter

Når man gjør flere endringer samtidig vil man som regel anta at den kombinerte virkningen er et produkt av de enkelte virkningene. Dette er nærmere beskrevet i avsnittet over. Slike beregninger forutsetter at virkningene av tiltakene er uavhengige av hverandre. For eksempel vil man da beregne virkningen av å redusere skulderbredde og å redusere kurveradius som produkt av de to virkningene. Redusert skulderbredde forutsettes da å ha samme effekt i krappe kurver, slake kurver og på rette strekninger.

Det kan imidlertid også være interaksjonseffekter mellom variabler, som gjør at slike beregninger av kombinerte effekter ikke gir pålitelige resultater. For eksempel kan endringer av skulderbredden tenkes å ha større effekt i (krappe) kurver enn på rette strekninger. Når man samtidig endrer både skulderbredden og horisontalkurveradius vil virkningen på antall ulykker være større i kurver enn om det ikke hadde vært noen interaksjonseffekt, mens virkningen på rette strekninger vil være mindre enn om det ikke hadde vært noen interaksjonseffekt.

Det betyr at vi kan undersøke samtidige endringer av flere elementer på to ulike måter:

- Ved å beregne **multiplikative effekter** når vi antar at det ikke finnes interaksjonseffekter eller når vi ikke har noe empirisk grunnlag for å beregne interaksjonseffekter
- Med **interaksjonseffekter**, det vil si at vi antar at virkningen av det ene elementet er forskjellig ved ulike varianter av det andre elementet; slike beregninger forutsetter at det finnes kunnskap om interaksjonseffekter fra empiriske studier som gir grunnlag for å beregne interaksjonseffekter.

3.2 Fokusgruppeintervjuer

Informasjon om sikkerhet i jernbane og luftfart er innhentet ved hjelp av fokusgruppeintervjuer, intervjuer og dokumentstudier. Resultatene er dokumentert i TØI-rapport 2015/2024, som også beskriver mer i detalj hva fokusgruppeintervjuer er. Her nevnes derfor bare hovedpunkter.

Fokusgruppeintervju er en kvalitativ datainnsamlingsmetode hvor flere deltakere intervjues samtidig om en rekke forhåndsdefinerte temaer. Det kan betraktes som en form for strukturert diskusjon. Metoden er særlig godt egnet når målet er å få detaljrik kunnskap om et komplekst tema, og når det er viktig å belyse nyanser som ulike synspunkter og perspektiver. Dette oppnår man gjennom gruppedynamikken som skapes i et fokusgruppeintervju (Frey & Fontana 1991).

Det ble gjennomført to fokusgruppeintervjuer, et for luftfart og et for jernbane, samt supplerende intervjuer for dem som ikke hadde anledning til å stille på fokusgruppeintervjuene. Vi valgte å sette sammen fokusgrupper med deltakere som reflekterer spennet av aktører som har en rolle i sikkerhetsarbeidet. For at diskusjonene skulle være mest mulig relevante for oppdragets hovedproblemstilling, valgte vi å gjøre intervjuer med aktører som har gode kunnskaper om tekniske sikkerhetsmarginer. Vi presiserte at vi først og fremst ville snakke om teknisk infrastruktur, slik som flyplassenes utforming, selv om andre aspekter som påvirker sektorenes sikkerhet også kunne være relevante å høre om.

4 Vegers tverrprofil, linjeføring og tekniske elementer

Dette kapitlet skal besvare spørsmål om hvilken betydning ulike elementer i vegers tverrprofil og linjeføring, samt tekniske elementer, har for trafiksikkerheten (Elvik 2023A). Dette er studiens første mål. Hovedfokus er på mindre kostnadsbesparende endringer av enkelte elementer. Hvordan flere samtidige endringer påvirker sikkerheten er undersøkt i kapittel 5.

4.1 Kjørefeltbredde

Veger med bredere kjørefelt har i gjennomsnitt færre ulykker enn veger med smalere kjørefelt, men dette er usikkert og kan være forskjellig mellom ulike typer veg.

Hvordan kjørefeltbredde henger sammen med antall ulykker er undersøkt i en rekke empiriske studier som er oppsummert av Høye (2021) og vi har funnet tre nyere studier (Cafiso et al. 2021, Smith et al. 2021; Khattak et al. 2021).

De fleste studiene viser at veger med **bredere kjørefelt** har **færre ulykker**, men noen studier finner en motsatt eller ingen sammenheng, og noen studier finner ikke-monotone sammenhenger mellom kjørefeltbredde og antall ulykker. Studiene er også inkonsistente mht. virkninger på ulike ulykkestyper og skadegrader samt virkningene på føreratferd.

En mulig forklaring for de inkonsistente resultatene kan være at det avhenger av andre faktorer hvordan kjørefeltbredden påvirker ulykker.

Beste anslag på virkningen på det totale antall ulykker av å **redusere kjørefeltbredden med 0,30 meter** er forskjellig for to- og flerfeltsveger er:

- Tofeltsveger: **+1 prosent**
- Flerfeltsveger: **-7,5 prosent**.

Dette gjelder hvis alt annet er uendret, inklusive skulderbredden (den samlede vegbredden vil da gå ned når kjørefeltbredden reduseres).

Begge virkningene er meget usikre. På tofeltsveger kan ulykkesøkningen være større ved høy trafikkmengde, men antall ulykker kan reduseres når det er lite trafikk. Analysene for norske tofeltsveger tyder på at antall ulykker ved en ÅDT på 500 kan gå ned (i gjennomsnitt med 28 prosent) når kjørefeltbredden reduseres med 0,30 meter.

4.2 Skulderbredde

Veger med bredere skuldre har i gjennomsnitt færre ulykker enn veger med smalere skuldre.

Litteraturstudien til Høye (2021) viser at veger med bredere skuldre som regel har færre ulykker enn ellers like veger med smalere skuldre. Dette er konsistent i veldig mange studier, både blant studiene som er oppsummert av Høye (2021) og i en rekke nyere studier (Ambros et al. 2021; Rezapour et al. 2021; Geedipally et al. 2021; Al-Omari et al. 2021; Roy et al. 2022; Zeng & Schrock 2012).

Beste anslag på virkningen av å **redusere skulderbredden med 0,30 meter** er en **ulykkesøkning på 3,6 prosent**. Dette gjelder hvis alt annet er uendret, også kjørefeltbredden. Redusert skulderbredde vil følgelig medføre at også den totale vegbredden blir redusert.

Virkingen kan tenkes å være større når skuldrene i utgangspunktet allerede er smale. Når skuldrene i utgangspunktet er svært brede, må man derimot ikke forvente noen ulykkesøkning av å redusere skulderbredde; her kan antall ulykker til å med gå ned. Fra hvilken skulderbredde dette gjelder varierer mellom studiene; terskelverdier som ble funnet, ligger mellom 1,5 og 3,0 meter.

Skuldre som gir plass til et havarert kjøretøy, kan teoretisk redusere ulykkesrisikoen, blant annet fordi de reduserer risikoen i forbindelse med havarerte kjøretøy, men de kan også øke risikoen som følge av økt fart. Empiriske studier gir ikke noe klart svar på dette spørsmålet.

4.3 Horisontalkurvatur

Virkingen mellom horisontalkurvatur og ulykker er komplekse og det finnes trolig en rekke interaksjonseffekter mellom ulike aspekter ved horisontalkurvaturen, som blant annet kurveradius, retningsendring, lengde av rett strekning før kurve, klotoidparameter mv.

Vi har her vurdert følgende parametere ved horisontalkurvatur, basert på litteraturgjennomgangen til Elvik (2023A):

- Radius
- Lengde (endring av radius medfører endret lengde)
- Lengde av rett strekning før kurve (endring av radius eller klotoidlengde medfører endret lengde av rett strekning)
- Klotoidlengde
- Maksimal overhøyde (prosent).

Alle formlene for å beregne antall ulykker som er beskrevet i det følgende, gjelder en strekning med en fast lengde på én kilometer som består av både en kurve med tilhørende klotoider og en rett strekning. Lengden på den rette strekningen er da én kilometer minus lengden på kurven og klotoidene.

Horisontalkurveradius

Sammenhengen mellom antall ulykker og radius i horisontalkurver bygger på resultatene av litteraturgjennomgangen til Elvik (2023A). Sammenhengen ble der oppsummert i form av en potensfunksjon der antall ulykker går ned når radius øker. Følgende sammenheng oppsummerte best resultatene av undersøkelserne:

$$\text{Antall ulykker} = \text{radius}^{-0,515}$$

Radius er angitt i meter. Når radius øker i en kurve med en gitt avbøyningsvinkel, blir kurven lengre. I beregningene er lengden av kurven beregnet ved å dividere radius med 3. Det innebærer at det forutsettes en avbøyningsvinkel på 19,1 grader. Gjennomsnittlig avbøyningsvinkel for 63.969 kurver analysert av Elvik og Haugvik (2023) var 21,5 grader.

Lengden på horisontalkurver

Sammenhengen mellom lengden av en horisontalkurve og antall ulykker i kurven kan ifølge litteraturgjennomgangen til Elvik (2023A) best beskrives med følgende potensfunksjon:

$$\text{Antall ulykker} = \text{lengde}^{0,7115}$$

Lengde er angitt i meter.

Lengde på rett strekning før kurver

Når lengden av kurver på en strekning av en gitt lengde øker, blir lengden av rette strekninger mellom kurvene kortere. I beregningene forutsettes en strekning på 1 kilometer som består av: (1) kurver; (2)

klotoider; (3) rett strekning. Lengden av den rette strekningen er lik 1 kilometer minus summen av lengden på kurver og klotoider.

Sammenhengen mellom lengden av en rett strekning og ulykkesrisiko på den delen av strekningen som ligger i kurven (sirkelbuen) beskrives (Elvik 2023A) av følgende funksjon:

$$\text{Antall ulykker} = 1 + (0,4116 \cdot \text{lengde av rett strekning})$$

Dette er en lineær sammenheng. Lengden er angitt i kilometer.

Klotoidelengde

Overgangen mellom en rett strekning og en horisontalkurve utformes som regel som klotoide. Horisontalkurver er utformet som sirkelbuer, det vil si at de har samme radius på hele strekningen som ligger i kurven. En klotoide mellom en rett strekning og en sirkelbue har en varierende radius, begynnende med uendelig (ved den rette strekningen) og ned til samme radius som i kurven. For førere sikrer klotoiden at de kan kjøre med en jevn endring av rattvinkelen fra den rette strekningen til kurven. Uten klotoide må føreren endre rattvinkelen brått fra rett fram til den vinkelen som er nødvendig for å kjøre gjennom kurven. Klotoiden sikrer også at overhøyden i kurven kan bygges opp jevnt over en lengre strekning.

Sammenhengen mellom klotoidelengde og ulykkesrisiko i kurver bygger på den norske undersøkelsen (Elvik og Haugvik 2023). Følgende sammenheng ble funnet:

$$\text{Antall ulykker} = e^{(-0,0413 \cdot \ln(\text{klotoidelengde}))}$$

Dette innebærer at antall ulykker synker med økende klotoidelengde. Dette gjelder imidlertid kun ulykker i kurven (sirkelbuen).

Maksimal overhøyde

Når det gjelder maksimal overhøyde, bygges det også på den norske undersøkelsen (Elvik & Haugvik, 2023). Følgende sammenheng ble funnet:

$$\text{Antall ulykker} = e^{(-0,0233 \cdot \text{overhøyde})}$$

Overhøyden er angitt i prosent som et positivt tall. Sammenhengen innebærer at antall ulykker i kurver synker med økende overhøyde. Dette gjelder kun ulykker i kurven (sirkelbuen) og ikke ulykker på hele én-kilometers-strekningen.

4.4 Vertikalkurvatur og stigninger

Brattere veger har i gjennomsnitt flere ulykker. Høy- og lavbrekk har trolig også flere ulykker enn flate strekninger; dette avhenger blant annet av siktlengden.

Vi har her vurdert følgende parametere ved stigninger og vertikalkurvatur, basert på litteraturgjennomgangen til Elvik (2023A):

- Stoppsikt
- Korreksjon av stoppsikt i høybrekk
- Korreksjon av stoppsikt i lavbrekk
- Maksimal stigning.

Høy- og lavbrekk: Radius på vertikalkurver i høybrekk eller lavbrekk kunne ikke inkluderes i beregningene (Elvik 2023A), siden det ikke er funnet undersøkelser som har beregnet sammenhengen mellom disse elementene og ulykkesrisiko.

Høybrekk kan påvirke sikkerheten i hovedsak ved at for krappe høybrekk begrenser siktlengden. Dagens krav til høybrekk er derfor definert slik at de sikrer stoppsiktlengden (Statens vegvesens håndbok V120 (2021)).

Lavbrekk har trolig ingen eller liten betydning for ulykkesrisikoen. Utformingskrav for lavbrekk i andre land er i hovedsak basert på kriterier for komfort (vertikalakselerasjon). Noen land har kriterier for utforming av lavbrekk som er basert på frontlyktenes rekkevidde for å sikre stoppsikt lengden i mørke (Hawkins & Gogula 2008). Med slike kriterier måtte lavbrekk imidlertid ofte være så slake at de vil være urealistiske å bygge (Falck-Jensen, 2004). Noen land har i tillegg definert kriterier for lavbrekk for å sikre tilstrekkelig sikt lengde under broer (Easa 2010).

Sikt lengde: For alle de tre stigningsparameterne bygges det på følgende sammenheng som fremkom i litteraturgjennomgangen til Elvik (2023A):

$$\text{Antall ulykker} = e^{(-0,0025 \cdot \text{sikt lengde})}$$

Sikt lengde er angitt i meter og gjelder både stoppsikt og forkortelse eller forlengelse av denne i høybrekk eller lavbrekk.

Stigning: For stigning bygges det på litteraturgjennomgangen til Elvik (2023A). Følgende sammenheng ble der funnet:

$$\text{Antall ulykker} = -0,0021 \cdot \text{stigning}^2 + 0,0595 \cdot \text{stigning}$$

Dette er et annengradspolynom der kvadratleddet er negativt og førstegradsleddet positivt. En slik likning beskriver en stigende kurve, der stigningen blir flatere og flatere.

4.5 Vegbelysning

Vegbelysning reduserer antall ulykker i mørke og har større effekt på mer alvorlige ulykker.

I dag er det krav om belysning på hovedvegene H2 og H3, det vil si på alle firefeltsveger, men ikke på hovedveger H1 (2 kjørefelt, 80 km/t, ÅDT < 6000). På øvrige hovedveger Hø2 (60 km/t, ÅDT < 12000) gjelder krav til belysning når ÅDT er over 1500. Ellers er det ikke krav til belysning.

Hvordan vegbelysning påvirker antall ulykker i mørke, er undersøkt i mange empiriske studier som er oppsummert i Trafikksikkerhetshåndboken¹. Basert på disse studiene viser tabell 4.1 gjennomsnittlige virkninger av å installere ny vegbelysning samt virkninger av å redusere eller fjerne eksisterende vegbelysning.

Tabell 4.1: Virkninger av vegbelysning på antall ulykker i mørke.

	Skadegrad	Virkning på antall ulykker i mørke
Ny vegbelysning	Personskadeulykker	-21 %
	Ulykker med D/HS	-49 %
Fjerne eksisterende vegbelysning ^a	Personskadeulykker	+27 %
	Ulykker med D/HS	+96 %
Redusert vegbelysning på motorveg	Uspesifisert	+9 %

^a basert på virkningen av ny vegbelysning.

Vegbelysning kan teoretisk påvirke fart, men resultater fra empiriske studier som har undersøkt sammenheng, spriker.

¹ Trafikksikkerhetshåndboken, kapittel 1.18 Vegbelysning (2021): <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc634/>

4.6 Midtrekkverk

Midtrekkverk medfører store reduksjoner av antall ulykker, spesielt for de mest alvorlige ulykkene.

Krav til midtrekkverk er beskrevet i Statens vegvesens håndbok N101 (2022). Tabell 4.2 viser sammenlagte virkninger av midtrekkverk på antall ulykker som er funnet har empiriske studier.

Tabell 4.2: Virkninger av midtrekkverk på antall ulykker.

Skadegrad	Virkning på antall	
	ulykker	Usikkerhet
Drepte	-64 %	(-78; -43)
D/HS	-39 %	(-47; -31)
Personskadeulykker	-26 %	(-38; -13)
Uspesifisert	+6 %	(-6; +20)

Disse resultatene bygger i hovedsak på studier som er gjort på flerfeltsveger i spredtbygd strøk. Midtrekkverk i studiene er som regel wire- eller stålskinne-rekkverk.

Det er forskjeller mellom ulike typer rekkverk mht. hvor ettergivende de er. Minst ettergivende er betongrekkverk, fulgt av stålskinne-rekkverk. Wirerekkverk er den mest ettergivende typen. De *minst* ettergivende rekkverkstypene er mest effektive i å forhindre at kjøretøy krysser midtdelene, men de kan forårsake mer alvorlige skader blant personer i biler og tunge kjøretøy ved påkjørsel. Den samlede virkningen på antall ulykker er ikke systematisk forskjellig mellom ulike typer rekkverk i studiene som ligger til grunn for resultatene i tabellen over.

For motorsykler er virkningen av ulike rekkverkstyper omvendt, i forhold til andre kjøretøytyper. Motorsyklister får ofte langt mer alvorlige skader ved påkjøring av stålskinne- og wirerekkverk enn ved påkjøring av betongrekkverk.

4.7 Siderekkverk og sideterreng (sikkerhetssone)

Både siderekkverk og økt bredde på sikkerhetssonen medfører store reduksjoner av antall utforkjøringsulykker og skadegraden i slike ulykker.

Krav til rekkverk og sideterreng er beskrevet i Statens vegvesens håndbok N101 (2022). Sikkerhetssonen ved vegen er den sonen, regnet fra kjørebekanten, hvor det ikke skal være faremomenter, som for eksempel objekter som kan forårsake stor skade ved påkjørsel eller bratte skråninger. Der det ikke er mulig å oppfylle kravene til sikkerhetssonen, skal rekkverk installeres.

Både siderekkverk og utforming av sideterreng har godt dokumenterte virkninger på trafiksikkerheten, som vi i følgende oppsummerer basert på Trafiksikkerhetshåndboken².

² Trafiksikkerhetshåndboken, kapittel 1.15 Vegrekkverk (2020, <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc631/>) og 1.12 Utbedring av vegers sideterreng (2021, <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc628/>)

Sikkerhetssonen beregnes ut fra de følgende forhold:

- Fartsgrense og trafikkmengde: Høyere fartsgrense og høyere trafikkmengde medfører bredere sikkerhetssoner.
- Øvrige faktorer som kan gi tillegg til sikkerhetssonen: Blant annet horisontalkurveradius, fallende terreng, spesielle anlegg ved vegen.

Krappe kurver kan medføre en økning i bredden på sikkerhetssonen, men det er ingen spesielle krav til sikkerhetszone som følger av andre kurveegenskaper eller vegens tverrprofil. Det samme gjelder rekkverk, unntatt krav til rekkverk i midtdeler, i dimensjoneringsklasse H3.

Faste objekter ved siden av vegen kan medføre stor skaderisiko ved utforkjøring. De farligste objektene er bropilarer, trær, stolper og fjellskjæringer. Også bratte skråninger, grøfter og vann øker skadegraden i utforkjøring. Tabell 4.3 viser sammenlagte virkninger av å endre bredden på sikkerhetssonen som er funnet i empiriske studier. Virkningene gjelder utforkjøringsulykker langs vegen i spredtbygd strøk med én meter, og bredden på sikkerhetssonen forutsettes enten økt eller redusert med en meter.

Tabell 4.3: Virkninger av midtrekkverk på antall utforkjøringsulykker og å øke eller redusere bredden på sikkerhetssonen med én meter.

	Skadegrad	Bredere sikkerhetszone (+ 1 meter)	Smalere sikkerhetszone (-1 meter)
Alle veger	Drepte	-21 %	+27 %
	Personskadeulykker	-6 %	+6 %
Rett strekning	Personskadeulykker	-4 %	+4 %
Kurve	Personskadeulykker	-8 %	+9 %

Et forbehold er at virkningen vil avhenge av hvor farlig sideterrenget er ved utforkjøring uten økning av sikkerhetssonen. Er det i utgangspunktet relativt ufarlig, kan man neppe forvente like store effekter som når det for eksempel er en fjellskjæring med utstikkende partier helt inntil vegen.

Et annet forbehold er at bredere sikkerhetssoner kan føre til økt fart. Dette kan teoretisk motvirke den skadereduserende virkningen. Virkningene som er oppgitt her, omfatter imidlertid eventuelle fartsøkninger.

Siderekverk skal ifølge håndboken N101 kun brukes «der det ikke er mulig å oppnå nødvendig sikkerhetsnivå som påkrevet for trafiksikkert sideterreng» (N101, 3.1—1). Det betyr at et sikkert sideterreng skal prioriteres framfor rekkverk, da rekkverk i seg selv kan bidra til skader som ellers ikke hadde oppstått.

Tabell 4.4 viser virkninger av siderekverk på antall utforkjøringsulykker som er funnet i en reanalyse av studiene som er oppsummert i den siste revisjonen av kapitlet om siderekverk i TSH. Reanalysen bygger kun på de metodisk mest solide studiene.

Tabell 4.4: Virkninger av siderekverk på antall utforkjøringsulykker.

Skadegrad	Virkning på antall utforkjøringsulykker	Usikkerhet
D/HS	-39 %	(-64; +1)
Personskadeulykker	-29 %	(-46; -6)

For **motorsykler** er skaderisikoen ofte høyere ved påkjøring av rekkverk enn ved utforkjøring i sideterreng. Virkningene som er funnet på det totale antall utforkjøringsulykker kan derfor ikke uten videre generaliseres til å også gjelde motorsykkelykker.

Når rekkverk beskytter trær, stolper eller bro Pilarer, er virkningen på antall ulykker større og rekkverk kan også for motorsyklister redusere skadeomfanget ved utforkjøring. Siderekker installeres imidlertid generelt når det er «noe» ved vegen som tilsier at rekkverk er nødvendig. Vi tolker resultatene i tabellen over derfor (noe forenklet) slik at de gjelder veger hvor kravene til sikkerhetssonen ikke er oppfylt.

4.8 Fartsgrenser

Fartsgrenser har stor effekt på antall ulykker på grunn av sammenhengen med farten. Dette gjelder på alle typer veg.

Tabell 4.5 viser gjennomsnittlige endringer av antall drepte, skadde og personskadeulykker ved ulike endringer av fartsgrensen, basert på gjennomsnittlige virkninger på gjennomsnittsfarten (Elvik, 2019). Virkningene er beregnet med eksponentialmodellen for fart, som beskriver sammenhengen mellom fartsendringer og relative ulykkestall.

Tabell 4.5: Virkninger på antall ulykker av å endre fartsgrensen.

Endring av fartsgrense	Endring av gjennomsnittsfart (km/t)	Virkning på antall ulykker			
		Drepte	Hardt skadde	Lettere skadde	Personskadeulykker
10 km/t høyere	+2,2	+19 %	+14 %	+9 %	+10 %
10 km/t lavere	-3,2	-23 %	-17 %	-12 %	-13 %
20 km/t lavere	-5,8	-37 %	-29 %	-21 %	-23 %

4.9 Vegvedlikehold og vinterdrift

Både vegvedlikehold og vinterdrift har stor betydning for trafiksikkerheten da både ujevne, hullete, sporete og glatte veger medfører betydelige økninger av ulykkesrisikoen.

Kravene til vinterdriften er beskrevet i Statens vegvesens håndbok R610 (2012). Her er det beskrevet fem vinterdriftsklasser, hvor den høyeste (DKA) innebærer at vegene skal være snø- og isfrie, unntatt under snøvær og da med relativt korte tidsfrister for å gjenopprette bar veg.

Både vegvedlikehold og vinterdrift har godt dokumenterte virkninger på trafiksikkerheten (Høye, 2023A, C). Tiltakene skal sikre god friksjon og et jevnt vegdekke.

Ulykkestyper som er mest påvirket av vanskelige kjøreforhold, er utforkjørings- og møteulykker, det vil si de samme ulykkestypene som også er mest påvirket av reduserte sikkerhetsmarginer mht. veggeometrien.

4.10 Forsterket vegoppmerking

Forsterket vegoppmerking har relativt store effekter på både møte- og utforkjøringsulykker. Kombinerer man forsterket midt- og kantoppmerking, er virkningen trolig større enn man ville forvente ut fra virkningene av hvert tiltak for seg.

Forsterket vegoppmerking er vegoppmerking som er kombinert med «rumleriller» som er fester ned i asfalten og som lager lyd og vibrasjon i kjøretøyet ved overkjøring (Statens vegvesen 2021, håndbok N302). I Norge utføres forsterket vegoppmerking med nedfreste sinusriller og vegoppmerkingen legges

som regel rett på fresesporet. I andre land legger man fresesporet ofte på utsiden av vegoppmerkingen, det vil si på vegskulderen («shoulder rumble strips»). Alle beskrivelsene av forsterket vegoppmerking her hentet fra Trafikksikkerhetshåndboken som er sist revidert i 2023³⁴.

Forsterket kantoppmerking: Forsterket kantoppmerking har i mange empiriske studier vist seg å ha stor effekt på utforkjøringsulykker. Tabell 4.6 oppsummerer virkningene som er funnet i et stort antall studier, som alle er metodologisk relativt solide.

Tabell 4.6: Virkninger av forsterket kantoppmerking på antall ulykker.

	Virkning på antall ulykker	Usikkerhet
Utforkjøringsulykker	-18 %	(-24; -12)
Alle ulykker	-13 %	(-19; -7)

Ved forsterket kantoppmerking kan de freste «rumlerillene» ligge enten utenfor kantlinjen eller kantlinjen kan være oppmerket rett over de freste rillene. Resultatene fra empiriske studier viser ingen systematiske forskjeller mellom de ulike variantene. Det er ingen systematiske forskjeller mellom ulike skadegrader.

Forsterket kantoppmerking fører til at de fleste holder større avstand til kantlinjen, noe som kan forklare virkningen på utforkjøringsulykker. Det fører imidlertid også til at førere i gjennomsnitt holder mindre avstand til midtlinjen og at det blir flere kryssinger av midtlinjen. Likevel er det i empiriske studier også funnet relativt store reduksjoner av antall møteulykker på veger med forsterket kantoppmerking.

For *profilert* kantoppmerking (uten fresetiltak) er det ikke funnet signifikante ulykkesreduksjoner.

Forsterket midtoppmerking: Forsterket midtoppmerking er i dag krav for H1-veger (2 kjørefelt, 80 km/t, ÅDT <6000). Plassbehovet for forsterket midtoppmerking oppgis som 0,5 meter i N100. Til sammenligning er plassbehovet for midtdeler med rekkverk på 0,5 til 2,0 meter, avhengig av vegkategori.

Forsterket midtoppmerking har i mange empiriske studier vist seg å ha stor effekt på møteulykker. Tabell 4.7 viser sammenlagte virkninger på antall ulykker.

Tabell 4.7: Virkninger av forsterket vegoppmerking på antall ulykker; forsterket midtoppmerking alene og forsterket midt- og kantoppmerking i kombinasjon.

		Forsterket midtoppmerking		Forsterket midt- og kantoppmerking	
		Virkning	Usikkerhet	Virkning	Usikkerhet
Alle ulykker	Uspesifisert skadegrad	-13 %	(-17; -8)	-24 %	(-29; -19)
	D/HS	-31 %	(-51; -3)		
Møteulykker	Uspesifisert skadegrad	-32 %	(-39; -26)	-30 %	(-37; -21)
	D/HS	-62 %	(-86; +1)		
Utforkjøringsulykker	Uspesifisert skadegrad			-25 %	(-32; -17)

For profilert vegoppmerking (uten fresetiltak) er det ikke funnet signifikante ulykkesreduksjoner.

³ <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/325-forsterket-kantoppmerking/>

⁴ <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/326-forsterket-midtoppmerking/>

Forsterket midt- og kantoppmerking: Resultater fra empiriske studier er inkonsistente når det gjelder interaksjonseffekter mellom forsterket kant- og midtoppmerking.

Når man kombinerer forsterket midt- og kantoppmerking, er virkningen på det totale antall ulykker omtrent like stor som man ville forvente ut fra virkningene av hvert tiltak for seg. Når man kun ser på enten møte- eller utforkjøringsulykker, er virkningene imidlertid større enn virkningene av hvert enkelt tiltak på den ulykkestypen den i hovedsak er ment å forhindre.

Det siste tyder på at det er en interaksjonseffekt i den forstand at virkningene av de to typer forsterket vegoppmerking forsterker hverandre.

4.11 Tiltak i kurver

Tiltak i kurver med relativt godt dokumentert virkning på ulykker er retningsmarkering og kantstolper med refleks.

Det finnes ulike tiltak i kurver som skal redusere ulykkesrisikoen ved å gjøre det lettere for førere å oppdage kurvene, å vurdere kurveforløpet korrekt, og å tilpasse farten. I det følgende oppsummerer vi resultater fra empiriske studier som er basert på kapittel 1.17 i Trafikksikkerhetskåndboken (sist revidert 2023⁵). Tiltak i kurver benyttes i hovedsak i kurver som er uventede, krappe, uoversiktlige eller som har uheldig horisontalgeometri.

Tabell 4.8 oppsummerer virkninger av ulike tiltak i kurver. De enkelte tiltakene er beskrevet i teksten under tabellen.

Tabell 4.8: Virkninger på antall ulykker av ulike tiltak i kurver.

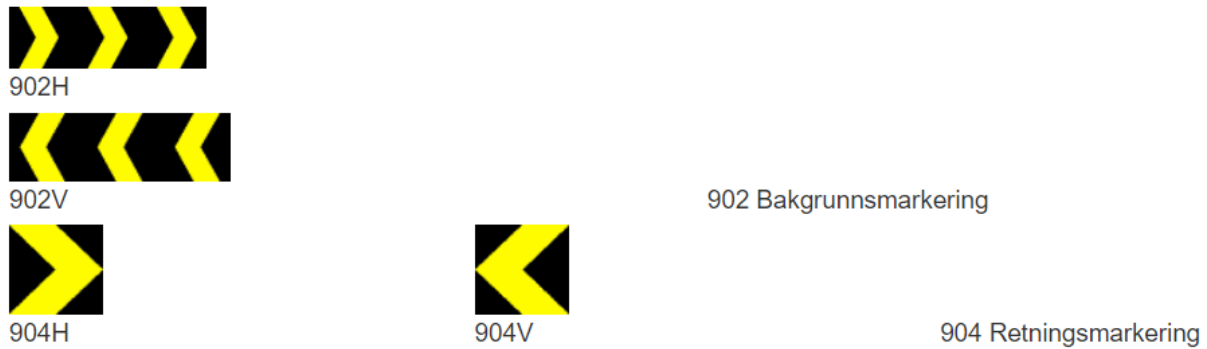
		Virkning på ulykker i kurver	
		Virkning	Usikkerhet
Fareskilt kurve	Ulykker i kurver	(ukjent virkning)	
Retningsmarkering	Alle ulykker i kurver	-10 %	(-15; -6)
	Utforkjøringsulykker i kurver	-25 %	(-37; -11)
Kantstolper med refleks	Alle ulykker i kurver	-13 %	(-30; +9)
	Utforkjøringsulykker i kurver	-31 %	(-47; -13)
Anbefalt fart i kurver	Ulykker i kurver	-13 %	(-22; -2)

Fareskilt kurve kan brukes for å fremheve vegens linjeføring (Statens vegvesens håndbok N300, 2022). I andre land benyttes lignende skilt, i USA har skiltene svarte piler på gul bakgrunn.

Virkningen på ulykker er ukjent for fareskilt som eneste tiltak. Retningsmarkering i kurver har omtrent like stor effekt på antall utforkjøringer, uansett om det er kombinert med fareskilt eller ikke, det vil si at fareskiltet ikke har noen vesentlig tilleggseffekt.

Bakgrunns- og retningsmarkering kan i Norge blant annet benyttes for å markere skarpe kurver og retningsmarkering kan benyttes for å markere lange kurver hvor det er vanskelig å oppfatte kurveforløpet, og hvor trafikantene må redusere kjørefarten betydelig. Kriterier for bruk av bakgrunns- og retningsmarkering er beskrevet i Statens vegvesens håndbok N300 (2022). I andre land benyttes lignende skilt, som regel også med gule piler på svart bakgrunn.

⁵ <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc633/>



Figur 4.1: Fareskilt for farlig sving/farlige svinger (skiltforskriften, kapittel 10, §20).

Kantstolper med refleks kan i Norge brukes på ubelyste veger med fartsnivå 70 km/t eller høyere (Statens vegvesens håndbok N300, 2022).

Anbefalt fart i kurver: Anbefalt fart kan i Norge benyttes som underskilt under fareskilt «Farlig sving» eller «Farlige svinger» (Statens vegvesens håndbok N300, 2022). Blant kriteriene for bruk av skiltet er at bakgrunns- og retningsmarkering er utprøvd og ikke har hatt effekt. Den anbefalte farten kan være 30, 40, 50 eller 60 km/t og fastsettes ut fra kurvens radius.

Virkingen på ulykker er statistisk signifikant, men likevel meget usikker. Den er basert på tre eldre studier. I praksis kan anbefalt fart ha ingen eller liten effekt, eller virke mot sin hensikt, dersom den anbefalte farten er urealistisk lav eller høy; skiltene kan da føre til at en del førere øker farten i forhold til hvordan de hadde kjørt uten slike skilt.

4.12 Fartskontroll

Fartskontroll har godt dokumentert virkning på antall ulykker. Dette gjelder alle typer veg.

Fartskontroll kan gjøres av politiet eller med hjelp av fotobokser (Automatisk trafikkontroll, ATK), både i form av enkelte fotobokser (punkt-ATK) og strekningsvis fartskontroll (streknings-ATK).

Alle former for fartskontroll har godt dokumenterte virkninger på antall ulykker. Dette gjelder særlig for ATK. Både for punkt- og for streknings-ATK viser empiriske studier at antall drepte og hardt skadde er omtrent halvert. For Streknings-ATK gjelder dette strekningen mellom fotoboksene, for punkt-ATK gjelder dette strekningen fra 1 km før til 1 km etter fotoboksen.

Fartskontroll vil i hovedsak kunne redusere risikoen for ulykker som skjer i fart over fartsgrensen. Det kan for eksempel være ulykker på motorveger. Ulykker i krappe kurver derimot vil neppe bli påvirket av fartskontroll. Slike ulykker ofte skjer i fart som er for høy etter forholdene, men ikke nødvendigvis over fartsgrense.

4.13 Stopplommer

Stopplommer kan ha ulykkes- og skadereduserende effekt i forbindelse med havarete kjøretøy på veger med ellers utilstrekkelige muligheter for stans, som for eksempel på smale firefeltsveger. Vi har ikke funnet empirisk dokumentasjon på verken virkninger eller interaksjonseffekter.

På firefeltsveger (H3-veger i N100, jf. kapittel 2) er skulderbredden i utgangspunktet på 2,75 meter. Vegskulderen er så bred at det er plass til for eksempel havarete biler eller lastebiler som kan stanse i stopplommen. Dette antas å redusere risikoen for at slike kjøretøy blir påkjørt bakfra. Skulderbredden kan reduseres til 2,0 eller 1,5 meter, mot at man installerer stopplommer. Avstanden mellom stopplom-

mene skal da være på 3 km i hver retning. Stopplommene skal kompensere for at det ikke vil være mulig å stanse på vegskulderen uten å ta opp plass i høyre kjørefelt.

I tunneler er det krav til havarilommer med avstander på mellom 250 og 500 meter, avhengig av tunnelklasse (unntatt klasse A).

Stopplommer på veger utenfor tunnel skal skiltes med skilt 555 «Havarilomme». I tunneler skal under-skilt for nødtelefon og brannslukningsapparat settes opp.



Figur 6.4.36—1 — 555 Havarilomme

Stopplommer kan påvirke trafiksikkerheten ved at de gjør det mulig at havarerte kjøretøy kan stanse utenfor kjørefeltet. Dette vil redusere risikoen for at havarerte kjøretøy blir påkjørt, reduserer risikoen ved å gå ut av bilen, og reduserer risikoen for ulykker i forbindelse med at andre biler på vegen må bremse ned eller skifte kjørefelt for å unngå det havarerte kjøretøyet.

Vi har ikke funnet studier som har undersøkt virkningen av havarilommer på antall ulykker. Det er derfor ikke mulig å gjøre avveininger eller beregninger for å vise hvorvidt havarilommer kan kompensere for reduserte sikkerhetsmarginer som følge av redusert skulderbredde. Vi antar at havarilommer ikke fullt ut kan kompensere for økt risiko som følger av smale skuldre da de neppe vil kunne redusere risikoen for utforkjøringer, som er den ulykkestypen som er mest relatert til smale vegskuldre.

4.14 ITS-tiltak

ITS-tiltak, som automatisk hendelsesdetektering og kameraovervåking, kan gi grunnlag for å sette inn tiltak som kan redusere ulykkesrisikoen ved hendelser.

Når vegbredder på H3-veger (firefeltsveg med midtrekkverk og fartsgrense 90, 100 eller 110 km/t) bygges med smalere vegskuldre enn standarden tilsier, må det settes inn avbøtende tiltak. Blant de mulige tiltakene er ulike ITS-tiltak (SVV 2023B):

- Automatisk detektering av hendelser
- Kameraovervåking av spesielle strekninger
- Bruk av variable skilt og informasjonstavler

- Bruk av kjørefeltsignal
- Kombinerte ITS-tjenester og tiltak.

Formålet med slike tiltak er å kunne iverksette andre tiltak som skal redusere ulykkesrisikoen. Med automatisk detektering og kameraovervåking kan hendelser detekteres, men dette forutsetter overvåking og rask handling fra en trafikkoperatør. Variable skilt og kjørefeltsignaler kan benyttes til å informere trafikantene, sette ned fartsgrensen, dirigere trafikken eller stenge kjørefelt.

Generelt sett kan variable skilt og kjørefeltsignaler påvirke ulykker på to måter, de kan ha nettverks-effekter, som er de tilsiktede effektene, og de kan ha lokale effekter.

Nettverkseffekter: Dette er den effekten man forventer at skiltene skal ha. Avhengig av type skilt og vist budskap kan det være fartsreduksjoner, at førere skifter kjørefelt eller at de velger en annen rute til reisemålet. Resultater fra empiriske studier som har undersøkt slike tiltak kan oppsummeres som følgende, basert på informasjon i Trafikksikkerhetshåndboken:

- **Variable opplysningstavler med ruteinformasjon (dynamisk rutevalg):** Flere studier har funnet positive effekter på antall ulykker (Elvik 2022). I praksis vil virkningene avhenge av hvor mange førere som følger anbefalingene om alternative ruter og trafikksikkerheten på de alternative rutene. Er de alternative rutene lengre og/eller har høyere risiko, kan antall ulykker øke. Dette må likevel ses i forhold til risikoen på vegen hvor bilene ellers hadde kjørt.
- **Variable fartsgrenser:** Når variable fartsgrenseskilt viser nedsatt fartsgrense, går både fart og antall ulykker ned (Høye 2022).
- **Kø- og hendelsesvarsling:** Hvordan kø- og hendelsesvarsling påvirker antall ulykker er meget usikker (Høye 2022).
- **Kjørefeltsignaler:** Dette er signaler som viser for hvert kjørefelt om det er åpent for trafikk i den egne retningen, stengt, eller åpent for trafikk i motgående retning. Virkningen vil i hovedsak avhenge av hvorvidt signalene overholdes.

Lokale effekter: Dette er utilsiktede virkninger ved skiltet. Førere kan for eksempel bli distraherede av skiltet fordi de prøver å forstå budskapet eller begynner å tenke på hva det betyr for dem (om de for eksempel skal velge en annen rute, hvor de i så fall må kjøre av og om de da fortsatt rekker å lage middag).

Lokale effekter vil for det meste være negative. De kan blant annet føre til brå nedbremsinger eller ugjennomtenkte kjørefeltskifter, og dermed til påkjøring bakfra eller sidekollisjoner (Høye 2022).

5 Samtidige endringer av flere elementer









I dette kapitlet beskriver vi resultater fra studier som har undersøkt hvordan samtidige endringer av flere elementer ved veggeometrien og ev. andre tiltak påvirker antall ulykker. I forrige kapittel ble ett og ett element studert. Her skal vi se på mulige samspillseffekter mellom elementene. Med dette menes at virkningene av samtidige endringer i flere elementer kan være større eller mindre enn summen av virkningene av endringer i de enkelte elementer. For noen kombinasjoner har vi også gjort beregninger som viser hvorvidt, eller under hvilke forutsetninger, endringer av tekniske elementer kan oppveie for reduserte sikkerhetsmarginer ved veggeometrien.

5.1 Oversikt

Tabell 5.1 viser en oversikt over alle kombinasjoner av de ulike elementene ved veggeometrien, samt tekniske elementer, som er beskrevet i kapittel 4. For hvert element vises i overskriftsrad og -kolonne hvorvidt det forventes å øke eller redusere antall ulykker. Ved de fleste elementene tar vi da utgangspunkt i virkningen av å redusere sikkerhetsmarginene. Elementene i de tre nederste radene (forsterket vegoppmerking, tiltak i kurver, fartsregulerende tiltak) inngår i vurderingene som ulykkesreducerende tiltak da disse elementene ikke i utgangspunktet «er der», men de kan settes inn som kompenserende tiltak.

Feltene i tabellen viser den forventede virkningen på antall ulykker av å kombinere to elementer og hvorvidt denne virkningen er som man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene (ingen interaksjonseffekt) eller om den kan forventes å være større eller mindre (interaksjonseffekt). Pilene illustrerer den forventede effekten; flere piler av samme type viser at virkningene av enkeltelementene forsterker hverandre.

Følgende symboler brukes i tabell 5.1.

 = en faktor øker ulykkestallet;   = to faktorer øker begge ulykkestallet, men det er ikke samspill mellom dem;    = det er samspill mellom to faktorer som øker antall ulykker: de forsterker hverandre; tre røde piler i parentes betyr at det er usikkerhet om virkningen;  = en faktor reduserer ulykkestallet;  = det forventes ikke samspill mellom faktorer.

En rød pil betyr at ulykkestallet øker. To røde piler i en celle som viser kombinasjonen av faktoren i raden og faktoren i kolonnen, betyr at virkningen av å kombinere de to faktorene antas å være additiv, det vil si at det ikke foreligger samspillseffekter. Tre røde piler betyr at virkningene av faktorene som kombineres forsterker hverandre. Det betyr, for eksempel, at hvis en faktor øker antall ulykker med 10 % og den andre faktoren øker antall ulykker med 20 %, kan kombinasjonen av de to faktorene øke ulykkestallet med mer enn $1,1 \cdot 1,2 = 1,32$, for eksempel 1,5 (50 % økning). Tre røde piler i parentes betyr at samspillseffekten er antatt, men ikke dokumentert.

Tabell 5.1: Oversikt over virkninger av samtidige endringer ved sikkerhetsmarginene ved flere elementer ved veggeometrien samt tekniske elementer.

	Smalere kjørefelt (kan redusere ulykker)	Smalere skuldre	Krappere kurver / brattere stigninger	Red. marg. ved sikkerhets- sone / siderekkverk	Redusere / fjerne vegbelysning	Redusert drift og vedlikehold
Smalere skuldre	 Flere ulykker på smalere veger					
Krappere kurver	 Virkningene forsterker trolig hverandre*	Virkningene forsterker hverandre	Ulike elementer ved linjeføringen kan forsterke hverandres virkninger			
Red. marg. ved sikkerhets- sone/siderekkv.	Ukjent	Mulig interaksjon, ukjent retning	Virkningene forsterker hverandre			
Redusere / fjerne vegbelysning	Mulig interaksjonseffekt i ukjent retning	Mulig interaksjonseffekt i ukjent retning	Mulig interaksjonseffekt i ukjent retning	Ukjent		
Redusert drift og vedlikehold	 Virkningene forsterker trolig hverandre*	 Virkningene forsterker trolig hverandre*	Virkningene forsterker hverandre	Ukjent	Ukjent	
Forsterket vegoppmerking	Trolig som for smalere skuldre	Forst. oppm. kan trolig oppveie effekt av smalere skuldre	Forst. oppm. har mindre effekt i (krappere) kurver og kan ikke oppveie effekt av uheldig linjeføring	Trolig som for smalere skuldre	Forventer ingen interaksjon	Mindre effekt av forst. oppm. ved dårlig D&V
Tiltak i kurver	Ikke relevant	Ikke relevant	Ikke relevant	Forventer ingen interaksjon	Forventer ingen interaksjon	Forventer ingen interaksjon
Fartsregulerende tiltak	Ukjent	Ukjent	Fartskontroll har større effekt i nedoverbakker ... men mindre effekt i krappe kurver	Forventer ingen interaksjon	Forventer ingen interaksjon	Forventer ingen interaksjon

* Hypotese (ikke empirisk dokumentert).

5.2 Kjørefelt- og skulderbredde og andre elementer

5.2.1 Samtidige endringer av kjørefelt- og skulderbredde

Øker man kjørefeltbredden på bekostning av skulderbredden, kan man forvente at antall ulykker øker. Dette kan forklares med at smalere skuldre har en langt mer ugunstig effekt på trafiksikkerheten enn smalere kjørefelt. Reduserer man både kjørefelt- og skulderbredden, får man imidlertid en interaksjonseffekt: Antall ulykker kan forventes å øke, selv om den ifølge den kombinerte effekten ville gå ned.

Høye (2021) har oppsummert resultater fra studier som har undersøkt hvordan kjørefeltbredden påvirker antall ulykker når man holder den samlede vegbredden konstant. Økende kjørefeltbredde vil da gå på bekostning av skulderbredden.

De fleste resultatene viser at bredere kjørefelt, i kombinasjon med smalere skuldre, medfører flere ulykker. Det er konsistent med resultater fra føreratferdsstudier som viser at bredere kjørefelt som regel fører til høyere fart og større variasjon i sideplasseringen, noe som kan forventes å øke ulykkesrisikoen (Mecheri et al. 2017). På den andre siden kjører førere med større avstand fra midtlinjen når kjørefeltbredden øker på bekostning av skulderbredden. Dette kan tenkes å redusere risikoen for møteulykker, hvis alt annet er likt.

Smalere kjørefelt derimot fører til lavere fart, mindre variasjon i sideplasseringen og større avstand fra vegkanten. Smalere kjørefelt i seg selv kan øke ulykkesrisikoen, men resultatene av den kombinerte effekten av kjørefelt- og skulderbredde tyder på at bredere skuldre kan kompensere for dette.

I praksis betyr resultatene at det, fra et trafiksikkerhetsperspektiv og hvis man må prioritere, er **bedre å redusere kjørefeltbredden enn å redusere skulderbredden**. Det gjelder innenfor rimelige og vanlige kjørefelt- og skulderbredder, men uten at det er mulig å tallfeste dette nøyaktig.

Smale firefeltsveger, slik som de bygges i dag, har like bredere kjørefelt som vanlige firefeltsveger, men smalere skuldre. Ut fra de empiriske resultatene hadde det trolig vært gunstigere å holde skulderbredden bredest mulig og heller å redusere kjørefeltbredden.

Beregning av kombinerte effekter

I det følgende viser vi hvordan samtidige endringer av skulder- og kjørefeltbredde kan forventes å påvirke antall ulykker når den samlede vegbredden er uendret eller redusert. Virkningene er her beregnet som kombinerte effekter av enkeltelementene. Disse kan sammenlignes med resultater fra empiriske studier som har undersøkt virkningen av å endre flere elementer samtidig.

Uendret samlet vegbredde: Tabell 5.2 viser forventede virkninger av å endre kjørefelt- og skulderbredde uten at den samlede vegbredden endrer seg. Virkningene er beregnet som **kombinert effekt** av begge endringene, det vil si som en multiplikativ effekt. Det er altså teoretiske effekter, i den forstand at de kombinerte virkningene ikke er basert på studier hvor man har undersøkt samtidige endringer av kjørefelt- og skulderbredde. De er likevel i tråd med en rekke empiriske studier som også viser at økt kjørefeltbredde på bekostning av skulderbredde medfører flere ulykker. Det betyr at effekten av å endre kjørefelt- og skulderbredde ved uendret vegbredde kan forklares med en enkel multiplikativ effekt. Det er altså ikke en «ekte» interaksjonseffekt i den forstand at virkningen av det ene tiltaket avhenger er forskjellig, avhengig av det andre tiltaket.

Tabell 5.2: Forventede virkninger på antall ulykker av å endre kjørefelt- og skulderbredde hver for seg, samt av å endre begge ved uendret samlet vegbredde.

	Smalere kjørefelt (-0,3 meter)	Smalere skulder (-0,3 meter)	Uendret samlet vegbredde	
			Smalere kjørefelt (-0,3m) Breder skulder (+0,3m)	Bredere kjørefelt (+0,3m) Smalere skulder (-0,3m)
Tofeltsveger	+1 %	+3,6 %	-2,5 %	+2,6 %
Flerfeltsveger	-7,5 %	+3,6 %	-10,7 %	+12,0 %

Redusert vegbredde (-0,15 meter): Tabell 5.3 viser lignende beregninger som tabellen over, men her er den samlede vegbredden redusert med 0,15 meter. Reduksjonene av skulder- / kjørefeltbredden er på 0,30 meter som i tabellen over, mens økningene av kjørefelt-/skulderbredden er på kun 0,15 meter. Også her øker antall ulykker når skulderbredden reduseres, men ikke når kjørefeltbredden reduseres.

Tabell 5.3: Forventede virkninger på antall ulykker av å endre kjørefelt- og skulderbredde hver for seg, samt av å endre begge breddene når samlet vegbredde reduseres med 0,15 meter.

	Smalere kjørefelt (-0,3 meter)	Smalere skulder (-0,3 meter)	Vegbredde redusert 0,15 meter	
			Smalere kjørefelt (-0,3m) Breder skulder (+0,15m)	Bredere kjørefelt (+0,15m) Smalere skulder (-0,3m)
Tofeltsveger	+1 %	+3,6 %	-0,8 %	+3,1 %
Flerfeltsveger	-7,5 %	+3,6 %	-9,1 %	+7,7 %

Reduksjon / økning av både kjørefelt og -skulderbredde: Tabell 5.4 viser teoretiske effekter av å enten redusere eller øke både kjørefelt- og skulderbredde med 0,30 meter hver. Å redusere begge betyr at man reduserer sikkerhetsmarginene for to elementer samtidig.

Tabell 5.4: Forventede virkninger på antall ulykker av å endre kjørefelt- og skulderbredde hver for seg, samt av å endre begge breddene når samlet vegbredde reduseres med 0,30 meter.

	Smalere kjørefelt (-0,3 meter)	Smalere skulder (-0,3 meter)	Vegbredde redusert med 0,6 meter	
			Smalere kjørefelt (-0,3m) Smalere skulder (-0,3m)	Bredere kjørefelt (+0,3m) Breder skulder (+0,3m)
Tofeltsveger	+1 %	+3,6 %	+4,6 %	-4,4 %
Flerfeltsveger	-7,5 %	+3,6 %	(-4,2 % ^a)	(+4,4 % ^a)

^a Forklaring se tekst (resultatet er misvisende)

Resultatene for **tofeltsveger** viser at antall ulykker forventes å øke med 4,6 prosent. Dette er i tråd med resultatene fra empiriske studier som har undersøkt virkningen av endret vegbredde. På norske tofeltsveger medfører en breddeøkning på 0,3 meter i gjennomsnitt en ulykkesnedgang på 2,2 prosent (Høye 2021) og en breddeøkning på 0,6 meter vil følgelig medføre en gjennomsnittlig ulykkesnedgang på 4,4 prosent som ikke er langt fra resultatet vist i tabellen over.

Høye (2021) viser imidlertid for norske tofeltsveger at sammenhengen mellom vegbredde og ulykker er forskjellig ved ulike trafikkmengder. Resultatene tyder på at økende vegbredde medfører større ulykkesreduksjoner ved høyere ÅDT (over 2000) og at antall ulykker kan øke noe ved ÅDT under 1500 når vegbredden økes.

Resultatene for **flerfeltsveger** i tabellen over er ikke i tråd med empiriske studier som har undersøkt endringer av den totale vegbredden (Høye 2021). Slike studier viser konsistent at bredere veger i gjennomsnitt har færre ulykker enn smalere veger. Her foreligger altså en «ekte» interaksjonseffekt, det

vil si at den samtidige endringen av kjørefelt- og skulderbredde er annerledes enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene.

Alternativt er ulykkesreduksjonen som er lagt til grunn for smalere kjørefelt (-7,5 prosent) overestimert. At antall ulykker på flerfeltsveger går ned når kjørefeltene blir smalere, er basert på studier hvor skulderbredden var uendret eller statistisk kontrollert for. Vi betrakter derfor resultatene for flerfeltsveger i tabellen over som misvisende.

Interaksjons- eller kombinerte effekter?

De fleste resultatene som er presentert ovenfor viser at kombinerte effekter av endret kjørefelt- og skulderbredde er i tråd med hva empiriske studier viser som har undersøkt virkningen av samtidige endringer.

Kun for flerfeltsveger er det funnet avvikende resultater. Her tyder de kombinerte effektene på at antall ulykker går ned når både kjørefelt- og skulderbredden reduseres. Dette skyldes den relativt store ulykkesreduserende effekt som er funnet for smalere kjørefelt. Det er imidlertid både ulogisk og ikke i tråd med empiriske studier som viser at smalere veger i gjennomsnitt har flere ulykker enn bredere veger.

Reduserte sikkerhetsmarginer på flere elementer: Redusert kjørefelt- og skulderbredde

Resultatene fra empiriske studier viser konsistent at smalere veger har flere ulykker enn bredere veger. For **tofeltsveger** er dette i tråd med forventningen ut fra virkningene av de enkelte elementene.

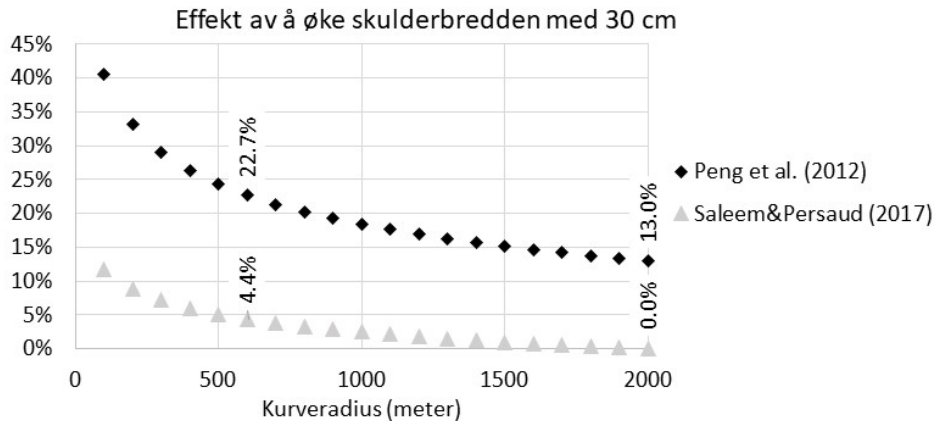
For **flerfeltsveger** foreligger trolig en interaksjonseffekt. Også her kan man, ut fra empiriske studier, forvente at en samtidig reduksjon av kjørefelt- og skulderbredde vil øke antall ulykker. Beregnet man den kombinerte effekten av å endre enkeltelementene, ville man derimot forvente en ulykkesreduksjon.

5.2.2 Skulderbredde og linjeføring

Skulderbredde har større betydning for ulykker i kurver enn for ulykker på rette strekninger. Man kan derfor forvente at en samtidig reduksjon av kurveradius og skulderbredde vil føre til en ulykkesøkning som er større enn den ville vært ut fra virkningene av skulderbredde og kurveradius hver for seg (interaksjonseffekt). Med andre ord, vil virkningene av å redusere kurveradius og skulderbredde forsterke hverandre.

Flere empiriske studier har undersøkt sammenhengen mellom skulderbredde og ulykker i horisontal kurver og på rette strekninger (Park & Abdel-Aty 2017; Khan et al. 2012; Peng et al. 2012; Saleem & Persaud 2017). Resultatene viser at sammenhengen mellom skulderbredde og ulykker er større i kurver enn på rette strekninger.

To av studiene har oppgitt tilstrekkelig informasjon for å beregne teoretiske kurver som viser sammenhengen mellom kurveradius og virkningen av å øke skulderbredden med 30 cm. Vi har da benyttet den gjennomsnittlige effekten i kurver ved en kurveradius på 600 meter (gjennomsnittlig kurveradius i studien til Saleem & Persaud, 2017) og virkningen på rette strekninger ved en kurveradius på 2000 meter. For øvrige kurveradius er virkningen beregnet som en logaritmisk trendfunksjon. Figur 5.1 viser sammenhengene.



Figur 5.1: Teoretiske sammenhenger mellom kurveradius og virkning av å øke skulderbredden med 30 cm i to empiriske studier; dataetikettene i figuren er virkningene som ble funnet for henholdsvis kurver og på rette strekninger i de to studiene; øvrige virkninger som beregnet med trendfunksjon som forklart i teksten.

Reduserte sikkerhetsmarginer på flere elementer: Redusert skulderbredde og krappere kurver

Resultatene som er beskrevet ovenfor viser at antall ulykker kan forventes å øke mer når man reduserer skulderbredden i kurver enn på rette strekninger.

Det betyr at dersom man reduserer sikkerhetsmarginer både ved kurveradius (krappere kurver) og skulderbredde (smalere skuldre), må man forvente en større ulykkesøkning enn man ville forvente ut fra virkningene av skulderbredde og kurveradius hver for seg.

5.2.3 Kjørefeltbredde og linjeføring

Reduserer man sikkerhetsmarginene ved både kjørefeltbredde og horisontalkurveradius, vil ulykkesøkningen trolig være større enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene.

Vi har ikke funnet empiriske studier som har undersøkt hvordan samtidige endringer av kjørefeltbredde og linjeføring påvirker antall ulykker.

Vi antar likevel at det finnes en interaksjonseffekt av samme type som for kjørefeltbredde og horisontalkurvatur, det vil si at den kombinerte effekten av å redusere sikkerhetsmarginene ved både kjørefeltbredde og horisontalkurvatur, er en større ulykkesøkning enn man ville forvente ut fra virkningen av enkeltelementene.

Videre antar vi at smalere kjørefelt, som i noen situasjoner har vist seg å redusere antall ulykker, ikke vil gjøre dette i (krappe) kurver.

5.2.4 Kjørefelt-/skulderbredde og linjeføring: Ulike typer firefeltsveg (H3)

Firefeltsveger som er bygd etter Statens vegvesens standardnormalkrav (H3-veger), kan bygges for ulike fartsgrenser og det er mulig å redusere bredder på skuldre og / eller midtdeler. Standardene for fartsgrenser under 110 km/t kan forventes å føre til færre ulykker. Reduserer man skulder- eller midtdelerbredden, vil dette føre til flere ulykker. I forhold til en H3-veg med fartsgrense 110 km/t og standardbredder, vil antall ulykker likevel gå ned når man reduserer bredden hvis man samtidig reduserer fartsgrensen (unntatt fartsgrense 100 km/t og minstebredder for både skuldre og midtdeler).

N100 (2023) beskriver tre ulike type firefeltsveg (H3) med fartsgrenser på henholdsvis 110, 100 og 90 km/t. De viktigste forskjellene mellom kravene til tverrprofil og linjeføring er at H3-vegene ved de lavere fartsgrensene kan ha smalere skuldre og krappere kurver. I tillegg kan alle H3-vegene bygges med smalere skuldre og med smalere midtdeler, forutsatt at det settes inn avbøtende tiltak. Dette er mer detaljert beskrevet i kapittel 2.

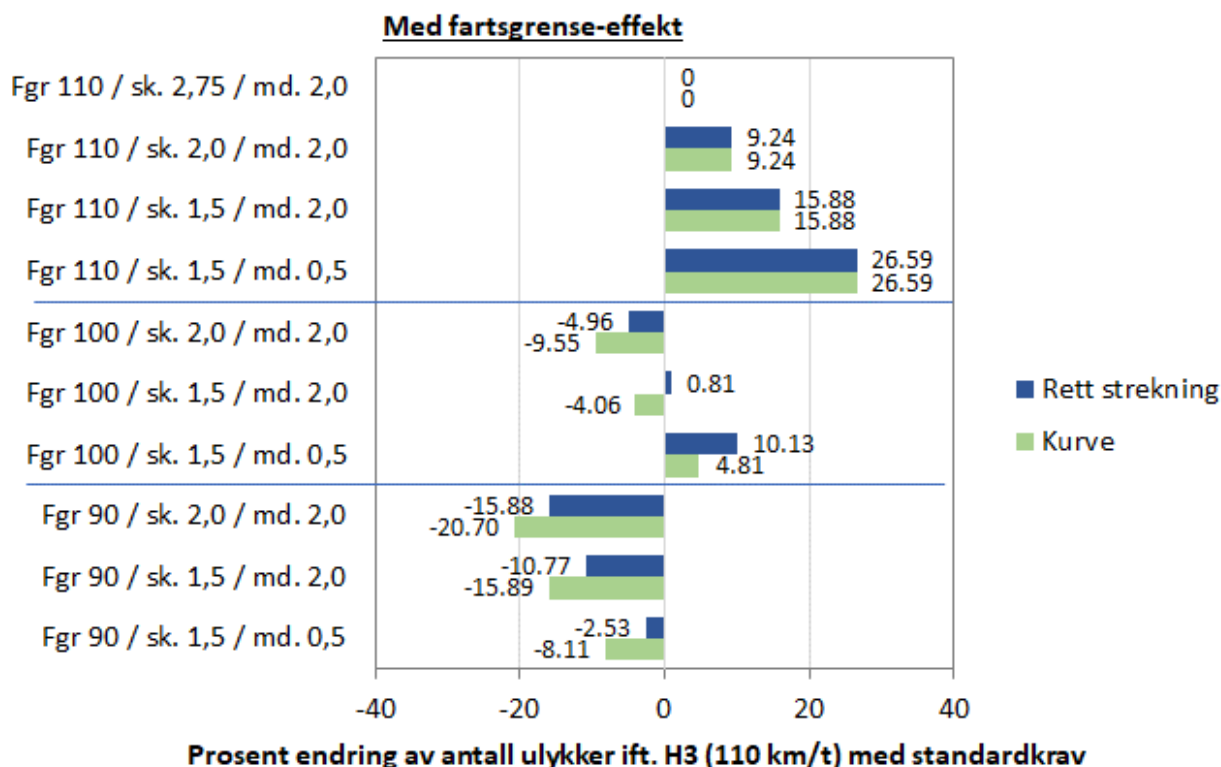
Figur 5.2 viser relative ulykkestall på H3-veger med ulike fartsgrenser og ulike skulder- og midtdelerbredder. Virkningene er beregnet ut fra sammenhengene mellom de enkelte elementene som er funnet i empiriske studier (kapittel 4). De følgende elementene er forskjellige mellom de ulike vegene og inngår i beregningene:

- Skulderbredde (ytre skulder)
- Midtdelerbredde
- Horisontalkurveradius, samt kurvelengde
- Lengde på rett strekning før kurve (gjelder strekning på 1 km lengde med sirkelbue og klotoide i én ende)
- Klotoidelengde
- Minste stoppsikt
- Fartsgrense.

Elementer som ikke inngår i beregningene, er:

- Maksimal stigning og stoppsiktkorrektur ved stigning/fall
- Minste høybrekkradius: Krav henger direkte sammen med stoppsiktlengde, derfor ingen virkning oppgitt.
- Minste lavbrekkradius: Trolig ingen effekt på ulykkestall (dette er i hovedsak et komfortkriterium).

Alle samlede effektene i tabellen er beregnet som kombinert effekt av de enkelte elementene. Dette er altså ikke interaksjonseffekter (jf. avsnitt 3.5), og virkningene av hvert enkelt element er de samme, uavhengig av andre elementer.



Figur 5.2: Prosent endring av antall ulykker på ulike H3-veger med ulik fartsgrense, skulderbredde (sk.) og midtdelerbredde (md.); referansen er H3-veger med fartsgrense. 110 km/t og standardkrav til skulder- og midtdelerbredde.

Fartsgrenser: H3-veger med lavere fartsgrenser har færre ulykker enn H3-veger med høyere fartsgrenser. Forskjellen mellom vegene som påvirker resultatene, i tillegg til fartsgrensen, er endrede krav til horisontalkurvatur. Virkningene av endrede fartsgrenser er beregnet som beskrevet i avsnitt 4.8.

På H3-veger med fartsgrense 100 km/t går antall ulykker ned, eller er omtrent uendret, med mindre man reduserer midtdelerbredden til 0,5 meter.

På H3-veger med fartsgrense 90 km/t går antall ulykker ned, også med reduserte bredder på både vegskuldre og midtdeler.

Tverrprofil: For hver reduksjon av bredden på vegskuldre og ev. midtdeler øker antall ulykker innenfor hver fartsgrense. Disse effektene er beregnet uten å ta hensyn til at man enten må installere stopplommer eller sette inn avbøtende tiltak når man reduserer breddene på skuldre / midtdeler. Med avbøtende tiltak vil virkningene være enten mindre ulykkesøkninger eller større ulykkesreduksjoner enn dem som er vist i figur 5.2.

Med skulderbredder på 2,0 meter kan antall ulykker likevel gå ned når man samtidig setter ned fartsgrensen til 100 eller 90 km/t. Det er da tatt med i beregningene at redusert fartsgrense medføre mindre strenge krav til horisontalkurvatur.

Med skulderbredder på 1,5 meter kan antall ulykker likevel gå ned når man samtidig setter ned fartsgrensen til 90 km/t. Også dette gjelder med samtidig endring av kravene til horisontalkurvatur.

Horisontalkurver: De grønne søylene i figur 5.2 gjelder ulykker i horisontalkurver. De er beregnet for «minstekurver», det vil si kurver som er bygd etter minstekrav. Her inngår både tverrprofilelementene og elementene som er knyttet til horisontalkurvatur, samt fartsgrenseeffektene.

På H3-vegene med fartsgrenser under 110 km/t er det generelt større ulykkesreduksjoner (eller mindre økninger) i kurver enn på rette strekninger. Kurvene på H3-veger med fartsgrenser som er lavere enn 110 km/t, kan være krappere, noe som i seg selv ville medføre flere ulykker. Krappere kurver vil imidlertid også være kortere, noe som fører til færre ulykker når man ser på en strekning av en gitt lengde (her: 1 km).

På H3-veger med fartsgrense 110 km/t er endringene i antall ulykker de samme i kurver og på rette strekninger da kurve-krav er de samme, uavhengig av skulder- og midtdelerbredde.

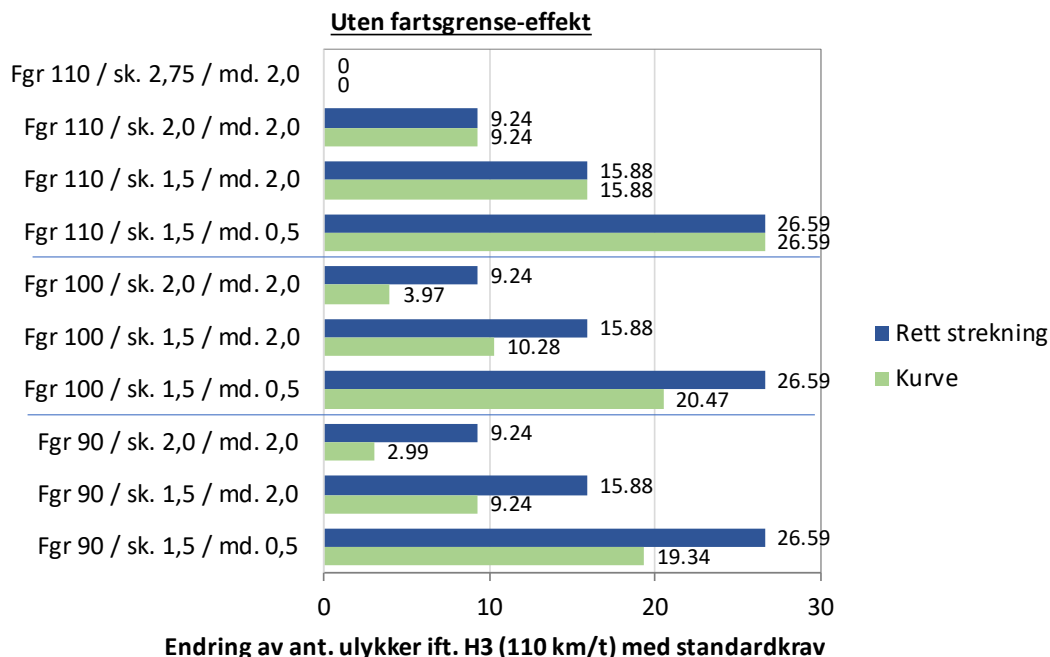
Trasevalg: Kravene til linjeføringen, især horisontalkurvatur, har stor betydning for trasevalg. Mer liberale krav (blant annet mindre minsteradier for horisontalkurver som på H3-veger med 90 og 100 km/t) fører til større friheter ved trasevalg, noe som kan være positivt for både arealbehov, naturinngrep og samlet veglengde. Fører mer liberale krav til at vegen mellom to punkter A og B blir kortere, vil dette bidra til å redusere antall ulykker.

Stigninger og vertikalkurvatur: På H3-veger med fartsgrense 90 km/t kan stigninger være brattere enn på andre H3-veger. Det i seg selv kan forventes å øke antall ulykker med rundt 15 prosent på stigninger som er bygd etter minimumskrav.

Hypotetisk beregning – hvilken betydning har fartsgrensene: De ulike H3-vegene er forskjellige mht. både fartsgrenser og kravene til tverrprofil og linjeføring. For å vise hvor stor effekt de ulike fartsgrensene har, viser figur 5.2 hypotetiske endringer av antall ulykker i forhold til en H3-veg med fartsgrense 110 km/t på H3-veger med ulike krav til tverrprofil og linjeføring. H3-variantene er de samme som i figur 5.2, med den forskjellen at fartsgrensen her forutsettes å være 110 km/t på alle H3-vegene, også på dem som er betegnet som 90 og 100 km/t. På disse vegene gjelder altså dagens krav til tverrprofil og linjeføring for respektive 90- og 100-veger, selv om fartsgrensen er 110 km/t.

Figur 5.3 viser at krav til linjeføring og horisontalkurvatur som gjelder for H3-veger som er dimensjonert for fartsgrense 90 og 100 km/t forventes å føre til relativt store ulykkesøkninger dersom fartsgrensen settes til 110 km/t.

Dette betyr at den lavere fartsgrensen på H3-veger med 90 og 100 km/t er avgjørende for å unngå at antall ulykker øker som følge av mer liberale krav til tverrprofil og linjeføring.



Figur 5.3: Prosent endring av antall ulykker på ulike H3-veger med ulik fartsgrense, skulderbredde (sk.) og midtdelerbredde (md.); referansen er H3-veger med fgr. 110 km/t og standardkrav til skulder- og midtdelerbredde.

5.2.5 Skulderbredde og sikkerhetssone/siderekkerkverk

Reduserer man både skulderbredde og sikkerhetssonen, kan man forvente at det blir flere utforkjøringsulykker. Hvorvidt den kombinerte effekten er større eller mindre enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene, er usikkert, den kan være både større og mindre.

Virkningene av skulderbredde, vegens sikkerhetssone og siderekkerkverk er delvis avhengige av hverandre. Sikkerhetssonen er et område av en viss bredde langs vegen hvor det ikke skal være påkjøringsfarlige objekter. Krav til sikkerhetssonen i Norge er beskrevet i Statens vegvesens håndbok N101. Siderekkerkverk skal kun installeres der det ikke er mulig å oppfylle kravene til sikkerhetssonen. Man kan følgelig ikke kombinere installering av siderekkerkverk og økt bredde på sikkerhetssone. Både siderekkerkverk og endringer av bredden på sikkerhetssonen kan imidlertid kombineres med endringer av skulderbredden.

Alle tre elementene henger sammen med utforkjøringsulykker. Mens skulderbredden i hovedsak påvirker risikoen for utforkjøringer, påvirker både sikkerhetssonen og siderekkerkverk i hovedsak skadegraden ved utforkjøringer.

Tabell 5.5 viser teoretiske virkninger av ulike kombinasjoner av reduserte sikkerhetsmarginer ved skulderbredde, siderekkerkverk og/eller sikkerhetssonen som vil påvirke utforkjøringsulykker. Virkningene er beregnet som kombinerte (multiplikative) effekter og gjelder en bestemt vegstrekning hvor man gjør endringer som oppgitt i tabellen. I de høyre kolonnen viser tabellen forventede virkninger på antall utforkjøringsulykker når man i tillegg installerer forsterket kantoppmerking. Den første raden i tabellen viser for eksempel at redusert skulderbredde ved uendret sikkerhetssone og siderekkerkverk forventes å øke antall utforkjøringsulykker med 3,6 prosent. Installerer man forsterket kantoppmerking, vil antall ulykker derimot gå ned med 15 prosent – forsterket kantoppmerking kan altså mer enn kompensere for den reduserte skulderbredden.

Tabell 5.5: Forventede virkninger på antall utforkjøringsulykker ved endringer av sikkerhetsmarginer ved skulderbredde, siderekkerverk og/eller sikkerhetssone, samt forventede virkninger når man i tillegg installerer forsterket kantoppmerking.

Reduserte sikkerhetsmarginer ved:	Endringer ved...			Virkning på antall utforkjøringsulykker	... med forsterket kantoppmerking
	Sikkerhetssone	Siderekkerverk	Skulderbredde		
Skulderbredde	Uendret	Uendret	Redusert	+3,6%	-15,0%
Siderekkerverk	Uendret	Fjernet	Uendret	+40,8%	+15,5%
Siderekkerverk + skulderbredde	Uendret	Fjernet	Redusert	+45,9%	+19,7%
Sikkerhetssone	Redusert	Uendret (ingen)	Uendret	+6,0%	-13,1%
Sikkerhetssone + skulderbredde	Redusert	Uendret (ingen)	Redusert	+9,8%	-10,0%

Redusert skulderbredde kan forventes å øke antall ulykker, her vist for en reduksjon med 0,30 meter. Større reduksjoner vil ha større effekt, og ulykkesøkningen kan være større når skuldrene allerede er relativt smale (se avsnitt om skulderbredde og forsterket kantoppmerking). Ulykkesøkningen kan trolig (mer enn) kompenseres med forsterket kantoppmerking (jf. avsnitt 4.10 og 5.2.9).

Fjerning av siderekkerverk er det enkelttiltaket som har den største effekten på antall ulykker i tabellen over. Dette gjelder når man *ikke* har en tilstrekkelig sikkerhetssone. I praksis vil virkningen selvfølgelig komme an på hvordan sideterrenget er utformet der man fjerner rekkverket. Forsterket kantoppmerking kan føre til at ulykkesøkningen blir mindre, men kan trolig ikke fullt ut kompensere for de reduserte sikkerhetsmarginene.

En smalere sikkerhetssone (her beregnet for minus én meter) har betydelig mindre effekt enn fjerning av siderekkerverk. Også her vil virkningene i praksis komme an på hvordan sideterrenget er utformet, samt hvor bred sikkerhetssonen var i utgangspunktet. Virkningen vil være større når sikkerhetssonen i utgangspunktet er smal, enn når man reduserer bredden på en veldig bred sikkerhetssone. Installerer man forsterket kantoppmerking, vil dette ifølge vårt regnestykke mer enn kompensere for ulykkesøkningen, det vil si at antall ulykker kan forventes å gå ned, selv med smalere sikkerhetssone.

Sammenhengene som er beskrevet her, er utelukkende basert på teoretiske beregninger og man kan ikke uten videre benytte dem for å predikere virkninger av reduserte sikkerhetsmarginer i praksis. Som nevnt vil virkningene alltid avhenge av de konkrete vegene, sideterrenget, hvor brede sikkerhetssonen og skulderen er i utgangspunktet mv.

Hvordan endringer av kravene til sikkerhetssone, siderekkerverk og skulderbredde vil påvirke antall ulykker, vil i tillegg avhenge av hvor farlig sideterrenget langs alle vegene er.

Sikkerhetssone / siderekkerverk og skulderbredde: Kombinerte eller interaksjonseffekter?

Beregningene ovenfor viser teoretiske effekter som er beregnet som kombinerte, det vil si multiplikative effekter. Vi har ikke funnet empiriske studier som har undersøkt interaksjonseffekter mellom skulderbredde og siderekkerverk/sideterreng.

Det kan likevel være interaksjonseffekter mellom reduserte sikkerhetsmarginer ved sideterreng / -rekkerverk og skulderbredde, men det er usikkert i hvilken retning den vil være. Både for fjerning av siderekkerverk og smalere sikkerhetssone kan virkningen tenkes å være *større* hvis man samtidig reduserer skulderbredden, da det med en smalere skulder er større risiko for at en bil kommer utenfor vegbanen hvor siderekkerverk / sideterreng vil være av betydning.

Resultatene fra studien til Zhu et al. (2010) tyder derimot på at den kombinerte virkningen vil være *mindre*. Zhu et al. (2010) har undersøkt sammenhengene mellom bredden på den asfalterte vegskulderen og på en ikke-asfaltert ytre vegskulder på antall utforkjøringer (dødsulykker). Reduserer man bredden på begge delene av vegskulderen, er virkningen mindre enn man ville forvente ut fra den kombinerte virkningen av å enkeltelementene. Her er det en ikke-asfaltert ytre skulder som er kombinert med en asfaltert skulder, men resultatene kan tenkes å være overførbare til kombinasjonen av en asfaltert skulder og en sikkerhetssone.

Siderekverk/sikkerhetssone og motorsykkelykker

Motorsyklister har i gjennomsnitt høyere skadegrad ved påkjøring av rekkverk enn ved utforkjøring i sideterreng (med mindre de kjører på trær eller stolper i sideterreng, her er påkjøring av rekkverk mindre farlig). En studie av MC-ulykker i kurver viser at det er over dobbelt så mange ulykker med påkjøring av rekkverk i isolerte kurver enn i kurver på kurverike strekninger (Gabauer & Li 2015).

5.2.6 Kjørefeltbredde og sikkerhetssone/siderekverk

Hvorvidt den kombinerte effekten av å redusere sikkerhetsmarginene ved både kjørefeltbredde og vegens sideterreng er større eller mindre enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene, er ukjent.

Kjørefeltbredde og sikkerhetssone / siderekverk påvirker ulike typer ulykker. Kjørefeltbredden kan i prinsippet påvirke alle typer ulykker, mens sikkerhetssone og siderekverk i hovedsak påvirker utforkjøringer. Vi har ikke noe grunnlag for å formulere hypoteser om eventuelle interaksjonseffekter.

5.2.7 Kjørefelt-/skulderbredde og vegbelysning

Hvis man samtidig reduserer sikkerhetsmarginene ved geometriske elementer og fjerner eller reduserer vegbelysning, kan man forvente at antall ulykker vil øke. Hvorvidt ulykkesøkningen vil være større eller mindre enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene, er imidlertid usikkert, den kan være både større og mindre.

Resultater fra meta-analyse som er oppsummert i Trafikksikkerhetshåndboken (Høye 2021⁶) viser ingen systematiske forskjeller i virkningen av vegbelysning mellom ulike typer veg, mellom strekninger og kryss eller mellom tett- og spredtbygd strøk.

Det er imidlertid usikkert hvorvidt det faktisk ikke finnes noen interaksjonseffekter, eller om det ikke er funnet interaksjonseffekter i meta-analysene da disse «forsvinner» i den generelle heterogeniteten i resultatene.

En mulig interaksjonseffekt mellom vegbelysning og geometrisk standard kan, ut fra teoretiske vurderinger, gå begge veier:

- Vegbelysning kan tenkes å ha større effekt på veger med *lavere* geometrisk standard fordi det er mer krevende å kjøre på smalere veger, i krappere kurver mv.
- Vegbelysning kan også tenkes å ha større effekt på veger med en *høyere* geometrisk standard da farten på slike veger som regel er høyere.

Hva summen av de to effektene er, er umulig å avgjøre uten å undersøke dette empirisk.

I studien til Wanvik (2009) er det funnet interaksjonseffekter mellom vegbelysning og type veg. Resultatene viser større virkninger av vegbelysning på veger med høyere fartsgrense og på veger med lavere trafikkmengde. Veger med høyere *fartsgrense* har i gjennomsnitt høyere standard mht. geometriske

⁶ <https://www.tshandbok.no/del-2/1-vegutforming-og-vegutstyr/doc634/>

elementer, men for veger med høyere *trafikkmengde* er det omvendt. Samlet sett gir resultatene dermed ikke støtte for noen av hypotesen om mulige interaksjonseffekter mellom vegbelysning og vegens geometriske standard.

5.2.8 Kjørefelt-/skulderbredde og drift/vedlikehold

Redusert drift og vedlikehold har trolig større ulykkesøkende effekt når man samtidig reduserer sikkerhetsmarginene ved veggeometrien. På den andre siden, kan forbedret drift og vedlikehold i noen grad kompensere for redusert geometrisk standard, i den grad det er forbedringspotensial for drift / vedlikehold.

Vinterføre har i flere empiriske studier vist seg å føre til større risikoøkninger på motorveger, og generelt på veger med høye fartsgrenser, enn på andre veger (jf. Høye et al. 2023A). Dette forklares med at motorveger ellers har betydelig bedre standard og at førerne forventer en høyere standard og å kunne kjøre i høyere fart. Forskjellen mellom vinterføre og bar veg er følgelig større enn på andre veger.

Det betyr omvendt at redusert kvalitet på vinterdrift kan forventes å føre til større prosentvise økninger av ulykkesrisikoen på veger med høy geometrisk standard enn på veger med lavere geometrisk standard. Geometrisk standard omfatter da både vegbredden og linjeføringen. Hvorvidt man finner en slik interaksjonseffekt når man kun reduserer vegbredden, er usikkert. Sammenhengen mellom vinterdrift og linjeføring er bedre dokumentert; den er beskrevet i avsnitt 5.4.5 Linjeføring og drift / vedlikehold.

Virkingen på det totale *antall* ulykker vil i tillegg avhenge av trafikkmengden og ulykkesrisikoen som i gjennomsnitt er henholdsvis høyere og lavere på veger med god standard. Dessuten har veger med en høy geometrisk standard også en høyere standard for drift og vedlikehold. Hvordan endringer i standarden for drift og vedlikehold påvirker antall ulykker, er derfor vanskelig å sammenligne mellom ulike typer veg.

Uansett kan man anta at *bedre* drift og vedlikehold i noen grad vil kunne kompensere for redusert geometrisk standard. Dette gjelder imidlertid bare så lenge det faktisk er et forbedringspotensial ved drift / vedlikehold (vegdekket kan ikke være mer enn jevn, uten skader og med god friksjon). Ut fra størrelsen på virkningene og antall ulykker som påvirkes, er det likevel lite trolig at forbedret drift og vedlikehold kan oppveie for negative sikkerhetseffekter av lavere geometrisk standard.

Selv om vi ikke har funnet empiriske studier som har undersøkt sammenhengen mellom vegvedlikehold (blant annet reasfaltering) og vegbredder, antar vi at man vil finne lignende sammenhenger som for vinterdrift.

5.2.9 Skulderbredde og forsterket vegoppmerking

Forsterket kantoppmerking kan, helt eller delvis, oppveie de negative trafikksikkerhetseffektene av redusert skulderbredde. Jo smalere skuldrene er, desto større er virkingen av forsterket kantoppmerking (interaksjon).

Både skulderbredde og forsterket kantoppmerking påvirker i hovedsak antall utforkjøringsulykker. Vi har funnet tre empiriske studier som har undersøkt interaksjonseffekter mellom skulderbredde og forsterket kantoppmerking (Park et al. 2014; Park & Abdel-Aty 2015; Khan et al. 2015). Resultatene er oppsummert i følgende.

Forsterket kantoppmerking har **størst effekt** på veger med **smale skuldre**. Her er virkingen omtrent like stor som virkingen av å øke skulderbredden. Reduserer man skulderbredden med 0,30 meter, kan forsterket kantoppmerking omtrent oppveie den forventede ulykkesøkningen av den reduserte skulderbredden.

På veger med **brede skuldre** har forsterket kantoppmerking større effekt enn å øke skulderbredden. Reduserer man skulderbredden med 0,30 meter, kan forsterket kantoppmerking derfor mer enn opp-

veie den forventede ulykkesøkningen av den reduserte skulderbredden. Man kan med andre ord redusere skulderbredden og likevel forbedre sikkerheten hvis man samtidig installerer forsterket kantoppmerking. Dette gjelder hvis man legger resultatene fra Park et al. (2014) til grunn som har undersøkt virkningen av forsterket kantoppmerking og skulderbredde; «brede» skuldre er her på 8-12 ft. (2,4 til 3,6 meter).

Disse resultatene tyder på at det er en «ekte» interaksjonseffekt mellom skulderbredde og forsterket kantoppmerking. De viser videre at dersom man reduserer sikkerhetsmarginer ved å redusere skulderbredden, vil man kunne oppveie den negative trafikksikkerhetseffekten ved hjelp av forsterket kantoppmerking.

En mulig utilsiktet virkning av å både redusere skulderbredden og å installere forsterket kantoppmerking kan være at det blir flere kryssninger av midtlinjen (Vafaei et al. 2018B), noe som kan øke risikoen for møteulykker.

5.2.10 Kjørefeltbredde og forsterket vegoppmerking

Forsterket vegoppmerking (kant- og midtoppmerking) kan trolig, i det minste delvis, oppveie de negative trafikksikkerhetseffektene av redusert kjørefeltbredde.

Vi har ikke funnet empiriske studier som har undersøkt interaksjonseffekter mellom kjørefeltbredde og forsterket vegoppmerking.

Vår hypotese er at man vil finne omtrent den samme interaksjonseffekten som for skulderbredde, det vil si at forsterket vegoppmerking, i det minste delvis, kan kompensere for en reduksjon av kjørefeltbredden. Dette gjelder spesielt når man kombinerer forsterket kant- og midtoppmerking. Smalere kjørefelt i kombinasjon med kun forsterket kant- eller midtoppmerking, vil derimot kunne øke antall ulykker. Dette fordi førere har en tendens til å holde mer avstand fra forsterket vegoppmerking, noe som kan øke risikoen for å komme utenfor eget kjørefelt på motsatt side.

5.2.11 Kjørefelt-/skulderbredde og tiltak i kurver

Hvorvidt det er interaksjonseffekter mellom kjørefelt-/skulderbredde og tiltak i kurver, er ikke kjent.

Tiltak i kurver skal kun brukes i kurver etter kriterier som handler om vegens linjeføring, uavhengig av vegbredden. De er dermed relativt lite relevante i forbindelse med reduserte sikkerhetsmarginer ved vegens tverrprofil.

5.2.12 Kjørefelt-/skulderbredde og fartsregulerende tiltak

Tiltak som reduserer fart vil trolig, helt eller delvis, kunne kompensere for reduksjoner av både kjørefelt- og skulderbredden. Hvorvidt det er interaksjonseffekter mellom vegbredde og fart, er ukjent.

Høy fart øker ulykkesrisikoen og det er godt dokumentert at både reduserte fartsgrenser og fartskontroll reduserer antall ulykker og skadegraden i ulykkene. Man kan derfor anta at fartsreduserende tiltak vil kunne kompensere, helt eller delvis, for reduksjoner av både kjørefelt- og skulderbredden.

Vi har ikke grunnlag for å anta at virkningen av fartsgrenser eller fartskontroll vil være forskjellig på veger med ulike kjørefelt- eller skulderbredder.

5.3 Linjeføring og andre elementer

5.3.1 Høy-/lavbrekk og horisontalkurvatur

Uheldige kombinasjoner av høy- og lavbrekk med horisontalkurver, kan føre til større økninger av antall ulykker enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene.

Hvordan vertikal- og horisontalkurver bør kombineres, er beskrevet i Statens vegvesens håndbok V120 (2022). Ideelt sett vil vendepunktene for horisontale og vertikale kurver være sammenfallene. Er de ikke sammenfallende, kan det opptå uheldige kombinasjoner hvor det optiske inntrykket av kurvene kan være misvisende. Det betyr at man kan forvente interaksjonseffekter mellom horisontal- og vertikal-kurvatur.

En slik interaksjonseffekt er funnet i studien til Zhu et al. (2010). Resultatene fra denne studien viser at venstrekurver på bakketopper har flere ulykker enn man ville forvente ut fra virkningen av horisontal- og vertikalkurvatur hver for seg. Det betyr med andre ord at virkningene av vertikal- og horisontalkurvatur forsterker hverandre.

Slike interaksjonseffekter gjelder i hovedsak hvordan man kombinerer horisontal- og vertikalkurver og i mindre grad krav til minste tillatte kurveradier. De viser imidlertid at uheldige kombinasjoner av vertikal- og horisontalkurver kan ha lagt større virkning på antall ulykker enn man ville forvente ut fra enkeltelementene.

5.3.2 Stigninger og horisontalkurver

Uheldige kombinasjoner av høy- og lavbrekk med horisontalkurver kan føre til større økninger av antall ulykker enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene.

I Norge avhenger maksimal stigning av fartsgrensen (V120). Kravene er i hovedsak fastsatt for å sikre fremkommeligheten for tunge kjøretøy. På H3-veger med maksimal stigning på 5 prosent.

Vi har ikke funnet empiriske studier som har undersøkt mulige interaksjonseffekter mellom stigninger og horisontalkurver. Vi antar at virkningene kan forsterke hverandre, slik at brattere stigninger kan forsterke virkningen av uheldig horisontalkurvatur. Økt fart i nedoverbakken kan bidra til å forsterke effekten. En annen faktor er siktforhold, som kan bli betydelig dårligere i kurver når disse i tillegg ligger på en (bratt) stigning.

5.3.3 Linjeføring og sikkerhetssone/siderekkeverk

Reduserer man sikkerhetsmarginer ved både sikkerhetssonen og kurveradius, kan man forvente større ulykkesøkninger enn man ville forvente ut fra virkningene av de enkelte elementene.

Vi antar at det kan være interaksjonseffekter mellom horisontalkurver og sikkerhetssonen / siderekkeverk. Både redusert bredde på sikkerhetssonen (eller fjerning av siderekkeverk) og krappere kurver kan forventes å øke antall ulykker. Det er også mulig at den ulykkesøkende effekt av krappere kurver vil være større når man samtidig reduserer sikkerhetssonen (eller fjerner siderekkeverk).

Vi har funnet én empirisk studie som har undersøkt dette empirisk. Peng et al. (2012) har sammenlignet virkningen av bredden på sikkerhetssonen og antall utforkjøringsulykker mellom kurver og rette strekninger. Økt bredde på sikkerhetssonen har omtrent dobbelt så stor virkning i kurver (-7,8 prosent per meter breddeøkning) som på rette strekninger (-4,0 prosent).

Det betyr at den kombinerte virkningen av kurve vs. rett strekning og redusert bredde på sikkerhetssonen vil være større enn forventet ut fra virkningene av enkeltelementene. Dette gjelder for kurver vs. rette strekninger, men vi antar at det samme vil gjelde for samtidige endringer av kurveradius (krappere kurver) og bredden på sikkerhetssonen.

5.3.4 Linjeføring og vegbelysning

Hvis man samtidig reduserer sikkerhetsmarginene ved veggeometrien og fjerner eller reduserer vegbelysning, kan man forvente at antall ulykker vil øke. Hvorvidt ulykkesøkningen vil være større eller mindre enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene, er imidlertid usikkert, den kan være både større og mindre.

Sammenhengen mellom vegens geometriske standard er diskutert i avsnitt 5.3.6 (Kjørefelt- / skulderbredde og vegbelysning). Konklusjonen der er at det er usikkert hvorvidt den kombinerte virkningen av å både redusere den geometriske standarden og å fjerne eller redusere vegbelysningen, vil være større eller mindre enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene.

5.3.5 Linjeføring og drift/vedlikehold

Reduserer man sikkerhetsmarginene ved både vegens linjeføring og vinterdriften, kan man forvente større ulykkesøkninger enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene. Det samme vil trolig gjelde for vegvedlikehold.

Drift og vedlikehold har i empiriske studier vist seg å ha større betydning på veger med en lavere geometrisk standard (jf. avsnitt 5.3.7 Kjørefelt-/skulderbredde og drift/vedlikehold). Dette gjelder den geometriske standarden generelt (for eksempel motorveger vs. andre veger), og ikke spesifikt veggbredden.

Sammenhengen mellom linjeføring og vinterdrift er undersøkt av Høye et al. (2023A) som har analysert dødsulykker som skjedde om vinteren i Norge (2017–2020). Resultatene viser at ulykker på vinterføre oftere enn andre ulykker skjer i kurver, og at faktorer ved vegens linjeføring oftere bidrar til ulykker som skjedde på vinterføre enn i andre ulykker. Faktorene ved linjeføringen omfatter uheldig tverrfall (utenfor vegnormal) og horisontalkurvatur (kurver som er krappe, sammensatte eller har varierende radius), samt stigninger.

At linjeføringen har større betydning på glatte veger, kan forklares med at lav friksjon øker bremselengden i nedoverbakker og at farten i kurver må settes ned langt mer i kurver enn på en veg med god friksjon. I tillegg er sammenhengene mellom friksjon og bremselengde / sidekrefter i kurver ikke lineære, slik at man må forvente at også ulykkesrisikoen øker mer enn lineært når friksjonen går ned.

For sikkerhetsmarginene betyr disse resultatene at en samtidig reduksjon av sikkerhetsmarginene ved både vegens linjeføring og vinterdriften, kan forventes å ha større effekt enn man ville forvente ut fra virkningene av enkeltelementene. Det samme vil trolig gjelde for vegvedlikehold generelt.

5.3.6 Linjeføring og forsterket vegoppmerking

Forsterket vegoppmerking har langt mindre ulykkesreducerende effekt i krappe kurver enn i slake kurver og på rette strekninger. Man kan heller ikke forvente at forsterket vegoppmerking kan kompensere for reduserte sikkerhetsmarginer ved vegens linjeføring.

Forsterket vegoppmerking har trolig mindre effekt i kurver, især i krappe kurver, og på bratte stigninger enn på rette strekninger. Ulykker i kurver og på stigninger er ofte utforkjøring eller møteulykker som skjer som følge av for høy fart. Forsterket vegoppmerking derimot kan i hovedsak forhindre ulykker som skjer når førere er uoppmerksomme.

Flere empiriske studier som har sammenlignet virkninger av forsterket vegoppmerking i kurver og på rette strekninger, bekrefter denne hypotesen.

For forsterket kantoppmerking viser Khan et al. (2015) at den ulykkesreducerende effekt er omtrent halvert (-11 prosent vs. -22 prosent) i kurver som har en dimensjonerende fart under 72 km/t i forhold til slakere kurver.

For forsterket midtoppmerking viser Babiceanu og Fontaine (2018) at den ulykkesreducerende virkningen er langt større på rette strekninger (alle ulykker: -5 %; møteulykker: -37 %) enn i kurver (alle ulykker: -3 %; møteulykker: -17 %).

Det betyr at reduserte sikkerhetsmarginene ved horisontalkurvatur, i langt mindre grad vil kunne oppveies ved hjelp av forsterket vegoppmerking i (krappe) kurver enn på andre strekninger.

5.3.7 Linjeføring og tiltak i kurver

Tiltak i kurver skal ikke brukes andre steder enn på veger med uheldig linjeføring.

Tiltak i kurver er kun ment for bruk i kurver med uheldig geometrisk utforming. Det ville ikke vært hensiktsmessig å benytte dem på andre strekninger.

Vi har ikke noe empirisk grunnlag for å vurdere hvorvidt virkningen kan være forskjellig på ulike typer veg, ved ulike fartsgrenser eller lignende.

5.3.8 Linjeføring og fartsregulerende tiltak

Tiltak som reduserer fart kan ha større effekt i bratte stigninger og på høybrekk enn på flate veger, men har trolig lite effekt i krappe kurver.

Ulykker i (krappe) **kurver** skjer ofte som følge av høy fart etter forholdene og i mindre grad som følge av fart over fartsgrensen. Fartskontroll er dermed trolig lite hensiktsmessig som kompenserende tiltak på veger med uheldig horisontalgeometri. Reduserte fartsgrenser kan teoretisk redusere antall ulykker i krappe kurver, men dette forutsetter at de er tilpasset de aktuelle forholdene.

Ulykker i **nedoverbakke** kan derimot i større grad være relatert til fart over fartsgrensen. En studie av streknings-ATK i Norge viser for eksempel at tiltaket har størst virkning i undersjøiske tunneler hvor mange ulykker er relatert til de bratte nedoverbakkene (Høye 2014). Hvorvidt reduserte fartsgrenser kan redusere ulykker i bratte nedoverbakker vil avhenge av hvorvidt fartsgrensene overholdes.

I **høybrekk** har vertikalkurveradius betydning for ulykkesrisikoen ved at for krappe høybrekk ikke har tilstrekkelig siktlengde. Reduserer man sikkerhetsmarginene ved høybrekk (det vil si tillater krappere høybrekk), kan man forvente at antall ulykker vil øke. Både antall ulykker og skadegraden vil imidlertid kunne reduseres med fartsregulerende tiltak. Ved lavere fart stilles mindre krav til stoppsiktlengde, samt at ulykker i lavere fart i gjennomsnitt er mindre alvorlige.

I **lavbrekk** har vertikalkurveradius i hovedsak betydning for komfort og i mindre grad for ulykker.

5.4 Sikkerhetssone/siderekkerkverk og andre elementer

5.4.1 Sikkerhetssone/siderekkerkverk og vegbelysning

Reduserer man sikkerhetsmarginer ved sikkerhetssone/siderekkerkverk samtidig som man fjerner eller reduserer vegbelysningen, må man forvente at antall ulykker vil øke, men det er ukjent hvorvidt virkningene forsterker hverandre.

Det er ukjent hvorvidt det er interaksjonseffekter mellom reduserte sikkerhetsmarginer ved vegens sikkerhetssone/siderekkerkverk og vegbelysning.

5.4.2 Sikkerhetssone/siderekkeverk og drift/vedlikehold

Reduserer man sikkerhetsmarginer ved sikkerhetssone/siderekkeverk samtidig som man reduserer drift og vedlikehold, må man forvente at antall ulykker vil øke, men det er ukjent hvorvidt virkningene forsterker hverandre.

Vi har ikke noe grunnlag for å formulere hypoteser om mulige interaksjonseffekter.

5.4.3 Sikkerhetssone/siderekkeverk og forsterket vegoppmerking

Forsterket kantoppmerking kan trolig, i det minste delvis, oppveie de negative trafiksikkerhetseffektene av reduserte sikkerhetsmarginer ved sikkerhetssone/siderekkeverk.

Her gjelder trolig det samme som for smalere skuldre (jf. avsnitt 5.3.8 Skulderbredde og forsterket vegoppmerking).

5.4.4 Sikkerhetssone/siderekkeverk og tiltak i kurver

Tiltak i kurver skal kompensere for uheldig horisontal linjeføring. Det er trolig ingen interaksjonseffekter med vegens sikkerhetssone eller siderekkeverk.

Bruken av tiltak i kurver avhenger av veggeometrien i kurver og slike tiltak skal kompensere for uheldig horisontal linjeføring. Slike tiltak kan redusere risikoen i kurver, men vi har ikke grunn til å anta at denne virkningen er verken større eller mindre avhengig av vegens sikkerhetssone eller siderekkeverk.

5.4.5 Sikkerhetssone/siderekkeverk og fartsregulerende tiltak

Reduserte sikkerhetsmarginer ved sikkerhetssone/siderekkeverk kan delvis kompenseres for med fartsreduserende tiltak. Hvorvidt det er interaksjonseffekter, er ukjent.

Vi har ikke grunnlag for å formulere hypoteser om mulige interaksjonseffekter.

5.5 Vegbelysning og andre elementer

5.5.1 Vegbelysning og drift/vedlikehold

Vegbelysning kan (delvis) kompensere for redusert drift og vedlikehold, men det er ukjent hvorvidt virkningen av vegbelysning er større eller mindre når man reduserer standarden for drift og vedlikehold.

I teorien kan vegbelysning (delvis) kompensere for reduserte marginer ved drift og vedlikehold ved at belysning gjør det enklere i mørke å oppdage for eksempel ujevnheter, hull og glatte partier. Omvendt kan det å redusere eller fjerne vegbelysningen gjøre dette vanskeligere og dermed øke ulykkesrisikoen.

Hvorvidt virkningen av vegbelysning er større eller mindre når man reduserer standarden for drift og vedlikehold, er ukjent.

I studien til Wanvik (2009) er det oppgitt virkninger av vegbelysning for ulike vær- og vegforhold. Resultatene spriker imidlertid mellom analysene for ulike veger. På motorveger i Nederland og Sverige viser resultatene større virkninger av vegbelysning når det er oppholdsvær og på tørr veg enn i regnvær og på våt veg og vinterføre. Analysene for norske veger viser omvendt effekt. Det er dermed ikke mulig å dra konklusjoner om hvordan driftsforhold påvirker effekten av vegbelysning.

5.5.2 Vegbelysning og tekniske elementer

Det er en mulig interaksjonseffekt mellom vegbelysning og tiltak i kurver, ved at redusert vegbelysning har en mindre ulykkesøkende effekt i kurver når disse har tiltak enn når de ikke har det. Vi har ikke grunn til å anta at det er interaksjonseffekter mellom vegbelysning og andre tekniske elementer.

Med andre tekniske elementer mener vi her:

- Forsterket vegoppmerking
- Tiltak i kurver
- Fartsregulerende tiltak.

Det kan være en interaksjonseffekt mellom vegbelysning og tiltak i kurver. Tiltak i kurver, især bakgrunns- og retningsmarkering samt kantstolper med refleks, kan på ubelyste veger i mørke være den eneste muligheten førerne har for å oppdage kurver i tide og for å vurdere forløpet. På belyste veger vil dette derimot være betydelig enklere. I dagslys vil det neppe være noen forskjell mellom belyste og ubelyste veger (hvis alt annet er likt). Hvis tiltak i kurver har større ulykkesreducerende effekt på ubelyst veg enn på belyst veg, kan man anta at å redusere eller fjerne vegbelysningen kan føre til mindre ulykkesøkninger i kurver når man samtidig installerer tiltak i kurver. Dette er likevel usikkert da både vegbelysning og tiltak i kurver også påvirker farten.

5.6 Drift/vedlikehold og andre elementer

5.6.1 Drift/vedlikehold og forsterket vegoppmerking

Den ulykkesreducerende effekten av forsterket vegoppmerking blir redusert eller forsvinner når man reduserer standarden for drift og vedlikehold.

Forsterket vegoppmerking virker ved at det gir vibrasjon og lyd ved overkjøring. Ved dårlig drift og vedlikehold kan de freste rumlerillene bli slitt i kantene, eller forsvinne helt, og de kan tette seg med for eksempel snø og is eller løv og grus. Dermed vil den forsterkede vegoppmerkingen miste effekten. Dette vil være en interaksjonseffekt ved at den ulykkesreducerende effekten av forsterket vegoppmerking blir redusert eller forsvinner når man reduserer standarden for drift og vedlikehold.

5.6.2 Drift/vedlikehold og andre tekniske elementer

Vi har ikke grunn til å anta at det er interaksjonseffekter mellom drift/vedlikehold og andre tekniske elementer.

Med andre tekniske elementer mener vi her:

- Tiltak i kurver
- Fartsregulerende tiltak.

5.7 Forsterket vegoppmerking, tiltak i kurver og fartsregulerende tiltak

Hvordan forsterket vegoppmerking og tiltak i kurver påvirker ulykker, hver for seg og i kombinasjon med elementer ved veggeometrien, er beskrevet i avsnittene over.

Vi har ikke grunnlag for å formulere hypoteser om mulige interaksjonseffekter mellom forsterket vegoppmerking, tiltak i kurver og fartsregulerende tiltak, og slike effekter vil heller ikke være veldig relevante for problemstillingen i denne rapporten.

6 Samfunnsmessige utviklingstrekk og vegutforming

Dette kapitlet drøfter hvilken betydning samfunnsmessige utviklingstrekk kan ha for kravene til vegutforming. Dette er studiens andre mål.

6.1 Kjøretøypark og teknologi

6.1.1 Kjøretøyteknologi

Ny kjøretøyteknologi kan til en viss grad tenkes å oppveie reduserte sikkerhetsmarginer ved veggeometrien. Dette gjelder imidlertid kun de bilene som er utstyrt med teknologien, spesifikke ulykkestyper og spesifikke situasjoner. I praksis vil man, så lenge det finnes førerstyrte biler, ikke kunne redusere sikkerhetsmarginene uten at dette vil føre til flere ulykker.

De siste 20-30 årene er personbilene blitt betydelig sikrere (Høye 2017, 2019). Dette er en utvikling som kan ventes å fortsette i årene som kommer. Noe av det sikkerhetsutstyret på biler som har bidratt til å redusere antall drepte eller hardt skadde i trafikken de siste årene, er i ferd med å nå 100 prosent utbredelse i bilparken. Det er blant annet kollisjonsputer, elektronisk stabilitetskontroll og nødbremseassistent. Andre typer utstyr har ennå langt igjen til 100 prosent utbredelse og vil derfor bidra til å redusere antall drepte eller hardt skadde i årene som kommer. Av disse er det flere som kan tenkes å påvirke risikoen for de samme typer ulykker som de veggeometriske elementene som er beskrevet i denne rapporten:

- **Feltskiftevarsler:** Reduserer risikoen for at bilen utilsiktet forlater kjørefeltet som følge av for eksempel uoppmerksomhet. Møte- og utforkjøringsulykker utgjorde i 2018–2022 til sammen 47 prosent av alle skadde og 57 prosent av alle drepte eller hardt skadde i personskadeulykker i Norge. Virkningen på antall møte- og utforkjøringsulykker er anslått til -10 prosent. Virkningen er trolig større på veger med smalere kjørefelt enn på veger med brede kjørefelt. Utbredelsen av feltskiftevarsler er anslått til omtrent halvparten av alt trafikkarbeid med lette kjøretøy i 2023. Fra 2024 er feltskiftevarsler obligatorisk på alle nye biler (Høye et al. 2023B).
- **Fartsgrensevarsler:** Reduserer risikoen for alle ulykker hvor fart over fartsgrensen er medvirkende. Elvik (2023B) har estimert at antall drepte kunne vært redusert med 22 prosent, antall hardt skadde med 16 prosent og antall lettere skadde med 10 prosent dersom alle motorkjøretøy hadde tvingende ISA. Utbredelsen av fartsgrensevarsler er anslått til rundt en tredjedel av alt trafikkarbeid med lette kjøretøy i 2023. Fra 2024 er systemet obligatorisk på alle nye biler (Høye et al. 2023B).
- **Forbedret kollisjonsbeskyttelse:** Kan redusere skadegraden i alle ulykkene hvor en fører eller passasjer i et motorkjøretøy blir skadd eller drept, spesielt i de mest alvorlige ulykkene som for eksempel utforkjøringer og møteulykker. Kollisjonsbeskyttelsen i nye biler forbedres fortløpende (Høye et al. 2023B).
- **Kurvevarsling:** Kan redusere risikoen i kurver og kan dermed være relevant på veger med uheldig horisontalkurvatur. Slike systemer er i dag ikke på markedet.

Reduserte sikkerhetsmarginer ved veggeometrien vil trolig i mindre grad påvirke ulykkestallene dersom alle bilene hadde vært utstyrt med slike systemer. Systemene påvirker imidlertid langt fra alle ulykker og empiriske ulykkestudier finner ofte langt mindre virkninger enn studier som har estimert mulige eller potensielle virkninger. For eksempel kan feltskiftevarsler ikke forventes å ha noen effekt på ulykker hvor farten er for høy, friksjonen for lav, kjørefeltoppmerkingen for dårlig, eller hvor føreren er beruset.

Atferdstilpasninger, som høyere fart eller at førere er mindre oppmerksomme, kan også bidra til å redusere virkningen. I tillegg er mange førerstøttesystemer, som blant annet feltskiftevarsler, ofte slått av.

På lengre sikt kan utvikling av selvkjørende biler trolig forbedre sikkerheten. Denne utviklingen vil imidlertid ta mange år. Undervegs kan det ventes at mer og mer avanserte førerstøttesystemer utvikles. Det er, for eksempel, ikke utenkelig at biler får utstyr som gjør det lettere å kjøre sikkert gjennom kurver. Dette kan være varsling av kurven, eventuelt mer avansert utstyr som måler friksjon og sideakselerasjon og regulerer farten slik at den er lav nok til å komme gjennom kurven uten å miste kontroll. Med slikt utstyr kan radius i kurver bety mindre for ulykkesrisikoen enn det gjør i dag.

Det vil likevel ta lang tid før selvkjørende biler kommer på markedet og har en så avansert teknologi at den fungerer på alle vegtyper. Det er dessuten ikke avklart om selvkjørende biler helt vil overta for førerstyrte biler, eller om førerstyrte biler fortsatt skal være tillatt. I det sistnevnte tilfellet må det antas at selvkjørende biler aldri vil oppnå en markedsandel på 100 prosent, fordi de som liker å kjøre bil vil fortsette å ha førerstyrte biler. Hvordan trafikksikkerheten vil bli i et trafikksystem som består av en blanding av selvkjørende og førerstyrte biler, vet vi lite om. Man kan anta at antall ulykker vil gå ned, fordi de selvkjørende bilene fjerner mange risikofaktorer som knytter seg til førere, som ruspåvirkning, trøtthet, fartsovertredelser, og så videre.

Så lenge førerstyrte motorkjøretøy fortsatt finnes og tillates brukt, er det vanskelig å tenke seg at de sikkerhetsmarginer som er bygget inn i veger kan reduseres noe særlig uten at antall ulykker vil øke. Menneskelige førere vil trenge like store sikkerhetsmarginer som de har i dag.

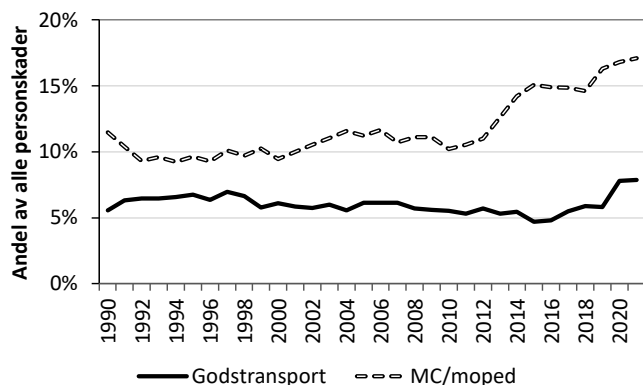
6.1.2 Typer kjøretøy: Motorsykler og tunge kjøretøy

Med økende motorsykeltrafikk vil sikkerhetsmarginer ved både veggeometri og vegvedlikehold få større betydning, slik at reduserte sikkerhetsmarginer må forventes å føre til større ulykkesøkninger.

Når andelen tunge kjøretøy øker, kan man forvente at reduserte sikkerhetsmarginer, især ved vegvedlikeholdet, vil få større betydning. Også sikkerhetsmarginene ved veggeometrien kan få større betydning, men dette er mer usikkert.

Endringer i kjøretøyparken som fordelingen av ulike typer kjøretøy, kan påvirke betydningen av veggeometriske elementer. For å vurdere dette, måtte man ha kunnskap om hvordan veggeometrien henger sammen med ulykkesrisikoen for spesifikke kjøretøytyper. Slik kunnskap foreligger ikke, men man kan på generelt grunnlag gjøre noen antakelser. Dette gjør vi i følgende for motorsykler og tunge kjøretøy.

Figur 6.1 viser andelen av alle skadde personer i trafikkuulykker i 1990-2021 i godsbiler og på motorsykel (MC) eller moped. Andelen i godsbiler har vært relativt uendret over tid, men har økt noe i de siste fem årene. Andelen av alle skadde på MC/moped har økt markant i de siste 10 årene.



Figur 6.1: Andelen av alle skadde personer i trafikulykker i 1990–2021 i godsbiler og på motorsykkel (MC) eller moped, basert på offisiell ulykkesstatistikk⁷.

Hvordan absolutte antall personskader og registrerte kjøretøy endret seg i løpet av de siste 10 årene, er vist i Tabell 6.1.

Tabell 6.1: Endringer over tid av kjøretøybestand (fra 2011 til 2022, OFV⁸) og antall personskader (fra 2011 til 2021⁹).

Kategori	Kjøretøybestand	Personskader
Lastebiler / Godstransport	-20 %	-19 %
Moped	-25 %	
Motorsykkkel	+16 %	
Motorsykkkel / Moped	-6 %	-9 %
Personbiler	+18 %	-53 %

Motorsykler

Motorsykkkelbestanden har økt med 16 prosent i løpet av de siste 10 årene. Selv om antall personskader på moped og MC har gått ned, utgjorde skadde på MC/moped en betydelig større andel av alle personskader i 2021 enn ti år tidligere. Antall registrerte mopeder har gått ned over tid; det er derfor lite trolig at mopeder har bidratt til den store økningen av andelen personskader på MC/moped. I tillegg kjører mopeder ikke eller kun i liten grad på veier som utformes etter dimensjoneringsklassene for hovedveger.

Dette tyder på at især utviklingen av trafikkmengden med motorsykkkel kan være av betydning for hvordan sikkerhetsmarginene ved både geometriske elementer og vegvedlikehold påvirker ulykkestall:

- Horisontal kurvatur: Uheldig geometrisk utforming av kurver er mer uheldig for motorsykler enn for andre kjøretøy, en stor andel av de mest alvorlige MC-ulykkene skjer i kurver, og MC-førere og -passasjerer er mer utsatt for alvorlige skader i slike ulykker.
- Tverrprofil: MC og mopeder er smale har i kurver behov for tilstrekkelig kjørefeltbredde for å unngå utforkjøring og å komme over i motgående kjørefelt eller sideterreng med deler av

⁷ <https://trine.atlas.vegvesen.no/>

⁸ <https://ofv.no/kjoretøybestanden/kj%C3%B8ret%C3%B8ybestand-31-12-2022>

⁹ <https://trine.atlas.vegvesen.no/>

kroppen eller kjøretøyet. I tillegg kan man forvente at skadegraden blant personer på moped/MC vil øke mer i kollisjoner med andre kjøretøy.

- Drift og vedlikehold: For motorsykler øker ulykkesrisikoen mer enn for andre kjøretøy på ujevne, skadede og glatte vegdekker da stabiliteten i langt større grad påvirkes av slike faktorer.

Reduserte sikkerhetsmarginer ved både horisontalkurvatur og tverrprofil kan følgelig forventes å føre til større risikoøkninger for MC enn for andre motorkjøretøy.

Forventer man en ytterligere økning av motorsykeltrafikken, kan dette følgelig føre til større ulykkesøkninger som følge av reduserte sikkerhetsmarginer enn man ville forvente med dagens kjøretøypark.

Tunge kjøretøy

For tunge kjøretøy er utviklingen mindre tydelig enn for MC og moped. Andelen av alle personskader i tunge kjøretøy har økt i de siste fem årene (:). Bestanden av tunge kjøretøy og det absolutte antall personskader i tunge kjøretøy har derimot gått ned over tid i de siste 10 årene.

Figuren viser kun personskader blant personer i tunge kjøretøy. Ulykker med tunge kjøretøy fører imidlertid ofte til skader blant andre trafikanter, og disse kommer ikke fram av utviklingen vist i figuren over.

Hvordan tunge kjøretøy påvirkes av reduserte sikkerhetsmarginer ved veggeometrien er ikke uten videre innlysende:

- Horisontal kurvatur: Tunge kjøretøy kjører generelt saktere i kurver enn andre kjøretøy, men også de vil være påvirket av uheldig kurveutforming, blant annet ved at velterisikoen øker.
- Tverrprofil: Tunge kjøretøy er bredere og trenger mer plass enn andre kjøretøy. De kan derfor tenkes å være påvirket av smalere tverrprofiler i større grad enn mindre kjøretøy. På den andre siden kan lavere fart redusere skadegraden.

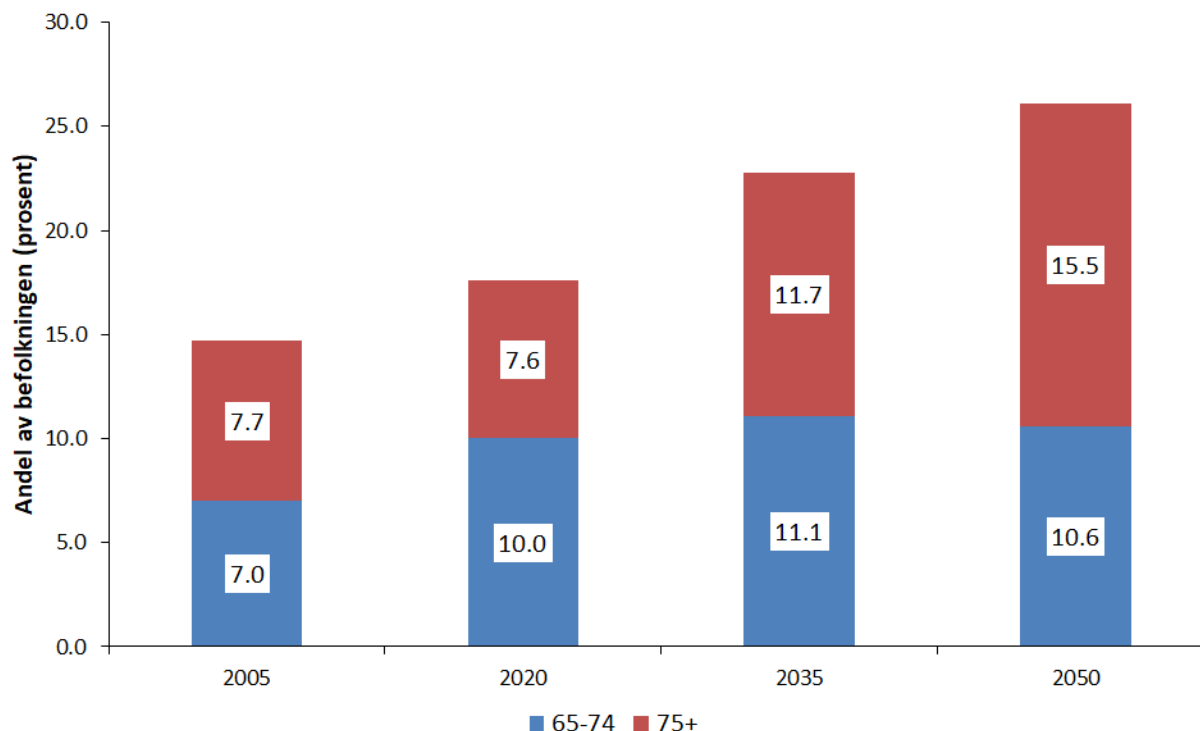
Selv om man følgelig vil forvente at også tunge kjøretøy vil kunne påvirkes av reduserte sikkerhetsmarginer, er det ikke mulig å trekke konklusjoner om hvorvidt de påvirkes mer eller mindre enn andre kjøretøy eller om hvorvidt man bør ta hensyn til eventuelle endringer i trafikkmengden med tunge kjøretøy over tid.

En annen virkning av tunge kjøretøy er at de påvirker slitasje på vegene i langt større grad enn lette kjøretøy (Morovatdar et al. 2019; Liu 2015). Dersom man forventer økt trafikk med tunge kjøretøy, ville dette tilsa at veggeometrien vil få større betydning, da økt vegslitasje gjør behovet for sikkerhetsmarginer ved veggeometrien større (se avsnitt 6.3 om Klima).

Sikkerhetsmarginer ved vegvedlikeholdet kan også forventes å få økt betydning når andelen tunge kjøretøy øker. Park et al. (2017) viser at reasfaltering har større effekt på veger med en høy andel tungtrafikk (over 3,5 prosent) enn på veger med en lavere tungbilandel. Det betyr at reduserte sikkerhetsmarginer ved vegvedlikeholdet (situasjoner før reasfaltering) påvirker tunge kjøretøy i større grad enn lette.

6.2 Befolkningsutvikling

Det vil i tiden fram til 2050 skje store endringer i befolkningens aldersfordeling. Figur 6.2, som er hentet fra grunnlagsmaterialet til Nasjonal transportplan 2025-2036, viser framskriving av befolkningens aldersfordeling.



Figur 6.2: Andel av befolkningen i alderen 65-74 år og 75 år og eldre på ulike tidspunkt.

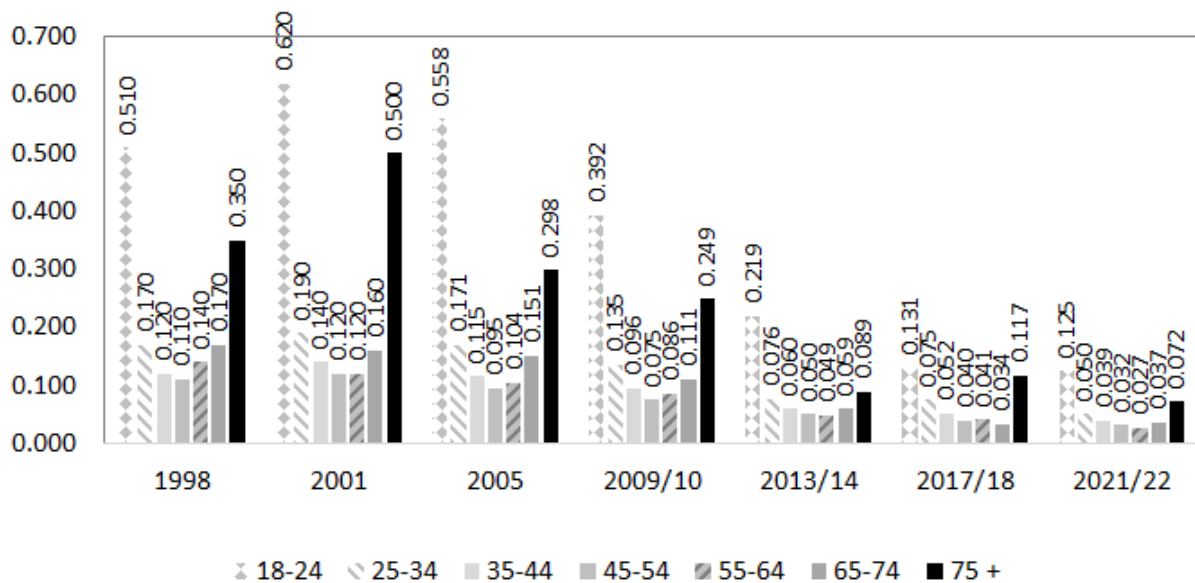
Det er særlig aldersgruppen 75 år og eldre som vil øke. Fra 2020 til 2050 forventes andelen av befolkningen som er 65 år eller eldre, øke fra 17,6 prosent til 26,1 prosent. Dette vil føre til at det flere eldre førere og eldre i andre trafikantgrupper.

6.2.1 Bilføreres alder og skaderisiko

Andelen eldre bilførere vil trolig øke, spesielt i de eldste aldersgruppene. Ulykkesrisikoen for eldre bilførere forventes å gå ned, men den vil trolig likevel forbli høyere enn blant yngre bilførere.

Risikoen for å bli skadet i trafikken regnes med noen års mellomrom ut på grunnlag av offisiell ulykkesstatistikk og reisevanedata. Rapporter om risiko i veitrafikken er utgitt i 1988, 1993, 1998, 2003, 2008, 2011, 2015, 2020 og 2024 (jf. Bjørnskau m.fl. 2024). De mest detaljerte data foreligger for personbilførere.

Figur 6.3 viser kurver for personbilføreres risiko for å bli drept eller skadet per million kjørte kilometer fra 1992 til 2021/22.



Figur 6.3: Personbilføreres skaderisiko per million personkilometer fordelt på alder og år.

Risikoen er betydelig redusert i senere år. Kurvene er også blitt flatere, det vil si at variasjonen i risiko mellom ulike aldersgrupper er redusert. Er dette en utvikling som kan ventes å fortsette? Er det mulig å forutsi framtidige endringer i bilføreres ulykkesrisiko?

For å svare på disse spørsmålene er det nyttig å skille mellom to faktorer som påvirker endringene i risiko. Disse to faktorene kalles ofte tidseffekten og kohorteffekten.

Tidseffekten omfatter bilførere i alle aldersgrupper og betyr at alle bilførere får lavere risiko over tid som følge av sikrere veier og sikrere biler. Tidseffekten varierer lite mellom aldersgrupper, men det er en tendens til at den er noe sterkere for eldre førere enn for førere i lavere aldersgrupper. Over tid er risikoen redusert noe mer for eldre førere enn for andre. Dette kan også ses av figur 7, ved at høyre del av kurvene ikke stiger like mye som venstre del av dem. For både 2013/14 og 2017/18 er venstre del av kurven høyere enn høyre del.

Kohorteffekten viser endringer over tid i risikoen for førere som i 1992 tilhørte en bestemt aldersgruppe. I 2018 var førere som i 1992 tilhørte aldersgruppen 18-24 år blitt 26 år eldre og tilhørte aldersgruppen 44-50 år. Denne aldersgruppen stemmer ikke overens med noen av de aldersgruppene som er brukt over tid, men overlapper mest med aldersgruppen 45-54 år i 2017/18. Førere i denne aldersgruppen hadde i 2017/18 hele 88 prosent lavere skaderisiko enn førere i aldersgruppen 18-24 år hadde i 1992. Kohorteffekten er større for førere som i 1992 tilhørte lavere aldersgrupper enn for førere som i 1992 tilhørte høyere aldersgrupper. Den høyeste aldersgruppen i 1992 som kan matches med en aldersgruppe i 2017/18, er aldersgruppen 55-64 år. Førere i denne aldersgruppen var i 2017/18 81-90 år og tilhørte dermed i 2017/18 aldersgruppen 75 år og eldre. Disse førerne hadde i 2017/18 55 prosent lavere skaderisiko enn i 1992. Det er en vesentlig mindre nedgang i skaderisiko enn for den yngste aldersgruppen.

Disse tendensene peker mot at to konklusjoner kan trekkes. For det første vil en fortsatt utvikling mot sikrere biler redusere skaderisikoen for alle bilførere. For det andre kan førere som i dag er relativt unge, ventes å ha en større nedgang i skaderisiko enn førere som i dag er eldre.

Det siste tilsier at risikokurvene som viser sammenhengen mellom førernes alder og risiko, vil bli enda flatere, spesielt i den delen som gjelder eldre førere. Man kan likevel ikke forvente at utflatingen fortsetter til kurven er helt flat og risikoen lik i alle aldersgrupper:

- Eldre førere har i gjennomsnitt lengre reaksjonstider enn yngre førere (Chen et al. 2021)
- Med økende alder svekkes syn og hørsel
- Eldre bruker også i større grad medikamenter enn yngre, noe som også kan forventes å øke ulykkesrisikoen
- Med økende alder øker risikoen for alvorlige skader, gitt at man er involvert i en ulykke.

I tillegg kan andelen eldre førere øke, spesielt i de eldste aldersgruppene. Selv om økningen i risiko for disse førerne sannsynligvis blir mindre, kan skadetallene likevel øke fordi eldre førere vil utgjøre en økende andel av alle førere.

Økende utbredelse av førerstøttesystemer kan tenkes å gjøre individuelle føreregenskaper mindre relevante over tid. På den andre siden kan økt utbredelse av førerstøttesystemer føre til at eldre i større grad fortsetter å kjøre bil, og at det dermed vil være enda flere eldre, også i de høyeste aldersgruppene, som kjører bil.

6.2.2 Bilføreres alder og sikkerhetsmarginer ved veggeometrien

Reduserte sikkerhetsmarginer, især ved sikkerhetssoner, vegbelysning og drift/vedlikehold kan forventes å føre til større ulykkesøkninger når andelen eldre førere øker.

Når det over tid vil bli flere eldre bilførere, er spørsmålet om dette burde påvirke kravene til veggeometrien. Hvis reduserte sikkerhetsmarginer ved veggeometrien medfører større ulykkesøkninger blant eldre førere enn blant yngre, er økningen av antall eldre bilførere en faktor man kan vurdere å ta hensyn til.

Ut fra generell kunnskap om Eldres prestasjonsevne som bilfører, kan sikkerhetsmarginer ved veggeometrien tenkes å ha ulik betydning for eldre og yngre førere. Dette gjelder blant annet:

- **Kjørefelt- og skulderbredde:** Her er sammenhengen uklar. Når eldre i gjennomsnitt kjører saktere (Sagberg og Bjørnskau 2016), vil vegbredden ha mindre betydning enn blant yngre. Ut fra reaksjonstider og andre fysiologiske forutsetninger blant førerne kan man derimot anta at vegbredden har større betydning. Hvilken av effekten som er større, er usikkert.
- **Linjeføring:** Her gjelder det samme som for kjørefelt- og skulderbredde, sammenhengen er med andre ord usikker.
- **Sikkerhetssone:** Vegens sikkerhetssone har trolig større betydning for eldre førere da de har høyere skaderisiko.
- **Vegbelysning:** Vegbelysning har trolig større betydning for eldre førere fordi synes svekkes med alderen. En annen effekt er imidlertid at eldre førere også er langt mer sensitive for blending med økende alder. Kvaliteten på vegbelysningen vil derfor også være av større betydning for eldre førere.
- **Drift og vedlikehold:** Antakelig er betydningen større blant eldre førere, selv om lavere fart i noen grad vil kompensere for dette.

Selv om sammenhengene stort sett er usikre, tyder det meste på at sikkerhetsmarginer, både ved veggeometrien, drift/vedlikehold og tekniske elementer har større betydning for eldre enn for yngre førere.

Det betyr at reduserte sikkerhetsmarginer kan forventes å føre til større ulykkesøkninger når andelen eldre førere øker.

6.3 Klima

Hvordan vinterforholdene endrer seg vil trolig variere mye mellom ulike områder. Det vil derfor også variere hvorvidt sikkerhetsmarginer ved veggeometrien vil få større eller mindre betydning som følge av endringer i føreforholdene. Hvorvidt de, hele landet sett under ett, vil få større eller mindre

betydning, er usikkert. Som følge av økt forekomst av kraftig nedbør, kan man forvente at tilstanden på vegdekker (spor) og vanndrenering vil få større betydning.

Både føreforhold og andre driftsrelaterte faktorer har i mange empiriske studier vist seg å ha sammenheng med ulykkesrisikoen (se også avsnitt 4.9). Reduserte sikkerhetsmarginer, både ved vegens tverrprofil og linjeføring, vil være av større betydning når man samtidig reduserer sikkerhetsmarginer ved drift og vedlikehold (se de respektive avsnittene i kapittel 5).

Derfor kan man forvente at reduserte sikkerhetsmarginer ved veggeometrien vil få større betydning for antall ulykker, dersom klimatiske endringer i framtiden fører til økt forekomst av vanskelige føre- og dekkeforhold.

Vinterforhold: Det er vanskelig å forutsi hvordan føreforholdene vil endre seg i løpet av de neste årene. De vanskeligste føreforholdene som fører til de største ulykkesøkningene, er våt is og underkjølt regn, samt slapseføre. Slik føre oppstår i hovedsak ved temperaturer rundt null med nedbør. De er også utfordrende for vinterdriften, de kan være vanskelige å forebygge og det er ofte vanskelig å gjenopprette gode føreforhold (Høye 2023A; Høye et al. 2023A).

Når man forventer at gjennomsnittstemperaturen vil øke, kan det ha ulike virkninger i ulike områder med ulike værforhold. I områder som i dag i hovedsak har kalde temperaturer, slik at vegene om vinteren for det meste er dekket av et fast snø- og isdekke, kan økende temperaturer føre til flere dager med temperaturer rundt null og dermed vanskeligere forhold. Er temperaturene i utgangspunktet ofte rundt null, kan økende temperaturer føre til redusert forekomst av vanskelige føreforhold.

Noen empiriske studier har, med hjelp av simuleringer, forsøkt å predikere hvordan forekomsten av ulike føreforhold kan endre seg i løpet av de neste ca. 30 årene i Norge, Sverige og Finland (Freistetter et al. 2022; Saranko 2019; Lorentzen 2020). Resultatene viser at det, totalt sett, trolig vil være færre dager med vanskelige føreforhold, men at det vil være store variasjoner, både mellom ulike geografiske områder og mellom årstidene. Antall dager med temperaturer rundt null vil ifølge Freistetter et al. (2022) øke med opptil fem dager om vinteren og gå ned med opptil syv dager om våren og høsten. I Bergen vil det ifølge Lorentzen (2020) være betydelig redusert behov for vinterdrift som følge av økte temperaturen.

På denne bakgrunnen er det ikke mulig å vurdere hvorvidt sikkerhetsmarginer ved veggeometrien vil få større eller mindre betydning som følge av endringer i føreforholdene. Det er imidlertid sannsynlig at geografiske forskjeller vil øke, det vil si at veggeometrien kan få større betydning i noen områder (hvor det i større grad blir vanskelige føreforhold) og mindre betydning i andre områder (hvor det blir mindre vanskelige føreforhold).

Regn: Våte veger har i gjennomsnitt lavere friksjon enn tørre vegdekker. Når det er mye nedbør, kan vannansamlinger på vegen også føre til vannplaning. Begge delene kan forventes å øke ulykkesrisikoen. Det er i hovedsak på veger med dårlig drenering av vann, samt på veger med spordannelse, at kraftig nedbør kan føre til slike problemer. Ifølge Hogema et al. (2016) har det vært en økning i forekomsten av kraftig nedbør i perioden 1960 til 2020. Klimamodeller predikerer for det meste økt forekomst av kraftig regnvær i Nord-Europa, men det er store forskjeller mellom ulike modeller (Ritzhaupt & Maraun 2023). Det nye og varmere klimaet vil uansett ifølge ulike studier føre til økt frekvens av ulike typer ekstremvær, inkludert ekstrem nedbør.

Det betyr at tilstanden på vegdekker (især spordannelse) og vanndrenering kan forventes å få økt betydning i framtiden.

7 Sikkerhet i jernbane og luftfart – hvordan håndteres sikkerhetsmarginer i andre sektorer?

Vi vil i dette kapittelet presentere informasjon som danner grunnlag for å besvare det tredje og siste spørsmålet, nemlig hva vegsektoren kan lære fra andre sektorer som også opplever press for å redusere kostnadene. For å få et grunnlag for å besvare dette spørsmålet har vi gjennomført to fokusgruppeintervjuer, noen dybdeintervjuer og et par epostintervjuer med representanter for sentrale aktører fra henholdsvis luftfarts- og jernbanesektoren, og gjort dokumentstudier. En detaljert presentasjon av resultatene og kildene er gitt i TØI-rapport 2015/2024. Rapport 2015/2024 inneholder også referanser til litteratur som er gjennomgått. Her beskrives hovedpunktene.

7.1 Jernbane

Studien av sikkerhet ved jernbanen var avgrenset til det nasjonale jernbanenettet. T-baner, bybane, trikk og museumsjernbaner inngikk ikke. Jernbane er en meget sikker transportform. Ulykker der reisende har omkommet har ikke skjedd etter 2006. De fleste som omkommer ved ulykker, er personer som krysser jernbanen i planoverganger eller oppholder seg i sporet. Selvmord og selvmordsforsøk er det største problemet.

7.1.1 Utvikling av tekniske sikkerhetsmarginer

De tekniske sikkerhetsmarginer i jernbanen er knyttet til sporets dimensjoner og underbygning, sporveksler, signalanlegg, plattformer og stasjonsanlegg, samt regler for framføring av tog. Disse sikkerhetsmarginene er over tid blitt større. Skinnevektene er økt; betongsviller har erstattet tresviller og festene mellom skinner og sviller er blitt mer solide. Sporjusteringen blir regelmessig kontrollert ved hjelp av avanserte målevogner (for eksempel Gruppeintervju jernbane, 2023). Tidligere skjedde dette ved manuell kontroll utført i form av linjevisitasjon. Jernbanestrekninger bygget i nyere tid (etter ca. 1980) har ikke planoverganger og har en linjeføring som tillater høyere fart enn eldre strekninger. De mest trafikkerte strekningene har full automatisk togkontroll. Ved signalfeil stanses trafikken inntil feilen er rettet. De fleste signalfeil representerer ikke noen økt ulykkesrisiko, siden det vanlige er at et signal som skulle ha vist grønt ved en feil viser rødt. Et nytt sikringssystem for togframføring, ERTMS (European Rail Traffic Management System) er under utbygging. Dette sikringssystemet fjerner behovet for signaler langs sporet og erstatter dette med informasjon gitt direkte til toget ved hjelp av mobilteknologi.

Sett over en periode på 50–60 år er det ingen tvil om at de tekniske sikkerhetsmarginer knyttet til jernbanens infrastruktur og togframføring har økt betydelig. Denne utviklingen har fortsatt de siste 20–30 årene, spesielt gjennom bygging av nye jernbanestrekninger og større utbedringer av eldre strekninger. Dette omfatter blant annet Gardermobanen, strekningen mellom Eidsvoll og Hamar, Østfoldbanen og Vestfoldbanen. Disse strekningene er de mest trafikkerte på det norske jernbanenettet.

Det konkluderes med at de tekniske sikkerhetsmarginer som er bygget inn i jernbanens infrastruktur og regler for togframføring har økt over tid.

7.1.2 Øvrige faktorer som påvirker sikkerheten

Informantene fra jernbanesektoren opplyste at en del utviklingstrekk kan tenkes å være uheldige for sikkerheten. For det første finnes det fremdeles mange usikrede planoverganger. Antallet er gradvis redusert, men det finnes fortsatt over tusen usikrede planoverganger. I takt med fortsatt reduksjon av antallet, vil imidlertid dette bli et mindre sikkerhetsproblem.

For det andre har jernbanen et stort vedlikeholdsetterslep. I noen tilfeller kan dette bare innhentes ved omfattende arbeid der strekningen må stenges for trafikk og det må kjøres buss for tog.

For det tredje øker faren for skader på jernbanen som følge av klimautviklingen. Eldre stikkrenner og grøfter kan være underdimensjonerte for økte nedbørmengder. Flom kan da oppstå og sport kan bli undergravd av vann som kommer ut av kontroll.

For det fjerde gir kontraktene mellom Norske tog og togselskapene svake incentiver til å vedlikeholde rullende materiell. Dette kan derfor bli mer nedslitt før det sendes til verksted. Eksempelvis kan slitte pantografer øke faren for nedrivning av kontaktledningen.

For det femte er personer som oppholder seg i sporet et vedvarende problem. Årlig blir en del personer påkjørt av tog; noen av disse sakene er selvmord.

7.2 Luftfart

Studien av luftfart er avgrenset til tung kommersiell luftfart, det vil si luftfart på stamflyplassene og kortbanenettet. Helikoptertransport til og fra oljefelt til sjøs er ikke inkludert. Heller ikke skoleflyging og privatflyging er inkludert. Luftfart er en meget sikker transportform. I kommersiell luftfart med norsk-registrerte fly har det ikke forekommet dødsulykker etter 1993.

7.2.1 Utvikling av tekniske sikkerhetsmarginer i luftfart

De tekniske sikkerhetsmarginer knyttet til infrastruktur i luftfart omfatter utforming av rullebaner, belysning av rullebaner, drift og vedlikehold av rullebaner og andre arealer på flyplasser. Ifølge informantene fra luftfart, har Avinor oppgradert flyplassene og den tekniske standarden når det gjelder rullebaner, utstyr og annen infrastruktur mye det siste tiåret. Informantene opplever ikke at de tekniske sikkerhetsmarginer er under press. Øvrige faktorer som påvirker sikkerheten

I likhet med jernbanen, påvirkes sikkerheten i luftfarten ikke bare av kvaliteten på infrastrukturen og de sikkerhetsmarginer som er bygget inn i den, men også av en rekke andre faktorer. Ikke alle disse faktorene utvikler seg i gunstig retning.

For det første blir satellittnavigasjonssystemer forstyrret i Troms og Finnmark. Foreløpig har Avinor valgt å beholde eldre navigasjonssystemer som reserve, men dette er kostbart.

For det andre har droneflyging nær flyplasser vært et økende problem, og det har forekommet konflikter mellom droner og kommersielle fly.

For det tredje har mange flyselskap satt bort tungt vedlikehold til eksterne firmaer. Dette innebærer at man ikke alltid har tilgang til flyteknikere og reservedeler lokalt. Konsekvensen av dette er imidlertid vanligvis at flyavgangen må kanselleres.

For det fjerde oppleves arbeidsvilkårene i luftfart å ha blitt dårligere. Arbeidstiden er forlenget og mange rapporterer at de er utslitte ved endt arbeidsdag.

For det femte finnes røykdykkere nå bare ved Oslo lufthavn Gardermoen. Trengs røykdykkere ved andre flyplasser, må de tilkalles fra det lokale brannvesen.

7.3 Håndtering av sikkerhetsmarginer i jernbane og luftfart

7.3.1 Forskjeller mellom sektorene

Luftfart og jernbane er svært sikre transportformer. Risikoen for å bli drept eller hardt skadet som reisende med rutefly eller tog i Norge er lavere enn risikoen ved å ferdes på offentlige veier. Hva kan vegsektoren lære av luftfart og jernbane med tanke på å bedre sikkerheten?

Før vi søker å svare på dette spørsmålet, minner vi om at det er en del forskjeller mellom luftfart og jernbane på den ene siden og vegtrafikk på de andre, som tilsier at luftfart og jernbane kan forventes å være sikrere enn vegtrafikk.

For det første er profesjonelle aktører enerådende eller dominerende både i luftfart og jernbane. Med profesjonelle aktører menes transportbedrifter der de ansatte, spesielt dem som fremfører transportmidler, må gjennomgå omfattende opplæring og regelmessig gjennomgår helsekontroll. I luftfarten finnes det man kan kalle ikke-profesjonelle aktører i form av hobbyflygere, men disse står for en svært liten del av virksomheten. I jernbanen finnes kun profesjonelle aktører. Transportbedriftene i luftfart og jernbane har systemer for sikkerhetsstyring som blant annet bygger på rapporter om feil og uønskede hendelser som de ansatte rapporterer. I begge sektorer tillates ikke transportbedrifter å drive transport uten at de kan dokumentere at de har fungerende sikkerhetsstyringssystemer.

For det andre har transportbedriftene i luftfart og jernbane, herunder også de statlige foretakene/organisasjonene som bygger og drifter infrastruktur, over tid utviklet en god sikkerhetskultur. Med dette menes at man har et kontinuerlig fokus på sikkerhet og har etablert både formelle og uformelle prosedyrer som har til hensikt å ivareta sikkerheten. Et viktig element i sikkerhetskulturen i luftfart og jernbane er systemene for hendelsesrapportering. Rapportering av feil og uønskede hendelser har lange tradisjoner i luftfart, men er etter 2000 også blitt vanlig i jernbanen. Hensikten med slik rapportering er å lære av hendelsene, både slik at de kan unngås og slik at man kan hindre at hendelsene utvikler seg til ulykker. En god sikkerhetskultur er med andre ord en lærende kultur, der kontinuerlig bedring av sikkerheten skjer gjennom å lære av feil og uønskede hendelser (Reason 1997).

For det tredje er særlig luftfart, men i økende grad også jernbane, i større grad enn vegsektoren preget av internasjonal standardisering. Luftfarten er preget av omfattende internasjonale reguleringer og sikkerhetsforskrifter. Et land kan bare fravike disse med godkjenning fra internasjonale luftfartsorganisasjoner. Den omfattende internasjonale harmoniseringen i luftfart kommer av at luftfarten er internasjonal. Flere reisende fra norske flyplasser reiser til utlandet enn til andre steder i Norge. Jernbanen blir gradvis også mer internasjonalt standardisert, særlig gjennom EUs jernbanepakker. Det fremste uttrykk for dette er for tiden utbyggingen av ERTMS på det norske jernbanenettet.

For det fjerde har både luftfart og jernbane innført langt mer omfattende kontroll av både infrastruktur og transportmidler enn vegsektoren. Rullebaner kontrolleres daglig. Det samme gjelder fly. Linjevisitasjon har eksistert så lenge jernbaner har eksistert, men utføres i dag med avanserte målevogner, ikke av en banevokter på dressin. Moderne tog har også teknologi som kan registrere uregelmessigheter i sporet. Også i vegsektoren blir både veier og kjøretøy kontrollert, men ikke så hyppig og i det omfang som skjer i luftfart og jernbane.

For det femte har både luftfart og jernbane sikkerhetsmekanismer som beskytter mot operatørsvikt, det vil si at føreren av et kjøretøy enten kjører i uskikket tilstand eller under kjøring får problemer som gjør ham eller henne uskikket til å fortsette. I luftfart skjer dette ved at det er minst to piloter i flyet. I jernbane skjer det ved at tog stoppes automatisk dersom lokføreren ikke gir livstegn fra seg innen en viss tid. I teorien er det fullt mulig både å fly og å kjøre tog med promille, men i luftfart er promillekontroller hyppige. Både fly og tog er bemannet av mer enn en person (godstog kan være enmannsbetjente), slik at en åpenbart beruset pilot eller lokfører kan stanses av andre ansatte.

For det sjette er katastrofepotensialet, og de mulige konsekvenser av store ulykker, større i luftfart og jernbane enn i vegsektoren. I en flyulykke med et vanlig passasjerfly kan 100–200 mennesker omkomme. Store togulykker kan også ha opp mot 100 omkomne. I den største vegtrafikkulykken som har skjedd i Norge omkom 16 mennesker. Til forskjell fra vegsektoren, har store ulykker i luftfart og jernbane konsekvenser for etterspørselen etter flyreiser og togreiser. Det er riktig, som en av informantene fra luftfart nevnte, at flyselskap kan gå konkurs etter ulykker. Air Florida, et lavprisselskap i USA, gikk konkurs etter at ett av deres fly krasjet i en bro over Potomac-elven i Washington D. C. like etter avgang fra National Airport (i dag Ronald Reagan National Airport). Store togulykker kan også føre til at færre vil reise med tog.

7.3.2 Læringsmuligheter for vegsektoren

Spørsmålet om hva vegsektoren kan lære av luftfart og jernbane for å bli sikrere blir et spørsmål om noen av de faktorer som er nevnt over, og som bidrar til å gjøre luftfart og jernbane til sikre transportformer, kan overføres til vegtrafikken.

Vegtrafikk er preget av uprofesjonelle aktører og kommer fortsatt til å bli det. Det aller meste som foregår av reiser og transport på veger utføres av privatpersoner som ikke har transport som yrke. Førere av motorkjøretøy må ha førerkort og gjennomgå opplæring for å få dette. Men fotgjengere og syklistene trenger ingen formell opplæring i det hele tatt. Det finnes et segment av profesjonelle aktører i vegtrafikken. Dette segmentet består av transportbedrifter (for personer eller gods) og personer som kjører mye i sitt yrke (for eksempel håndverkere). I transportbedrifter eller andre bedrifter og organisasjoner som tilhører det profesjonelle segmentet finnes det muligheter for å bedre trafiksikkerheten, blant annet gjennom bruk av flåtestyring og utvikling av bedre sikkerhetskultur, se mer om dette nedenfor.

Vegmyndighetene kan, både i egen regi og ved kjøp av tjenester fra andre, stille krav om at bedriftene har flåtestyringssystemer og arbeider for å utvikle en bedre sikkerhetskultur. For (større) transportbedrifter, er det mulig å kreve at disse har innført ISO 39001 som sikkerhetsstyringssystem. Ved å stille krav om dette, kan vegmyndighetene stimulere til utvikling av sikkerhetskultur og sikkerhetsstyring i transportbedrifter.

Vegsektoren domineres av trafikanter som ikke har en vane om å rapportere uønskede hendelser. Slike hendelser blir rapportert også i vegsektoren, men ikke helt på samme måte som i luftfart og jernbane. Det er dokumentert (Riksrevisjonen 2023) at vegtrafikksentralene ofte får henvendelser fra trafikanter om uheldige forhold ved veger. Det kan for eksempel være at det er glatt føre, at skilt eller rekkverk er skadet, at vegbelysning ikke virker, at skilt er uleselige eller at det er skader på vegdekket. Man kan vanskelig tenke seg at trafikantene pålegges en plikt til å melde fra om slike forhold. Det er imidlertid grunn til å spørre om de meldinger vegtrafikksentralene mottar blir fulgt opp på en systematisk måte. Et bedre system for oppfølging av henvendelser fra publikum kan føre til at feil det meldes om rettes raskere enn hvis man ikke har et system for oppfølging av henvendelser.

Vegnormaler har tradisjonelt vært utarbeidet av hvert land og er ikke internasjonalt standardiserte på samme måte som krav til rullebaner eller sporvidde på jernbaner. Det er likevel et omfattende internasjonalt samarbeid mellom vegmyndigheter, og ulike lands vegnormaler er ikke vesensforskjellige. Utvikling i retning av selvkjørende biler kan øke behovet for internasjonal harmonisering i vegsektoren, siden slike biler må kunne framføres på vegnettet i et hvilket som helst land.

Veger og vegutstyr inspiseres og kontrolleres. Det er imidlertid dokumentert (Vegtilsynet 2020, 2021) at veger ikke alltid oppfyller kravene til drift og vedlikehold. Reasfaltering kan føre til for høye asfaltkanter, vegoppmerking kan være slitt, skilt kan ha for dårlig refleksjon, og så videre. Hyppigere og mer systematiske kontroller av veger og vegutstyr kan føre til at denne typen feil og mangler utbedres raskere enn i dag.

8 Drøfting av resultater

8.1 Samtidige endringer av flere elementer i sikkerhetsmarginer

Ved oppstart av dette prosjektet var det fortsatt et åpent spørsmål om man skulle innføre en smal firefelts veg (tilsvarende vegklasse H8 i 2013-utgaven av vegnormalene, N100) med fartsgrense 110 km/t. Ifølge en utredning fra Statens vegvesen (Statens vegvesen 2019) kunne smale firefelts veger bygges til en lavere kostnad enn vanlige firefelts veger, men med en fartsgrense på 110 km/t var det ventet at smale firefelts veger ville ha cirka 15 % flere ulykker enn vanlige firefelts veger.

I løpet av prosjektet er det innført nye vegnormaler. Det gis der mulighet til å velge mellom tre varianter av firefelts veger. En vanlig firefelts veg kan ha fartsgrense 110 km/t, en middels bred firefelts veg kan ha fartsgrense 100 km/t og en smal firefelts veg kan ha fartsgrense 90 km/t. Det finnes nå dermed utforminger av veger i klasse H3. Disse tre utformingene skiller seg fra hverandre med hensyn til flere elementer i tverrprofil og linjeføring (jfr. tabell 2.1):

Total vegbredde, skulderbredde, minste horisontalkurveradius, minste klotoidelengde, minste stoppsikt, minste høybrekkradius, minste lavbrekkradius, maksimal stigning og maksimalt resulterende fall

Når så mange elementer i tverrprofil og linjeføring endres samtidig er det nærliggende å spørre om det kan oppstå samspillseffekter mellom endringene. Smalere skulder kan isolert sett ventes å gi flere ulykker. Det samme gjelder mindre horisontalkurveradius. Men vil en samtidig endring av både skulderbredde og horisontalkurveradius forsterke hverandre, slik at endringene kan gi en større økning i ulykkestall enn summen av de to isolerte virkningene?

Vi vet mindre om slike samspillseffekter enn om isolerte endringer i ett og ett element. Men litteraturen som ble gjennomgått i kapittel 5 tyder på at samspillseffekter må ventes å forekomme. Det ble, for eksempel, funnet at utvidelse av skulder har større virkning på ulykkene i kurver enn på rett strekning. Endringer i motsatt retning, det vil si smalere skulder, kan derfor ventes å ha større virkning på ulykkene i kurver enn på rett strekning.

Beregninger som presenteres i kapittel 5 tyder på at endringene i tverrprofil og linjeføring på de nye middels og smale firefelts vegene vil gi flere ulykker enn på en vanlig firefelts veg, gitt at man beholder en fartsgrense på 110 km/t. På de nye middels brede og smale firefelts vegene forutsettes imidlertid fartsgrensen å være, henholdsvis, 100 og 90 km/t. Den lavere fartsgrensen vil ifølge beregninger oppveie de ugunstige virkningene av endringer i tverrprofil og linjeføring. Man kan dermed spørre seg om presset på sikkerhetsmarginer som var knyttet til muligheten for å bygge smale firefelts veger med fartsgrense 110 km/t ikke lenger er til stede?

Det kan tilsynelatende se slik ut, men det er viktig å minne om at dette resultatet påvirkes avgjørende av at fartsgrensen forutsettes å være lavere. Dersom man kun ser på endringer i kravene til tverrprofil og linjeføring, forventes en middels bred firefelts veg å ha mellom 4 og 21 % flere personskadeulykker enn en vanlig firefelts veg, alt ettersom hvor mye man reduserer skulderbredden. Lavere fartsgrense forventes å redusere antall personskadeulykker med 13 %. Dette er en meget rimelig antakelse på bakgrunn av erfaringer som viser at nedsettelse av fartsgrensen med 10 km/t (her fra 110 til 100 km/t) i gjennomsnitt reduserer farten med litt over 3 km/t.

En smal firefelts veg har ifølge beregningene mellom 3 og 19 % flere ulykker enn en vanlig firefelts veg dersom man beholder fartsgrensen på 110 km/t. Når fartsgrensen settes ned til 90 km/t forsvinner denne ulykkesøkningen og blir til en nedgang på mellom 8 og 21 %. Igjen må de antakelser som er gjort om virkninger på farten betegnes som realistiske. En smal firefelts veg vil bli merkbart smalere enn en vanlig firefelts veg og vegbredde er en av de faktorene som sterkest påvirker farten. Fartsgrensen har

naturligvis også stor betydning. Alt i alt tror vi derfor at det er realistisk å regne med at firefelts veger med fartsgrense 100 eller 90 km/t vil ha så mye lavere fart enn firefelts veger med fartsgrense 110 km/t, at ulykkesøkningen knyttet til endringer i tverrprofil og linjeføring helt forsvinner. På den annen side bidrar spart reisetid til det meste av nytten ved firefelts veger, og denne nytten blir mindre ved fartsgrenser på 90 og 100 km/t enn ved en fartsgrense på 110 km/t.

Økningen i ulykkestall på smale og middels brede firefelts veger dersom man beholder en fartsgrense på 110 km/t, skriver seg helt og holdent fra økt ulykkesrisiko knyttet til smalere vegskuldre. Sammenhengen mellom skulderbredde og ulykkestall er en av de mest entydige som er funnet i studier av sammenhengen mellom elementer i vegers tverrprofil og ulykkestall. Resultatene er mindre entydige når det gjelder kjørefeltbredde, men dette har ingen betydning for beregningene som er gjort, siden kjørefeltbredden ikke endres i noen av alternativene. Den beholdes på 3,5 meter ved både smal, middels og bred firefelts veg.

Det som kan virke mer overraskende, er at endringene i kravene til vegers linjeføring ser ut til å innebære et lavere beregnet ulykkestall. På vanlige firefelts veger er kravene: minste horisontalkurveradius 800 meter; maksimal overhøyde 7,5 % og minste klotoidelengde 260 meter. På en smal firefelts veg er disse kravene redusert til: minste horisontalkurveradius 400 meter; største overhøyde 8 % og minste klotoidelengde 175 meter.

Kunnskapene er helt entydige når det gjelder radius på horisontalkurver. Elvik (2023A) har oppsummert 47 resultater av studier om sammenhengen mellom horisontalkurveradius og antall ulykker i kurver. Alle disse 47 resultatene viste at ulykkestallet øker når radius avtar. Det er færre resultater som gjelder lengden på kurver, men også disse resultatene er nokså entydige. 18 av 19 resultater viste at ulykkestallet øker når en kurve blir lengre. I beregningene som er gjort i denne rapporten, er medianverdier av resultater av tidligere undersøkelser benyttet. Disse resultatene er representative: halvparten viser sterkere sammenhenger, halvparten viser svakere. Når kravene til linjeføring for en vanlig firefelts veg erstattes med kravene til linjeføring for en smal firefelts veg, beregnes det at ulykkestallet reduseres med nær 6 %. Mindre kurveradius øker ulykkestallet med 43 % (1,429), kortere kurvelengde reduserer det med 39 % (0,611). Forutsatt at disse effektene er uavhengige av hverandre, mer enn oppveier nedgangen i ulykkestall ved kortere kurver økningen i ulykkestall med lavere radius.

Vi gjør oppmerksom på at dersom norske resultater (Elvik og Haugvik 2023) hadde vært benyttet her, ville resultatene blitt mer ekstreme. Beregnet forventet ulykkestall på smale firefelts veger sammenlignet med vanlige firefelts veger som følge av endringer i krav til linjeføring ville da ha vært drøyt 12 % lavere, mot knappe 6 % lavere ved de beregningsforutsetninger som er lagt til grunn.

Hovedresultatet er likevel at med en uendret fartsgrense på 110 km/t, må smale og middels brede firefelts veger forventes å få flere ulykker enn vanlige firefelts veger.

8.2 Mulige tiltak for bedre sikkerhet

Under den opprinnelige forutsetningen om at vanlige firefelts veger skulle sammenlignes med smale firefelts veger med samme fartsgrense, var det ingen tvil om at de smale firefelts vegene kunne ventes å ha flere ulykker. Et nærliggende spørsmål var om det kunne iverksettes avbøtende tiltak for å motvirke dette, men likevel unngå at totalkostnadene til bygging av vegen økte.

I utredningen om smale firefelts veger la Statens vegvesen (2019) til grunn en utbyggingskostnad på 242 mill. kr. per kilometer veg for vanlige firefelts veger og 227 mill. kr. per kilometer for smale firefelts veger. Innsparingen utgjør 15 mill. kr. per kilometer. Innenfor en slik kostnadsramme, er det mulig å gjennomføre flere tiltak. Fra ulike kilder kan man antyde følgende kostnadstall for ulike tiltak:

Vegrekkverk langs vegkant:	1,5 mill. kr. per kilometer
Mykgjøring av sideterreng:	0,6 mill. kr. per kilometer
Vegbelysning:	1,0 mill. kr. per kilometer
Rumlefelt:	0,3 mill. kr. per kilometer
Strekings-ATK:	3,0 mill. kr. per strekning

Disse kostnadstallene bygger til dels på eldre kilder og er usikre. De må tolkes som en antydning av kostnadenes størrelse. Ikke desto mindre er summen av kostnadene til tiltakene mindre enn 15 mill. kr. per kilometer. Det er følgelig mulig å iverksette alle disse tiltakene på en smal firefelts veg, men likevel spare penger sammenlignet med å bygge en vanlig firefelts veg.

Det er rimelig å tro at tiltakene kan kompensere for økningen i forventet ulykkestall ved en smal firefelts veg sammenlignet med en vanlig firefelts veg. Eksempelvis gir strekings-ATK en nedgang i personskadeulykker på 12 % (Høye 2015), noe som alene praktisk talt er nok til å oppveie en beregnet ulykkesøkning på 15 %.

Smale firefelts veger med fartsgrense 110 km/t må nå regnes som uaktuelle. Dermed er behovet for avbøtende tiltak som fremstod som aktuelt da prosjektet startet ikke lenger like aktuelt. Det er likevel nyttig å vite at det finnes flere tiltak som kan redusere antall ulykker på firefelts veger. Som tidligere nevnt kan strekings-ATK vise seg å bli et aktuelt tiltak dersom fartsgrensene på 90 og 100 km/t på smale og middels brede firefelts veger ikke overholdes.

8.3 Samfunnsutvikling og sikkerhetsmarginer

Resultatene av studien når det gjelder hvilken betydning samfunnsutviklingen kan få for vegutforming og sikkerhetsmarginer ved vegutforming viste tendenser som trekker i litt ulike retninger. Her synes det likevel å være liten tvil om hovedkonklusjonen: så lenge det fremdeles er tillatt å kjøre førerstyrte biler, og så lenge disse ikke holder en lavere fart enn biler gjør i dag, må de sikkerhetsmarginer som er bygget inn i dagens vegutforming opprettholdes.

Det har vært diskutert om bilkjøring skal forbys dersom selvkjørende biler blir sikrere enn de sikreste førere er i dag. Argumentet for dette er at man da tillater en unødvendig risiko dersom man fortsatt tillater mennesker å kjøre bil. Denne risikoen kan unngås ved å overlate kjøringen til en selvkjørende bil.

Dette er et relevant argument, men ikke særlig overbevisende. I dag tillates risiko som kan kalles «unødvendig» i stor målestokk. Eksempelvis er personskaderisikoen ved sykling mye høyere enn ved å kjøre bil, være passasjer i bil, eller være passasjer i et kollektivt transportmiddel. Likevel vil ytterst få, om noen, si at sykling skal forbys av denne grunn. Her er det grunn til å minne om at det er lite trolig at mopeder og motorsykler vil bli selvkjørende. Ut fra argumentet om unødvendig risiko burde man derfor forby disse kjøretøyene. Det er lite aktuelt. Hvis mopeder og motorsykler fortsatt finnes når alle biler er blitt selvkjørende, vil en del av dem som fortsatt ønsker å kjøre et motorkjøretøy gå over til moped eller motorsykel, som har høyere personskaderisiko enn bil.

Det virker i det hele tatt svært usannsynlig at kjøretøy som styres av mennesker vil forsvinne eller bli forbudt med det første. Så lenge det er slik, kan ikke sikkerhetsmarginene som er bygget inn i veger reduseres uten at ulykkestallet må forventes å øke.

Klimaendringene gjør det mer sannsynlig at vær og vind vil utsette veger for økte påkjenninger. Dette kan ha betydning både for vegutforming og for drift og vedlikehold. Økte nedbørmengder kan gjøre det nødvendig å bygge veger høyere i terrenget, med dreneringsanlegg med større kapasitet for å hindre at vegen oversvømmes. Hyppigere svingninger av temperaturen rundt null grader kan øke forekomsten av glatt føre og gjøre økt innsats i vinterdrift nødvendig.

8.4 Sikkerhet i luftfartssektoren

De opplysningene om sikkerhet i luftfarten som er innhentet gjennom fokusgruppeintervjuene og av skriftlig dokumentasjon kan kort oppsummeres slik:

1. Ulykkesstatistikken viser lave ulykkestall i ruteflyging. Det har ikke forekommet dødsulykker med norskregistrerte fartøy etter 1993.
2. Den tekniske standarden på flyplasser, angitt blant annet ved krav til rullebanelengder, sikkerhetssoner ved siden av rullebanen og belysning av rullebaner, er ikke redusert, men snarere økt de siste årene.
3. Fly og flyplasser kontrolleres daglig og resultatene av kontrollene dokumenteres gjennom et meget omfattende kontroll- og dokumentasjonssystem.
4. Standardkravene til flyplasser er harmonisert internasjonalt, men for noen flyplasser har Norge innført særnorske bestemmelser. Slike bestemmelser kan ikke innføres ensidig, men må godkjennes av internasjonale luftfartsorganisasjoner (EASA).
5. Luftfarten har gjennom lang tid utviklet en kultur for rapportering av hendelser. Det rapporteres 10 – 12.000 luftfartshendelser per år. Disse rapporteres til en felles portal og brukes til analyser og læring.
6. Fly får stadig mer avansert teknologi som gjør dem sikrere.

Disse faktorene har bidratt til å bedre sikkerheten i luftfarten over tid. Informantene gir ikke uttrykk for at sikkerhetsmarginer knyttet til tekniske elementer i luftfarten er redusert. De peker derimot på flere andre utviklingstrekk som kan være uheldige for sikkerheten. Disse inkluderer blant annet:

1. Det er et økende problem med jamming av satellittbaserte navigasjonssystemer, spesielt i Troms og Finnmark. Dette skaper problemer med å gå over til satellittbasert navigasjon. Eldre navigasjonssystemer er inntil videre beholdt som back-up.
2. Flyselskapene søker å spare vedlikeholdskostnader og utfører nå mindre tungt vedlikehold på norsk jord enn tidligere. Konkurransetutting av vedlikehold betyr også at flyselskapene ikke lenger alltid har flydeler tilgjengelig og dermed kan utføre feilretting på kort varsel.
3. Arbeidsvilkårene er under press, og det arbeides lengre dager enn før felleseuropeiske regler ble innført. De ansatte rapporterer at dette oftere enn før fører til fatigue/utmattelse.

Alt i alt gir disse funnene et blandet bilde. Informantene synes ikke å oppleve at sikkerhetsmarginer knyttet til tekniske elementer er redusert, men tvert imot at sikkerheten stadig blir stadig bedre. Dette gjelder tekniske elementer knyttet til utforming og drift av flyplasser. Arbeidsvilkårene for flygende personell og flygeledere (som ikke er et teknisk element) oppleves generelt som forverret gjennom hardere turnuser og lengre arbeidsdager enn tidligere.

8.4.1 Forskjeller og likheter mellom luftfart og veg

Luftfarten har en del viktige fellestrekk med vegsektoren, men også en del viktige forskjeller. I likhet med vegsektoren opererer både profesjonelle aktører og ikke-profesjonelle aktører i systemet, men ikke på de kommersielle flyplassene, som har vært fokus for denne studiens undersøkelser. Der opererer kun ulike profesjonelle aktører, slik som flyselskaper, selskapene som leverer drivstoff, ground handling og andre tjenester. Privatflyging, som vi ikke har undersøkt i denne studien, og som har et begrenset omfang, utføres ofte av ikke-profesjonelle aktører, slik som medlemmer av flyklubber. I veitrafikken representerer ikke-profesjonelle aktører derimot det meste av bruken av systemet. I luftfarten er det omvendt: profesjonelle aktører står for storparten av aktiviteten, og all aktivitet når det gjelder drift og vedlikehold av tekniske funksjoner på kommersielle flyplasser.

Luftfarten er en mer internasjonalt standardisert sektor enn veitrafikken. Kravene til flyplasser er internasjonalt standardisert gjennom krav fra ICAO og EASA; mens det fortsatt er slik at hvert land lager sine

egne vegnormaler. Luftfarten er i større grad enn vegsektoren dominert av store profesjonelle aktører slik som flyselskap, bakkehåndteringselskap, flyplasseiere og luftfartsmyndigheter.

8.5 Sikkerhet i jernbanesektoren

Jernbanesektoren er, i likhet med luftfarten, en meget sikker transportform. Ulykker der reisende har omkommet, har ikke skjedd i Norge siden 2006. Det forekommer et lite antall dødsulykker hvert år, men de drepte har de siste årene utelukkende vært tredjepart – altså ikke reisende eller ansatte ved jernbanen. Det største antall dødsfall knyttet til jernbanen skjer ved selvmord.

Hovedfunnene fra fokusgruppeintervjuene med informanter fra jernbanen kan oppsummeres slik:

1. Jernbanen anses for å ha en høyt utviklet sikkerhetskultur. Det rapporteres årlig om cirka 20.000 jernbanehendelser – nær det dobbelte av antall luftfartshendelser.
2. Det er en tendens til økende internasjonal standardisering av sikkerhetskravene til jernbane-drift. Dette kommer primært til uttrykk gjennom direktivene i EUs jernbanepakker, herunder kravet om å innføre ERTMS (European Rail Traffic Management System).
3. Jernbanens infrastruktur blir stadig sikrere. Dette skjer ved overgang til tyngre skinner, bedre fester mellom skinner og sviller, mer avansert måleutstyr for å måle ujevnheter i sporet og utbygging av høyere nivåer for togkontroll.
4. Det høyeste nivået for togkontroll, FATC (Full Automatic Train Control; finnes på alle baner bygget etter 1990, altså blant annet på Gardermobanen)¹⁰ betyr at et tog ikke kan bryte fartsgrensen (det bremses da automatisk ned) og stoppes automatisk ved passering av rødt lys. Passering av signaler med overhastighet utløser et varselsignal i toget og utløser nødbrems.
5. Alle som arbeider med drift og vedlikehold i jernbanesektoren med betydning for sikkerheten, må ta periodiske kurs for å beholde sin sikkerhetssertifisering.

Informantene nevnte også en del forhold og utviklingstrekk som kan være negative for sikkerheten:

1. Kontraktene for utleie av rullende materiell til togselskapene kan oppmuntre til mindre enn optimalt vedlikehold av togene, og dette gjør at de sliter mer på skinner og kontaktledninger.
2. Det finnes fortsatt mange usikrede planoverganger.
3. Det er et vedlikeholdsetterslep i sektoren og som har økt over tid.
4. Signalfeil forekommer fortsatt ofte nok til å påvirke trafikkavviklingen. Ved signalfeil kan togleder gi tillatelse til å kjøre mot rødt lys hvis det kan verifiseres at dette ikke innebærer økt risiko. Dette er ofte tilfellet, siden et signal som skulle ha vist grønt ved en feil viser rødt. Da kjøres det i praksis i maksimalt 40 kilometer i timen.

Disse resultatene ligner på dem som ble funnet for luftfart. Informantene sier at de tekniske elementer ved infrastrukturen blir sikrere i jernbanesektoren, og flere påpeker at rullende materiell vedlikeholdes mindre enn før på grunn av insentivene de har i sine tiårs-kontrakter med Norske Tog.

8.5.1 Forskjeller og likheter mellom jernbanesektoren og vegsektoren

Jernbanen er kjennetegnet ved at kun profesjonelle aktører driver transportvirksomhet. Aktørene er ofte store organisasjoner som har gode muligheter for å utvikle en sikkerhetskultur som bidrar til kontinuerlig læring og forbedring av sikkerheten. Jernbanen er i ferd med å bli mer internasjonalt standardisert, i første rekke ved innføring av ERTMS. Vegsektoren domineres av ikke-profesjonelle aktører som reiser individuelt og som regel ikke er en del av store organisasjoner. Grunnlaget for å

10

[https://orv.banenor.no/sjn/doku.php?id=strekningsbeskrivelse:tilllegg&s\[\]=fatc#oversikt_over_strekninger_med_atc_og_etcs](https://orv.banenor.no/sjn/doku.php?id=strekningsbeskrivelse:tilllegg&s[]=fatc#oversikt_over_strekninger_med_atc_og_etcs)

utvikle en lærende sikkerhetskultur er derfor dårligere. Vi tror likevel at mulighetene for dette ikke er fullt utnyttet i vegsektoren og drøfter derfor mulighetene for å utvikle bedre sikkerhetskulturer i vegsektoren.

8.6 Mulighetene for læring knyttet til samtidige endringer av flere tekniske elementer i sikkerhetsmarginer

Vi tolker de opplysninger som er innhentet om tekniske sikkerhetsmarginer i luftfart og jernbane slik at disse marginene ikke er blitt redusert de siste årene. Det foreligger derfor ikke noe grunnlag for å si hva vegsektoren kan lære av en utvikling der flere tekniske elementer som definerer sikkerhetsmarginer endres samtidig i en ugunstig retning. Slike endringer synes ikke å ha funnet sted og grunnlaget for å lære noe foreligger dermed ikke. Vi vil likevel drøfte på et generelt grunnlag hva vegsektoren kan lære av luftfart og jernbane med sikte på å bedre sikkerheten.

8.6.1 Endring av sikkerhetsmarginer

Luftfart

Hvis vi aksepterer at sikkerhetsmarginene knyttet til tekniske elementer ved flyplasser ikke er redusert over tid, men snarere økt, blir spørsmålet hvorfor det er slik og hva vegsektoren eventuelt kan gjøre for å oppnå en tilsvarende utvikling når det gjelder sikkerhetsmarginer knyttet til vegutforming og vegutstyr? Svaret på dette spørsmålet er trolig at kravene til flyplasser er internasjonalt standardisert.

Konklusjonen er at organiseringen av luftfarten og vegsektoren er grunnleggende forskjellig når det gjelder internasjonal standardisering av krav til tekniske elementer i systemet.

Jernbane

Vi tolker informantene slik at sikkerhetsmarginene knyttet til tekniske elementer ved jernbanen, det vil si spor og signaler, ikke er redusert de siste årene og over tid generelt har økt. Teknologien er blitt mye bedre de siste tiårene og det som i dag bygges er generelt meget solid og bedre enn det som ble bygget i tidligere tiår. I et langsiktig perspektiv er dette utvilsomt riktig. For 60 år siden hadde norske jernbanespor lettere skinner enn i dag; skinnene var ikke helsveisede og svillene var av tre. Alt dette er byttet ut med mer solide materialer som er mer motstandsdyktige mot tele, solslyng eller nedbør. Signalene er også betydelig oppgradert i et tidsperspektiv på 60 år.

Samtidig opplyser informantene, Jernbanetilsynet og Bane NOR at det er et vedlikeholdsetterslep i sektoren. Det finnes følgelig utviklingstrekk som kan føre til reduserte sikkerhetsmarginer.

Vi ser ingen opplagt lærdom for vegsektoren her. Både i jernbanesektoren og i vegsektoren er vedlikeholdsetterslepet en viktig faktor å ta hensyn til i årene som kommer, i alle fall. Når det gjelder vegsektoren er det ikke minst på fylkesvegnettet at det trengs mer vedlikehold.

8.6.2 Andre utviklingstrekk

Luftfart

Informantene i luftfarten peker på dårligere arbeidsvilkår som et utviklingstrekk som kan være ugunstig for sikkerheten. I vegsektoren er arbeidstiden til profesjonelle aktører regulert både gjennom forskrifter om kjøre- og hviletid og tariffavtaler. Det er felles europeiske regler innenfor EØS-området. Reglene om kjøre- og hviletid er ikke blitt svekket de siste årene, men heller blitt strengere. Hvor godt reglene overholdes, kommer blant annet an på hvor mye kontroll det er. EU-direktiver setter nedre grenser for kontroll av kjøre- og hviletid. Minst 3 % av sjåførenes arbeidsdager skal kontrolleres. Her finnes med

andre ord en internasjonal standard som ikke finnes når det gjelder utforming av vegnormaler (EU, 2021). Samtidig viser ulike data at det er stort press på lønns- og arbeidsforhold, spesielt blant vognførere fra Øst-Europa. De får lave lønninger, må bo i lastebilene og kan presses til å bryte arbeids- og hviletidsbestemmelsene (for eksempel ETF, 2021; ITF, 2021).

Konklusjonen er at vegsektoren trolig ikke har noe å lære av luftfarten ved å studere hvordan arbeidsvilkårene for ansatte i luftfarten har utviklet seg over tid.

Jernbane

En redusert sikkerhetsmargin flere av informantene peker på, er redusert vedlikehold av rullende materiell. Dette kan også påvirke infrastrukturen. Eksempelvis vil kjøring med hjulslag (et flatt parti på hjulet som følge av at det er blitt låst under bremsing) også påføre sporet skader. Hjulslag utbedres ved dreining av hjulet, men toget må da tas ut av trafikk og hjuldreining er kostbart.

Dårlig vedlikeholdt rullende materiell kan føre til at flere avganger må avlyses. Vi tror at dette er en mer sannsynlig konsekvens enn at ulykkestallet vil øke.

8.6.3 Mer generell lærdom

Luftfart har svært lav ulykkesrisiko. To viktige grunner til det er trolig, som nevnt i kapittel 7, det omfattende kontroll- og dokumentasjonsregimet luftfarten har og den høyt utviklede sikkerhetskulturen som kjennetegner organisasjoner i luftfarten.

Flyplasser og fly kontrolleres daglig. Veger og kjøretøy kontrolleres ikke daglig, og det er ikke realistisk å ta sikte på en slik kontrollhyppighet. Det er likevel naturlig å spørre om vegsektoren kan gjøre mer enn i dag for å bidra til kontroll av standarden på tekniske elementer i vegsystemet og for å bidra til å utvikle sikkerhetskultur blant aktører på sektoren.

Statens vegvesens håndbøker fastlegger standarder for drift og vedlikehold av veger. Det er en kjent sak at disse standardene ikke alltid etterleves. Eksempelvis påpeker Vegtilsynet i tilsynsrapport 2020-09 at det enkelte steder er for høye asfaltkanter. Videre konkluderer Vegtilsynet i tilsynsrapport 2021-09 at veger ikke alltid oppmerkes i tide etter at vegdekket er fornyet. Dette er problemer det burde være mulig å redusere eller unngå ved hyppigere og mer systematiske inspeksjoner av veger. Følgende lærdom kan trekkes:

Hypigere og mer systematiske inspeksjoner av eksisterende veger kan redusere forekomsten av avvik mellom faktisk tilstand og den tilstand vegene skal ha i henhold til Statens vegvesens standarder for drift og vedlikehold av veger.

Luftfartsorganisasjoner har en høyt utviklet sikkerhetskultur (for eksempel Bjørnskau og Longva 2009). Faktisk er det mest brukte måleinstrumentet for sikkerhetskultur, den såkalte GAIN-indeksen, utviklet i luftfart. Det er flere kjennetegn ved en høyt utviklet sikkerhetskultur, men her skal vi fremheve to. Den ene er en tillitsbasert kultur for å rapportere om uønskede hendelser. Tanken med å rapportere om slike hendelser er å lære av dem. Flykapteiner kan, for eksempel, uten å risikere straff, som nevnt rapportere om feil de har gjort. Straff er bare aktuelt dersom handlingen er tilsiktet eller kan tilskrives grov uaktsomhet. Feil er ofte utilsiktede, og alle kan begå dem.

Det andre kjennetegnet vi skal nevne er et godt utviklet system for sikkerhetsstyring. Sikkerhetsstyring kan drives på flere nivåer, men et formalisert system er ISO 39001 standarden. Ruter krever nå for eksempel at bussoperatører som deltar i anbuds konkurranser om bussruter i Ruters driftsområde har innført ISO 39001 (Nævestad m.fl. 2020).

Jernbanen synes, i likhet med luftfarten, å ha en bedre utviklet sikkerhetskultur enn vegsektoren. Her ligger det muligheter for vegsektoren til å utvikle bedre sikkerhetskulturer.

Vegsektoren kan på tilsvarende måte kreve at alle operatører det inngås formelle kontrakter med: brøytekontraktører, asfaltentreprenører, vareleverandører, og så videre har innført ISO 39001. Følgende lærdom trekkes:

Vegsektoren kan stimulere til utvikling av bedre sikkerhetskultur blant profesjonelle aktører i sektoren ved å stille krav om at disse aktørene, for å kunne inngå kontrakter med Statens vegvesen, har innført et sikkerhetsstyringssystem som oppfyller kravene til ISO 39001.

Så vel luftfart som jernbane har godt fungerende systemer for rapportering av uønskede hendelser. Det rapporteres årlig om 10.000-12.000 luftfartshendelser og omkring 20.000 jernbanehendelser. Riksrevisjonen (2023) har påpekt at Statens vegvesen ikke utnytter godt nok den informasjon som ligger i meldinger til Vegtrafikksentralene om uønskede hendelser eller problematiske forhold knyttet veger og trafikkanlegg. Dette gir grunnlag for følgende lærdom:

Vegsektoren bør systematisere og gjennomgå rapporter om uønskede hendelser eller uønskede forhold som mottas av vegtrafikksentralene med sikte på lære hvordan risikofaktorer tidligere kan bringes under kontroll slik at sikkerhetsmarginene økes.

9 Konklusjoner

De viktigste konklusjoner som kan trekkes av undersøkelsene som presenteres i denne rapporten kan oppsummeres slik:

1. Mange elementer knyttet til vegers linjeføring og tverrprofil har betydning for sikkerheten. Det foreligger god kunnskap om sammenhengen mellom hvert element og trafiksikkerhet. Kunnskapen om mulige samspillseffekter ved samtidige endringer av flere elementer er ikke like gode.
2. Det er grunn til å tro at det er samspillseffekter mellom linjeføringsselementer og elementer i tverrprofilet. Hvis man samtidig reduserer kjørefeltbredde og/elle skulderbredde og radius i horisontalkurver, vil dette kunne gi større økning i ulykkestall enn summen av effekter av hver av endringene sett isolert.
3. En mulig ulykkesøkning knyttet til, for eksempel, smalere skuldre kan motvirkes med en lavere fartsgrense, men nytten av vegen i form av spart reisetid blir da også redusert.
4. Det er vanskelig å si noe konkret om hva samfunnsmessige utviklingstrekk vil bety for kravene til vegers linjeføring og tverrprofil.
5. Vi har studert om jernbanesektoren og luftfartssektoren har systemer for håndtering av samtidige endringer og forsterkende effekter. Vi finner at disse ikke opplever press på sikkerhetsmarginer. Det er dermed heller ikke identifisert prosesser og systemer som håndterer samtidige endringer og forsterkende effekter.

Referanser

- Al-Omari, M.M.A., Abdel-Aty, M., & Cai, Q. (2021). Crash analysis and development of safety performance functions for Florida roads in the framework of the context classification system. *Journal of safety research*, 79, 1–13.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002243752100102X>
- Ambros, J., Křivánková, Z., Zůvala, R., Bucsuházy, K., & Frič, J. (2021). Analysis of safety impact of paved shoulder width on Czech secondary roads. *Archives of Transport* 60(4), 125–136.
- Babiceanu, S., and M. D. Fontaine. (2018) "Examining the Safety Effect of Centerline Rumble Strips on Curves on Rural Two-Lane Roads". Presented at the 97th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Paper No. 18-05020, Washington, D.C.
- Bjørnskau, T. (2020). Risiko i vegtrafikken 2017/18. TØI-rapport 1782/2020. Oslo: Transportøkonomisk institutt. [Risiko i veitrafikken 2017/18 \(toi.no\)](https://www.toi.no)
- Bjørnskau, T., Longva, F. (2009). Sikkerhetskultur i transport. Rapport 1012/2009. Oslo: Transportøkonomisk institutt. [getfile.php \(toi.no\)](https://www.toi.no)
- Bonneson, J., Zimmerman, K., & Fitzpatrick, K. (2006). Interim roadway safety design workbook. Project Report. <https://tti.tamu.edu/tti-publication/interim-roadway-safety-design-workbook/>
- Cafiso, S., Montella, A., D'Agostino, C., Mauriello, F., & Galante, F. (2021). Crash modification functions for pavement surface condition and geometric design indicators. *Accident Analysis & Prevention*, 149, 105887. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457520317073>
- Chen, T., Sze, N. N., Newnam, S., & Bai, L. (2021). Effectiveness of the compensatory strategy adopted by older drivers: Difference between professional and non-professional drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 77, 168–180.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847821000139>
- Dekker, S., & Pruchnicki, S. (2014). Drifting into failure: theorising the dynamics of disaster incubation. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 15(6), 534–544. [Full article: Drifting into failure: theorising the dynamics of disaster incubation \(tandfonline.com\)](https://www.tandfonline.com)
- Easa, S. (2010). Length requirements for single-arc asymmetrical sag vertical curve for highways. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(6), 834–841.
<https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/L10-037>
- Eliasson, J., Börjesson, M., Odeck, J., & Welde, M. (2015). Does Benefit-Cost Efficiency Influence Transport Investment Decisions? *Journal of Transport Economics and Policy*, 49(3), 377–396.
<https://www.ingentaconnect.com/content/lse/jtep/2015/00000049/00000003/art00002>
- Elvik, R. (2019). A comprehensive and unified framework for analysing the effects on injuries of measures influencing speed. *Accident Analysis and Prevention*, 125, 63–69.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457518310716>
- Elvik, R. (2022). Kapittel 3.19 Dynamisk rutevalg. Trafikksikkerhetskåndboken. <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc668/>.
- Elvik, R. (2023A). Vegers linjeføring og trafikksikkerhet - En kunnskapsoppsummering. TØI-rapport 1933/2023. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
<https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=75418>
- Elvik, R. (2023B). Intelligent fartstilpasning. TØI-arbeidsdokument 52016/2023. Oslo: Transportøkonomisk institutt.

- Elvik, R. & Haugvik, E.S. (2023). Safety of horizontal curves on rural two-lane roads in Norway. *Traffic Safety Research*, 5(2023). <https://tsr.international/TSR/article/view/25044>
- Elvik, R., Høy, A.K. (2018). Potensialet for å redusere antall drepte og hardt skadde i trafikken fram til 2030. Rapport 1645. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Falck-Jensen, K. (2004). Geometric alignment. *Road Engineering for Development*, 224. [Road Engineering for Development, Second Edition - Richard Robinson, Bent Thagesen - Google Books](#).
- Finansdepartementet. (2019). Rundskriv R: Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten. Oslo: Finansdepartementet. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_108_2019.pdf
- Finansdepartementet. (2023). Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten. Oslo: Finansdepartementet. https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_108_2023.pdf
- Freistetter, N. C., Médus, E., Hippi, M., Kangas, M., Dobler, A., Belušić, D., Käyhto, & Partanen, A. I. (2022). Climate change impacts on future driving and walking conditions in Finland, Norway and Sweden. *Regional Environmental Change*, 22(2), 58. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-022-01920-4>
- Gates, T., Savolainen, P., Datta, T., Todd, R., Russo, B., & Morena, J. (2012). Use of both centerline and shoulder rumble strips on high-speed two-lane rural roadways: impact on lateral lane position and passing maneuvers of vehicles. *Transportation Research Record* (2301), 36–45. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2301-05>
- Gabauer, D. J., & Li, X. (2015). Influence of horizontally curved roadway section characteristics on motorcycle-to-barrier crash frequency. *Accident Analysis & Prevention*, 77, 105–112. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457515000408>
- Geedipally, S. R., Brewer, M. A., Wunderlich, R., Pratt, M. P., Wu, L., Das, S., & Florence, D. (2021). Examine Trade-Offs Between Center Separation and Shoulder Width Allotment for a Given Roadway Width (No. FHWA/TX-21/0-7035-R1). Texas A&M Transportation Institute, Texas Department of Transportation. <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/0-7035-PSR.pdf>
- Gruppeintervju jernbane. (2023, 27. oktober). Gruppeintervju til Sikkerhetsmarginer under press/Intervjuere: I. M. Ydersbond & R. Elvik.
- Gruppeintervju luftfart. (2023, 9. oktober) Gruppeintervju luftfart til Sikkerhetsmarginer under press/Intervjuere: I. M. Ydersbond, V. Milch Uhlving, R. Elvik, & H. Thune-Larsen.
- Halse, A. H., Fridstrøm, L. (2018). Jakten på den forsvunne lønnsomhet. Om norske veiprosjekters manglende samfunnsøkonomiske avkastning. TØI-rapport 1630/2018. Oslo: Transportøkonomisk institutt. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=47672>
- Hawkins Jr, H., & Gogula, M. (2008). Assessment of sag curve design criteria considering modern headlamp performance. *Transportation Research Record*, 2060(1), 3–9. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2060-01>
- Hogema, J., Stuiver, A., Kroon, L., Broeren, P., & Barrell, J. (2016). EUSight - Parameter study report. https://www.cedr.eu/download/other_public_files/research_programme/call_2013/safety/eusight/Eusight_D4_Parameter_study.pdf

- Hudson, P. (2003). Applying the lessons of high risk industries to health care. *Quality and Safety in Health Care*, 12(suppl 1), i7. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14645741/>
- Høye, A.K. (2014). Evaluering av effekt på ulykker ved bruk av streknings-ATK. TØI-rapport 1339/2014. Oslo: Transportøkonomisk institutt. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=37208>
- Høye, A. (2015). Safety effects of section control – an empirical Bayes evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, 74, 169-178. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457514003133>
- Høye, A. K. (2017). Bilalder og risiko. TØI-rapport 1607/2017. Oslo: Transportøkonomisk institutt. <https://www.toi.no/getfile.php/1347177-1519652664/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/2017/1607-2017/1607-2017-sam.pdf>
- Høye, A. (2019). Vehicle registration year, age, and weight – Untangling the effects on crash risk. *Accident Analysis and Prevention*, 123, 1–11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30447490/>
- Høye, A.K. (2021). Geometriske tverrsnittelementer og betydning for trafikksikkerhet. TØI-rapport 1831/2021. Oslo: Transportøkonomisk institutt. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=67208>
- Høye, A.K. (2022). Kapittel 3.20 Variable trafikkskilt. Trafikksikkerhetshåndboken, <https://www.tshandbok.no/del-2/3-trafikkregulering/doc669/>.
- Høye, A.K. (2023A). Revisjon av Trafikksikkerhetshåndboken – Kapittel 2.6 Vinterdrift av veger. TØI-arbeidsdokument. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A.K. (2023B). Revisjon av Trafikksikkerhetshåndboken – Vegdekker. TØI-Arbeidsdokument. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A.K. (2023C). Effektkatalog for trafikksikkerhetstiltak. TØI-arbeidsdokument. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Høye, A.K., Nævestad, T.O., & Elvik, R. (2023A). Vinterdrift og trafikksikkerhet. TØI-rapport 1961/2023. Oslo: Transportøkonomisk institutt. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=75559>
- Høye, A.K., Milch, V. & Egnér L.E. (2023B). Hvordan påvirker førerstøttesystemene ulykkesrisikoen? Litteraturstudie. TØI-Rapport 1995/2023. Oslo: Transportøkonomisk institutt. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=76797>
- Khan, G., Bill, A. R., Chitturi, M., & Noyce, D. A. (2012). Horizontal curves, signs, and safety. *Transportation Research Record*, 2279(1), 124–131. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2279-15>
- Khan, M., Abdel-Rahim, A., & Williams, C. J. (2015). Potential crash reduction benefits of shoulder rumble strips in two-lane rural highways. *Accident Analysis & Prevention*, 75, 35–42. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457514003418>
- Khattak, M. W., De Backer, H., De Winne, P., Brijs, T., & Pirdavani, A. (2021). Investigating the impact of road cross-section elements on crash occurrence in urban areas. In 2021 TRB Annual Meeting. <https://biblio.ugent.be/publication/8692598>
- Kim, S.-H., Kim, J.-H., Chun, H.-Y., & Sharman, R. D. (2023). Global response of upper-level aviation turbulence from various sources to climate change. *Climate and Atmospheric Science*, 6(1), 92. <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00421-3>
- Liu, J. (2015). Research on the Damage of Heavy Vehicles to the Pavement. In 2015 *International Conference on Management, Education, Information and Control* (pp. 649–655). Atlantis Press. <https://www.atlantispress.com/proceedings/meici-15/25140>

- Lorentzen, T. (2020). Climate change and winter road maintenance. *Climatic Change*, 161(1), 225–242. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-020-02662-0>
- Mecheri, S., Rosey, F., & Lobjois, R. (2017). The effects of lane width, shoulder width, and road cross-sectional reallocation on drivers' behavioral adaptations. *Accident Analysis & Prevention*, 104, 65–73.
- Morovatdar, A., Ashtiani, R. S., Licon, C., & Tirado, C. (2019). Development of a mechanistic approach to quantify pavement damage using axle load spectra from South Texas overload corridors. *Geo-Structural Aspects of Pavements, Railways, and Airfields (GAP 2019)*, Colorado Springs, CO, USA.
- Nyborg, K. (1998). Some Norwegian politicians' use of cost-benefit analysis. *Public Choice*, 95(3), 381–401. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005012509068>
- Nævestad, T.-O., Hesjevoll, I. S., & Phillips, R. O. (2018). How can we improve safety culture in transport organizations? A review of interventions, effects and influencing factors. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 54, 28–46. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.01.002>
- Nævestad, T.-O., Elvik, R., Milch, V., Karlsen, K., Phillips, R. O. (2020). Trafikksikkerhet i busstransport. En analyse av kravene som Ruter stiller til bussoperatørene i kontrakter. TØI-rapport 1787/2020. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Nævestad, T.-O., Høye, A. K., & Elvik, R. (2023). Safety in bus transport in Europe: Status of safety and discussion of measures benefitting drivers, passengers and other road users. TØI-rapport 1984/2023. Oslo: Transportøkonomisk institutt. Hentet fra: <https://www.toi.no/publikasjoner/trafikksikkerhetstiltak-i-busstransport-i-europa-status-for-sikkerhet-og-diskusjon-av-tiltak-til-fordel-for-sjåfører-passasjerer-og-andre-trafikanter-article38377-8.html>
- Park, J., & Abdel-Aty, M. (2017). Safety performance of combinations of traffic and roadway cross-sectional design elements at straight and curved segments. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 143(6), 04017015. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JTEPBS.0000033>
- Park, J., & Abdel-Aty, M. (2015). Development of adjustment functions to assess combined safety effects of multiple treatments on rural two-lane roadways. *Accident Analysis & Prevention*, 75, 310–319. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457514003911>
- Park, J., Abdel-Aty, M., & Lee, C. (2014). Exploration and comparison of crash modification factors for multiple treatments on rural multilane roadways. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 167–177. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457514000827>
- Park, J., Abdel-Aty, M., & Wang, J. H. (2017). Time series trends of the safety effects of pavement resurfacing. *Accident Analysis & Prevention*, 101, 78–86. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001457517300568>
- Peng, Y., Geedipally, S. R., & Lord, D. (2012). Effect of roadside features on single-vehicle roadway departure crashes on rural two-lane roads. *Transportation Research Record*, 2309(1), 21–29. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2309-03>
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organisational accidents*. Aldershot, Ashgate publishing.
- Rezapour, M., Wulff, S. S., Mehrara Molan, A., & Ksaibati, K. (2021). Application of Bayesian ordinal logistic model for identification of factors to traffic barrier crashes: Considering roadway classification. *Transportation Letters*, 13(4), 308–314. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19427867.2020.1728041>

- Riksrevisjonen (2023). Kvalitet og effektivitet i drift og vedlikehold av riks- og fylkesveier. Dokument 3:11 (2022–2023). Oslo: Riksrevisjonen. <https://www.riksrevisjonen.no/globalassets/rapporter/NO-2022-2023/drift-og-vedlikehold-av-riks--og-fylkesveier.pdf>
- Ritzhaupt, N., & Maraun, D. (2023). Consistency of seasonal mean and extreme precipitation projections over Europe across a range of climate model ensembles. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(1), e2022JD037845.
- Roy, U., Farid, A., & Ksaibati, K. (2022). Effects of Pavement Friction and Geometry on Traffic Crash Frequencies: A Case Study in Wyoming. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 1–14.
- Sagberg, F., Bjørnskau, T. (2016). Fart og alder. Fartsutviklingen på veier med fartsgrense 80 km/t. Rapport 1462/2016. Oslo: Transportøkonomisk institutt.
- Sager, T. Ø. (2016). Why don't cost-benefit results count for more? The case of Norwegian road investment priorities. *Urban, Planning and Transport Research*, 4(1), 101–121. doi:10.1080/21650020.2016.1192957
- Saleem, T., & Persaud, B. (2017). Another look at the safety effects of horizontal curvature on rural two-lane highways. *Accident Analysis & Prevention*, 106, 149–159.
- Samferdselsdepartementet. (2014). På rett vei. Reformen i vegsektoren. Oslo: Samferdselsdepartementet. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/contentassets/fa9a90ec1eda4c6a9215b6c803f88f8f/no/pdfs/stm201420150025000dddpdfs.pdf>
- Samferdselsdepartementet. (2015). Meld. St. 27 (2014–2015). På rett spor - Reform av jernbanesektoren. Oslo: Samferdselsdepartementet. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-27-2014-2015/id2411094/>
- Samferdselsdepartementet. (2021). Stortingsmelding 20 (2020–2021). Nasjonal transportplan 2022–2033. Oslo: Samferdselsdepartementet. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-20-20202021/id2839503/>
- Samferdselsdepartementet. (2023). Bærekraftig og sikker luftfart. Nasjonal luftfartsstrategi. Oslo: Samferdselsdepartementet. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-10-20222023/id2960568/>
- Samset, K., & Volden, G. H. (2013). Prinsipp, praksis og ringvirkninger. *Stat og Styring*, 23(3), 23–26. Tilgjengelig på: <https://www.idunn.no/doi/full/10.18261/ISSN0809-750X-2013-03-12>
- Saranko, O. (2019). Modelling winter conditions of streets and pavements in a changing climate. (Master's thesis). <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/64829/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201906253414.pdf?sequence=1>
- Smith, J., Hosseinpour, M., Mains, R., Hummel, N., & Haleem, K. (2021). Investigating head-on crash severity involving commercial motor vehicles in Kentucky. *Transportation Research Record*, 2675(10), 133–147. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/03611981211010803>
- Statens vegvesen (2019). Utredning av smal 4-felts veg og standarder på veger med ÅDT 6000–20000. Oslo: Vegdirektoratet, Vegavdelingen. <https://www.vegvesen.no/globalassets/nyheter/utredning-smal-4-felt-ved-adt-6000-20000.pdf>
- Statens vegvesen (2023A). N100 Veg- og gateutforming. <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/n100/>

- Statens vegvesen (2023B). Veiledning om avbøtende tiltak på smal firefelts motorveg.
<https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/vedlegg-til-hb-n100/veiledning-om-avbotende-tiltak-pa-smal-firefelts-motorveg-06-07-2023.pdf>
- Vegtilsynet (2020). Tilsynsrapport 2020-09: Tilstand på vegdekke område vest. Voss: Vegtilsynet.
<https://tidligere.vt.no/tilsyn/tilsynsrapporter/tilstand-pa-vegdekke-omrade-vest.html>
- Vegtilsynet (2021). Tilsynsrapport 2021-09: Vegoppmerking etter dekkefornyning. Voss: Vegtilsynet.
https://tidligere.vt.no/tilsyn/tilsynsrapporter/vegoppmerking-etter-dekkefornyning/_attachment/inline/e6586303-bf55-4eb9-ad33-8aae68443b62%EF%B9%9524d44f04e64c837fc10fd8c188334e7c458ac43f/Tilsynsrapport%20sak%202021-09%20-%20Vegoppmerking%20etter%20dekkefornyning.pdf
- Ydersbond, I. M., Tveit, A. K., Halse, A. H., & Christensen, T. (2023). Topp-politikerens bruk av beslutningsgrunnlaget for store statlige investeringer. Concept-rapport 72. Trondheim: Ex ante akademisk forlag. Tilgjengelig på:
<https://www.ntnu.no/documents/1261860271/1262010703/Topp-politikerens+bruk+av+beslutningsgrunnlaget+for+store+statlige+investeringer.pdf/6166d9d2-8f99-d552-46f2-2f64a9d898c4?t=1686118905360>
- Zeng, H., & Schrock, S. D. (2012). Estimation of Safety Effectiveness of Composite Shoulders on Rural Two-Lane Highways. *Transportation Research Record*, 2279(1), 99–107.
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.3141/2279-12>
- Zhu, H., Dixon, K. K., Washington, S., & Jared, D. M. (2010). Predicting single-vehicle fatal crashes for two-lane rural highways in Southeastern United States. *Transportation Research Record*, 2147(1), 88–96. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2147-11>

Vedlegg

Vedlegg 1. Kjørefeltbredde

Nyere studier av sammenhengen mellom kjørefeltbredde og ulykker

Vi har funnet tre nyere studier som har undersøkt sammenhengen mellom kjørefeltbredde og ulykker som er oppsummert i tabellen under. Resultatene er i tråd med studiene som er oppsummert av Høye (2021); to av studiene viser veger med bredere kjørefelt har færre ulykker, men størrelsen på virkningen spriker. Den tredje studien fant økt antall ulykker, men dette resultatet gjelder kun for ulykker med tunge godsbiler.

Virkninger av økt kjørefeltbredde på antall ulykker – nyere studier	
Cafiso et al., 2021 (Italia)	<p><u>Veger</u>: Tofelts-landeveg <u>Metode</u>: Ulykkesmodell <u>Tiltak</u>: Kjørefeltbredde (m), gjelder minste kjørefeltbredde per vegsegment <u>Virkning av økt kjørefeltbredde (+1 ft.)</u> » Færre ulykker (-24%) » Færre utforkjøringsulykker (-32%) <u>Interaksjon</u>: Ingen interaksjonseffekter</p>
Smith et al., 2021 (USA)	<p><u>Veger</u>: Alle veger <u>Metode</u>: Ulykkesmodeller <u>Tiltak</u>: Kjørefeltbredde (ft.) <u>Virkning av økt kjørefeltbredde (+1 ft.)</u> » Flere ulykker med tunge godsbiler (+4,7%) (commercial vehicles) <u>Interaksjon</u>: Ingen interaksjonseffekter</p>
Khattak et al., 2021 (Belgia)	<p><u>Veger</u>: Flerfeltsveger, tettbygds trøk <u>Metode</u>: Ulykkesmodell <u>Tiltak</u>: Kjørefeltbredde (meter) <u>Virkning av økt kjørefeltbredde (+1 ft.)</u> » Færre ulykker med uspes. skadegrad (-1,3%) » Færre personskadeulykker (-4,7%) <u>Interaksjon</u>: Ingen interaksjonseffekter</p>

Kjørefeltbredde og type veg / antall kjørefelt

I de multivariate studiene som er oppsummert av Høye (2021) er det ingen systematiske forskjeller i sammenhengen mellom kjørefeltbredde og ulykker mellom ulike vegtyper. De fleste slike studier er gjort på tofelts-landeveger. Studier som er gjort på flerfeltsveger, har like ofte funnet ulykkesreduksjoner som studier på tofeltsveger. De gjennomsnittlige ulykkesreduksjonene er likevel større på flerfeltsveger enn på landeveger. Gjennomsnittlige effekter er imidlertid et dårlig mål på effektstørrelsen da en del studier ikke har rapportert tallfestede sammenhenger når de er ikke-signifikante. Setter man alle ikke-signifikante sammenhenger lik null (ingen sammenheng), er den gjennomsnittlige ulykkesnedgangen per 30 cm økning av kjørefeltbredden på 1 prosent på tofeltsveger og på 7 prosent på flerfeltsveger. Dette kan ha sammenheng med at flerfeltsvegene har høyere trafikkmengder.

Flere studier har rapportert sammenhenger mellom kjørefeltbredde og ulykker i separate ulykkesmodeller for to- og flerfeltsveger. Resultatene er meget inkonsistente.

	Veger med <u>bredere kjørefelt</u> har	
	Tofeltsveger	Flerfeltsveger
Mehta & Lou (2013)	Flere ulykker (+5%)	Færre ulykker (-5%)
Fitzpatrick et al. (2005)	Færre ulykker (-11%)	Flere ulykker (+5%)
Bonneson (2006; motorveger)		Færre ulykker: » Firefeltsveger (ca. -5%) » Seks-feltsveger (ca. -7%)
Bonneson (2006; ikke motorveger, ÅDT > 2000, spredtbygd)	Færre ulykker	Færre ulykker (mindre effekt enn på tofeltsveger)
Bonneson (2006; ikke motorveger, ÅDT < 2000, spredtbygd)	Færre ulykker	- (trolig ingen veger med så lite trafikk med mer enn to kjørefelt)

Alt i alt er det ikke mulig å dra entydige konklusjoner om hvorvidt kjørefeltbredden har ulik betydning på to- og flerfeltsveger.

Kjørefeltbredde og trafikkmengde

Studier som har undersøkt sammenhengen mellom kjørefeltbredde og antall ulykker ved ulike trafikkmengder, har i de fleste tilfellene funnet at økende kjørefeltbredde medfører de største ulykkesreduksjonene ved høye trafikkmengder (Høye, 2021).

En analyse av ulykker på norske tofeltsveger (Høye, 2021) viser at antall ulykker i gjennomsnitt øker med 2,8 prosent per 30 cm økning av kjørefeltbredden, men denne effekten er ikke statistisk signifikant og varierer med trafikkmengden. Ved ÅDT over 2300 går antall ulykker ned med økende kjørefeltbredde, ved lavere ÅDT øker antall ulykker med økende kjørefeltbredde.

- ÅDT 4000 / 10.000: Antall ulykker går ned med -11 prosent / -27 prosent per 30 cm økning av kjørefeltbredden
- ÅDT 500: Antall ulykker øker med 39 prosent per 30 cm økning av kjørefeltbredden.

Disse resultatene tyder på at **økende kjørefeltbredde** har **gunstigere** effekt ved **høyere trafikkmengde**.

Kjørefeltbredde og fartsgrense

Lee et al. (2015) fant signifikante interaksjonseffekter mellom kjørefeltbredde og fartsgrense. Her er sammenhengen mellom kjørefeltbredde og antall ulykker ikke lineær; det er flest ulykker ved kjørefeltbredder på 11-13 f. (3,35-4,00 meter) og færre ulykker både på smalere og bredere kjørefelt. Hvor mye antall ulykker går ned ved andre kjørefeltbredder, varierer mellom ulike fartsgrenser, men den generelle formen av sammenhengen er uavhengig av fartsgrensen.

Vi har ikke funnet andre studier som har undersøkt hvordan fartsgrensen påvirker sammenhengen mellom kjørefeltbredde og ulykker.

Kjørefeltbredde og ulykkestyper

Resultater fra studier som har undersøkt sammenhengen mellom kjørefeltbredde og ulykker for ulike ulykkestyper, spriker (alle tre studiene er gjort på tofelts-landeveger):

- Shankar et al., 2016: Bredere kjørefelt har flere ulykker totalt sett og **flere flerpartsulykker**, men **færre eneulykker**.
- Park & Abdel-Aty, 2015: Bredere kjørefelt har **flere ulykker**, især flere **eneulykker**.
- Cafiso et al. (2021): Bredere kjørefelt har **færre ulykker**, især **eneulykker**.

Disse resultatene hjelper ikke med å tolke de inkonsistente resultatene for kjørefeltbredde.

Kjørefeltbredde og føreratferd

På bakgrunn av de inkonsistente sammenhengene mellom kjørefeltbredde og ulykker, har vi også sett på studier som har undersøkt virkninger på føreratferd da slike virkninger muligens kan forklare noen av motsetningene.

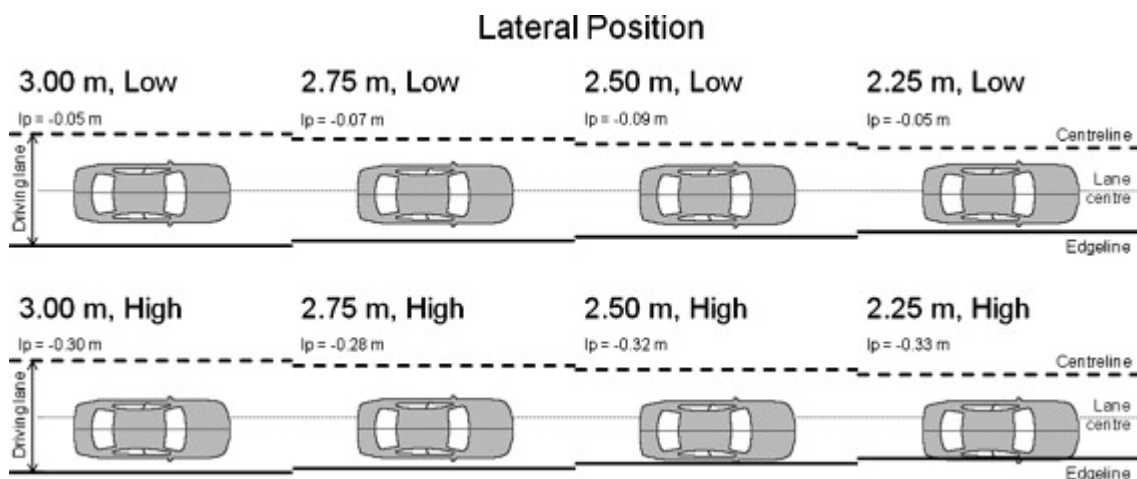
Fart: Breder kjørefelt fører som regel til høyere fart. Det er et konsistent funn i mange empiriske studier (jf. Mecheri et al., 2017). Høyere fart fører som regel, hvis alt annet er likt, til flere og mer alvorlige ulykker.

Variasjon i sideplassering: Breder kjørefelt fører som regel til større variasjon i sideplasseringen, men samtidig er det færre store rattutslag og førere opplever kjøringen som mindre anstrengende (reduert «mental workload») (Mecheri et al., 2017).

Sideplassering: Økt kjørefeltbredde fører som regel til at førere kjører i større avstand fra midtlinjen (Mercheri et al., 2017). Dette vil trolig redusere risikoen for møteulykker.

Hvordan kjørefeltbredden henger sammen med sideplasseringen i forhold til midten av kjørefeltet, avhenger av hvorvidt det er møtende trafikk. Dette er undersøkt i en simulatorstudie av Dijksterhuis et al. (2011). Resultatene virker svært logiske og de kan trolig forklare hvorfor sammenhengen mellom kjørefeltbredde og ulykker er så inkonsistente:

- Er det **lite eller ingen møtende trafikk**, kjører førerne omtrent i midten av kjørefeltet, uansett kjørefeltbredde. Dermed kommer de nærmere kantlinjen.
- Er det **mye møtende trafikk**, kjører førerne til høyre for midten av kjørefeltet. Også her er plasseringen i forhold til kjørefeltmidten omtrent uavhengig av kjørefeltbredden, men bredere ved kjørefelt er det fortsatt større avstand til kantlinjen. I smale kjørefelt kommer bilene svært nær kantlinjen ved møtende trafikk. Dette kan være forklaringen på at bredere kjørefelt har bedre effekt på trafikksikkerheten på veier med høyere trafikkmengde.



Figur V.1: Sammenheng mellom kjørefeltbredde (2,25 – 3,00 meter) og bilenes sideplassering ved lite («Low») og mye («High») møtende trafikk; figur fra studien til Dijksterhuis et al. (2017).

Resultatene tyder på at kjørefeltbredden kan ha ulike virkninger på møte- og utforkjøringsulykker og ulike virkninger når det er møtende trafikk enn uten møtende trafikk. I tillegg kan virkningen av kjørefeltbredden på sideplasseringen tenkes å avhenge av andre forhold som for eksempel sikt lengden og horisontalkurvatur.

Hvordan sideplasseringen påvirker ulykkesrisiko vil i tillegg avhenge av skulderbredden og sideterenget. Dette er beskrevet i avsnitt 4.1.2 Skulderbredde.

Vedlegg 2. Skulderbredde

Nyere studier av sammenhengen mellom skulderbredde og ulykker

Vi har funnet flere studier som er publisert etter litteraturstudien fra 2021, som har undersøkt sammenhengen mellom skulderbredde og ulykker:

- Zeng & Schrock (2012) (også inkl. i gjennomgangen av Høye, 2021)
- Ambros et al., 2021 (CZ)
- Rezapour et al., 2021 (USA)
- Geedipally et al., 2021 (USA)
- Al-Omari et al., 2021 (USA)
- Roy et al., 2022 (USA)

Resultatene viser omtrent det samme som tidligere studier; veger med bredere kjørefelt har i all hovedsak færre ulykker, og spesielt færre utforkjøringsulykker. Størrelsen på virkningene er vanskelige å sammenligne mellom studiene da alle studiene har benyttet ulike variabler som beskriver skulderbredden.

Én av studiene fant høyere skadegrad i eneulykker på veger med bredere skuldre (Ambros et al., 2021).

Noen av studiene har undersøkt interaksjonseffekter mellom skulderbredde og type veg; disse er beskrevet i de respektive avsnittene nedenfor.

Ambros et al., 2021 (CZ)	<p>Veger: Tofelts-landeveger, to kategorier, alle med samme kjørefeltbredde (3,5 meter) men ulik skulderbredde; ÅDT ca. 9000 (4000-17000 for smale; 4000-30000 for brede skuldre, men ca. samme gjennomsnitt); fartsgrense ukjent (gjennomsnittsfart rundt 90 km/t)</p> <p>Metode: Ulykkesmodell</p> <p>Tiltak: Skulderbredde, 0,75 vs. 1,75 meter</p> <p>Virkning av bred vs. smal skulder</p> <ul style="list-style-type: none"> » Færre ulykker; gjelder både eneulykker og flerpartsulykker » Høyere skadegrad i eneulykker (ikke i flerpartsulykker) » Høyere fart (+8 km/t) – det vil si at høyere fart her ikke øker ulykkesrisikoen, men kan bidra til høyere skadegrad i eneulykker <p>Interaksjon: Ingen interaksjonseffekter undersøkt</p>
Rezapour et al., 2021 (USA)	<p>Veger: Landeveger, uspes. antall kjørefelt; ÅDT lav (<400) eller høy (>400)</p> <p>Metode: Ulykkesmodell, avhengig variabel «traffic barrier crashes», trolig påkjøring av siderekker, det vil si omtrent det samme som utforkjøring på veg med siderekker</p> <p>Tiltak: Skulderbredde, over vs. under 3 ft. (0,91 meter)</p> <p>Virkning av bred vs. smal skulder på rekkverkspåkjøringer</p> <ul style="list-style-type: none"> » Lav ÅDT: Flere utforkjøringsulykker (+146%); meget usikker effekt » Høy ÅDT: Færre utforkjøringsulykker (-10%) <p>Interaksjon: Interaksjon med trafikkmengde (se under Virkning)</p>
Geedipally et al., 2021 (USA)	<p>Veger: Landeveger, to-/firefeltsveger; studien har fokus på ombygging fra firefelts uten midtdeler til firefelts med midtdeler eller ulike varianter av tofelts (med forbikjøringsfelt eller med Two-way-left-turn-lane)</p> <p>Metode: Ulykkesmodell</p> <p>Tiltak: Skulderbredde (ft.)</p> <p>Virkning av bred vs. smal skulder</p> <ul style="list-style-type: none"> » Firefeltsveg med midtdeler: Færre ulykker (-14%) » To- eller firefeltsveg uten midtdeler: Færre ulykker (-2%) <p>Interaksjon med antall kjørefelt: Større effekt på firefeltsveg</p>

Al-Omari et al., 2021 (USA)	<p><u>Veger</u>: Alle typer vegger</p> <p><u>Metode</u>: Ulykkesmodeller (en modell per områdetype (8 typer fra «natural» til «urban core»))</p> <p><u>Tiltak</u>: Skulderbredde (ft.), asfaltert skulder</p> <p><u>Virkning</u> av bred vs. smal skulder</p> <ul style="list-style-type: none"> » Totalt sett: (Litt) færre ulykker (-2%) » Ulike typer veg: Ulike og delvis ikke-signifikante virkninger i ulike områder <p><u>Interaksjon med antall kjørefelt</u>: Ulike virkninger og ingen systematikk i resultatene.</p>
Roy et al., 2022 (USA)	<p><u>Veger</u>: Ulike typer veg</p> <p><u>Metode</u>: Ulykkesmodeller (en modell per type veg)</p> <p><u>Tiltak</u>: Skulderbredde (ft.), asfaltert skulder</p> <p><u>Virkning</u> av bred vs. smal skulder</p> <ul style="list-style-type: none"> » Motorveger og «rural principal arterial»: Færre ulykker (størst effekt på motorveger i byer) » Øvrige typer veg: Ikke-signifikante virkninger, effektstørrelser ikke oppgitt, derfor ikke mulig å sammenligne effekter mellom ulike vegtyper (ikke-signifikant effekt betyr ikke nødvendigvis at effekten er mindre) <p><u>Interaksjon</u>: Interaksjon med type veg, men ikke mulig å vurdere forskjeller.</p>
Zeng & Schrock (2012)	<p><u>Veger</u>: Tofelts-landeveger</p> <p><u>Metode</u>: Før-etter studie,</p> <p><u>Tiltak</u>: Oppgradering av grus-skuldre («unpaved shoulders») til «composite shoulders» (ca. 1 meter asfaltert skulder, resten av skulderen ikke-asfaltert); mangelfull beskrivelse av tiltaket, uklart hvor bred den <i>asfalterte</i> delen av skuldrene er før og etter tiltaket.</p> <p><u>Virkning</u> oppgradering</p> <ul style="list-style-type: none"> » Opprinnelig skulderbredde (ikke-asfaltert) under 1,5 meter: Færre utforkjøringsulykker (-14%) » Opprinnelig skulderbredde (ikke-asfaltert) over 1,5 meter: Flere utforkjøringsulykker (+42%)

Opprinnelig skulderbredde og ekstra-brede skuldre

Med ekstra-brede skuldre mener vi her skuldre som er minst like brede som omtrent en kjøretøybredde, det vil si minst 2 meter; dette er bredden på en vanlig personbil, tunge kjøretøy er som regel bredere, ca. 2,4-2,6 meter. Teoretisk kan ekstra-brede skuldre påvirke ulykkesrisikoen på ulike måter:

- Mer plass til unnamanøvrering og gjenoppretting (samme effekt som ved økende skulderbredde generelt) og dermed lavere risiko
- Høyere fart og dermed høyere risiko og skadegrad
- Plass til havarete / forulykkede kjøretøy og dermed redusert risiko for påkjøring av stanset kjøretøy og ulykker i forbindelse med kjørefeltskifte for å komme forbi havarete kjøretøy.

Litteraturgjennomgangen til Høye (2021) viser at en **økning av skulderbredden har størst effekt når skuldrene i utgangspunktet er smale. Dette er vist for skulderbredder på opptil 3 meter.**

Å øke skulderbredden har derimot liten eller ingen effekt når skuldrene allerede er brede. Fra hvilken bredde en videre økning ikke har noen ytterligere sikkerhetseffekt, varierer mellom studiene. Terskelverdier som ble funnet i ulike studier er på 1,5 meter, 2,0 meter, 2,4 meter (kun flerfeltsveger) og 3,0 meter (kun tofeltsveger).

En annen studie viser at **svært brede skuldre** (1,80 til 3,70 meter) kan medføre **økt skadegrad** på tofeltsveger med gjennomsnittlig ÅDT på 1600. En annen studie fant økt antall utforkjøringsulykker når skulderbredden ble økt utover 1,50 meter (Zeng & Schrock, 2022). Forklaringen kan være at svært brede skuldre medfører høyere fart. Høyere fart kan også være forklaringen på resultater fra to andre studier hvor bredere skuldre har flere eneulykker på vegger med svært lav ÅDT (Rezapour et al., 2021) og høyere skadegrad i eneulykker (Ambros et al., 2021).

Skulderbredde og type veg / antall kjørefelt

Hvorvidt skulderbredden har større betydning på to- eller flerfeltsveger varierer mellom ulike studier og analyser.

I studiene som er oppsummert av Høye (2021), er den gjennomsnittlige ulykkesnedgangen per 0,3 meter økning av skulderbredden **større på tofeltsveger** (-4,2 prosent) enn på flerfeltsveger (-2,0 prosent). Dette kan imidlertid ikke generaliseres da mange studier ikke har rapportert tallfestede anslag på sammenhengen mellom skulderbredde og ulykker.

To før-etter-studier som har undersøkt sammenhengen mellom skulderbredde og ulykker på henholdsvis to- og flerfeltsveger, har funnet **større effekter av å øke skulderbredden på flerfeltsveger** enn på tofeltsveger.

Flere studier har rapportert sammenhenger mellom skulderbredde og ulykker i separate ulykkesmodeller for to- og flerfeltsveger. Disse er oppsummert i følgende tabell som viser estimerte prosentvise endringer av å øke skulderbredden med 0,30 meter.

	Veger med <u>bredere skuldre</u> har		
	På tofeltsveger	På flerfeltsveger	På flerfeltsveger er sammenhengen...
Donnell et al. (2009)	Færre eneulykker	Færre eneulykker	Mindre
Mehta & Lou (2013)	Færre ulykker (-9%)	<u>Flere ulykker</u> (+5%)*	Motsatt (ulykkesøkning)
Fitzpatrick et al. (2005)	Færre ulykker (-5%)	Færre ulykker (-6%)	Litt større (liten forskjell)
Lord & Bonneson (2006)	Færre ulykker	Færre ulykker	Mindre (ca. halvparten så stor sammenheng)
Bonneson (2006; motorveger)		Færre ulykker	Større effekt på seks- enn på firefelts-veger
Geedipally et al., 2021 (USA)	Færre ulykker (-2%)	Færre ulykker (-14%)	Større
Roy et al., 2022 (USA)	(ingen signifikante forskjeller)	Færre ulykker	Større; størst effekt på motorveger i byer

* Forskjell mellom to- og flerfeltsveger omvendt som for kjørefeltbredde.

Skulderbredde og trafikkmengde

I studiene som er oppsummert av Høye (2021), har skulderbredden for det meste større betydning på veger med høyere trafikkmengde. Det betyr at økende skulderbredde medfører større ulykkesreduksjoner når trafikkmengden er høy enn når den er lav. «Høyere trafikkmengde» betyr her ÅDT over 2000-3500 (ulikt i ulike studier). Dette gjelder kun tofeltsveger; for flerfeltsveger foreligger ikke mange nok resultater for å undersøke sammenhengen. En av studiene fra 2021 og senere (Reezapour et al., 2021) viser at bredere skuldre medfører færre påkjøringer av siderekkeret, men at dette kun gjelder på veger med høy ÅDT; ved lav ÅDT er medfører bredere skuldre flere rekkverkspåkjørsler, men denne effekten er meget usikker. Dette er også i tråd med at økende skulderbredde er mest fordelaktig ved høy trafikkmengde.

Også analysen av ulykker på norske tofeltsveger (Høye, 2021) viser skulderbredden har større betydning ved høyere trafikkmengder (ÅDT > 2000) og ingen eller liten betydning ved lavere trafikkmengder.

Det finnes imidlertid også studier som har funnet det motsatte, det vil si at bredere skuldre er mest fordelaktige ved lav trafikkmengde (for eksempel Martz, 2017).

Vedlegg 3. Interaksjonseffekter i empiriske studier

Horisontalkurveradius og skulderbredde

Studier: Skulderbredde * horisontalkurvatur	
Park & Abdel-Aty, 2017 (USA) (har ikke artikkel, bestilt fra bibliotek men kom ikke)	<p><u>Veger:</u> ???</p> <p><u>Metode:</u> Multivariat studie, antall ulykker som avhengig variabel</p> <p><u>Tiltak:</u> Kjørefeltbredde, skulderbredde, horisontalkurvatur</p> <p><u>Virkninger av tiltakene hver for seg:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> » Bredere kjørefelt: Færre ulykker opptil 3,50 meter, men ikke for bredere kjørefelt » Bredere skuldre: ??? » Horisontalkurver: ??? <p><u>Interaksjon [Kjørefeltbredde * skulderbredde] * kurver:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> » Kurver: Interaksjon mellom kjørefelt- og skulderbredde ??? » Rette strekninger: Ingen interaksjonseffekt mellom kjørefelt- og skulderbredde
Khan et al., 2012 (USA)	<p><u>Veger:</u> Kurver på alle typer veg</p> <p><u>Metode:</u> Multivariat studie, antall ulykker som avhengig variabel</p> <ul style="list-style-type: none"> » Modell 1 for alle kurver (mange på firefelts-/motorveg) » Modell 2 kun for veger med skarpe kurver (i hovedsak tofeltsveg, nesten ingen firefelts-/motorveg) <p><u>Tiltak:</u> Kjørefeltbredde, kurveradius</p> <p><u>Virkninger av enkelttiltak:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> » Bredere skuldre: Færre ulykker » Større kurveradius: Færre ulykker » Lengre kurver: Flere ulykker <p><u>Interaksjon skulderbredde * horisontalkurvatur:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> » Ca. samme effekt av skulderbredde, uavhengig av om alle kurvene er med i modellen eller kun «skarpe» kurver. (Ingen separate analyse for kun slake kurver) » (Kjørefeltbredde er ikke kontrollert for i modellen)

Studier: Skulderbredde * horisontalkurvatur

Peng et al., 2012
(USA)

Veger: Tofelts-landeveger

Metode: Multivariat studie, antall utforkjøringsulykker som avhengig variabel; separate modeller for kurver og rette strekninger

Tiltak: Skulderbredde «sideslope rating», «lateral clearance»

Virkninger av enkelttiltak:

» **Bredere skuldre: Færre ulykker**

» **Farligere sideterrang** (høyere «sideslope rating»): **Flere** ulykker

» **Større sikkerhetsavstand** («lateral clearance»): **Færre** ulykker

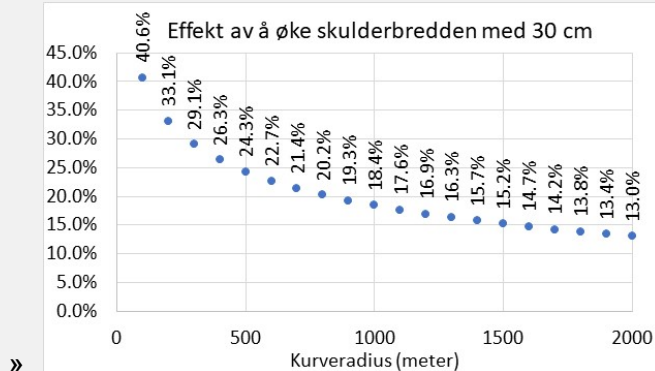
Interaksjon horisontalkurvatur * skulderbredde:

» **Alle tre tiltakene: Større effekt i kurver enn på rette strekninger** (men nesten ingen effekt for sideslope rating, store effekter for de to andre).

» **Skulderbredde:** Virkning av å øke skulderbredden med 30 cm:

- Alle veger: -17%
- Rette strekninger: -12% - større forskjell mellom alle og rette enn mellom alle og kurver
- Kurver: -19% - litt større virkning i kurver enn totalt sett
- Skulderbredde ved ulik kurveradius: Vet ikke, det er ingen informasjon om gjennomsnittlig kurveradius i artikkelen

Teoretiske effekter av å redusere skulderbredden med 30 cm som funksjon av kurveradius



» **Sikkerhetsavstand:** Virkning av å øke sikkerhetsavstanden med 30 cm:

- Alle veger: -2,0%
- Rette strekninger: -1,2% - større forskjell mellom alle og rette enn mellom alle og kurver
- Kurver: -2,4% - litt større virkning i kurver enn totalt sett
- Sikkerhetsavstand ved ulik kurveradius: Vet ikke, det er ingen informasjon om gjennomsnittlig kurveradius i artikkelen

Studier: Skulderbredde * horisontalkurvatur

Saleem & Persaud, 2017 (USA) Veger: Tofelts-landeveger; ÅDT gjsn. 2200 (200-25000)
Metode: Ulykkesmodeller

Tiltak: Skulderbredde

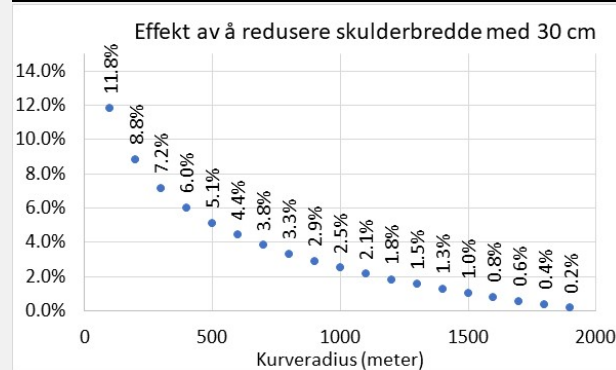
Virkninger av enkelttiltak:

- » **Bredere skuldre: Færre ulykker**
- » **Større kurveradius: Færre ulykker**
- » **Lengre kurver: Flere ulykker**

Interaksjon skulderbredde * horisontalkurvatur:

- » **Bredere skuldre på rette strekninger: Ingen** sammenheng med antall ulykker (gjelder rette strekninger rett før / etter kurve)
- » **Bredere skuldre i kurver: Færre** ulykker (-3% fra 30 til 60 cm; -1% fra 1,2 til 1,5 meter; *det vil si litt mindre effekt enn sammenlagt effekt i Høye, 2021*)
- » (Kjørefeltbredde er ikke kontrollert for i modellen)

Teoretiske effekter av å redusere skulderbredden med 30 cm som funksjon av kurveradius



- » !!! Ingen effekt på rette strekninger er ikke i tråd med andre empiriske studier!

Skulderbredde og sideterreng

Zhu et al., 2010 (USA)

Veger: Tofelts-landeveger

Metode: Multivariat studie, antall utforkjøringer i forhold til antall møteulykker som avhengig variabel

Tiltak: Breddeøkning asfaltert skulder; breddeøkning grus-skulder

Virkninger av enkelttiltak:

- » **Bredere skuldre: Færre** utforkjøringer (i forhold til møteulykker)

Interaksjon skulderbredde * type skulder:

- » Økt bredde på asfaltert og grus-skulder har større effekt enn man ville forvente ut fra virkningene av hvert enkelt tiltak. Det betyr:
 - » Økning av den asfaltert skulder
 - Har samme effekt uansett hvor bred grusskulderen er
 - Har større effekt jo bredere den asfalterte skulderen er i utgangspunktet
- » !!! Kontraintuitivt og ikke i tråd med empiriske studier som viser at økende skulderbredde ar mindre effekt, jo bredere skulderne er i utgangspunktet

Skulderbredde og forsterket kantoppmerking

Forsterket kantoppmerking og skulderbredde

Park, Abdel-Aty & Lee, 2014 (USA)
Veger: Flerfelts-landeveger (trolig med midtdeler/-rekkverk; men ikke Interstate/freeway), ÅDT 2.000-50.000, fartsgrense uspesifisert

Metode: Før-etter Empirisk Bayes

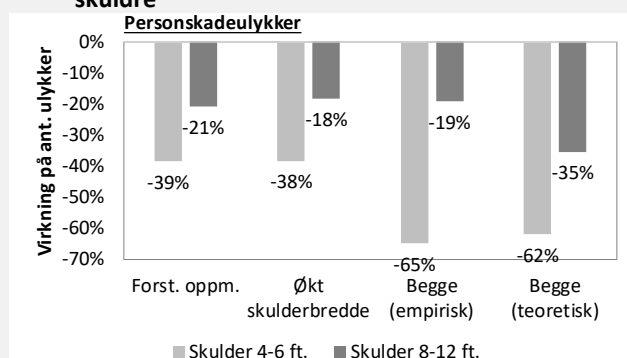
Tiltak: Forsterket kantoppmerking; økt skulderbredde (+0,5 - 10 ft)

Virkninger av enkelttiltak – interaksjon med opprinnelig skulderbredde:

- » Færre ulykker; opprinnelig skulderbredde 4-6 ft.: ca. -38%
- » Færre ulykker; opprinnelig skulderbredde 8-12 ft.: ca. -20%
- » **Størst effekt av hvert enkelt tiltak ved smale skuldre**

Interaksjon økt skulderbredde * forsterket kantoppmerking:

- » Opprinnelig smale skuldre: Like stor reduksjon som man ville forvente ut fra virkningene av hvert enkelt tiltak, ca. -60%
- » Opprinnelig brede skuldre: Like stor effekt som hvert enkelt tiltak (ca. -20%)
- » **Kombinasjon av tiltakene mest effektiv ved smale skuldre; ikke noe å hente på brede skuldre**



Park & Abdel-Aty, 2015 (USA)
Veger: Tofeltes-landeveger

Metode: Før-etter Empirisk Bayes

Tiltak: Forsterket kantoppmerking; økt skulderbredde (+0,5 - 10 ft)

Virkninger av enkelttiltak:

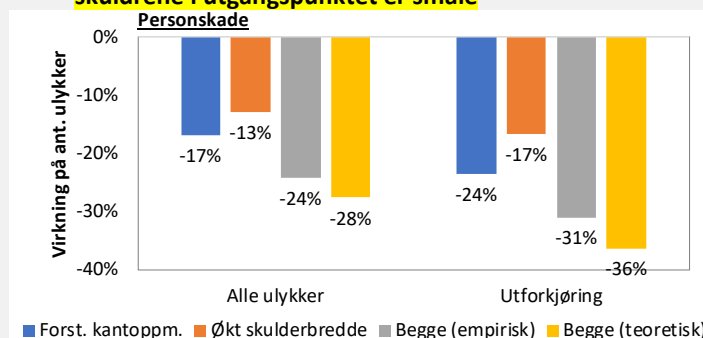
- » Forsterket kantoppmerking: Færre ulykker (-17%) – større effekt enn for bredere skuldre
- » Bredere skuldre: Færre ulykker (-13%)

Interaksjon opprinnelig skulderbredde * tiltakene:

- » **Størst effekt av hvert enkelt tiltak ved smale skuldre**

Interaksjon økt skulderbredde * forsterket kantoppmerking:

- » Jo bredere skuldrene er i utgangspunktet, desto mer effektiv er forsterket kantoppmerking i forhold til økt skulderbredde. Fra 9,5 ft. skulderbredde er forsterket kantoppmerking mer effektiv
- » **Mer å hente av å kombinere økt skulderbredde og forsterket kantoppmerking når skuldrene i utgangspunktet er smale**



Forsterket kantoppmerking og skulderbreddeKhan et al.,
2015 (USA)Veger: Tofelts-landevegerMetode: Før-etter Empirisk BayesTiltak: Forsterket kantoppmerking («shoulder rumble strips»)Virkninger av enkelttiltak:

- » **Forsterket kantoppmerking: Færre** ulykker (-15% [-30; +4]); se også sammenlagt effekt av forsterket kantoppmerking fra meta-analyse (TSH 3.25)

Interaksjon forsterket kantoppmerking * skulderbredde:

- » **Smale skuldre** (<60 cm): Praktisk talt **ingen** effekt av forsterket kantoppmerking (-2% ulykker); forklaring er at det ikke er plass til å rette opp bilen når man først har kommet utenfor kantlinjen (tiltaket er rumlestripe på skulderen)
- » **Bredere skuldre** (90+ cm): Virkning av forsterket kantoppmerking ca. uavhengig av skulderbredde (-26 til -28%)
- » Motsatt til forventet og motsatt til Park et al., 2014. I denne studien er rumlestripene frest inn i asfalten på vegskulderen og resultatene er derfor ikke generaliserbare for forsterket kantoppmerking slik den brukes i Norge.

Interaksjon forsterket kantoppmerking * horisontalkurver:

- » **Rett strekning:** Størst effekt av forsterket kantoppmerking (-25%)
- » **Krappere kurver:** Mindre effekt av forsterket kantoppmerking effekter jo krappere kurvene er (slake kurver: -22%; rett strekning: -25%)
- » **Mulig forklaring:** I kurver er det mer høy fart enn uoppmerksomhet som er medvirkende faktor i ulykker; forsterket kantoppmerking hjelper ved uoppmerksomhet, men ikke når føreren mister kontroll på grunn av for høy fart.

Interaksjon forsterket kantoppmerking * ÅDT:

- » Ikke noe konsistent mønster.

Vafaei et al.,
2018B (USA)Vegene: Tofeltsveger i spredtbygd strøk; ca. 12 ft. kjørefeltbredde (3,6 meter), ned til 20 ft. (6,10 meter) asfaltert bredde.Metode: Sideplassering av kjøretøy på vegger med og uten ulike typer forsterket oppmerking.Tiltak:

- » Forsterket midtoppmerking: Midtlinje over frest rumlestripe
- » Forsterket kantoppmerking 1: Freste rumlestriper på vegskulder
- » Forsterket kantoppmerking 2: Kantlinje oppmerket over rumlestripe

Virkninger av enkelttiltak:

- » Forsterket midt- og kantoppmerking: Færrest krysninger av kantlinjen på vegger med
- » Kun forsterket kantoppmerking: Flere krysninger av midtlinjen og førere kjører generelt nærmere midtlinjen
- » **Forsterket kantoppmerking kan føre til flere krysninger av midtlinjen, med mindre man også installerer forsterket midtoppmerking**

Interaksjon skulderbredde * forsterket kantoppmerking:

- » Smalere skuldre + forsterket kantoppmerking nr. 2 + bredere kjørefelt: Flere krysninger av midtlinjen da førere gjerne holder større avstand til kantlinjen når rumlestripene er plassert under kantlinjen enn når de ligger utenfor.
- » Det samme gjelder bredere kjørefelt når disse går på bekostning av skulderbredden.

Vedlegg 4. Virkninger på antall ulykker av ulike typer firefeltsveg (H3)

Tabell V4.1: Krav til tverrprofil og linjeføring for vanlig firefelts veg og smal firefelts veg.

Element i tverrprofil eller linjeføring	Tverrprofil og linjeføring		Rel. ant. ulykker på smal firefeltetsveg
	Vanlig	Smal	
Tverrprofil: Virkninger på rett strekning			
Kjørefeltbredde (hvert felt; meter)	3,50	3,50	1,000
Skulderbredde (hver skulder; meter)	2,75	1,50	1,122
Indre skulderbredde (hver skulder; meter)	0,75	0,50	1,023
Midtdelerbredde (meter)	2,00	2,00	1,000
Samlet effekt			1,148
Horisontalkurver etter minstekrav			
Minste horisontalkurveradius (meter)	800	700	1,071
Maksimal overhøyde (prosent)	7,5	8	0,988
Horisontalkurvelengde (meter)	266,7	233,3	0,909
Lengde av rett strekning før kurven (på 1-km-str.)	473,3	521,7	1,020
Minste klotoidelengde (meter)	260	245	1,002
Samlet effekt (kun kurve-kriterier)			0,984
Samlet effekt (inkl. effekt av tverrprofil)			1,130
Stigninger og vertikalkurver			
Maksimal stigning (prosent)	5	6	1,036
Minste stoppsikt (meter)	227	255	0,932
Største stoppsiktkorreksjon ved stigning (meter)	-20	-35	1,038
Største stoppsiktkorreksjon ved fall (meter)	26	55	0,930
Minste høybrekkradius (meter)	11000	13600	- ^c
Minste lavbrekkradius (meter)	3700	3400	(trolig ingen effekt)

^a Alle tverrprofilelementer, horisontalkurveradius og lengde, tangent- og klotoidelengde, stoppsikt

^b Som for horisontalkurver, i tillegg stigning

^c Krav henger direkte sammen med stoppsiktlengde, derfor ingen virkning oppgitt.

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

TØI utvikler og formidler kunnskap om samferdsel med vitenskapelig kvalitet og praktisk anvendelse. Instituttet har et tverrfaglig miljø med rundt 90 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet driver forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, bøker, seminarer, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, ITS, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transportbehov og generell transportøkonomi. Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forskningssamarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

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

Postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Postboks 8600 Majorstua
0349 Oslo
Norge

Kontoradresse:

Forskningsparken
Gautstadalléen 21

E-post: toi@toi.no

Hjemmeside: www.toi.no

