

Teknisk studie av kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere

Utvikling av nye løsningstilnærminger for kollisjonsbeskyttelse

TØI rapport 2096/2025 • Forfattere: Manuel Laso, Tor-Olav Nævestad • Oslo, 2025 • 32 sider

Hovedmålene med denne studien er å gjennomføre en teknisk studie av kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere og utvikle en ny modell for kollisjonsbeskyttelse. Grunnlaget for den tekniske studien er de tre dybderapportene fra Statens havarikommisjon (NSIA), med fokus på bussulykkene i Nafstad (2017), Tangen (2021) og Fredrikstad (2022) i Norge. Selv om det ikke finnes obligatoriske EU-standarder for kollisjonssikkerhet som fokuserer på bussjåførere, har Norge tatt en ledende rolle innen bussjåførens sikkerhet og implementert R29.03-frontkollisjonstesten for busser fra 01.10.2023. Våre beregninger indikerer at R29.03-kollisjonstestens designkrav er utilstrekkelige, og at det er behov for en forbedret bussfrontstruktur. Vi bruker de tre nevnte dødelige norske busskollisjonene med relativt lav hastighet som utgangspunkt. Våre estimater viser at energinivået i disse kollisjonene var ti ganger høyere enn energitoleransenivået som kreves av R29.03. Foreliggende rapport 1) Foreslår syv tiltak for å forbedre kollisjonskompatibilitet, 2) Diskuterer sjåførens plassering, 3) Foreslår forsterkninger i busstrukturen, 4) Foreslår forsterkning av frontgrillen og gulvet, og 5) Foreslår forsterkning av taket. Vi konkluderer med at simuleringer og testing er nødvendig for å foredle disse løsningene og sikre deres effektivitet på tvers av et bredt spekter av kollisjonsscenarioer.

Svakheter i kollisjonssikkerheten til dagens bussdesign

I de senere år har Statens havarikommisjon (NSIA²) utgitt tre rapporter om ulykker med frontkollisjoner mellom busser (AIBN 2019; 2022; 2023). Disse fant sted ved Nafstad (2017), Tangen (2021) og Fredrikstad (2022). Alle de tre ulykkene resulterte i dødsfall, og reiste spørsmål om svakheter i kollisjonssikkerheten til dagens bussdesign og mangler i regelverkskrav for bussers kollisjonssikkerhet.

I november 2017 kolliderte to rutebusser som kom i motsatt retning ved utgangen av kurven nederst i Nafstadbakken, på fylkesveg 450 (Fv. 450) i Ullensaker kommune. Begge bussene hadde en hastighet på ca. 33–34 km/t ved kollisjonstidspunktet, og frontene på begge busser

² Tidligere AIBN



penetrerte omtrent én meter inn i hverandre i sammenstøtet. Sjåføren på den ene bussen omkom momentant, og sjåføren på den andre bussen ble kritisk skadet.

I mars 2021 kolliderte to identiske rutebusser i en kurve på fylkesveg 222 (Fv. 222) nær Tangen i Stange kommune. Ved inngangen til kurven hadde den ene bussen en hastighet på ca. 54–57 km/t, mens den andre bussen hadde en hastighet på ca. 36–37 km/t. Også her penetrerte deler av bussene hverandre, og én av sjåførene døde.

I desember 2022 kolliderte to identiske busser front mot front på riksveg 110 (Rv. 110) ved Fredrikstad-bruen. Selv om bussene kolliderte i lav hastighet (ca. 32 km/t og 35 km/t), resulterte ulykken i at én sjåfør døde og én sjåfør ble kritisk skadet. De to passasjerene i en av bussene fikk mindre skader.

Selv om frontkollisjoner der en buss er involvert kun utgjør 2-3 % av alle trafikkdødsfall i Norge, vekker de nevnte ulykkene, sammen med tidligere ulykker (f.eks. ved Fardal i august 2013), spesielle bekymringer. Dette skyldes at kollisjonene resulterte i både dødsfall og betydelige materielle skader, til tross for de relativt moderate hastighetene og små overlappene på venstre side av bussene. I tillegg ble bussens konstruksjon og kollisjonsegenskaper ansett for å ha spilt en rolle, og havarikommisjonen vurderer at mangelen på en støtsikker struktur på venstre frontside av bussene representerer en generell teknisk utfordring hos flere bussprodusenter – ansett som kritisk for sikkerheten til bussjåførere i frontkollisjoner med små overlapp.

Målene med studien

Hovedmålene med studien er å gjennomføre en teknisk studie av kollisjonsbeskyttelse for bussjåførere og å utvikle en ny modell for kollisjonsbeskyttelse. Grunnlaget for den tekniske studien er de tre dybdestudiene fra Statens havarikommisjon som fokuserer på bussulykkene i Nafstad (2017), Tangen (2021) og Fredrikstad (2022).

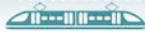
Målene med denne studien er:

- 1) Å gjennomgå de tre norske bussulykkene undersøkt av havarikommisjonen og estimere kollisjonsenergien.
- 2) Å vurdere buss- og lastebilreguleringer for passiv sikkerhet.
- 3) Å foreslå tiltak for å forbedre kollisjonsbeskyttelsen for bussjåførere.

Beregning av kollisjonsenergi

Til tross for innføringen av nye reguleringer i Norge som krever frontkollisjonstester (dvs. UN R29.03), adresserer disse ikke de strukturelle svakhetene observert i de nevnte ulykkene. Kollisjonsenergien i hver av de tre ulykkene ble beregnet basert på informasjonen gitt i ulykkesrapportene. Energien som ble generert i disse tre ulykkesscenarioene kan betraktes som sammenlignbar, gitt de samme betingelsene for alle busser. Nivået er om lag 10 ganger høyere (ca. 550 kJ) enn energitoleranseverdiene foreskrevet i regelverk UN R29.03 (55 kJ).

Vi har estimert de ideelle energidempingsegenskapene for busser i kollisjonsscenarioer. Disse kjøretøyene bør utformes for å kunne absorbere kinetisk energi over et bredt spekter, fra omtrent 424 kJ ved kollisjoner med lette kjøretøy (masse rundt 1 333 kg) til så mye som 2 000 kJ ved sammenstøt med større kjøretøy (masse ca. 12 000 kg). Basert på disse beregningene og analysene av ulykkene foreslår vi endringer i bussens struktur.



Tiltak for å forbedre kollisjonsbeskyttelse

Forbedring av kollisjonskompatibilitet

Hovedproblemet som ble observert i de tre bussulykkene er utilstrekkelig energiabsorpsjon i kjøretøystrukturen under kollisjoner. I de analyserte tilfellene tenderte busstrukturene til å deformeres og åpnes ved sammenstøt, noe som førte til alvorlige intrusjoner i det kolliderende kjøretøyet. Det som er spesielt alarmerende, er den uforholdsmessige alvorlighetsgraden av både strukturelle skader og personskader, spesielt med tanke på de relativt lave kollisjons hastighetene i disse hendelsene.

Et fellestrekk i alle tre ulykkene var små overlappkollisjoner. Disse scenarioene konsentrerer kollisjonsenergien i et svært begrenset område av kjøretøyets front, noe som forsterker de destruktive kreftene og forverrer skadene. Den fokuserte energioverføringen i disse små overlappkollisjonene utgjør en betydelig utfordring for dagens kjøretøydesign.

Et av de mest kritiske problemene som ble identifisert er oppførselen til bussens frontstruktur under sammenstøt. Tverrprofilen, som fungerer som det eneste strukturelle elementet som forbinder sidene foran på bussen, løsner under kollisjonen. Denne strukturelle svikten etterlater kanten av sidepanelet uten støtte, og forvandler det effektivt til en rambukk eller lanse. Motstanden og stivheten til dette nå-løse sidepanelet fører til at det penetrerer det motsatte kjøretøyet med ødeleggende konsekvenser, noe som resulterer i alvorlige skader og økt risiko for personskader.

Forslag til løsninger for å forbedre kollisjonskompatibilitet:

- 1) Forbedret strukturell integritet:** Sterkere koblinger mellom tverrprofilen og sidepanelene kan opprettholde strukturell integritet under kollisjoner og forhindre at de gjenværende delene fungerer som en rambukk eller lanse i møte med et annet kjøretøy.
- 2) Energidempingssoner:** Implementering av dedikerte energidempingssoner i bussens frontstruktur kan effektivt håndtere kollisjonskreftene og absorbere energi gradvis.
- 3) Tester for små overlappkollisjoner:** Innføring av obligatoriske tester for busskollisjoner med små overlapp, tilsvarende de testene som er vanlige for personbiler, kan forbedre designet for å håndtere utfordrende kollisjonsscenarioer.
- 4) Avanserte materialer:** Utforskning av bruken av energiabsorberende materialer i busskonstruksjon kan forbedre beskyttelsen uten å øke kjøretøyets vekt betydelig.
- 5) Kompatibilitetsdesignstandarder:** Utvikling av spesifikke standarder for kompatibilitet mellom busser og mindre kjøretøy kan fremme sikrere interaksjoner under kollisjoner.
- 6) Obligatorisk implementering av UN R93:** FN-regulativ nr. 93.00 adresserer underkjøringshinder i fronten på tunge kjøretøy. Tilpasning og implementering av dette regelverket for busser kan forbedre kompatibiliteten med mindre kjøretøy ved frontkollisjoner. R93.00-standarden krever installasjon av et frontunderkjøringsvern, som kan fordele kollisjonskreftene jevner og forhindre at mindre kjøretøy kjører inn under bussen.
- 7) Integrasjon med regulering for slepekrok:** Kombinasjonen av R93.00-kravene med eksisterende regulering for slepekrok (EU R1005/2010) kan gi en dobbel løsning. En robust frontstruktur kan fungere både som underkjøringsvern og som en standardisert slepekrok.

Implementering av disse løsningene krever et koordinert samarbeid mellom kjøretøyprodusenter, reguleringsorganer og sikkerhetsorganisasjoner. Ved å gjøre R93.00 obligatorisk for busser, i kombinasjon med forsterkede slepekrokreguleringer og de foreslåtte tiltakene, kan vi forbedre sikkerhetsresultatene i kollisjoner der busser er involvert.



Målet er å utvikle bussstrukturer som ikke bare beskytter passasjerene, men som også reduserer skaderisikoen for passasjerer i andre kjøretøy. En helhetlig tilnærming til kjøretøysikkerhet er avgjørende for å redusere alvorlighetsgraden av trafikkulykker og forbedre den generelle trafiksikkerheten. Ytterligere forskning og realistisk testing vil være avgjørende for å finjustere disse løsningene og sikre deres effektivitet i et bredt spekter av kollisjonsscenarioer.

Førerens posisjon

Førerens posisjon er svært viktig for alvorlighetsgraden av ulykker. I bybusser ville det vært relevant å heve førerposisjonen noe, men ergonomiske hensyn må ivaretas for å kunne utføre passasjerkontrollfunksjoner, som billettkontroll.

Forsterkninger i strukturen

I de tre studerte norske bussulykkene kan man se at bussens sidepaneler trengte inn i den motsatte bussen ved bokstavelig talt å 'skjære' gjennom strukturen, som en kniv. Alvorlighetsgraden ved denne typen ulykker er ekstremt høy, og derfor er det viktig å fokusere på strukturelt design, forsterkninger og materialer for å unngå detteså langt som mulig og for å forbedre kollisjonskompatibiliteten.

Strukturelle forsterkninger bør hovedsakelig fokusere på sjåførens side og må unngå to spesifikke problemer:

- 1) Hindre at de tverrgående rørene i den nedre frontstrukturen løsner.
- 2) Hindre kollaps av forbindelsespunktene (hengsler) som er nær sjåføren.

En strategi kan være å bruke en 'semi-bur'-struktur som er åpen, men som beskytter det nedre området og samtidig sikrer bedre tilkobling til taket.

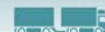
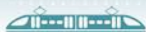
Videre er energiabsorpsjon en viktig utfordring som må løses. Realiteten i ulykkene viser at energinivåene er langt høyere enn energinivået som foreslås i UN R29.03 (type-A), som krever 55 kJ over hele bredden av frontstrukturen. Det er nødvendig å definere spesifikke tester for å evaluere bussikkerhet under mer realistiske forhold. Videre forskning og testing bør inkludere forskjellige overlapp og vinkler for å identifisere de verste scenariene, og basert på dette definere passende tester.

Forsterkning av nedre front og gulv

Et kritisk område innen busskollisjonssikkerhet er hva som skjer med frontstrukturen under kollisjonshendelser. Dagens design resulterer ofte i at fronten av bussen forvandles til en farlig 'lanse' eller 'rambukk' ved sammenstøt. Denne transformasjonen har dødelige konsekvenser, spesielt for sjåførene som er involvert i slike kollisjoner.

Hovedproblemet ligger i den nedre frontstrukturen til busser, som for øyeblikket mangler tilstrekkelige koblinger og forsterkninger. Under en kollisjon med høyt energinivå gjør denne svakheten at fronten kolliderer og stikker fremover, og skaper en penetrerende kraft som øker alvorlighetsgraden av kollisjonen betydelig. Dette fenomenet utgjør ikke bare en fare for bussens passasjerer, men utgjør også en ekstrem trussel for passasjerene i andre kjøretøy involvert i kollisjonen, spesielt de i mindre personbiler.

For å redusere denne risikoen er det viktig å fokusere på å forbedre koblingene i den nedre frontstrukturen til busser. Forbedret strukturell integritet i dette området vil bidra til å opprettholde bussens form under en kollisjon og forhindre dannelsen av den farlige 'lanse'-effekten. Denne forbedringen vil innebære å forsterke nøkkelpunkter i frontstrukturen og implementere mer robuste sammenføringsteknikker for å sikre at ikke strukturene knekker eller løsner fra hverandre under kollisjonskrefter.



En lovende tilnærming til å adressere dette problemet er å utnytte den iboende styrken til slepekrokens monteringspunkt, som er obligatorisk for busser i henhold til regelverket EU R1005/2010. Slepekrokens monteringsområde er designet for å tåle betydelige krefter, og kan fungere som utgangspunkt for å forlenge forsterkningen av frontstrukturen og brukes som frontunderkjøringshinder. Målet er å redusere risikoen for at mindre kjøretøy kjører under bussens struktur ved frontkollisjoner.

For øyeblikket er systemet for frontunderkjøringshinder kun obligatorisk for lastebiler og ikke for busser. Forslaget er derfor å utvide dette kravet, kombinere kravene i R1005/2010 og R93.00, og utvikle en frontstruktur som effektivt øker deformasjonssonen og energidempingskapasiteten til bussen.

Denne utvidede strukturen vil ha flere formål:

- 1) Forhindre dødsfall forårsaket av intrusjon av sidepanelet til kollisjonspartneren inn i bussjåførens kabin ved å tilby en kontrollert deformasjonssone.
- 2) Gi bedre beskyttelse til bussjåføren og passasjerene ved å håndtere kollisjonskrefter mer effektivt.
- 3) Viktigst av alt, betydelig forbedre sikkerheten for passasjerene i mindre kjøretøy involvert i kollisjoner med busser.

Implementering av et slikt design krever nøye ingeniørarbeid for å balansere behovet for økt frontbeskyttelse med hensyn til vekt, aerodynamikk og kjøretøyets generelle ytelse. De potensielle fordelene i form av forbedrede sikkerhetsresultater gjør dette imidlertid til et potensielt effektivt tiltak.

Ved å fokusere på å styrke de nedre frontkoblingene, utvide frontstrukturen fra slepekrokens monteringspunkt (EU R1005/2010), og oppfylle kravene i UN R93.00, kan vi antakelig redusere dødeligheten i kollisjoner som involverer busser. Denne tilnærmingen beskytter ikke bare bussenssjåfør og passasjerer, men gir også viktig beskyttelse til andre trafikanter, spesielt de i mindre kjøretøy som er mest sårbare i slike kollisjonsscenarioer.

Forsterkning av taket

De tre rapportene fra Havarikommissjonen viser at i de studerte bussulykkene, løsnet den øvre takkonstruksjonen fra sidekonstruksjonen. Ved Tangen-ulykken i 2021 ble det i tillegg observert at takstrukturen bøyde seg ned på grunn av den store deformasjonen som oppstod under kollisjonen. Stivheten i takstrukturen og kvaliteten på forbindelsen med frontbuen antas å ha stor betydning for sikkerheten under kollisjonen.

Anbefalingen er å øke styrken på takforbindelsen med A-stolpen som er plassert ved front-ruten, samt forbindelsen med B-stolpen, like bak sjåføren. I tillegg foreslås bruk av forsterkningsbraketter for rørforbindelsene og implementering av en god strategi for sveiseplassering. Dette vil bidra til å holde de store deformasjonene utenfor sveisesonene, noe som betydelig kan redusere risikoen for at forbindelsene løsner.

Behov for fremtidige studier

Denne studien er en «skrivebordsstudie» (dvs. uten tester eller simuleringer) og det er nødvendig å gjennomføre en dypere studie basert på simuleringer og/eller testing for å validere våre anbefalinger og forslag. Det er viktig å utføre et sett med simuleringer som vurderer ulike overlapp og vinkler for å fange opp det verste scenarioet. Fra dette punktet kan de riktige testene defineres og implementeres.



Videre forskning og testing under realistiske forhold vil være avgjørende for å finjustere de foreslåtte løsningene og sikre deres effektivitet i et bredt spekter av kollisjonsscenarier. Ved å ta tak i disse kompatibilitetsutfordringene kan vi bevege oss mot en fremtid der alvorlighetsgraden av bussrelaterte ulykker reduseres betydelig, selv ved lavere kollisjonshastigheter. Dette vil dermed bidra til å forbedre trafikksikkerheten for alle kjøretøypassasjerer.