

Slutten på forbrenningsmotorens æra? Livsløpsvurdering av diesel-, brenselcelle- og batterielektriske tunge kjøretøy for godstransport

TØI rapport 2072/2025 • Forfattere: Linda Ager-Wick Ellingsen, Rebecca Jayne Thorne, Ingrid Sundvor • Oslo, 2025
• 46 sider

Denne studien anvender livsløpsvurdering (LCA) for å sammenligne miljøpåvirkningen til diesel, brenselcelle og batterielektriske drivlinjer for 50-tonns vogntog på tvers av fem miljøpåvirkningskategorier. Resultatene indikerer at elektriske drivlinjer har lavere påvirkning i to kategorier, inkludert klimapåvirkning, mens dieselkjøretøyene har lavere miljøpåvirkning enn begge de to elektriske drivlinjene i tre av de fem kategorier. Selv om klimatiltak er den viktigste drivkraften for elektrifisering, bør beslutningstakere vurdere de miljømessige avveiningene og potensielle problemforskyvninger knyttet til hver drivlinje for å minimere andre miljøpåvirkninger. Derfor bør politikere fremme effektiv resirkulering og sirkulær økonomi, som for eksempel batteriresirkulering, ombruk og gjenbruk, som kan bidra til å redusere produksjonsrelaterte miljøpåvirkninger og redusere avhengigheten av forsyningskjeder. Overgangen til elektriske kjøretøy bør styres av en robust og helhetlig forståelse av deres totale miljøpåvirkning over hele livsløpet for å sikre bærekraftige resultater. Gitt den raske teknologiske utviklingen, vil dette kreve jevnlig oppdaterte LCA-studier.

Bakgrunn

I Norge har klimagassutslippene fra tunge kjøretøy økt betydelig siden 1990, og det forventes store utfordringer med å møte målene for utslippsreduksjon innen 2035. Etterspørselen for tungtransport forventes å vokse raskere enn fordelene av teknologiske fremskritt for dieselmotorer og lastebiler og økt innblanding av biodrivstoff, noe som har ført til økt oppmerksomhet rundt brenselcelle- og batterielektriske drivlinjer som alternativer til dieseldrevne drivlinjer for tunge kjøretøyer. For å vurdere de miljømessige konsekvensene av disse teknologiene, anvender denne studien LCA for å evaluere deres miljøpåvirkning gjennom hele livsløpet.

Mens de fleste LCA-studier fokuserer på klimagassutslipp, overser de ofte andre miljøpåvirkninger. Videre vurderer noen LCA-er kun deler av livsløpet, og ekskluderer ofte felles kjøretøykomponenter eller nødvendig infrastruktur. Dessuten er teknologibeskrivelser ofte ufullstendige, og noen studier bruker utdaterte eller upassende data for tungtransportapplikasjoner. Ingen av studiene har heller vurdert 50-tonns kjøretøy, som er vanligere enn 40-tonns kjøretøy i Norge. Denne studien tar tak i disse forskningshullene ved å fokusere på miljømessig bærekraft for 50-tonns vogntog i Norge.



Metode

Studien sammenligner diesel, brenselcelle og batterielektriske drivlinjer for både lastebiler med tilhengere for regionaltransport og trailere for langtransport. Målet er å gi innsikt i de miljømessige effektene av disse teknologiene og støtte til forskjellige beslutningstakere. LCA-studien vurderer hele livsløpet—fra vugge til grav—og inkluderer både utstyr og energibærere. Utstyrløpet inkluderer kjøretøyet og transportenhetene (tilhengere og semitrailere), og dekker materialutvinning, komponentproduksjon, montering, drift, vedlikehold og sluttbehandling. Livsløpet til energibærerne, ofte referert til som "Well-to-Wheel" (WTW), dekker både "Well-to-Tank" (WTT) og "Tank-to-Wheel" (TTW). For alle energibærere ble livsløpet for nødvendig infrastruktur, inkludert drivstoffstasjoner og ladestasjoner for batterier, inkludert i WTT-fasen.

Den funksjonelle enheten for studien er definert som "levering av ett tonn gods over én kilometer," med miljøpåvirkninger rapportert per tonn-kilometer (tkm). Dette tar hensyn til forskjeller i lastekapasitet i form av vekt mellom kjøretøykonfigurasjoner og drivlinjeteknologier. For ytterligere innsikt er resultater uttrykt per vogntog (uten å ta hensyn til variasjoner i lastekapasitet) tilgjengelige i rapportens vedlegg.

Studien fokuserer på fem miljøpåvirkningskategorier: klimaendringer, ferskvannskotoksisitet, terrestrisk økotoksisitet, terrestrisk forsuring og fotokjemisk ozondannelse relatert til menneskelig eksponering. Disse kategoriene ble valgt på grunn av deres relevans for kjøretøyteknologier. Påvirkningene ble beregnet ved bruk av karakteriseringsmetoden ReCiPe 2016 i programvaren openLCA.

Resultater

Resultatene viser at det er en avveining mellom miljøpåvirkning på tvers av drivlinjeteknologiene. De elektriske drivlinjene hadde lavere påvirkninger når det gjaldt klimaendringer og ozondannelse, primært på grunn av reduserte miljøbelastninger i bruksfasen. Derimot hadde kjøretøy med drivlinje basert på forbrenningsmotor lavere miljøpåvirkning enn begge de elektriske drivlinjene i tre av de fem kategoriene: ferskvannskotoksisitet, terrestrisk toksisitet og terrestrisk forsuring. Blant de to elektriske drivlinjene hadde batterielektriske lavere ferskvannskotoksisitet, terrestrisk forsuring og ozondannelse, mens brenselcelledrevne hadde lavere terrestrisk økotoksisitet. Når det gjelder klimaendringer, hadde de to elektriske drivlinjene tilsvarende livsløpsutslipp, men batteridrevne lastebiler med tilhengere hadde noe lavere klimapåvirkning enn brenselcelledrevne, mens for trailere var det omvendt.

I sammenligningen av drivlinjeteknologiene, ble det tydelig at elektrifisering generelt fører til høyere miljøpåvirkninger i produksjon sammenlignet med dieselskjøretøy. Våre funn tyder på at elektriske kjøretøy vil slite med å kompensere for sine høyere produksjonspåvirkninger i kategorier som ferskvannskotoksisitet, terrestrisk økotoksisitet og terrestrisk forsuring. Bruk av metaller i produksjon av drivlinjer og energibærere for elektriske kjøretøy var en betydelig bidragsyter til disse miljøpåvirkningene, ettersom elektriske kjøretøy typisk innebærer mer bruk av metaller enn dieselskjøretøy. Selv om begge de elektriske drivlinjene kan oppnå en netto livsløpsfordel når det gjelder klimagassutslipp, er det likevel vanskeligere å oppnå denne fordelene for brenselcellekjøretøy ettersom livsløpet til deres energibærere (WTW for hydrogen) er mindre effektivt enn batterielektriske kjøretøyers energibærere (WTW for elektrisitet). Dette gjelder spesielt dersom strømproduksjonen har andeler av ikke-fornybar elektrisitet.



Diskusjon og konklusjon

Funnene understreker viktigheten av å vurdere alle livsløpsstadier og flere miljøpåvirkningskategorier for å få en helhetlig forståelse av miljøpåvirkningene til ulike drivlinjealternativer. Et smalere fokus—som for eksempel bare på WTW eller klimagassutslipp—ville ha oversett den miljømessige viktigheten av ulike komponentene i de elektriske drivlinjene og heller ikke fremhevet nøkkelforskjellene mellom brenselcelle- og batterielektriske kjøretøy. Livsløpsperspektivet er avgjørende for å ta informerte, miljømessig bærekraftige beslutninger som kan veilede ulike beslutningstakere. Når det er sagt, forblir klimatiltak den primære drivkraften for elektrifisering. Ved bruk av norsk strømmiks for hydrogenproduksjon via elektrolyse og batterilading, tilbyr både brenselcelle- og batterielektriske lastebiler netto livssyklus-klimafordeler.

Fremtidige studier bør adressere usikkerheter i data, særlig for elektriske drivlinjer, og ta høyde for raske teknologiske fremskritt, spesielt innen brenselceller og Li-ion-batterier. Beslutningstakere bør prioritere FoU midler for å sikre at LCA-er reflekterer de nyeste utviklingene innen batteriteknologi, hydrogenproduksjon og resirkuleringsprosesser. Dette vil være avgjørende for å støtte overgangen til et mer miljømessig bærekraftig transportsystem.