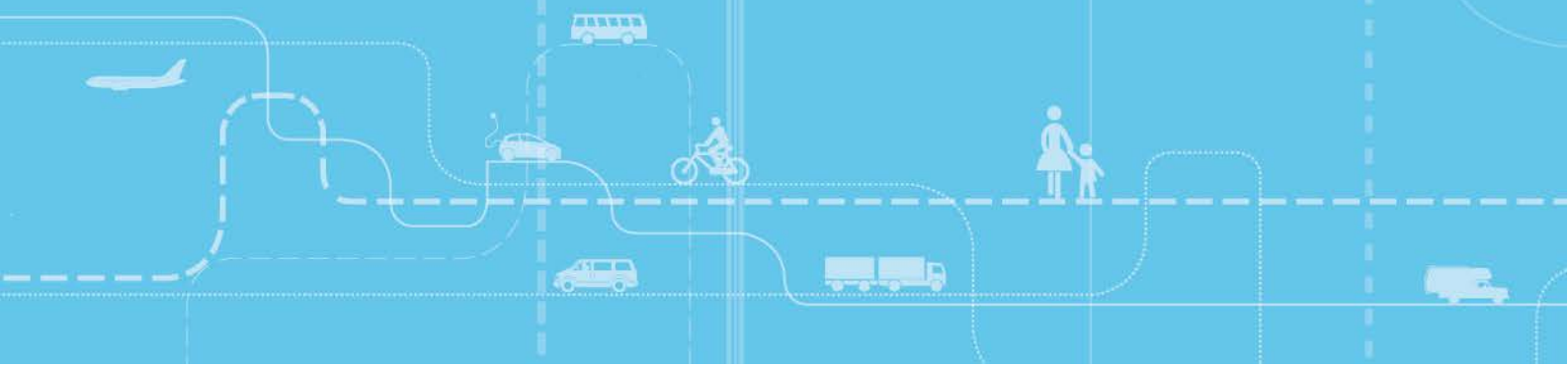


TØI rapport 1590/2017

Kenneth Løvold Rødseth
Paal Brevik Wangsness
Ronny Klæboe

tøi Transportøkonomisk institutt
Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

Marginale eksterne kostnader ved havnedrift



Marginale eksterne kostnader ved havnedrift

Kenneth Løvold Rødseth

Paal Brevik Wangsness

Ronny Klæboe

Forsidebilde: Chuttersnap-255215

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.

Tittel: Marginale eksterne kostnader ved havnedrift

Title: Marginal external costs of port operations

Forfattere: Kenneth Løvold Rødseth,
Paal Brevik Wangsness og
Ronny Klæboe

Authors: Kenneth Løvold Rødseth,
Paal Brevik Wangsness and
Ronny Klæboe

Date: 10.2017

Date: 10-2017

TØI-rapport: 1590/2017

TØI Report: 1590/2017

Sider: 41

Pages: 41

ISBN elektronisk: 978-82-480-1484-3

ISBN Electronic: 978-82-480-1484-3

ISSN: 0808-1190

ISSN: 0808-1190

Finansieringskilde(r): Norges Forskningsråd
Kystverket
KS Bedrift

Financed by: The Research Council of Norway
The Norwegian Coastal
Administration
KS Bedrift

Prosjekt: 4077 – EXPORT Examining the
Social Costs of Port Operations

Project: 4077 – EXPORT Examining the
Social Costs of Port Operations

Prosjektleder: Kenneth Løvold Rødseth

Project Manager: Kenneth Løvold Rødseth

Kvalitetsansvarlig: Kjell Werner Johansen

Quality Manager: Kjell Werner Johansen

Fagfelt: Næringslivets transportbehov

Research Area: Industry and Freight

Emneord: Havner
Maritim godstransport
Eksterne kostnader
Utslipp til luft
Støy

Keywords: Havner
Maritim godstransport
Eksterne kostnader
Utslipp til luft
Støy

Sammendrag:

Denne rapporten oppsummerer forskningsprosjektet EXPORT sitt arbeid om eksterne kostnader ved havneoperasjoner. Rapporten gir en overordnet beskrivelse av eksterne kostnader i havn og en nærmere vurdering av kostnadene forbundet med utslipp til luft, støy, oppvirvling av giftige sedimenter, akutte utslipp til sjø og grunn, arbeidsulykker, samt konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv ved havneutvidelser. Vår studie supplerer den foreliggende norske studien om eksterne kostnader ved sjøtransport, gjennom å legge større vekt på eksterne virkninger i havn.

Summary:

This report summarizes the research project EXPORT's studies on the external costs of port operations. The report provides an overview of external costs caused by port operations, and studies the external costs due to emissions to air, noise, dispersion of contaminated sediment, emissions to sea and ground, fatalities and injuries, and port expansion's implications for landscape, natural environment, cultural environment, and outdoor life in more detail. Our study supplements the Norwegian current study on the external costs of maritime transport by putting more emphasis on the external costs of port operations.

Language of report: Norwegian

*Transportøkonomisk Institutt
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo
Telefon 22 57 38 00 - www.toi.no*

*Institute of Transport Economics
Gaustadalleen 21, 0349 Oslo, Norway
Phone 22 57 38 00 - www.toi.no*

Forord

Publiseringen av denne rapporten markerer forskningsprosjektet Examining the Social Costs of Port Operations (EXPORT) siste milepæl. EXPORT har hatt som formål å studere effektivitet og miljøvirkninger av godshåndtering i norske havner. Rapporten gir en oversikt over prosjektets arbeid med å vurdere og å kvantifisere eksterne kostnader i havn, og gir dermed et supplement til foreliggende studier om eksterne kostnader ved sjøtransport.

EXPORT er finansiert av Norges Forskningsråd, Kystverket og KS Bedrift Havn. De faglige partnerne i EXPORT er Transportøkonomisk institutt (TØI), Universitetet i Oslo og Høgskolen i Sørøst-Norge. Kenneth Løvold Rødseth (TØI) er prosjektleder. Rapporten er kvalitetssikret av assisterende direktør Kjell Werner Johansen ved TØI.

Oslo, Oktober 2017

Transportøkonomisk institutt

Gunnar Lindberg
Direktør

Kjell Werner Johansen
Avdelingsleder

Innhold

Sammendrag

Summary

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Innledning | 1 |
| 1.1 | Rapportstruktur | 1 |
| 2 | Bakgrunn om eksterne kostnader ved havneoperasjoner | 2 |
| 2.1 | Om eksterne kostnader..... | 2 |
| 2.2 | Eksterne kostnader i havn..... | 3 |
| 2.3 | Tidligere arbeider innen EXPORT..... | 6 |
| 3 | Utslipp til luft | 7 |
| 3.1 | Typer utslipp og deres skadeomfang..... | 7 |
| 3.2 | Havneproduktivitet og utslipp til luft..... | 8 |
| 3.3 | Analyse av utslipp til luft ved godshåndtering | 8 |
| 3.4 | Utslipp til luft ved håndtering av gods | 11 |
| 4 | Støy | 19 |
| 4.1 | Støy og dens skadevirkninger | 19 |
| 4.2 | Beregninger av støyemisjoner..... | 20 |
| 4.3 | Evaluering av støyplage | 26 |
| 4.4 | Marginale eksterne støykostnader ved godshåndtering | 29 |
| 5 | Andre eksterne kostnader | 30 |
| 5.1 | Oppvirvling av giftige sedimenter..... | 30 |
| 5.2 | Uhellsutslipp av olje og kjemikalier | 31 |
| 5.3 | Arbeidsulykker | 32 |
| 5.4 | Konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv som følge av havneutvidelser..... | 32 |
| 6 | Sammenstilling av eksterne kostnader | 34 |
| 6.1 | En oppsummering av marginale eksterne kostnader i havn | 34 |
| 6.2 | Er sjøveien fortsatt miljøveien?..... | 35 |
| 7 | Avsluttende merknader og områder for videre forskning | 38 |
| 7.1 | Veien videre..... | 38 |
| 8 | Referanser | 40 |

Sammendrag

Marginale eksterne kostnader ved havnedrift

TØI rapport 1590/2017

Forfattere: Kenneth Løvold Rødseth, Paal Brevik Wangsness og Ronny Klæboe

Oslo 2017 41 sider

Regjeringen ønsker å tilrettelegge for at mer gods på de lange distansene transporteres på sjø og bane, noe som tilsier en økt aktivitet i de norske havnene. Ettersom flere av havnene er lokalisert i nærheten av der hvor folk bor kan et økt aktivitetsnivå medføre ulemper for samfunnet, eksempelvis ved støy og utslipp til luft. Denne rapporten ser nærmere på hva slags ulemper havnedriften fører med seg, og hvilke samfunnsøkonomiske kostnader som er forbundet med en marginal økning i havnenes aktivitetsnivå.

Eksterne kostnader ved havneoperasjoner

Regjeringen ønsker å bedre samspillet mellom de ulike transportmidlene innen godssegmentet, og vil tilrettelegge for at mer gods på de lange distansene transporteres på sjø og bane. En økning i maritim transport vil følgelig bidra til økt aktivitet i norske havner.

Eksterne kostnader - også kalt negative eksternaliteter – er kostnader som oppstår i det en aktørs aktiviteter påfører andre aktører ulemper, altså når aktørens handlinger påfører andre kostnader. Den foreliggende studien om marginale eksterne kostnader for godstransport på sjø og jernbane (Magnussen et al., 2015) konkluderer med at eksterne kostnader knyttet til multimodal transport på sjø er relativt sett lave. Denne studien fokuserer i mindre grad på eksterne kostnader knyttet til havneoperasjoner. Dette skyldes blant annet at helhetlig studier, metodikk og data for vurdering av eksterne kostnader ved havnedrift er mangelfullt. Allikevel kan det være problematisk å utelate eksterne kostnader i havn ettersom flere norske havner ligger i tettbygd strøk. Havneoperasjoner har derfor et større skadepotensiale enn operasjoner som skjer til sjøs, langt unna der hvor folk bor.

En oversikt over eksterne kostnader

Miola et al. (2009) har gjennomført en omfattende kartlegging av eksterne kostnader ved sjøtransport, hvor ulike «stadier» av sjøtransporten vektlegges. De identifiserer til sammen 181 negative virkninger av sjøtransport. Av disse inntreffer 152 i havn, noe som synliggjør betydningen av havneoperasjoner. I henhold til kartleggingen er utslipp til luft, vann og grunn, og støy og vibrasjoner de mest sentrale eksternalitetene ved havnedrift. Ved ekspansjon av havnen kan det også inntreffe negative konsekvenser for biodiversitet og tap av habitat.

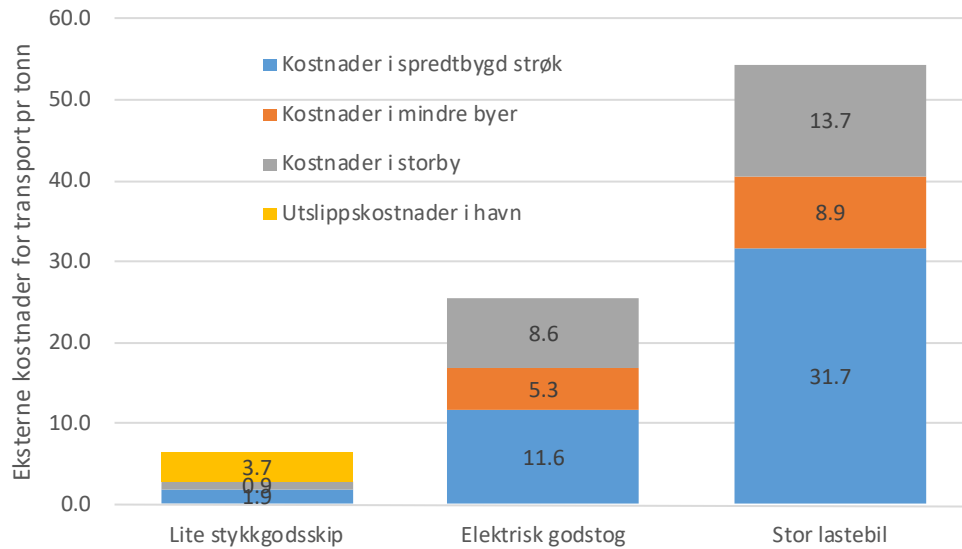
Miola et al. sin studie synliggjør at det er ressurskrevende å gi en full beskrivelse av alle eksternaliteter ved havneoperasjoner. Vi har derfor valgt ut noen eksternaliteter som vi studerer i mer detalj, blant annet på bakgrunn av hva europeiske havner selv har pekt ut som viktige miljøutfordringer. Tabell S.1 gir en beskrivelse av de eksterne kostnadene som vi har vurdert og behandlet innen EXPORT prosjektet.

Tabell S.1: Oppsummeringstabell for eksterne kostnader i havn

| Kostnadskomponent | Til videre bruk i samfunnsøkonomiske analyser |
|---|--|
| Utslipp til luft <i>Beregnet for CO₂, NO_x, PM og SO₂ per tonn (eller container) lastet/losset eller per anløp</i> | I kapittel 3 finnes det formler for utslipp basert på estimerte utslippsfunksjoner som analytikeren kan anvende for å gjøre anslag på endring i utslipp basert på endringer i transportert gods og skipssammensetning. I tillegg finnes det nøkkeltall med gjennomsnittlige og marginale utslipp per godsenhhet lastet/losset. |
| Støy <i>Beregnet for endring i årlig støyeksposering for endringer i containere lastet og losset per dag</i> | I kapittel 4 finnes det formler for å beregne endring i støyproduksjon som følge av endringer i antall containere lastet og losset per dag. Dette kombineres med formler for å beregne endringer i antall plagede, og således endring i eksterne kostnader. |
| Oppvirvling av giftige sedimenter | Anbefales behandlet som en ikke-prissatt virkning i henhold til gjeldende veileder for samfunnsøkonomiske analyser. Ved analyser av tiltak som kan ha betydelig påvirkning av oppvirvling i spesifikke havneområder, anbefales å gjøre risikovurderinger i henhold til Miljødirektoratet (2011) for å supplere den samfunnsøkonomisk analysen. |
| Uhellsutslipp av olje og kjemikalier | Ved en analyse som tar for seg eksterne kostnader fra sjøtransport (eller godstransport) på nasjonalt eller regionalt nivå, antas havnas eksterne kostnader for utslippsrisiko å være delvis dekket av de tilsvarende eksterne kostnadene per tonnkilometer slik de er anslått i Magnussen et al. (2015). |
| Arbeidsulykker | Ved en analyse som tar for seg eksterne kostnader fra sjøtransport (eller godstransport) på nasjonalt eller regionalt nivå, antas havnas eksterne kostnader for arbeidsulykker å være delvis dekket av de tilsvarende eksterne kostnadene per tonnkilometer slik de er anslått i Magnussen et al. (2015). |
| Konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv som følge av havneutvidelser | Inntil anvendbare estimater på eksterne kostnader foreligger, anbefales fortsatt bruk av etablert metodikk for å vurdere infrastrukturingskonsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv som ikke-prissatte virkninger i gjeldende veileder for samfunnsøkonomiske analyser. |

Er sjøveien fortsatt miljøveien?

Denne rapporten viser at det er vesentlige eksterne kostnader knyttet til å håndtere gods i havn. Når disse eksterne kostnadene er inkludert i analysen, vil sjøtransport isolert sett framstå som mindre samfunnsøkonomisk lønnsomt. Allikevel finner vi at sjøtransporten er mer miljøvennlig enn andre transportmidler også i dette tilfellet. Vi illustrerer dette ved hjelp av et eksempel om godstransport mellom Oslo og Rotterdam, som tar utgangspunkt i Magnussen et al. (2015) sin utredning av eksterne kostnader for sjøtransport i Norge. Figur S.1 sammenlikner eksterne kostnader ved frakt på skip, elektrisk tog og lastebil på denne strekningen. Vi ser at eksterne kostnader i havn – som her i første rekke dreier seg om kostnader ved utslipp til luft i Oslo havn – gir et vesentlig bidrag til eksterne kostnader ved sjøtransport. Samtidig er dette påslaget for lite til å endre rangeringen av transportmidlene.



Figur S.1: Eksterne kostnader av å frakte «det marginale gjennomsnittstonnet» for stor lastebil, elektrisk godstog og lite stykkgodsskip (2500 BT) mellom Rotterdam og Oslo hvor eksterne kostnader i Oslo havn er inkludert. Kroner per tonn.

Veien videre

Denne rapporten studerer eksternaliteter ved havneoperasjoner og konkluderer med at utslipp til luft fra skip i havn fremstår som den viktigste kostnaden. Samtidig vet vi at eksterne kostnader ved havnevirksomhet er et stort og komplekst felt. Rapporten kan derfor ikke sees som uttømmende. Vi har i stor grad måttet gjøre prioriteringer, og tilgangen på data har satt begrensninger for hva som kan studeres. Det vil derfor være hensiktsmessig å kartlegge og tallfeste andre eksterne kostnader i havn i det følgende, da en utelatelse av dem isolert sett vil innebære en undervurdering av de samlede eksterne kostnadene ved sjøtransport. Samtidig eksisterer det også usikkerhet i estimatene dokumentert i denne rapporten, som kan reduseres med videre forskning med nyere og bedre data og videreutviklede metoder. Samtidig kjenner vi ikke til at det er gjort noen analyser av eksterne kostnader fra godsterminaler for jernbane og lastebiler.

Summary

Marginal external costs of port operations

TOI Report 1590/2017

*Authors: Kenneth Lovold Rødseth, Paal Brevik Wangsness and Ronny Klæboe
Oslo 2017 41 pages Norwegian language*

The Norwegian Government promotes a shift from road to rail and maritime transports in long-haul freight transportation. If realized, this objective will spur increased activities in Norwegian ports. As a great number of Norwegian ports are located in proximity to human settlements, growth in maritime transports can be associated with adverse effects such as noise disturbance. This report identifies externalities caused by port operations, and examines damage costs of a marginal increase in port operations.

External costs of port operations

The Norwegian Government promotes a shift from road to rail and maritime transports in long-haul freight transportation. This strategy is consistent with growth in cargo handling and other activities in Norwegian ports.

External costs – also known as negative externalities – are negative economic consequences of one agent's activities, faced by unrelated third parties. The current study on the external costs of maritime and rail transports (Magnussen et al., 2015) concludes that the external costs of multimodal transports on water are low compared to unimodal road transport. However, the study pays little attention to the external costs of port operations. This could potentially be a drawback, as a great number of Norwegian ports are located in urban areas. Port operations therefore have a greater damage potential than maritime operations at sea, far from where people live.

An overview of external costs

Miola et al. (2009) have undertaken an extensive classification of externalities associated with maritime transports. They identify 181 adverse effects in total, of which 152 occur in port. Emissions to air, water, and ground, and noise and vibrations are found to be most important for ports. Port expansion may impact on biodiversity and habitat.

Miola et al.'s study shows that a complete mapping of externalities due to port activities is demanding. We have therefore selected some externalities that are examined in more detail, both because of what is currently on the agenda of European seaports and because of data limitations. Table S.2 provides an overview of the externalities which we have examined.

Table S.2: An overview of external costs considered in this report

| Externality | Application to economic analysis |
|--|---|
| Emissions to air <i>CO₂, NO_x, PM and SO₂ per ton (container) loaded/unloaded or per call</i> | Section 3 reports a regression analysis that can be applied to estimate changes in emissions by a marginal change in cargo handling. |
| Noise | Section 4 provides a simple tool for calculating noise emissions of container handling, and the number of people influenced by port noise. |
| Dispersion of contaminated sediments | We advise treating dispersion of contaminated sediments as a non-monetized effect. |
| Accidental spills (oil and chemicals) | We consider accidental spills in port to be covered by the current external costs of maritime transport, presented in Magnussen et al. (2015). |
| Injuries and fatalities | We consider injuries and fatalities in port to be covered by the current external costs of maritime transport, presented in Magnussen et al. (2015). |
| Impact on landscape, natural environment, cultural environment, and outdoor life | We advise using the current methodology for evaluating the impacts of infrastructure development on landscape, natural environment, cultural environment, and outdoor life, as described in the Norwegian handbook for economic analysis. |

Is maritime transport still the eco-friendly mode choice, even when port externalities are considered?

This report identifies significant external costs associated with port operations, which contribute to lower the environmental competitiveness of maritime transport. In spite of this, maritime transport is still found to be the most sustainable mode. This is illustrated by comparing the marginal external costs of different modes available for freight transport between Oslo and Rotterdam. Figure S.1 compares the alternatives where cargo is transported on board i) a ship (lite stykkgodsskip), a train (elektrisk tog), or a truck (stor lastebil). The figure shows that the external costs in port (utslippskostnader i havn) – predominately made up of costs due to emissions to air – significantly add to the external costs of maritime transports. The cost increase is, however, too small to make an impact on the ranking of the three alternative modes.

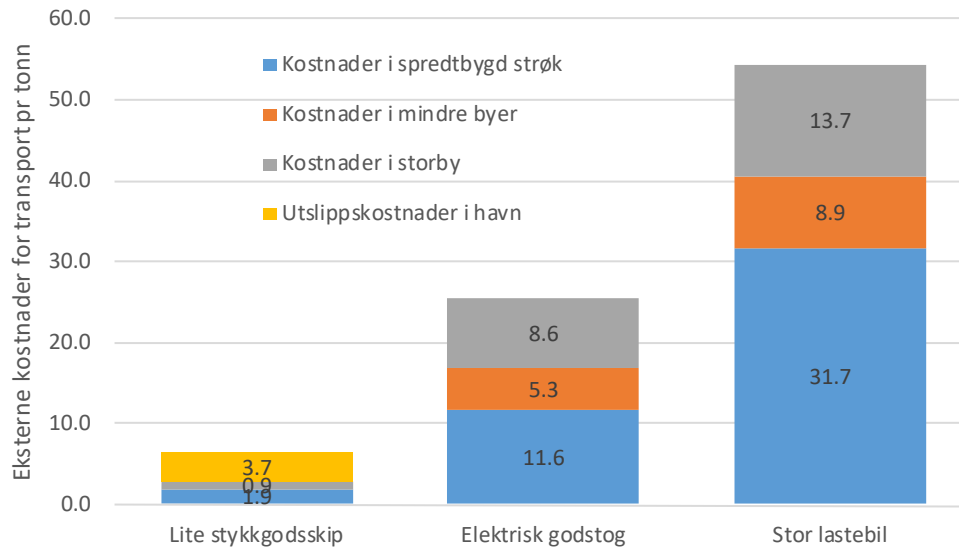


Figure S.1: The external costs associated with the marginal ton transported on a truck, train or a general cargo ship (2500 Gross Tonnage) between Oslo and Rotterdam, when the external costs in the port of Oslo is included. NOK per ton.

Further research

This report studies external costs of port operations, and concludes that emissions to air from ships at berth stands out as the key cost. However, port externalities constitute a complex and vast research area, and this report is by no means exhaustive. We urge to examine and quantify other external cost that have received less attention herein, and to reproduce and to quality ensure our results. Moreover, we are not familiar with terminal studies for rail and trucks in Norway, which should be considered if port externalities are to be embedded in the overall framework for economic analysis of the Norwegian transport sector.

1 Innledning

Nasjonal Transportplan (NTP) presenterer regjeringens prioriteringer innenfor transportsektoren. Transportpolitikkenes overordnede mål er utviklingen av et transportsystem som er trygt, fremmer økonomisk vekst og som bidrar til å gjøre Norge til et lavutslippssamfunn. Som et ledd i å nå denne målsetningen ønsker regjeringen å bedre samspillet mellom de ulike transportmidlene innen godssegmentet, og å tilrettelegge for at mer gods på de lange distansene transporteres på sjø og bane. For å styrke sjøtransportens konkurransekraft prioriterer Nasjonal Transportplan en tilskuddsordning for overføring av gods, en tilskuddsordning for investering i effektive og miljøvennlige havner og tilskudd til havnesamarbeid. Samlet utgjør disse tiltakene om lag 3,7 milliarder kroner.

En fersk rapport om marginale eksterne kostnader for godstransport på sjø og jernbane (Magnussen et al., 2015) konkluderer med at eksterne kostnader knyttet til multimodal transport på sjø og bane er langt lavere enn kostnadene ved unimodal vegtransport. Rapporten tar i liten grad hensyn til eksterne kostnader knyttet til havneoperasjoner. Dette kan være problematisk ettersom flere norske havner ligger i tettbygd strøk. Havneoperasjoner har derfor et større skadepotensiale enn operasjoner som skjer til sjøs, langt unna der hvor folk bor. Det er derfor en mulighet for at Magnussen et al. har overvurdert miljøfortrinnet til sjøtransporten. Denne rapporten gir en sammenstilling og beregning av eksterne kostnader i havn, og vil følgelig supplere Magnussen et al. sine beregninger av eksterne kostnader for sjøtransport.

At den norske utredningen om eksterne kostnader for sjøtransport ikke inkluderer eksterne kostnader ved havneoperasjoner er trolig en konsekvens av at dette temaet så langt er stemoderlig behandlet, både i Norge og internasjonalt. Som en konsekvens av dette har forskningsprosjektet Examining the Social Costs of Port Operations (EXPORT) hatt som formål å studere effektivitet og eksterne kostnader i havn nærmere. Denne rapporten gir en oversikt over prosjektets studier av eksterne kostnader ved havneoperasjoner, og utgjør prosjektets siste milepæl og leveranse.

1.1 Rapportstruktur

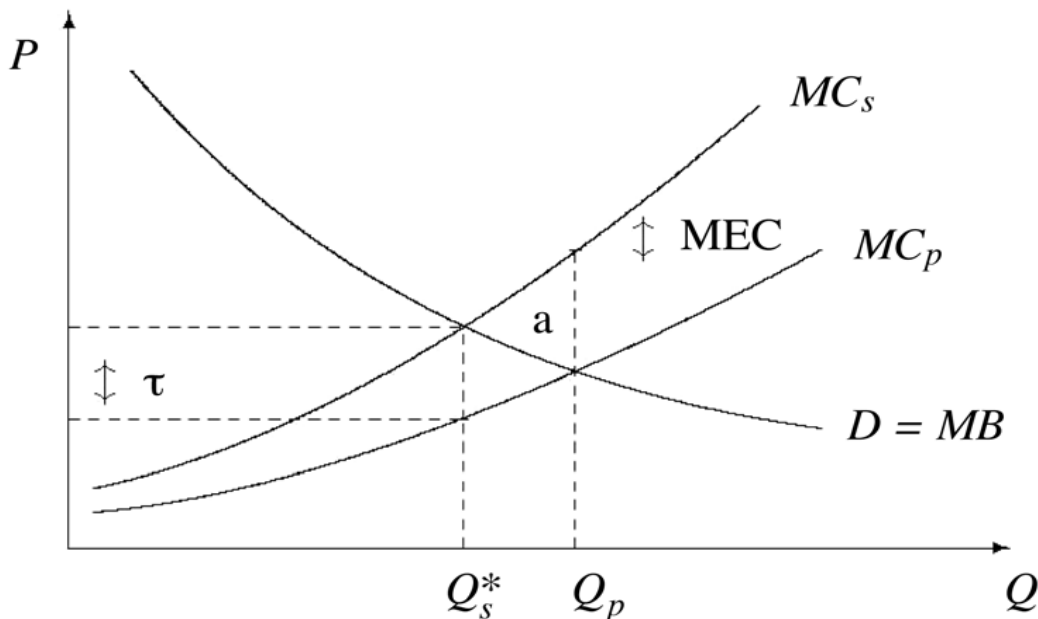
Kapittel 2 gir en beskrivelse av eksterne kostnader ved havneoperasjoner og hvordan disse er behandlet i litteraturen. De påfølgende kapitlene beskriver og tallfester de mest sentrale eksternalitetene ved havnedrift: Kapittel 3 behandler utslipp til luft, kapittel 4 behandler støy ved godshåndtering og kapittel 5 behandler oppvirling av giftige sedimenter, akutte utslipp til vann og sjø, arbeidsulykker og konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv. Kapittel 6 sammenstiller de ulike eksterne kostnadene og supplerer Magnussen et al. (2015) sine beregninger av eksterne kostnader for sjøtransport.

2 Bakgrunn om eksterne kostnader ved havneoperasjoner

2.1 Om eksterne kostnader

Eksterne kostnader - også kalt negative eksternaliteter – er kostnader som oppstår i det en aktørs aktiviteter påfører andre aktører ulemper, altså når aktørens handlinger påfører andre kostnader. For eksempel medfører transport blant annet støy og utslipp til luft som utgjør en helserisiko for samfunnet.

Eksterne kostnader er et klassisk eksempel på markedssvikt. Dette betyr at samfunnsøkonomiske tap oppstår fordi transportørene ikke tar inn over seg kostnadene de påfører resten av samfunnet. Dette omtales som om at eksterne kostnader ikke er *internalisert* i transportsektorens kostnader. Kostnadene ved å transportere varer blir dermed lavere enn samfunnets samlede kostnader ved godstransport, som igjen betyr at omfanget av negative eksternaliteter blir større enn hva som er samfunnsøkonomisk optimalt. Dette kan illustreres på følgende måte:



Figur 2.1: Eksterne kostnader (kilde: Andersson og Ögren (2013))

Figur 2.1 beskriver et hypotetisk tilfelle hvor D markerer etterspørselen etter godstransport, MC_p markerer transportørenes marginale kostnader, mens MC_s illustrerer summen av transportørenes og resten av samfunnets kostnader. Differansen mellom kurvene er dermed sammenfallende med de eksterne kostnadene som godstransporten medfører. P er prisen for transport mens Q er fraktvolumet.

I følge økonomisk teori vil transportsektoren tilpasse seg i punktet Q_p dersom de ikke tar hensyn til eksterne kostnader. De private marginale kostnadene (MC_p) vil da være lavere enn samfunnets marginale kostnader (MC_s), noe som synliggjøres av distansen a i figur 2.1.

Den samfunnsøkonomisk optimale tilpassingen er Q_s , hvor trafikkvolumet er lavere (og kostnadene er høyere) enn under den private tilpassingen.

Den tradisjonelle måten å fremme internalisering av eksterne kostnader – og dermed også samfunnsøkonomisk optimalitet – er gjennom bruken av økonomiske virkemidler. Spesielt er Pigou-beskatning et viktig virkemiddel til å fremme internalisering av eksterne kostnader. Denne skatten (τ) skal gi en økning i transportens kostnader som gir en tilpassing i punktet Q_s i figur 2.1.

Denne rapporten har ikke som formål å beregne den optimale Pigou-skatten (τ i figur 2.1) men derimot å synliggjøre hvordan de eksterne kostnadene – differansen mellom MC_s og MC_p i figur 2.1 – endrer seg dersom godsvolumet i havnene øker med en enhet. Rapporten gir dermed et grunnlag for å ta hensyn til eksterne kostnader ved havneoperasjoner i nytte-kostnadsanalyser for samferdselssektoren, samt innspill til miljøavgifter innen maritim transport. Som vi vil komme inn på avslutningsvis, er det sentralt at slike miljøavgifter sees opp mot prisingen av alternative transportmidler.

2.2 Eksterne kostnader i havn

Det finnes en rekke tidligere studier om eksterne kostnader ved transport, men de fleste av disse dreier seg om vegtransport (Maibach et al., 2008). Dette skyldes at vegtransporten ansees å bære de høyeste eksterne kostnadene innen transportsektoren. EUs omfattende arbeid på området, dokumentert i håndboken til Maibach et al. (2008) og i den påfølgende revisjonen av håndboken (Ricardo-AEA, 2014), diskuterer i liten grad eksterne kostnader knyttet til havneoperasjoner. Tabell 2.1 gjengir de eksterne kostnadene som håndboken vurderer som viktigst for de ulike transportmidlene. Utslipp til luft i havneområder påpekes som sentrale eksterne kostnader ved sjøtransport, samt at kø (ventetid for skip) trekkes frem som mulig ekstern kostnad. Støy utelukkes som sentral ekstern kostnad innen sjøtransporten.

Tabell 2.1: Eksterne kostnader ved transport (kilde: Ricardo-AEA, 2014)

| Cost component | Road | Rail | Air | Water |
|---------------------------------------|--|---|---|---|
| Costs of scarce Infrastructure | Individual transport is causing collective congestion, concentrated on bottlenecks and peak times. | Scheduled transport is causing scarcities (slot allocation) and delays (operative deficits). | See Rail. | If there is no slot allocation in ports/channels, congestion is individual. |
| Accident costs | Level of externality depends on the treatment of individual self-induced accidents (individual or collective risk) insurance covers compensation of victims (excluding value of life). | Difference between driver (operator) and victims. Insurance is covering parts of compensation of victims (excluding value of life). | See Rail. | See Rail. |
| Air pollution costs | Close link between population density and damage costs | The use of diesel and electricity should be distinguished. | Air pollution impacts in high altitude have to be considered. | Air pollutants in harbour areas are complicated to allocate. |
| Noise | Close link between population density and damage costs | Rail noise is usually considered as less annoying than other modes (rail bonus). But this depends on the time of day and the frequency of trains. | Airport noise is more complex than other modes (depending on movements and noise max. level and time of day). | No major issue. |
| Climate change | All GHGs relevant. | All GHGs relevant, considering use of diesel and electricity production. | All GHGs relevant (Air pollution impacts in high altitude to be considered). | All GHGs relevant. |
| Nature and landscape | Differentiation between historic network and motorways extension. | Differentiation between historic network and extension of high speed network. | No major issues. | Relevant for new inland waterways (channels). External costs of single accidents may be extremely high (e.g. oil spills). |

Miola et al. (2009) har gjennomført en svært omfattende kartlegging av eksterne kostnader ved sjøtransport, hvor ulike «stadier» av sjøtransporten vektlegges. Figur 2.2 er hentet fra Miola et al. (2009, s 23-24). Den oppsummerer deres studie, gjennom å synliggjøre hvordan 20 stadier av sjøtransport gir opphav til 15 forskjellige typer av eksternaliteter.

| Activities-events/Impacts | AIR | | | | | WATER | | SOIL/SEDIMENT | | | ECOSYSTEM | | OTHER | | |
|--|---|-------|-----------|-------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|---------|------------------|--------------|--------------------------|------------|---------------|
| | Local Air Pollution (NOx, SO2, CO2, CO, VOC, PM) | Noise | Vibration | Odour | Global Air pollution impact | Water pollution | Water turbidity | Soil/sediment pollution | Acidification | Erosion | Land consumption | Biodiv. loss | Habitat Loss/Degradation | Congestion | Waste generat |
| In ports | Manoeuvring | | | | | | | | | | | | | | |
| | Loading & Unloading/ Operations on terminals | | | | | | | | | | | | | | |
| | Hotelling (lighting, heating, refrigeration, ventilation, etc.) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Dredging | | | | | | | | | | | | | | |
| | Land traffic (heavy vehicle, railway) | | | | | | | | | | | | | | |
| | Waste disposal/illegal dumping | | | | | | | | | | | | | | |
| | Port expansion/ infrastructures construction and maintenance | | | | | | | | | | | | | | |
| | Fuel deposits | | | | | | | | | | | | | | |
| | Discharge of ballast water | | | | | | | | | | | | | | |
| | Dumping of black (sewage) and gray (shower, sink, and galley) water | | | | | | | | | | | | | | |
| | Bulk handling and Goods movement | | | | | | | | | | | | | | |
| | Industrial activities | | | | | | | | | | | | | | |
| | Spills | | | | | | | | | | | | | | |
| At sea | Cruise | | | | | | | | | | | | | | |
| | Illegal dumping | | | | | | | | | | | | | | |
| | Dumping of black (sewage) and gray (shower, sink, and galley) water | | | | | | | | | | | | | | |
| | Spills | | | | | | | | | | | | | | |
| Ships building, maintenance, dismantling | Hull paintings | | | | | | | | | | | | | | |
| | Metal degreasing | | | | | | | | | | | | | | |
| | Demolition | | | | | | | | | | | | | | |

Figur 2.2: Eksterne kostnader ved maritime transport. Kilde: Miola et al. (2009)

Miola et al. (2009) identifiserer til sammen 181 negative virkninger av sjøtransport. Av disse inntreffer 152 i havn, noe som synliggjør betydningen av havneoperasjoner. I henhold til kartleggingen er utslipp til luft, vann og grunn og støy og vibrasjoner de mest sentrale eksternalitetene knyttet til havneoperasjoner. Ved ekspansjon av havnen kan det også inntreffe negative konsekvenser for biodiversitet og tap av habitat.

Miola et al. (2009) sin kartlegging synliggjør at det er ressurskrevende å gi en full beskrivelse av alle eksternaliteter ved havneoperasjoner. De fleste eksisterende studier innenfor temaet er begrenset til CO₂-utslipp ved containerhåndtering (Rødseth and Wangness, 2015a). Samtidig er relevante data begrenset (Rødseth and Wangness, 2015b). Dette gjør at man må velge ut noen eksternaliteter som studeres i mer detalj.

En aktuell veileder til å velge ut eksternaliteter som studeres i mer detalj er å se hvilke eksternaliteter havnene selv er opptatt av. EcoPorts er de Europeiske havnenes viktigste miljøinitiativ, og er integrert i European Sea Ports Organisation (ESPO). Den består av 91 havner i 21 land, som blant annet identifiserer og sammenlikner miljørisiko mellom havner. EcoPorts siste klassifisering fra 2016 viser at luftkvalitet, energieffektivitet (dvs. utslipp til luft) og støyplage er høyest på havnenes agenda.



Figur 2.3: Europeiske havners 10 viktigste miljøprioriteringer. Kilde: www.ecoports.com

2.3 Tidligere arbeider innen EXPORT

Rødseth og Wangsness (2015a, b) gir en gjennomgang av litteraturen om eksterne kostnader i havn og av den tilhørende dataen for norske havner. De anbefaler at fire områder bør studeres i mer detalj:

- utslipp til luft knyttet til godshåndtering i havn
- støy knyttet til godshåndtering
- utslipp til vann og grunn
- oppvirvling av giftige bunnsedimenter

Rødseth og Wangsness (2015b) vurderer også akutte oljeutslipp og antallet personskader (arbeidsulykker) i havn. Dette beskrives nærmere i kapittel 5. Tidligere studier (Hjelle, 2006; Rødseth and Killi, 2014) har vurdert kostnadene ved kø (ventetid for skip) grunnet begrenset havnekapasitet som neglisjerbart, noe som også legges til grunn for denne rapporten.

De påfølgende kapitlene diskuterer eksternalitetene som prioriteres av Rødseth og Wangsness (2015a, b) i mer detalj.

3 Utslipp til luft

3.1 Typer utslipp og deres skadeomfang

Maritim transport og havneoperasjoner gir opphav til utslipp til luft når skip, godshåndteringsutstyr og lastebiler anvender drivstoff. Utslipet kan ha lokale, regionale eller globale skadevirkninger. Lokale skadevirkninger dreier seg spesielt om helsevirkninger av utslippene, regionale skadevirkninger om forsurening av vann og jord samt vegetasjonsskader, mens globale effekter omhandler nedbryting av ozonlaget og klimaeffekter.

Klimagasser fra transport, i første rekke karbondioksid (CO₂), bidrar til globale skadevirkninger gjennom å påvirke temperaturen på jorden. CO₂ befinner seg i atmosfæren i over 100 år og kan forflytte seg i løpet av denne perioden, noe som betyr at konsekvensene av CO₂-utslipp ikke bestemmes av hvor CO₂-utslippene finner sted.

De viktigste komponentene i forbindelse med regional og lokal luftforurensing er partikler (PM), nitrogenoksider (NO_x), svoveldioksid (SO₂) og flyktige organiske forbindelser (VOC). Disse utslippene påvirker atmosfærens kjemiske komposisjon, regional luftkvalitet og helse (Eyring et al., 2010). Helse og miljøeffekter forårsaket av luftforurensing er et stort og komplisert fagfelt. Slike effekter kan både være knyttet til primærutslippet fra transportmidlet/håndteringsutstyret og til sekundærutslipp som oppstår når primærutslipp reagerer med andre komponenter. Et viktig eksempel på det sistnevnte er ozon som oppstår når primærutslippene NO_x og VOC reagerer med hverandre.

De marginale eksterne kostnadene ved utslipp av lokal luftforurensing er svært sensitive til drivstofftype, forbrenningsteknologi og egenskapene til det geografisk området hvor utslippskilden befinner seg (Eyre et al., 1997). Meteorologi, basisomfanget av utslippene, egenskaper ved utslippskilden (eksempelvis dens høyde over bakken) og størrelsen på befolkningen som eksponeres for utslippene har betydning for helseskadene (Fann et al., 2009). Luftforurensingen lever i kort tid i atmosfæren, noe som betyr at de største konsentrasjonene og dermed det største skadepotensialet er i umiddelbar nærhet til utslippskilden (Endresen et al., 2005). Dette synliggjør betydningen av utslipp til luft i havn, da flere norske havner er lokalisert i hjertet av byer og tettsteder. Cofala et al. (2007) påpeker at utslipp fra skip kan være den dominerende kilden til luftforurensing i havnebyer. Det finnes en rekke artikler som studerer skadevirkninger ved skipsutslipp i havnebyer og tett befolkede områder, eksempelvis Tzannatos (2010) for Pireus og McArthur og Osland (2013) for Bergen havn.

3.1.1 Skadekostnader

Det ligger utenfor EXPORTs mandat å gjøre egne beregninger av skadekostnader. For å sikre sammenliknbarhet med Magnussen et al. (2015) sine estimater av marginale eksterne kostnader ved sjøtransport anvender vi deres enhetspriser for utslipp til luft. Disse er gjengitt av tabell 3.1. Vi henviser til Magnussen et al. sin rapport for detaljer rundt utledningen av skadekostnadene.

Table 3.1: Skadekostnader for utslipp til luft. Kilde: Magnussen et al., 2015

| | Spredt bebyggelse | Tettsted (15 000 – 100 000 innbyggere) | Tettsted (> 100 000 innbyggere) |
|---------------------------|-------------------|--|---------------------------------|
| PM ₁₀ (kr/kg) | 0 | 750 | 5350 |
| NO _x (kr/kg) | 20 | 80 | 320 |
| SO ₂ (kr/kg) | 0 | 10 | 20 |
| CO ₂ (kr/tonn) | 400 | 400 | 400 |

3.2 Havneproduktivitet og utslipp til luft

For at målet om at veksten innen godstransport skal tas på sjøen skal kunne realiseres må man styrke konkurransekraften i alle leddene i den maritime verdikjeden. Produktivitet og effektivitet ansees som bestemmende for konkurransekraften, og er følgelig relevante indikatorer når man skal vurdere overføringspotensialet. Produktivitet defineres som forholdet mellom samlet produksjon og ressursbruk, mens forholdet mellom faktisk produktivitet og norm for best mulig praksis (produktivitet) omtales som effektivitet.

EXPORT-prosjektet har studert koplingen mellom havnenes produktivitet og effektivitet og utslipp til luft. En overordnet beskrivelse er gitt i Rødseth et al. (2017). Spesielt dreier dette seg om muligheten til å redusere skipenes tid i havn gjennom raskere godshåndtering. Så langt skipene ikke benytter seg av landstrøm – noe som ikke er vanlig i Norge – vil deres hjelpemotorer anvendes til å generere elektrisitet mens skipet ligger til kai. Følgelig vil skipet generere utslipp til luft mens det ligger til kai. Dersom det eksisterer et potensiale for å redusere tiden havnene anvender til godshåndtering – og denne tidsbesparelsen eksempelvis omsettes til seilingstid for skipet – kan dette være et virkemiddel til å få ned de eksterne kostnadene ved havneoperasjoner. Ytterligere miljøgevinster kan realiseres dersom tidsgevinsten i havn tillater skipene å seile med lavere fart for å spare drivstoff; såkalt slow steaming (Moon and Woo, 2014).

I denne rapporten gir vi ingen direkte vurdering av beste praksis og effektiviseringspotensialet til havnene. I stedet belyser vi den gjennomsnittlige tidsbruken per enhet gods og derigjennom utslipp til luft fra skip under lasting/lossing. Dette er i tråd med konvensjonell metodikk for beregningen av eksterne kostnader.

3.3 Analyse av utslipp til luft ved godshåndtering

EXPORT-prosjektet har gjennomført en kartlegging av utslipp til luft fra alle skip som lå til kai i de største havnene i Norge (dvs. havnene som er inkludert i Statistisk Sentralbyrås kvartalsvis havnestatistikk) i årene 2010 til 2014. Dette dreier seg om utslipp knyttet til laste og losseoperasjoner, noe som betyr at skipets tid i havn og påfølgende utslipp til luft avhenger av godsvolumet som håndteres. Dette er hensiktsmessig for vår studie som har som formål å studere hvordan en marginal endring i godsvolumet påvirker de marginale eksterne kostnadene ved havnevirksomhet. Vi gir en kort gjengivelse av utslippsberegningene i dette kapitlet, men henviser til Rødseth og Wangsness (2015b) for detaljer.

Analysen tar utgangspunkt i grunnlagsdataene til Statistisk Sentralbyrås kvartalsvise havnestatistikk og er basert på metodikken beskrevet i EPA (2009), hvor utslipp til luft per time i havn er gitt ved:

$$E/A = P \times LF \times EF \quad [1]$$

hvor E/A er utslipp er time, P er skipets maksimale kontinuerlige merkebelastning (kW), LF angir motorens belastningsfaktor, mens EF angir utslippsfaktoren til luftforurensingen som studeres. Siden vårt fokus er utslipp til luft fra skip til kai fokuserer vi kun på utslipp fra skipets hjelpemotorer.

Kystverket har bistått gjennom å gi tilgang til deres skipsregister. Det gir informasjon om karakteristika til skip som anløper norske havner. Spesielt viktig er informasjonen om skipenes motorkraft, som anvendes i utslippsberegningen. Rødseth og Wangsness (2015b) imputerer verdier for motorkraft i tilfeller hvor de mangler i skipsregisteret.

Kystverkets register gir oversikt over skipenes samlede motorkraft. For å anslå hvordan denne fordeler seg mellom hovedmaskineriet og hjelpemotorene benyttes forholdstall (auxiliary to propulsion ratio) fra EPA (2009), som er gjengitt i tabell 3.2. Ved å gange opp med andelen finner vi et anslag på hjelpemotorenes motorkraft, som legges til grunn for beregningen av utslipp per time.

Tabell 3.2: Forholdet mellom ulike skipstypers hjelpe- og hovedmaskineri. Kilde: EPA (2009)

| Ship Type | Average Propulsion Engine (kW) | Average Auxiliary Engines | | | | Auxiliary to Propulsion Ratio |
|--------------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------|--------------|-------------------------------|
| | | Number | Power Each (kW) | Total Power (kW) | Engine Speed | |
| Auto Carrier | 10,700 | 2.9 | 983 | 2,850 | Medium | 0.266 |
| Bulk Carrier | 8,000 | 2.9 | 612 | 1,776 | Medium | 0.222 |
| Container Ship | 30,900 | 3.6 | 1,889 | 6,800 | Medium | 0.220 |
| Cruise Ship ^a | 39,600 | 4.7 | 2,340 | 11,000 | Medium | 0.278 |
| General Cargo | 9,300 | 2.9 | 612 | 1,776 | Medium | 0.191 |
| RORO | 11,000 | 2.9 | 983 | 2,850 | Medium | 0.259 |
| Reefer | 9,600 | 4.0 | 975 | 3,900 | Medium | 0.406 |
| Tanker | 9,400 | 2.7 | 735 | 1,985 | Medium | 0.211 |

^a Cruise ships typically use a different engine configuration known as diesel-electric. These vessels use large generator sets for both propulsion and ship-board electricity. The figures for cruise ships above are estimates taken from the Starcrest Vessel Boarding Program.

Tabell 3.3: Belastningsfaktorer for ulike skipstyper. Kilde: EPA (2009)

| Ship-Type | Cruise | RSZ | Maneuver | Hotel |
|----------------|--------|------|----------|-------|
| Auto Carrier | 0.15 | 0.30 | 0.45 | 0.26 |
| Bulk Carrier | 0.17 | 0.27 | 0.45 | 0.10 |
| Container Ship | 0.13 | 0.25 | 0.48 | 0.19 |
| Cruise Ship | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.64 |
| General Cargo | 0.17 | 0.27 | 0.45 | 0.22 |
| Miscellaneous | 0.17 | 0.27 | 0.45 | 0.22 |
| OG Tug | 0.17 | 0.27 | 0.45 | 0.22 |
| RORO | 0.15 | 0.30 | 0.45 | 0.26 |
| Reefer | 0.20 | 0.34 | 0.67 | 0.32 |
| Tanker | 0.24 | 0.28 | 0.33 | 0.26 |

Deretter må vi identifisere hjelpemotorenes belastningsfaktorer. Vi anvender belastningsfaktorene i EPA (2009), som er gjengitt i tabell 3.3. Vi konsentrerer oss om kolonnen «hotel», som gjelder for skip som ligger til kai. Til slutt multipliseres hjelpemotorenes motorkraft og belastning med utslippsfaktorer. Disse beskrives i tabell 3.4.

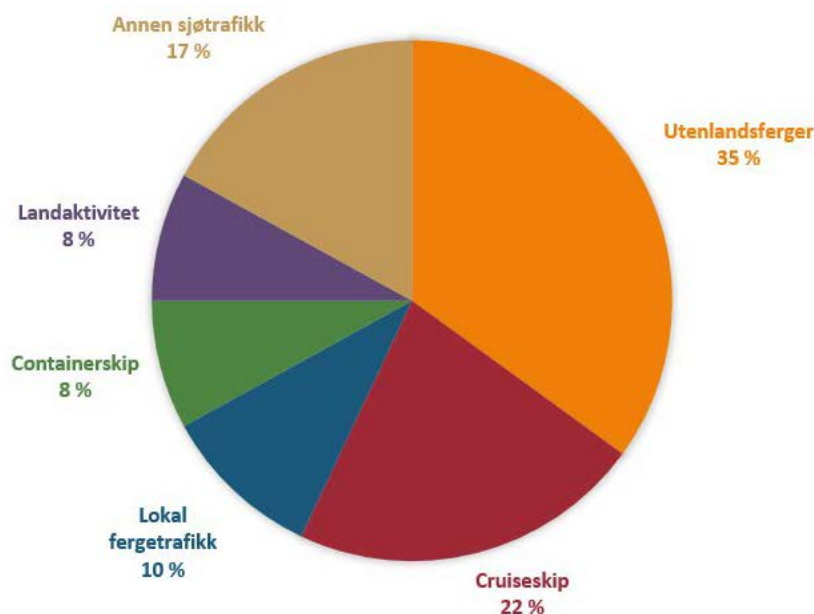
Tabell 3.4: Utslippsfaktorer (g/kWh). Kilde: EPA (2009)

| Fuel Type | Sulfur | Emission Factors (g/kWh) | | | | | | | |
|-----------|--------|--------------------------|------------------|-------------------|------|------|-----------------|-----------------|------|
| | | NO _x | PM ₁₀ | PM _{2.5} | HC | CO | SO _x | CO ₂ | BSFC |
| RO | 2.70% | 14.7 | 1.44 | 1.32 | 0.40 | 1.10 | 11.98 | 722.54 | 227 |
| MDO | 1.00% | 13.9 | 0.49 | 0.45 | 0.40 | 1.10 | 4.24 | 690.71 | 217 |
| MGO | 0.50% | 13.9 | 0.32 | 0.29 | 0.40 | 1.10 | 2.12 | 690.71 | 217 |
| MGO | 0.10% | 13.9 | 0.18 | 0.17 | 0.40 | 1.10 | 0.42 | 690.71 | 217 |

Vi har ingen data som identifiserer hvilken drivstofftype skipene anvender. På bakgrunn av de senere års innstramminger av skips svovelutslipp gjennom etableringen av såkalte Sulfur Emission Control Areas (SECA), og med blick mot fremtidige utslipp innen maritim transport, antar vi at skipene anvender lavsvolveldrivstoffet (MGO 0,10% svovel). Dette kan lede til underestimering av SO_x og PM i de tilfellene hvor skipene reelt sett ikke anvender denne typen drivstoff.

3.3.1 Utslipp fra andre kilder

Som følge av datarestriksjoner er utslippsberegningene våre begrenset til skipene. Samtidig vet vi at det knytter seg utslipp til luft både til anvendelsen av havnenes godsutstyr, slik som kraner og transportkjøretøy, og til lastebiler som henter og leverer varer i havnen. Vi vil derfor i dette kapitlet se på andre studier som har belyst utslipp til luft knyttet til havneoperasjoner, for å se i hvilken grad våre estimater om utslipp fra skip undervurderer de samlede utslippene knyttet til godshåndtering i havn.



Figur 3.1: Kilder til utslipp av NO_x i Oslo havn. Kilde: Dårlig luft langs veien – sjøveien er miljøveien. Faktaark, Oslo havn KF

I 2014 kartla Oslo havn sine totale utslipp til luft knyttet til alle anløp som fant sted i 2013. Denne gjennomgangen viste at havnen sto for 9 prosent av Oslos samlede utslipp av NO_x. Figur 3.1 viser hvordan havnens samlede utslipp fordeler seg på de ulike utslippskildene. Den illustrerer at mer enn 90 prosent av de samlede utslippene knytter seg til skipene, og mer enn halvparten av utslippene stammer fra ferger og cruisebåter. Utslipp knyttet til havnedrift og transport på land utgjør kun 8 prosent av de totale utslippene.

Berechman og Tseng (2012) kartlegger utslipp til luft fra skip og lastebiler i Kaohsiung havn, Taiwan. De finner at tankskip er de viktigste bidragsyterne til utslipp til luft, etterfulgt av container og bulkskip. De totale eksterne kostnadene ved utslipp til luft i havnen beregnes til 123 millioner dollar årlig, men bare 3,5 prosent av disse kostnadene skyldes utslipp til luft fra lastebiler.

Begge studiene synliggjør at utslipp til luft fra skip i havn er den viktigste kilden til luftforurensing. Samtidig kan det være aktuelt å justere opp utslippsestimatene noe for også å ta hensyn til utslipp fra landoperasjoner. Basert på de to studiene vi har beskrevet i dette kapitlet, kan en oppskalering av skipsutslippene med 5 prosent virke passende for å ta hensyn til utslipp til luft fra landbaserte kilder.

3.4 Utslipp til luft ved håndtering av gods

Dette kapitlet fokuserer vi på våre data og beregninger av tidsbruk til godshåndtering og påfølgende utslipp fra skip i havn. Vi starter med å presentere en enkel oversiktstabell for gjennomsnittlige utslipp per enhet gods håndtert.

Tabell 3.5 Gjennomsnittlig utslipp til luft per godsenshet lastet/losset

| | PM ₁₀ (gram/godsenshet) | NO _x (gram/godsenshet) | CO ₂ (gram/godsenshet) | SO _x (gram/godsenshet) |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Tørrbulk (tonn) | 0.067 | 5.202 | 258.498 | 0.157 |
| Våtbulk (tonn) | 0.124 | 9.570 | 475.548 | 0.289 |
| Container (antall) | 4.231 | 326.751 | 16236.710 | 9.873 |
| Stykkegods (tonn) | 0.298 | 23.036 | 1144.698 | 0.696 |

Kilde: Egne beregninger. Tallene er utledet ved å dele samlede utslipp fra skip under lasting/lossing innenfor hvert godssegment på total mengde gods håndtert.

Ved å multiplisere disse tallene med enhetsprisene i tabell 3.1 finner vi gjennomsnittlige eksterne kostnader (per godsenshet):

Tabell 3.6 Gjennomsnittlig eksterne kostnader ved utslipp til luft (2014 NOK)

| | | PM ₁₀ | NO _x | CO ₂ | SO _x |
|-------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Tørrbulk (tonn) | Spredtbygd | 0.000 | 0.104 | 0.103 | 0.000 |
| Tørrbulk (tonn) | Tettsted (<100 000) | 0.051 | 0.416 | 0.103 | 0.002 |
| Tørrbulk (tonn) | Tettsted (>100 000) | 0.360 | 1.665 | 0.103 | 0.003 |
| Våtbulk (tonn) | Spredtbygd | 0.000 | 0.191 | 0.190 | 0.000 |
| Våtbulk (tonn) | Tettsted (<100 000) | 0.093 | 0.766 | 0.190 | 0.003 |
| Våtbulk (tonn) | Tettsted (>100 000) | 0.663 | 3.062 | 0.190 | 0.006 |
| Container (nr) | Spredtbygd | 0.000 | 6.535 | 6.495 | 0.000 |
| Container (nr) | Tettsted (<100 000) | 3.173 | 26.140 | 6.495 | 0.099 |
| Container (nr) | Tettsted (>100 000) | 22.638 | 104.560 | 6.495 | 0.197 |
| Stykkgoods (tonn) | Spredtbygd | 0.000 | 0.461 | 0.458 | 0.000 |
| Stykkgoods (tonn) | Tettsted (<100 000) | 0.224 | 1.843 | 0.458 | 0.007 |
| Stykkgoods (tonn) | Tettsted (>100 000) | 1.596 | 7.372 | 0.458 | 0.014 |

Videre i dette delkapitlet vil vi vise regresjonsresultatene for utslipp knyttet til lasting og lossing for hver av de fire hovedtypene av gods, fordelt på de skipstypene som i de fleste tilfeller frakter dem. Med disse regresjonene estimerer vi parametere som kan brukes i formler for å kunne predikere utslipp fra skips hjelpemotorer under lasting og lossing, som kan brukes til å beregne eksterne kostnader i en samfunnsøkonomisk analyse.

Prinsippet for utslippsformlene er følgende:

$$Utslipp_{usg} / anl\ddot{o}p = \left(Utslipp_{usg} / time \right) * \left(timer / anl\ddot{o}p \right) \quad [2]$$

Vi bruker regresjonsanalyse til å estimere de to faktorene i formelen hver for seg. Vi estimerer utslipp per time for fire typer forurensing, NO_x, PM₁₀, CO₂ og SO_x, som en funksjon av skipets bruttotonn. Bruttotonn (BT) er data som er relativt lett tilgjengelig for analytikere, og det korrelerer sterkt med motorytelse (for en gitt skipstype), som korrelerer sterkt med utslippsfaktorer (Rødseth and Wangness, 2015b). Videre estimerer vi tidsbruk per anl\ddot{o}p som en funksjon av godsmengde håndtert. For hver type utslipp (u), for hver relevante kombinasjon av skipstype (s) og godstype (g), blir formelen følgende:

$$Utslipp_{usg} / anl\ddot{o}p = (\alpha_{usg} + \beta_{usg} BT) * (\alpha_{sg} + \beta_{sg} g)^1 \quad [3]$$

hvor variablene BT og g henviser henholdsvis til skipets bruttotonn og mengde gods håndtert. Vi har forholdt oss til den enkleste form for regresjon og unnlatt å bruke

¹ Dersom man ønsker å beregne de marginale kostnadene av å laste/losse en gods-enhet, setter man

parameterne inn formelen
$$\frac{\partial Utslipp_{usg}}{\partial g} = \alpha_{usg} \beta_{sg} + \beta_{sg} \beta_{usg} BT$$

kvadratledd, da dette kunne føre til risiko for å predikere urimelig lave (eller negative) utslipp, til tross for at det kunne tenkes å forbedre modellens forklaringskraft.

Med denne formelen kan man gjøre anslag på utslipp og eksterne kostnader for lasting og lossing i en gitt havn, dersom man har tall på skips bruttotonnasje (hele fordelingen eller snittet for de relevante skipstypene) og godsmengde. Når utslippet er beregnet kan det multipliseres med de eksterne enhetskostnadene, vist i Tabell 3.1.

Dette kan betraktes som nasjonale gjennomsnittstall. Man kan bl.a. forvente at havner (eller skip) som er systematisk mer tidseffektive, vil ha lavere tidsbruk og lavere utslipp enn snittet, og vice versa.

I de ni tabellene under vises regresjonsresultatene for de relevante kombinasjonene av gods og skipstyper. Variabelen Tidsbruk er oppgitt i timer, og variablene for utslipp er oppgitt i gram per time. Standardfeil er oppgitt i parenteser under estimatene, og p-verdier er vist på følgende måte:

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Vi bemerker at R^2 er identisk for alle typer utslipp (PM, NO_x, CO₂, SO_x) innenfor hver gods- og skipskategori. Dette skyldes at utslippene er beregnet, og at det dermed kun er utslippsfaktorene tilknyttet de ulike utslippene som skiller utslippsberegningene (eks. av CO₂ og SO_x) fra hverandre. Se kapittel 3.3 for en beskrivelse av utslippsberegningene.

3.4.1 Containere

Table 3.7: Regresjonsresultater for lasting og lossing av containere med containerskip

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|
| Container(nr) | 0.04064*** (0.001) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00575*** (0.000) | 0.44394*** (0.007) | 22.05978*** (0.326) | 0.01341*** (0.000) |
| Constant | 4.95970*** (0.195) | 9.62363*** (0.690) | 743.15801*** (53.246) | 36928.53371*** (2645.866) | 22.45513*** (1.609) |
| Observations | 1928 | 1928 | 1928 | 1928 | 1928 |
| Adjusted R-squared | 0.513 | 0.703 | 0.703 | 0.703 | 0.703 |

Table 3.8: Regresjonsresultater for lasting og lossing av containere med stykkgodsskip

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Container(nr) | 0.06412*** (0.004) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00694*** (0.000) | 0.53599*** (0.014) | 26.63384*** (0.720) | 0.01620*** (0.000) |
| Constant | 2.13334*** (0.407) | 0.16269 (1.237) | 12.56362 (95.550) | 624.30383 (4747.991) | 0.37962 (2.887) |
| Observations | 664 | 664 | 664 | 664 | 664 |
| Adjusted R-squared | 0.313 | 0.674 | 0.674 | 0.674 | 0.674 |

3.4.2 Stykk gods

Table 3.9: Regresjonsresultater for lasting og lossing av stykk gods med stykk godsskip

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Stykk gods (t) | 0.00941*** (0.000) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00523*** (0.000) | 0.40423*** (0.003) | 20.08658*** (0.127) | 0.01221*** (0.000) |
| Constant | 5.34238*** (0.167) | 1.47297*** (0.158) | 113.74571*** (12.187) | 5652.18023*** (605.595) | 3.43692*** (0.368) |
| Observations | 4297 | 4295 | 4295 | 4295 | 4295 |
| Adjusted R-squared | 0.420 | 0.853 | 0.853 | 0.853 | 0.853 |

Table 3.10: Regresjonsresultater for lasting og lossing av stykk gods med bulksskip

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Stykk gods (t) | 0.00890*** (0.000) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00249*** (0.000) | 0.19253*** (0.003) | 9.56697*** (0.126) | 0.00582*** (0.000) |
| Constant | 6.17192*** (0.418) | 0.97930*** (0.094) | 75.62357*** (7.266) | 3757.83810*** (361.077) | 2.28503*** (0.220) |
| Observations | 997 | 996 | 996 | 996 | 996 |
| Adjusted R-squared | 0.329 | 0.852 | 0.852 | 0.852 | 0.852 |

3.4.3 Våtbulk

Table 3.11: Regresjonsresultater for lasting og lossing av våtbulk med kjemikalietanker

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|
| Våtbulk (t) | 0.00130*** (0.000) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00413*** (0.000) | 0.31858*** (0.005) | 15.83065*** (0.240) | 0.00963*** (0.000) |
| Constant | 10.57388*** (0.599) | 13.32803*** (0.507) | 1029.21992*** (39.173) | 51143.34496*** (1946.580) | 31.09873*** (1.184) |
| Observations | 1116 | 1115 | 1115 | 1115 | 1115 |
| Adjusted R-squared | 0.274 | 0.797 | 0.797 | 0.797 | 0.797 |

Table 3.12: Regresjonsresultater for lasting og lossing av våtbulk med oljetanker

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|
| Våtbulk (t) | 0.00024*** (0.000) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00245*** (0.000) | 0.18937*** (0.002) | 9.40989*** (0.100) | 0.00572*** (0.000) |
| Constant | 14.00341*** (0.236) | 23.41926*** (0.506) | 1808.48758*** (39.112) | 89866.22121*** (1943.549) | 54.64495*** (1.182) |
| Observations | 2812 | 2812 | 2812 | 2812 | 2812 |
| Adjusted R-squared | 0.190 | 0.761 | 0.761 | 0.761 | 0.761 |

Table 3.13: Regresjonsresultater for lasting og lossing av våtbulk med gasstanker

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Våtbulk (t) | 0.00050*** (0.000) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00254*** (0.000) | 0.19613*** (0.002) | 9.74617*** (0.102) | 0.00593*** (0.000) |
| Constant | 15.38832*** (0.301) | 27.00601*** (0.442) | 2085.46443*** (34.155) | 103629.57786*** (1697.223) | 63.01403*** (1.032) |
| Observations | 1168 | 1168 | 1168 | 1168 | 1168 |
| Adjusted R-squared | 0.259 | 0.886 | 0.886 | 0.886 | 0.886 |

3.4.4 Tørrbulk

Table 3.14: Regresjonsresultater for lasting og lossing av tørrbulk med bulkskip

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Tørrbulk (t) | 0.00065*** (0.000) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00110*** (0.000) | 0.08526*** (0.001) | 4.23685*** (0.030) | 0.00258*** (0.000) |
| Constant | 15.47631*** (0.231) | 3.64316*** (0.057) | 281.33314*** (4.418) | 13979.82798*** (219.526) | 8.50071*** (0.133) |
| Observations | 4774 | 4773 | 4773 | 4773 | 4773 |
| Adjusted R-squared | 0.141 | 0.806 | 0.806 | 0.806 | 0.806 |

Table 3.15: Regresjonsresultater for lasting og lossing av tørrbulk med stykkgodsskip

| | Tidsbruk | PM10 (g) | NOx (g) | CO2 (g) | SOx (g) |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Tørrbulk(t) | 0.00192*** (0.000) | | | | |
| Bruttotonn | | 0.00349*** (0.000) | 0.26958*** (0.003) | 13.39605*** (0.126) | 0.00815*** (0.000) |
| Constant | 11.58518*** (0.260) | 3.34225*** (0.093) | 258.09584*** (7.218) | 12825.13529*** (358.691) | 7.79858*** (0.218) |
| Observations | 4351 | 4350 | 4350 | 4350 | 4350 |
| Adjusted R-squared | 0.130 | 0.721 | 0.721 | 0.721 | 0.721 |

Et eksempel på anvendelse av disse estimerte parameterne er gitt i delkapittel 6.2.

4 Støy

4.1 Støy og dens skadevirkninger

Det kan være et stort omfang av støy i forbindelse med havneoperasjoner. Dette gjelder spesielt i) veitransport til/fra havnen, ii) flytting av varer i havneområdet, og iii) togtrafikk til/fra havnen (Trozzi, 2000). Som følge av datatilgjengelighet avgrensner vi analysen til godshåndtering i havnen i dette kapitlet.

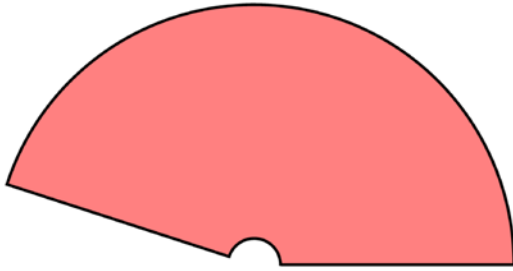
Støy knyttet til transportvirksomhet er et økende miljøproblem. Dette skyldes både økende omfang av transportvirksomhet og tiltakende sentralisering som fører til at flere eksponeres for støy (Andersson and Ögren, 2007). Flere store norske byer som Oslo og Kristiansand har havnevirksomhet i bykjernen.

Vi ønsker her å vurdere ekstrabelastningen som oppstår når godshåndteringen til havnene øker. Da har det betydning at den menneskelige hørselen skiller bedre mellom støyendringer ved lave støynivåer enn høyere. Dette betyr at skadevirkningen av en ekstra godsenehet blir langt større når aktiviteten i havnen er begrenset sammenliknet med om havnen allerede har en høy aktivitet.

Støy medfører trivselsproblemer og kan føre til helseskader, blant annet gjennom å påvirke hørsel og søvnkvaliteten. Ofte verdsettes trivsel-effektene til ca. 80-90 prosent av støykostnadene. I likhet med luftforurensing vil en rekke faktorer – slik som befolkningstetthet, meteorologi, støykildens karakteristika og lokalisering – ha betydning for omfanget av støyplage. Eksempelvis vil det å ha en stille side på boligen eller støyskjerming ha stor betydning for hvor plaget man blir av havnestøyen. I Norge vil en bolig som utsettes for mer enn 55 desibel (dB) i gjennomsnitt over året ligge i gul sone etter plan og bygningsloven. I tilfeller med impulsstøy som oppfattes som spesielt ubehagelig, eksempelvis i områder i nærheten av en containerterminal, settes grensen til 50 dB.

Støy på kvelden og natten er mer problematisk enn støy på dagtid. For å ivareta dette hensynet, og for å slippe å ha ulike støygrenser avhengig av når på døgnet støyende hendelser skjer, brukes støydefinisjonen L_{den} som ilegger en «straff» på 5 dB for støyutslipp på kveldstid (dvs. mellom kl. 19.00 og 23.00) og 10 dB på natten (dvs. mellom kl. 23.00 og 07.00). På den måten vil grenseverdiene automatisk justere for om utslippene kommer på kvelden eller om natten.

Vi fokuserer på hvordan havneaktiviteter påvirker bebyggelsen rundt havnen. Havnestøyen er også et arbeidsmiljøproblem og kan i verste fall forårsake hørselstap og terskelskifter. Støyen kan også ha en negativ påvirkning på rekreasjonsområder, sjøpromenader og liknende. Omfanget av støyplage avhenger av hvor langt lyden fra havna bærer. Området som lyden brer seg over kalles gjerne influensområdet. Siden en havn er lokalisert ved vannet, betyr det typisk at det er sektorer av influensområdet hvor ingen er bosatt og det dermed ikke inntreffer skadeeffekter for. Dette illustreres av figur 4.1.



Figur 4.1. Illustrasjon av influensområde hvor mer enn halvparten av det påvirkede området er sjø

4.1.1 Skadekostnader

Hvis vi legger til grunn at influensområdet er (tilnærmet) konstant samtidig som aktiviteten i havna øker marginalt, kan skadekostnadene representeres ved en lineær funksjon. I dette enkle tilfellet kan skadekostnadene beregnes ved å multiplisere antall personer berørt av støyen med enhetskostnaden per plaget. De marginale kostnadene finnes deretter ved å multiplisere skadekostnadene med den marginale støyendringen (i dB). Den norske verdsettelsesstudien (Magnussen et al., 2010) anbefaler en konstant kostnad pålydende kroner 365 (2014 kroner) per db(A) per plaget person (dvs. for alle husstander som rammes av 55 dB eller mer i gjennomsnitt over et årsdøgn) og år. I likhet med den foreliggende analysen om eksterne kostnader på sjø og bane (Magnussen et al., 2015) legger vi denne skadekostnaden til grunn for vår analyse. Vi bemerker at andre internasjonale studier har indikert at skadekostnadene ikke er lineære. Heatco-prosjektet forslår en stykkevis lineær skadekostnadsfunksjon (Bickel et al., 2006). Andre støykostnadsmodeller er ikke-lineære og økende i eksponeringen. Dette betyr at marginale støykostnader er høyere for personer som bor nært støykilden sammenliknet med personer som bor lenger unna (Bendtsen, 2009).

4.2 Beregninger av støyemisjoner

Kvalitetsdata omhandlende havnestøy i Norge er begrenset. De beste dataene stammer fra Oslo havn, som har to støymålere plassert på Ormøya og på Ekeberg. Formålet er å kontinuerlig overvåke støynivået rundt Sydhavna, hvor Oslo havns containeroperasjoner finner sted. Containerhåndtering er blant de mest støyende aktivitetene i en havn, spesielt som følge av slagstøy ved lasting/lossing. Sydhavna er også et interessant case ettersom den er lokalisert sentralt i Oslo, og dermed har et potensiale til å påvirke helse og trivsel til beboere i Oslo sentrum.

Vi har samlet inn data omhandlende 1-times A-veid² ekvivalent støynivå ($L_{Aeq, 1hr}$) på Ormøya i det første kvartalet i 2014. Denne perioden er valgt ut fordi lydbidragene fra andre kilder som fugler, hagebruk og fritidsaktiviteter er mindre prominent enn på vår og sommer. Støydataen er koplet opp mot Statistisk Sentralbyrås kvartalsvise havnestatistikk og mot historisk værstatistikk fra yr.no. Havnestatistikken lar oss identifisere perioder med containerhåndtering i Sjursøya og Ormsund, samt gir informasjon om hvor mye som ble lastet/losset per anløp. Dette tillater oss å kople aktivitetsnivået i havnen opp mot støynivået ved målepunktet. Vi antar at antall containere som lastes/losses fordeler seg

² Lyd karakteriseres både av fysiske størrelser om lydets styrke (dvs. lydtrykk og lydintensitet) og av frekvens. Den menneskelige hørselen er ikke veldig sensitiv til lavfrekvente lyder. Veiinger, som A-veing, benyttes til å legge vekt på lyder innenfor frekvensområdet som den menneskelige hørselen responderer på, og som dermed har det største potensialet for å generere støyplage.

uniformt på de timene anløpet varer i det øyemed å kople havnestatistikken opp mot timesdataen om støy. Vi anvender værstatistikken til å kontrollere for hvordan værforhold som vind, vindretning, luftfuktighet og temperatur har betydning for hvor langt lyden bærer.

Vi bemerker at containeraktiviteten på Ormsund i ettertid er blitt lagt ned, og all containeraktivitet er flyttet til Sjursøya. Dette vil vi ivareta når vi kapittel 4.3 ser på støyplage tilknyttet containervirksomheten. I dette kapitlet fokuserer vi på å estimere en funksjon som viser sammenhengen mellom havnens aktivitet og støyemisjoner. Til dette formålet er det en fordel å ha skip som anløper Ormsund med i utvalget, da det skaper større variasjon i dataene. Spesielt gjelder dette fordi Ormsund er lokalisert mye nærmere støy måleren enn Sjursøya.

4.2.1 Regresjonsanalyse basert på akustisk teori

Vi benytter regresjonsanalyse til å beskrive hvordan aktivitetsnivået i havna – målt ved antall containere per time – påvirker lyd nivået på Ormøya. Dette tillater oss å utlede tilleggssøyen ved håndteringen av en ekstra container.

Støy er en uønsket lyd. En lydkilde utstråler energi, og dette resulterer i et lydtrykk. Energien er altså virkningen, mens lydtrykket er effekten. Lyd nivået kan følgelig angis på flere måter:

- som lydtrykk, målt i Pascal
- som lydintensitet, dvs. effekttettheten i lydbølgen, målt i Watt per kvadratmeter

I dette kapitlet legger vi lydintensitet til grunn for beskrivelsen av emisjonsmodellen vår. Dette tillater oss å forenkle fremstillingen noe. Samtidig er det verd å merke seg at dataene våre tar utgangspunkt i målinger av lydtrykk. Under enkelte forhold vil desibel målet for lydtrykk og lydintensitet være ekvivalent. Til vårt formål – som er å gjøre en regresjonsanalyse – vil samtidig det ta utgangspunkt i formler for lydtrykk i stedet for lydintensitet kun medføre en mer komplisert modellspesifikasjon uten at resultatene vi er interesserte i endrer seg. Det betyr at støybidraget til den marginale containeren blir det samme uansett hvilken av de to beskrivelsene vi legger til grunn. Dette har vi verifisert ved empirisk testing³.

Støyplage har som nevnt opphav i en støykilde som utstråler akustisk energi. Energistrømmene kalles lydintensitet og måles i Watt per kvadratmeter. De fleste aktiviteter assosieres med en lydintensitet rundt null. Det er med andre ord vanskelig å skille og å rangere aktiviteter ved hjelp av en lineær skala. Derfor bruker vi en logaritmisk skala – også kjent som desibel (dB) – til å beskrive støyen. La $i \in \mathfrak{R}_+$ angi lydintensitet og $L \in \mathfrak{R}_+$ angi desibel. Vi kan da skrive formelen for desibel:

$$L = 10 \log \left(\frac{i}{i_{ref}} \right) \quad [4]$$

hvor $i_{ref} = 10^{-12}$ er et referansenivå (terskelen til den menneskelige hørselen).

³ Dette er ikke vist i rapporten, men beregningene vises gjerne på forespørsel.

Lydintensiteten avtar med distansen mellom kilden og mottaker, som angis som $d \in \mathfrak{R}_+$. Dette skyldes at den akustiske energien fordeler seg over en større flate. La $p \in \mathfrak{R}_+$ være lydintensiteten som utstråles ved kilden. Da kan lydintensiteten hos mottaker gis på formen

$$i = \frac{P}{g(d)} \quad [5]$$

hvor $g(d)$ er en funksjon som sier hvor fort lyden avtar med distanse. Dersom lyden brer seg i et tomt rom (free field), er denne funksjonen $g(d) = 4\pi d^2$. Vi vil parameterisere likning 5 ved å anta at $p = y^{\beta_y}$ og $g(d) = 4\pi d^{\beta_d}$, hvor $y \in \mathfrak{R}_+$ er antall containere som lastes/losses og betaene er koeffisienter som skal estimeres.

I vår applikasjon stammer støyen ved måler fra flere ulike kilder; fem kaiplasser for containerskip og støy fra andre kilder (kanskje spesielt Mosseveien). Dette betyr at vi må aggregere sammen støybidraget fra de ulike kildene, med spesiell vekt på containerhåndteringen. Vi antar at lydbølgene fra de ulike kildene ikke står i et fast forhold, noe som betyr at vi kan legge sammen de distansevektede støybidragene til de ulike kildene. Samtidig tar vi hensyn til om aktiviteten skjer på dag-, kvelds- eller nattestid, ettersom det generelle aktivitetsnivået i byen og havnen varierer over døgnet.

Vår foretrukne modell tar utgangspunkt i containerterminalenes driftstimer, dvs. timer hvor det lastes/losses containere i havnen. Støyen ved måler antas å være en funksjon av summen av støybidraget til de 5 kaiene i Sjusøya og Ormsund, vektet med kontekstuelle variabler. De sistnevnte er gitt ved vektoren $z \in \mathfrak{R}_+^N$ som omfatter et konstantledd (bakgrunnsstøy), tid på døgnet (dag, kveld og natt) og meteorologiske forhold.

$$i = \sum_{k=1}^5 \left(\frac{y_k^{\beta_y}}{4\pi d_k^{\beta_d}} \right) 10^{\sum_{j=1}^N \beta_{z_j} z_j} \quad [6]$$

Ved å konvertere denne om til desibel finner vi modellen som skal estimeres:

$$\frac{L-120}{10} = \log \sum_{k=1}^5 \left(\frac{y_k^{\beta_y}}{4\pi d_k^{\beta_d}} \right) + \sum_{j=1}^N \beta_{z_j} z_j \quad [7]$$

Dette er en ikke-lineær regresjonsmodell som estimeres ved hjelp av ikke-lineær minste kvadrats metode (nl i Stata). Det er vanskelig å linearisere modellen som følge av at støyteorien tilsier at støybidraget til de ulike kaiene skal summeres.

Ulempen med modellen i likning 7 er at den ikke kan estimeres for timer hvor det ikke er lasting og lossing i havnen. Dette skyldes av logaritmen til null ikke er definert. Det betyr at et stort antall av våre observasjoner ikke utnyttes. Samtidig kan betydningen av bakgrunnsstøy, dvs. støy fra andre kilder enn havnen, tillegges for lite vekt. Vi tester

betydningen av dette ved å inkludere en dummyvariabel (C) som tar verdien 0 dersom det er aktivitet i havnen og 1 hvis ikke. Vi kan da utvide modellen i 7 til:

$$\frac{L-120}{10} = \log \left(\beta_c C + \sum_{k=1}^5 \frac{y_k^{\beta_y}}{4\pi d_k^{\beta_d}} \right) + \sum_{j=1}^N \beta_{z_j} z_j \quad [8]$$

Modell 8 er tilsvarende modell 7 når det er aktivitet i havnen, men blir

$$\log(\beta_c C) + \sum_{j=1}^N \beta_{z_j} z_j \text{ i de timene hvor det ikke lastes og losses containere.}$$

Modellene i likningene 7 og 8 modellerer støybidraget til de 5 kaiene i detalj, mens støyen fra andre (uspesifiserte kilder) behandles som kontekstuelle faktorer. En annen måte å ta hensyn til støybidraget fra andre kilder på er å flytte konstantleddet i modellen fra de kontekstuelle variablene og inn i logaritmeleddet slik at havnen og andre kilders støybidrag summeres:

$$\frac{L-120}{10} = \log \left(\beta_K \text{Konstant} + \beta_c C + \sum_{k=1}^5 \frac{y_k^{\beta_y}}{4\pi d_k^{\beta_d}} \right) + \sum_{j=1}^{N-1} \beta_{z_j} z_j \quad [9]$$

Modellene i likningene 8-9 må hovedsakelig betraktes som sensitivitetsanalyser av hovedmodellen vår, som er gjengitt av likning 7.

4.2.2 Marginal støyemisjon, L_{eq} , 1hr

Tabell 4.1 gjengir parameterestimaterne fra de tre regresjonsmodellene fra likningene 7-9.

Tabell 4.1: Empiriske resultater

| Variabel | Likning 7 | Likning 8 | Likning 9 |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Konstant | -5,147*** (0,196) | -5,207*** (0,192) | 0,000*** (0,000) |
| Container (Antall) | 0,120** (0,050) | 0,124** (0,050) | 0,446*** (0,125) |
| Distanse (Meter) | 0,449*** (0,056) | 0,501*** (0,056) | 2,770*** (0,069) |
| Dag (Dummy) | 0,346*** (0,020) | 0,344*** (0,015) | 0,365*** (0,015) |
| Kveld (Dummy) | 0,167*** (0,027) | 0,184*** (0,020) | 0,191*** (0,020) |
| Temperatur (°Celsius) | 0,009*** (0,002) | 0,013*** (0,002) | 0,012*** (0,002) |
| Luftfuktighet (Prosent) | -0,111** (0,056) | -0,135*** (0,043) | -0,177*** (0,042) |
| Vind (Meter per sekund) | 0,045*** (0,006) | 0,055*** (0,005) | 0,048*** (0,005) |
| Vindretning sør (Dummy) | 0,016 (0,022) | 0,092*** (0,016) | 0,092*** (0,016) |
| C (Strukturelt skift dummy) | | 0,003** (0,001) | -0,000*** (0,000) |

Avhengig variabel er $(L-120)/10$. Standardfeil er gitt i parenteser.

Konfidensnivå: * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$

Resultatene viser at det er liten forskjell mellom modellene 7 og 8, mens modellen i likning 9 er ulik vår foretrukne modell. Vi bemerker at en viktig forskjell er at distanseparameteren er lav i vår foretrukne modell (0,449) i motsetning til modellen i likning 9 (2,770). Den lave parameteren indikerer at lyden reduseres sakte med avstand, mens den høye parameteren indikerer at lyden reduseres svært raskt. Vår empiriske studie omhandler støy som prosjekteres over en akustisk hard overflate, nemlig vann. I henhold til akustisk teori betyr det at lyden skal avta sakte med distansen fra kilden. Dette skyldes at lyden ikke absorberes av underlaget, men projiseres og dermed forsterkes. I så måte fremstår vår foretrukne modell som mer pålitelig.

Vi derivierer modell 7 og 9 med hensyn på antallet containere per time (y) for å kunne identifisere støybidraget til en ekstra container, målt i $L_{Aeq, 1hr}$. Tabell 4.2 gjengir fordelingen av det marginale støybidraget for de ulike kaiene i datasettet vårt.

Tabell 4.2: Den marginale containerens bidrag til timesekvivalent støy

| Modell | Terminal | Kai | Gjennomsnitt | St. avvik | Minimum | Maksimum |
|-----------|----------|-----|--------------|-----------|---------|----------|
| Likning 7 | Sjursøya | 1 | 0,031 | 0,025 | 0,007 | 0,117 |
| Likning 9 | Sjursøya | 1 | 0,006 | 0,003 | 0,002 | 0,013 |
| Likning 7 | Sjursøya | 2 | 0,024 | 0,013 | 0,008 | 0,066 |
| Likning 9 | Sjursøya | 2 | 0,006 | 0,002 | 0,003 | 0,011 |
| Likning 7 | Sjursøya | 3 | 0,026 | 0,019 | 0,008 | 0,074 |
| Likning 9 | Sjursøya | 3 | 0,007 | 0,003 | 0,004 | 0,014 |
| Likning 7 | Ormsund | 1 | 0,031 | 0,006 | 0,018 | 0,040 |
| Likning 9 | Ormsund | 1 | 0,047 | 0,006 | 0,025 | 0,049 |
| Likning 7 | Ormsund | 2 | 0,022 | 0,011 | 0,005 | 0,073 |
| Likning 9 | Ormsund | 2 | 0,050 | 0,021 | 0,027 | 0,145 |

Tabellen viser en viktig forskjell mellom modellene: Modellen i likning 7 legger i liten grad vekt på distansen fra kilde til mottaker i beregningen av det marginale støybidraget⁴, mens modell 9 legger stor vekt på dette. Dette ser vi ved at det marginale støybidraget til en container vurderes som høyt i Ormsund (rundt 0,05 dB), mens det vurderes som lavt i Sjursøya som befinner seg dobbelt så langt fra mottaker (støymåleren) som Ormsundterminalen.

Å anta at det marginale støybidraget varierer med avstand fra kilden er svært kompliserende for analysen av marginale støykostnader. Dette er også noe som sees bort fra i andre studier av marginale eksterne støykostnader (Andersson and Ögren, 2011; Andersson and Ögren, 2013). Andersson og Ögren (2011) argumenterer med at selv om det ikke er fullstendig korrekt at støybidraget er uavhengig av distanse mellom kilde og mottaker, vil dette være en god approksimasjon i de fleste tilfeller hvor det ikke er stor grad av støybarrierer. I vår applikasjon er det kun vannet som skiller støykildene fra støymåleren. På dette grunnlaget, og som følge av at modellen fra likning 9 legger svært liten vekt på aktiviteter i Ormsund, foretrekker vi modellen fra likning 7. Denne tilsier at den marginale containeren i gjennomsnitt gir et støybidrag i størrelsesorden 0,022-0,031 dB timesekvivalent støy.

⁴ Rent matematisk er støybidraget uavhengig av distanse dersom det er aktivitet på kun en kai. I tilfellet hvor det lastes/losses containere ved flere kaier samtidig, brukes distansen fra kaiene til mottaker til å vekte støybidraget til de ulike kaiene.

4.2.3 Marginal støyemisjon, L_{den}

Så langt har vi sett hvordan en marginal container påvirker lydnivået for en gitt time. Vi ønsker nå å se på hvordan den ekstra containeren i en gitt time påvirker støyen over døgnet. Vi starter med å definere døgnekvivalent A-vektet støynivå:

$$L_{den} = 10 \log \left(\frac{1}{24} \left(\sum_{s=7}^{18} 10^{\frac{L_{eq,s}}{10}} + \sum_{s=19}^{22} 10^{\frac{L_{eq,s}+5}{10}} + \sum_{s=23}^6 10^{\frac{L_{eq,s}+10}{10}} \right) \right), s = 1, \dots, 24 \quad [10]$$

Likning 10 gir en formel for det gjennomsnittlige støynivået over døgnet, hvor hendelser på kvelden gis et tillegg på 5 dB mens hendelser på natten gis et tillegg på 10 dB. Dette søker å gjenspeile at folk er mer sensitive til støyhendelser på kveld- og nattestid sammenliknet med om dagen.

For å kunne vurdere hvordan en ekstra container på kai k i time s' påvirker det døgnekvivalente støynivået benytter vi formelen:

$$\frac{\partial L_{den}}{\partial y_{s'}^k} = \frac{\partial L_{den}}{\partial L_{eq,s'}} \frac{\partial L_{eq,s'}}{\partial y_{s'}^k} \quad [11]$$

hvor

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_{den}}{\partial L_{eq,s'}} &= \frac{10^{\frac{L_{eq,s'}}{10}}}{\sum_{s=7}^{18} 10^{\frac{L_{eq,s}}{10}} + \sum_{s=19}^{22} 10^{\frac{L_{eq,s}+5}{10}} + \sum_{s=23}^6 10^{\frac{L_{eq,s}+10}{10}}} \quad (\text{Dag}) \\ \frac{\partial L_{den}}{\partial L_{eq,s'}} &= \frac{10^{\frac{L_{eq,s'}+5}{10}}}{\sum_{s=7}^{18} 10^{\frac{L_{eq,s}}{10}} + \sum_{s=19}^{22} 10^{\frac{L_{eq,s}+5}{10}} + \sum_{s=23}^6 10^{\frac{L_{eq,s}+10}{10}}} \quad (\text{Kveld}) \\ \frac{\partial L_{den}}{\partial L_{eq,s'}} &= \frac{10^{\frac{L_{eq,s'}+10}{10}}}{\sum_{s=7}^{18} 10^{\frac{L_{eq,s}}{10}} + \sum_{s=19}^{22} 10^{\frac{L_{eq,s}+5}{10}} + \sum_{s=23}^6 10^{\frac{L_{eq,s}+10}{10}}} \quad (\text{Natt}) \end{aligned} \quad [12]$$

og $\partial L_{eq,s'} / \partial y_{s'}^k$ er gitt i tabell 4.2. Likning 12 kan tolkes som andelen støy i time s' , relativ til den totale lydenergien som mottaker utsettes for gjennom hele døgnet.

Tabell 4.3: Den marginale containerens bidrag til døgnekvivalent støy

| Kai | Antall observasjoner | Gjennom-snitt | Standard-avvik | Minimum | Maksimum |
|------------|----------------------|---------------|----------------|---------|----------|
| Sjursøya 1 | 394 | 0,001 | 0,004 | 0,000 | 0,061 |
| Sjursøya 2 | 184 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,021 |
| Sjursøya 2 | 450 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,015 |
| Ormsund 1 | 18 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,004 |
| Ormsund 2 | 708 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,013 |

Tabell 4.3 viser at en ekstra container lastet og losset – dvs. på en gitt kai og i en gitt time – gir en økning i det døgnekvivalente støynivået på rundt 0,001 dB. Den tilsvarende beregningen for et årsdøgn – det vil si for gjennomsnittet av alle døgnene i datasettet vårt – støtter opp om et gjennomsnittlig støybidrag på 0,001 dB for en marginal container. Beregningene i tabell 4.3 tolkes som økningen i støyemisjoner knyttet til havnens aktivitet, dersom havnen hadde håndtert en ekstra container om dagen. Med andre ord, om aktivitetsnivået til havnen hadde økt marginalt.

4.2.4 Støykostnad per plaget

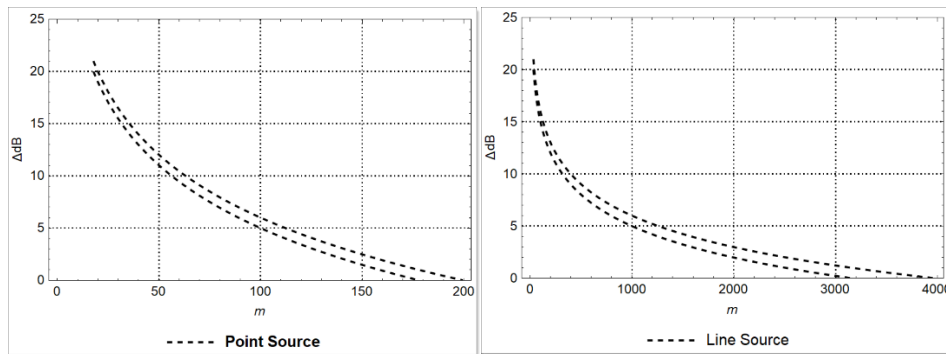
Vi legger til grunn at en marginal aktivitetsendring – målt som en ekstra container per årsdøgn – medfører en økning i Lden tilsvarende 0,001 dB. I henhold til kapittel 4.1.1 er enhetsprisen for støyplage pålydende kroner 365 (2014 kroner) per dB per plaget person per år. Dette impliserer en merkostnad på $0,001 \cdot 365 = 0,37$ kroner per plaget per år. Vi må gange dette beløpet opp med antallet personer som er utsatt for støy for å identifisere den marginale støykostnaden.

4.3 Evaluering av støyplage

Når man evaluerer støyplage er det sentralt hvor stor utbredelse lyden har og hvor mange den når. Innen akustikken er det vanlig å skille mellom punkt og linjekilder. En punktkilde antar at all lyden stråles ut fra ett enkelt punkt. Dersom lydkilden er linje eller sylinderformet, kaller vi den en linjekilde. Et eksempel er en vei, hvor mange punktkilder (eks. biler) beveger seg langs en strekning (linje). Hva slags type kilde vi snakker om har betydning for støyplagen, ettersom lydnivået faller med omtrent 6 dB for en dobling av distansen for en punktkilde, men faller kun med rundt 3 dB per dobling av distansen for en linjekilde.

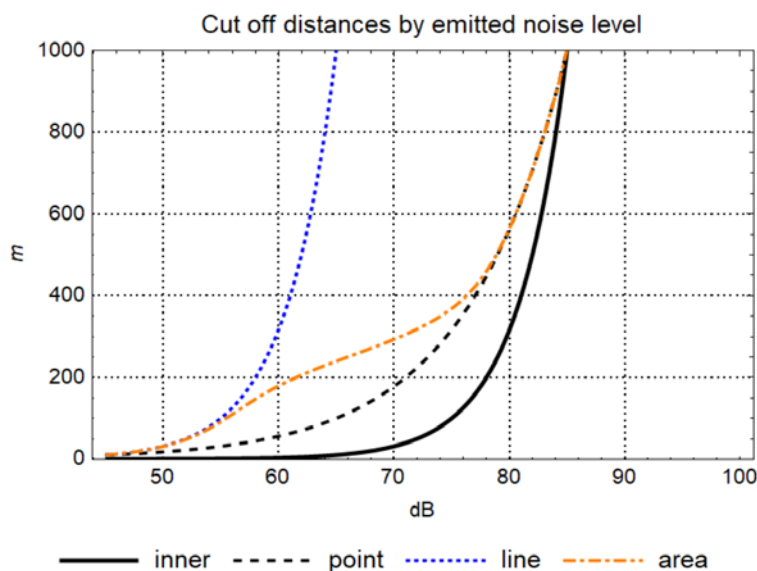
Man må velge et minste lydnivå for når lyden ansees å være plagsom. Normalt benyttes 55 dB som nedre grense for støyplage. Dette gjelder på uteplass ved bolig og utenfor rom med støyfølsom bruk. Vi har lagt en nedre grense på 45 dB til grunn for vår vurdering av støyplage for å illustrere konsekvensen av en lavere støygrense. Merk at på slike lave nivåer kan andre støykilder dominere.

Figur 4.2 illustrerer utbredelsen av lyd, målt i antall meter fra kilden. Her legges det til grunn at lyden ved kilden er henholdsvis 70 og 71 desibel. Dette er i tråd med ekvivalent støynivå ved containerhavnen i Oslo. Figuren viser at utgangsstøyen på 71 desibel reduseres til 45 desibel på rundt 200 meter for en linjekilde og på rundt 4000 meter for en punktkilde når vi ser bort fra støybarrierer mellom kilden og mottaker. Samtidig vil influensområdet øke fra omtrent 180 til 200 meter for en punktkilde dersom utgangsstøyen øker fra 70 til 71 desibel, mens det øker fra omtrent 3000 til 4000 meter for en punktkilde.



Figur 4.2: Støyreduksjon med avstand. Venstre panel: punktkilde. Høyre panel: linjekilde

Vi har lagt til grunn at havnen oppleves som en linjekilde for bosatte i umiddelbar nærhet, men at den opptrer som en punktkilde på lengre avstander. Vi anvender en logistisk funksjon til å interpolere mellom de to kildetyperne. Figur 4.3 viser influensområdene til en punktkilde (prikket sort), en linjekilde (prikkete blå) og vår hybridmodell (prikkete oransje) for ulike verdier av utgangsstøy (angitt av horisontal akse).



Figur 4.3: Influensområdet som en funksjon av støy ved kilden

4.3.1 Forenklet beregning av støyplage

Hvis vi legger til grunn at ekvivalent støy ved havnen er på 70 dB vil det i henhold til figur 4.3 bety at influensområdet vil ha en radius på 300 meter. Antar vi at influensområdet er en halvsirkel (pga. at havnen ligger ved sjøen), vil influensområdet i antall kvadratmeter regnes ut som $0,5 \cdot \pi \cdot 300^2 = 141\,372$ kvadratmeter eller 0,141 kvadratkilometer. Legger vi videre til grunn en gjennomsnittlig befolkningstetthet på 5670 personer per kvadratkilometer i mellomstore sentrumsområder⁵ betyr det at $0,141 \cdot 56700 = 802$ personer utsettes for havnestøy. I kapittel 4.2.4 fant vi en marginal støykostnad på 0,37 kroner per plaget per år,

⁵ Dette er gjennomsnittet av befolkningstetthetene til Bergen, Trondheim, Stavanger, Drammen og Kristiansand. Se <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/arealsentrum> for en oversikt over befolkningstettheten i sentrumsområder.

som betyr at den samlede marginale eksterne kostnaden ved en ekstra container per årsdøgn beløper seg til $0,37 \cdot 802 = 297$ kroner. Kostnaden per container blir da 0,81 kroner (per dag).

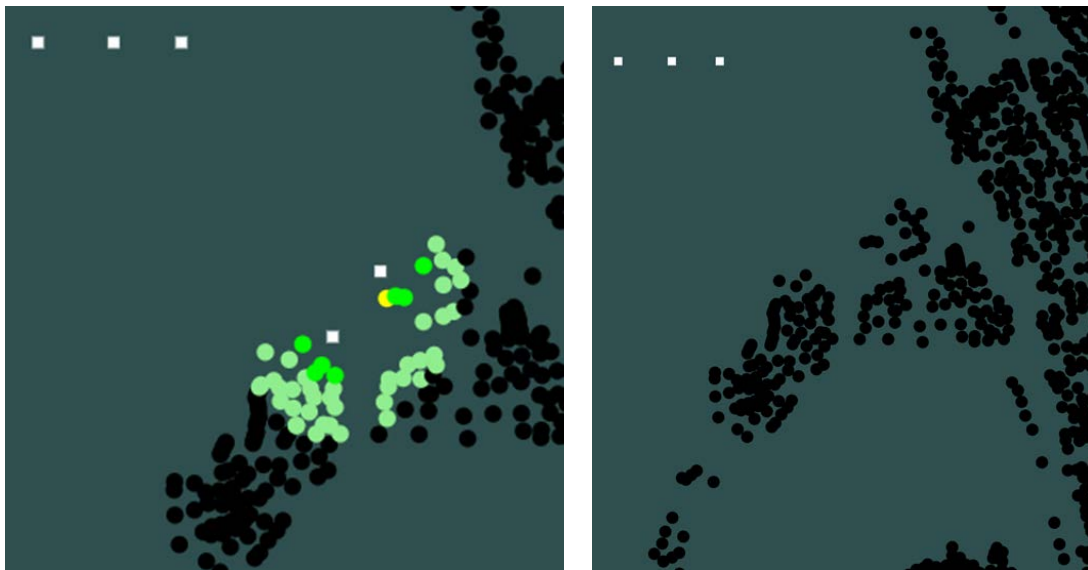
Denne beregningen tar ikke hensyn til at folk normalt ikke bor helt inn til havner og industriområder. Dette gir grunnlag for fratrekk for et indre område av det totale influensområdet, noe som indikeres av den funksjonen «inner» i figur 4.3. Dersom vi trekker fra et indre areal med radius på 50 meter, reduseres de marginale eksterne kostnadene til 288 kroner per år (0,79 kroner per marginal container).

Det er viktig å merke seg at vi her har lagt til grunn et utbredelsesområde som strekker seg helt ut til 45 dB ved mottaker. Dette er altså 10 dB lavere enn grensen for gul sone på 55 dB som normalt benyttes til å kategorisere støyplage. Samtidig ser vi bort fra støydemping på grunn av foranliggende bygninger, skjærmer, terreng og liknende, som også reduserer de faktiske kostnadene ved havnestøyen.

4.3.2 Studie av Oslo havn

Den forenklete støyberegningen gir kun en grov tommelfingerregel for å anslå de marginale eksterne kostnadene ved havnestøy. I alle praktiske tilfeller vil det være nyttig å vurdere hvor mange boliger som reelt sett omfattes av influensområdet i henhold til figur 4.3.

Vi har anvendt metoden vår til å beregne antall støyutsatte boliger før og etter nedleggelsen av Ormsundterminalen. Figur 4.4 illustrerer denne beregningen. De hvite prikkene illustrer kaiplassene på Sjursøyaterminalen (øverst i bildet) og Ormsundterminalen, mens de gule og grønne prikkene viser boliger som inngår i havnens influensområde. Det fremgår klart av figuren at ingen boliger lenger regnes som støyutsatt etter at containeraktiviteten er flyttet fra Ormsund til Sjursøya. Vi presiserer at vi her kun har vurdert støyplage knyttet til containerhåndteringen, og har ikke gjort noen vurdering av støybidraget til den nåværende aktiviteten i Ormsund.



Figur 4.4: Antall støyutsatte boliger ved sydhavna.
Venstre: Før nedleggelse av Ormsund. Høyre: Etter nedleggelse av Ormsund.

4.4 Marginale eksterne støykostnader ved godshåndtering

Dette kapitlet har vurdert marginale eksterne kostnader ved containerhåndtering. Vi finner at en ekstra container per årsdøgn medfører rundt 0,37 kroner per plaget per år. Vi har utviklet et forenklet støyberegningsverktøy for å illustrere influensområdet til havnestøyen. Som en tommelfingerregel finner vi at havnestøyen har et influensområde på 0,141 km², som gir en samlet ekstern kostnad på rundt 80 øre for den marginale containeren og 290 kroner per år. En detaljert beregning for Oslo havn viser at lokaliseringen av aktiviteten er av betydning: Etter at containerhåndteringen ble flyttet til Sjusøyaterminalen tilsier resultatene våre at ingen husstander er utsatt for støy tilknyttet havnens containeraktivitet. Følgelig er de marginale eksterne kostnadene også null. Dette støttes også av [Oslo havns egne støyberegninger](#), som viser at 4 bolighus kan regnes som støyutsatt grunnet havnas samlede aktivitet. Samlet bygger dette opp under Magnussen et al. (2015) sin konklusjon at den marginale støykostnaden er lav.

Støykostnadene regnes med utgangspunkt i gjennomsnittlige lydnivåer. Når støynivået er lavt kan imidlertid en større andel av sjenansen være knyttet til enkelthendelser. Dersom håndteringen av containere medfører sjeldne, men ekstreme lydhendelser når det ellers er stille, er det en fare for at støyen kunne oppfattes som uønsket og unødvendig, og reaksjonene kan derfor være sterkere enn støynivået alene skulle tilsi.

5 Andre eksterne kostnader

5.1 Oppvirvling av giftige sedimenter

5.1.1 Oppvirvling av giftige sedimenter og dets skadevirkninger

Skips oppvirvling av giftige sedimenter ved innseilingen til havner kan medføre spredning av miljøgifter. Dette bidrar til miljøproblemene økt turbiditet og redusert vannkvalitet. I tabellen fra Miola et al. (2009) som ble beskrevet i kapittel 2.2. kan vi lese at økt turbiditet kan oppstå som følge av havnerelaterte aktiviteter som skipsmanøvrering i havneområdet, mudring, avfallsdeponering til vann, havneutvidelser, deponering av ballastvann til vann, kloakk fra havn og søl og uhellsutslipp. Dette berører tre av de ti antatt viktigste miljøutfordringene til havner i 2016 (ecoports.com), nemlig avfall fra skip (nr. 6), vannkvalitet (nr. 8) og mudring (nr.10).

I Norge har Miljødirektoratet utarbeidet en veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Miljødirektoratet, 2011). Der beskrives det på side 37: *Hva som er akseptabel/ uakseptabel spredning av miljøgifter fra sedimentene vil være avhengig av hvilke miljømål og eventuelle lokale akseptkriterier som er satt. Hvis akseptkriterier ikke defineres for spredning, må man bedømme spredningens konsekvens for skade på human helse eller på økosystemet. I så fall vil risiko for spredning være akseptabel hvis både risiko for skade på human helse og på økosystemet er akseptabel.*

De trekker fram at inntak av fisk og skalldyr vil i de aller fleste tilfeller være den dominerende risikofaktor for human helse hvis det er høy konsentrasjon av giftstoffer i sedimentene. I tillegg kan eksponering gjennom oralt inntak skje spesielt i områder med bading og rekreasjon. Miljødirektoratet (2011) trekker også fram at økosystemet kan påvirkes av miljøgifter på ulike måter, men at eksisterende kunnskap om disse virkningsforholdene er svært mangelfull. Det opereres derfor med grenseverdier for giftstoffer som har et prinsipielt mål om at 95 % av artene i økosystemet ikke skal bli påvirket, selv etter lang tids eksponering. I 2011 var det utarbeidet grenseverdier for 45 enkeltstoffer og stoffgrupper.

5.1.2 Opprydding og tiltakskostnader

I St.meld.nr.14 (2006-2007, s 84) er det gitt en handlingsplan for sjøbunnopprydding, hvor det bl.a. er beskrevet, med utgangspunkt i fylkesvise tiltaksplaner, 17 prioriterte områder for sjøbunnopprydding. Planene er avgrenset til de deler av fjordene hvor sjøbunnen er sterkest forurenset, samt kildeområder på land i tilknytning til disse forurensete områdene. Stortingsmeldingen beskriver at målet for tiltaket er at forurensningen tas ut av sirkulasjon og bort fra økosystemet. Dette vil gi en renere sjøbunn og et sunnere livsgrunnlag for planter, fisk, skalldyr, sjøfugl og sjøpattedyr. Oppryddingen i forurenset sjøbunn vil bidra til at kostholdsradene på lengre sikt kan fjernes, og at fisk og skalldyr trygt kan spises og omsettes uten fare for menneskers helse.

I stortingsmeldingen ble det gitt anslag hva disse tiltakene vil medføre av kostnader. Med forbehold om usikkerhet ble anslaget satt til mellom 800 millioner og 2 milliarder kroner. Fire (Harstad, Tromsø, Oslo og Trondheim) av 17 prioriterte områder har til nå blitt ryddet opp, til en sammenlagt kostnad av 710 millioner kroner (Miljødirektoratet, 2017). Det er verdt å påpeke at oppryddingen har skjedd i forbindelse med andre nyttige tiltak for havn

og lokalsamfunn, som oppgraderinger, nye kaier, handlesenter, avsetning av tunellmasser etc. Kostnadene er med andre ord ikke «rene» tiltakskostnader. Samtlige oppryddingsprosjekter har vært finansiert av flere parter i tillegg til havnene selv, som Kystverket, kommuner, Miljødirektoratet og Statens vegvesen.

5.1.3 Prissetting av oppvirvling

Fra et miljøøkonomisk perspektiv ville det vært ønskelig å sette en «optimal» pris per skipsanløp i havn utfra skipets bidrag til oppvirvling og dermed spredning av giftstoffer fra sedimentene. Det er derimot vår vurdering at det per nå ikke er mulig å lage en fullgod, miljøøkonomisk «prisliste» for skipsanløp. En viktig grunn er at de eksterne kostnadene per skipsanløp i form av oppvirvling vil avhenge av svært mange faktorer som nødvendigvis vil variere fra havn til havn. Først vil *skadepotensialet* avhenge av mengden og sammensetningen av giftstoffene i sedimentene. Deretter vil *spredningen per skip* ifølge Miljødirektoratet (2011) avhenge av totalt sedimentareal på tilstrekkelig lav dybde som påvirkes av skipstrafikk (satt til > 20 m dyp), sedimentkonsentrasjon innenfor område og dets sammensetning av oppløselig og suspendert sedimentinnhold og mengde oppvirvlet finfraksjon sediment (som igjen er avhengig av skipets propeldyp (relativt til vanddyb) og skipsbredde). Det vil med andre ord vært en svært kompleks oppgave å prissette de eksterne kostnader per anløp.

Miljødirektoratet (2017) påpeker at hovedregelen er at forurenser skal betale, og at propelloppvirvling av forurenset sjøbunn ifm havneanløp er et nytt utslipp. Det innebærer at havna er ansvarlig forurenser uavhengig av opprinnelig utslippskilde. I miljøøkonomisk sjargong kan dette forstås som en tydelig «eiendomsrett» til myndighetene, og havnene, hvis virksomhet benytter seg av denne «eiendommen» har ansvar for å holde spredningen av giftstoffer innenfor grenseverdiene eller må stå for opprydding. Dette har de i prinsippet insentiver til å gjøre på kostnadseffektivt vis. Her må det derimot nyanseres.

Miljødirektoratet (2017) påpeker at det ofte er uklart forurensningsansvar i områder rundt havner. Staten bidrar derfor til samfinansiering av opprydding sammen med forurenserne: havn, kommune og forurensende bedrifter.

Per nå anser vi det som mest hensiktsmessig å behandle eksterne kostnader fra oppvirvling som en ikke-prissatt ekstern kostnad, dersom det skal gjøres en samfunnsøkonomisk analyse av tiltak som påvirker godstransportsektoren på aggregert nivå. Dersom en slik analyse omhandler et havneområde spesifikt, anbefales det å vurdere konsekvensene utfra Miljødirektoratet (2011) og å ta med en slik risikovurdering med i analysen. Kystverkets veileder i samfunnsøkonomiske analyser (Kystverket, 2007) har oppvirvling av giftige sedimenter som en av aspektene inkludert i analysene av ikke-prissatte virkninger under utredningstemaene landskap, friluftsliv, naturmiljø, kulturmiljø, fiskeri og akvakultur.

5.2 Uhellsutslipp av olje og kjemikalier

I Rødseth and Wangsness (2015b) vises det til en gjennomgang av Kystverkets database av akutt forurensing til land og sjø. Dette er sensitiv informasjon som EXPORT-prosjektet kun hadde tilgang til i løpet av prosjektperioden. I gjennomgangen av hendelsene fra 2014 fant vi 74 hendelser (av totalt 1063) hendelser, hvorav 25 av dem hendte i kvartalshavnene som vi hadde data for. Av de totalt 25 kvartalshavnene var det 15 som hadde opplevd en eller flere hendelser i løpet av 2014. På grunn av tynt datagrunnlag ble det valgt å ikke gjøre noe videre miljøøkonomisk analyse på dette temaet.

I en samfunnsøkonomisk analyse av godstransportsektoren hvor sjøtransport blir påvirket, forventer vi at parameterne beregnet i Magnussen et al. (2015) blir anvendt inntil nyere beregninger er gjort. Der har de gjort et grovt anslag på den eksterne kostnaden i form av risiko for uhellsutslipp til 0,2 øre per tonnkilometer. Det kan hende at den underliggende dataen for disse estimatene fanger opp noen av de hendelsene vi ville definert som havnerelaterte. Inntil nyere beregninger er på plass, vurderer vi det som mest hensiktsmessig å håndtere denne eksterne kostnaden med parameterne fra Magnussen et al. (2015) for analyseformål. Da antas uhellsrisikoen for utslipp i havneområdet til å implisitt være inkludert i forventet ekstern kostnad for hele sjøtransporten, som beregnes med eksterne kostnader per tonnkilometer ganger antall tonnkilometer.

5.3 Arbeidsulykker

I Rødseth and Wangsness (2015b) vises det til en gjennomgang av Sjøfartsdirektoratets statistikk på ulykker til sjøs. Antallet drepte og skadde per år de siste årene var såpass lavt at datagrunnlaget var vurdert som for tynt til videre analyse av temaet i en havnesammenheng. Som Magnussen et al. (2015) påpeker, så var det null dødsfall og 4 skadde i norske farvann i 2014, noe som gjør at antallet skadde vil være null i alle eller de fleste av havnene som var del av analysene i EXPORT-prosjektet.

I en samfunnsøkonomisk analyse av godstransportsektoren hvor sjøtransport blir påvirket, forventer vi at parameterne beregnet i Magnussen et al. (2015) blir anvendt inntil nyere beregninger er gjort. De har gjort et grovt anslag på den eksterne kostnaden i form av arbeidsulykker til 0,04 øre per tonnkilometer. Det kan hende at den underliggende dataen for disse estimatene fanger opp noen av de ulykkeshendelsene vi ville definert som havnerelaterte. Inntil nyere beregninger er på plass, vurderer vi det som mest hensiktsmessig å håndtere denne eksterne kostnaden med parameterne fra Magnussen et al. (2015) for analyseformål. På samme måte som med uhellsutslipp, antas det at de eksterne kostnadene for arbeidsulykker i havneområdet til å implisitt være inkludert i forventet ekstern kostnad for hele sjøtransporten.

5.4 Konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv som følge av havneutvidelser

Fra et miljøøkonomisk ståsted ville det vært ønskelig å sette en «optimal pris» per kvadratmeter utvidelse av havneinfrastruktur utfra hva slags landskap det går på bekostning av. I det nyeste arbeidet med eksterne kostnader ved veitrafikk (Thune-Larsen et al., 2014) vises det til marginalkostnadsestimater fra IMPACT-håndboken (Maibach et al., 2008) hvor det presenteres sveitsiske estimater for kompensasjonskostnader for å etablere kompenserende økosystem. Arealkostnadene vil variere med type økosystem (f.eks. myr, eng, skog). Thune-Larsen et al. (2014) påpeker at dette derimot er estimater på tiltakskostnader, og ideelt sett burde estimater på eksterne kostnader være betalingsvillighetsbasert. Videre viser denne rapporten til Grudemo et al. (2002) hvor det anbefales en betalingsvillighetsbasert beregningsmetodikk for infrastrukturinngrep i naturområder. Betalingsvillighetsestimatene vil være basert på verdioverføringsmetodikk.

I Statens vegvesens veileder for konsekvensanalyser (Vegdirektoratet, 2014) og Kystverkets veileder for samfunnsøkonomiske analyser (Kystverket, 2007) er det beskrevet en metodikk for å vurdere infrastrukturinngrepers konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv som ikke-prissatte virkninger. Konsekvensene vurderes utfra det konkrete

landskapet/miljøets verdi, og tiltakets omfang for landskapet/miljøet, og blir en del av sammenstillingen av den samfunnsøkonomiske analysen. Selv om denne metodikken og praksisene er veletablert, anser vi at i videre arbeid med slike veiledere vil utvikling av betalingsvillighetsestimater være et viktig supplement.

6 Sammenstilling av eksterne kostnader

6.1 En oppsummering av marginale eksterne kostnader i havn

I denne rapporten har vi gjennomgått en rekke eksterne kostnader knyttet til godshåndtering i norske havner, som har vært behandlet i EXPORT-prosjektet. Listen av eksterne kostnader er langt fra uttømmende, ref. den omfattende tabellen til Miola et al. (2009) i kapittel 2.2. Prioriteringen av hvilke eksterne kostnader som er gjennomgått er gjort på bakgrunn av viktighetsvurdering og datatilgjengelighet, noe som er nærmere beskrevet i kapittel 2. I tabellen under sammenstilles de gjennomgåtte eksterne kostnadene, og hvordan rapporten vurderer det er best å inkludere dem i framtidige samfunnsøkonomiske analyser.

Tabell 6.1: Oppsummeringstabell for eksterne kostnader gjennomgått i denne rapporten

| Kostnadskomponent | Til videre bruk i samfunnsøkonomiske analyser |
|--|--|
| Utslipp til luft <i>Beregnet for CO₂, NO_x, PM eller SO₂ per tonn (eller container) lastet/losset eller per anløp</i> | I kapittel 3 finnes det formler for utslipp basert på estimerte utslippsfunksjoner som analytikeren kan anvende for å gjøre anslag på endring i utslipp basert på endringer i transportert gods og skipssammensetning. I tillegg finnes det nøkkeltall med gjennomsnittlige og marginale utslipp per godsenehet lastet/losset. |
| Støy <i>Beregnet for endring i årlig støyeksponering for endringer i containere lastet og losset per dag</i> | I kapittel 4 finnes det formler for å beregne endring i støyproduksjon som følge av endringer i antall containere lastet og losset per dag. Dette kombineres med formler for å beregne endringer i antall plagede, og således endring i eksterne kostnader. |
| Oppvirvling av giftige sedimenter | Anbefales behandlet som en ikke-prissatt virkning i henhold til gjeldende veileder for samfunnsøkonomiske analyser. Ved analyser av tiltak som kan ha betydelig påvirkning av oppvirvling i spesifikke havneområder, anbefales å gjøre risikovurderinger i henhold til Miljødirektoratet (2011) for å supplere den samfunnsøkonomisk analysen. |
| Uhellsutslipp av olje og kjemikalier | Ved en analyse som tar for seg eksterne kostnader fra sjøtransport (eller godstransport) på nasjonalt eller regionalt nivå, antas havnas eksterne kostnader for utslippsrisiko å være delvis dekket av de tilsvarende eksterne kostnadene per tonnkilometer slik de er anslått i Magnussen et al. (2015). |
| Arbeidsulykker | Ved en analyse som tar for seg eksterne kostnader fra sjøtransport (eller godstransport) på nasjonalt eller regionalt nivå, antas havnas eksterne kostnader for arbeidsulykker å være delvis dekket av de tilsvarende eksterne kostnadene per tonnkilometer slik de er anslått i Magnussen et al. (2015). |
| Konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv som følge av havneutvidelser | Inntil anvendbare estimater på eksterne kostnader foreligger, anbefales fortsatt bruk av etablert metodikk for å vurdere infrastrukturinngreps konsekvenser for landskap, naturmiljø, kulturmiljø og friluftsliv som ikke-prissatte virkninger i gjeldende veileder for samfunnsøkonomiske analyser. |

Disse eksterne kostnadene i havn vil komme i tillegg til de eksterne kostnadene som forekommer under selve sjøtransporten. For å beregne de eksterne kostnadene fra selve sjøtransporten, er de foreløpig nyeste estimatene dokumentert i Magnussen et al. (2015). Der oppgis estimater for eksterne kostnader per tonnkilometer med gods for små skip og store skip, under forutsetningen om halv kapasitetsutnyttelse. Verdiene varierer utfra befolkningstettheten i området hvor de eksterne kostnadene genereres. De eksterne kostnadene for sjøtransport (utenom havnene) kan oppsummeres i følgende tabeller for henholdsvis små og store skip:

Tabell 6.2: Marginale eksterne kostnader i kroner per tonnkilometer for godstransport på sjø med «små skip» (dvs. at de har relativt høye utslippskostnader per tonn gods fraktet) fordelt på ulike kostnadskomponenter. Kilde: Magnussen et al. (2015)

| Kostnadskomponent | Spredtbygd | Mindre by | Større by |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Klimagasser | 0,010 | 0,010 | 0,010 |
| Lokale utslipp | 0,006 | 0,034 | 0,165 |
| Støy | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Ulykker (liv og helse) | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 |
| Miljøskader ved uhellsutslipp | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Infrastrukturkostnader | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Totalt | 0,018 | 0,046 | 0,177 |

Tabell 6.3: Marginale eksterne kostnader i kroner per tonnkilometer for godstransport på sjø med «store skip» (dvs. at de har relativt lave utslippskostnader per tonn gods fraktet) fordelt på ulike kostnadskomponenter. Kilde: Magnussen et al. (2015)

| Kostnadskomponent | Spredtbygd | Mindre by | Større by |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Klimagasser | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Lokale utslipp | 0,003 | 0,017 | 0,082 |
| Støy | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Ulykker (liv og helse) | 0,00004 | 0,00004 | 0,00004 |
| Miljøskader ved uhellsutslipp | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Infrastrukturkostnader | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Totalt | 0,010 | 0,024 | 0,090 |

6.2 Er sjøveien fortsatt miljøveien?

Denne rapporten viser at det er vesentlige eksterne kostnader knyttet til å håndtere gods i havn. Den viser også at en inkludering av de eksterne kostnadene i havn medfører et betydelig tillegg til de totale eksterne kostnadene av å frakte gods via sjøtransport, slik de er beregnet i Magnussen et al. (2015). Når disse eksterne kostnadene er inkludert, vil sjøtransport framstå som mindre samfunnsøkonomisk lønnsomt, isolert sett. Det neste spørsmålet er i hvilken grad dette fører til vesentlige endringer i vurderingene av de eksterne kostnadene av sjøtransport og alternative transportformer, relativt til hverandre.

Vi ønsker her å sammenligne de eksterne kostnadene fra sjøtransport med å gjøre den tilsvarende strekningen med vei- eller banetransport. En komplett analyse av alle viktige strekningen hvor disse transportformene konkurrerer, er utenfor denne rapportens omfang. Vi velger å illustrere dette ved hjelp av et utvalgt eksempel som er benyttet i både Oslo Economics (2015) og i Magnussen et al. (2015), nemlig den delen av strekningen

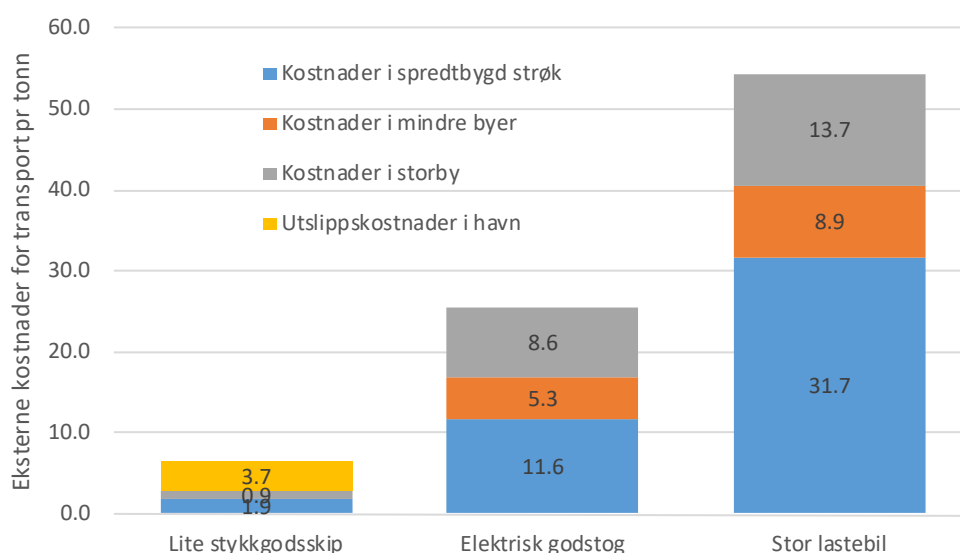
mellom Oslo og Rotterdam som foregår på norsk jord eller i norske farvann. Dette er en strekning med relativt store volumer og hvor både tog, skip og lastebil er alternative transportmidler. Vi tar utgangspunkt i hvordan dette eksemplet er satt opp i Magnussen et al. (2015), og legger til våre beregninger av eksterne kostnader i havn på mest mulig sammenlignbar måte.

Ettersom størrelsen på de eksterne kostnader varierer vesentlig utfra hvor tettbefolket området de genereres i er, er det viktig å skille mellom hvor stor del av transporten som forekommer i ulike områder. I vårt eksempel er denne fordelingen gitt i tabellen under:

Tabell 6.4: Transportavstand (i kilometer) på norsk jord/ i norske farvann for transporten mellom Oslo og Rotterdam, dvs. transportavstand mellom Oslo og norskegrensen. Transportavstand er fordelt på transportmiddel og områdetypene større by, mindre by og spredtbygd. Kilde: Magnussen et al. (2015).

| Transportmiddel | Total strekning | Spredtbygd | Mindre by | Større by |
|--------------------------------|-----------------|------------|-----------|-----------|
| Vei (E6 til Svinesund) | 112 | 88 | 12 | 12 |
| Jernbane (via Kornsjø) | 170 | 113 | 37 | 20 |
| Sjøtransport (til grunnlinjen) | 106 | 96 | 0 | 10 |

Utfra Magnussen et al. (2015) beregninger av eksterne kostnader per tonnkm har de beregnet de transportrelaterte eksterne kostnadene for det marginale tonnet for ulike transportformer. Kostnadene er i 2014-kroner. For transport med lastebil (forutsatt å være over 20 tonn og ha en nyttelast på 10,7 tonn) er de eksterne kostnadene beregnet til 54,29 kr på norsk jord. For transport med elektrisk tog er de eksterne kostnadene beregnet til å være 25,45 kr på norsk jord. For et lite skip som utnytter halvparten av sitt lastevolum er de eksterne kostnadene beregnet til 2,75 kr i norske farvann. Våre estimater på eksterne kostnader knyttet til å laste det marginale tonnet i Oslo havn er på 3,68 kr, som medfører at de eksterne kostnadene på norsk jord knyttet til sjøtransport er beregnet til 6,43 kr. Sammenligningen illustreres i Figur 6.1.



Figur 6.1: Eksterne kostnader av å frakte «det marginale gjennomsnittstonnet» for stor lastebil, elektrisk godstog og lite stykkgodsskip (2500 BT) mellom Oslo og Rotterdam, hvor eksterne kostnader i Oslo havn er inkludert. Kroner per tonn.

Vi vil understreke at dette kun er en eksempelberging på eksterne kostnader fra godstransport. Det er likevel påfallende, at selv om de eksterne kostnadene for godshåndteringen i havn legges til, er de eksterne kostnadene fra sjøtransport kun 25 % av de fra tilsvarende transport med elektrisk tog, og kun 12 % av de fra tilsvarende transport med stor lastebil. Så selv om dette bare er ett eksempel, indikerer de store forskjellene i eksterne kostnader at det vil være mange tilfeller at å transportere gods med skip vil innebære lavere eksterne kostnader enn alternativene. Det er også verdt å merke seg at de eksterne kostnadene i havn ville blitt estimert som lavere dersom godshåndteringen hadde forekommet i en havn lenger unna bybebyggelse, enn tilfellet er i Oslo.

For å svare på spørsmålet stilt i avsnittets overskrift, så vurder vi det som riktig å si at godstransport via sjøveien vil isolert sett ha lavest eksterne kostnader enn alternativene lastebil og jernbane, i de fleste relevante tilfeller.

EXPORT-prosjektet viser samtidig at det er rom for effektivisering av eksterne kostnader fra godshåndtering i havn, bl.a. gjennom bedre kapasitetsutnyttelse. Havner lenger unna tett befolkning vil også isolert sett ha lavere eksterne kostnader fra godshåndtering.

Figur 6.1 gir et illustrativt bilde på forskjellene i eksterne kostnader fra godstransport på vei, sjø og bane, med vesentlig høyere eksterne kostnader per godsenehet ved veitransport. Gitt målet om å redusere de eksterne kostnadene fra godstransport, samt overføre gods fra vei til sjø og bane, virker det fra et samfunnsøkonomisk ståsted mest effektivt å starte med å prise godstransport på vei «riktig». Med «riktig» menes samfunnsøkonomisk effektivt, dvs. her at godstransporten belastes de eksterne kostnadene fra lastebilkjøring på vei. Eksempler på dette finnes i blant annet i Tyskland og Sveits (beskrevet i bl.a. i [Tiltakskatalogen](#)), hvor lastebiler avgiftsbelegges utfra kjørt distanse, og avgiften differensieres utfra vekt og utslippsklasse. Slik prising gir «riktigere» insentiver til å økonomisere de eksterne kostnadene, som blant annet kan inkludere overførsel fra vei til sjø. Og analysene i EXPORT tilsier at norske havner har kapasitet til å ta imot mer.

7 Avsluttende merknader og områder for videre forskning

Beregninger av eksterne kostnader i havn er nok mest relevant som en del av en større analyse av tiltak rettet mot godstransport. I slike analyser bør det beregnes eksterne kostnader for alle de strekningene og havnene som er aktuelle for analysen, og settes i sammenheng med atferdsendringer og andre nytte- og kostnadsvirkninger av tiltaket. Enhetskostnader og formler kan hentes fra denne rapporten. Et eksempel på framtidig anvendelse er samfunnsøkonomiske analyser basert på beregninger fra Nasjonal Godsmodell (for innføring, se Madslie et al., 2015). I denne modellen beregnes transportarbeid og brukernytte for ulike transportformer for komplette transportkjeder, på årlig basis på nasjonalt nivå. Dette kan også brukes til å beregne eksterne kostnader og tas med videre i den samfunnsøkonomiske analysen. Det er viktig for slike analyser å se godstransportssystemet som helhet og ikke bare isolerte strekninger. Hvis det er et mål å redusere eksterne kostnader fra godstransport, er det for eksempel viktig å ikke miste av syne hvilken effekt et tiltak har på overførsel av gods fra vei til sjø og bane kan ha på tilførselstransport. De eksterne kostnadene ved godshåndtering i havn blir en av flere komponenter i en analyse hvor ulike tiltak kan ha vidtrekkende effekter på godstransportsektoren.

Oss bekjent er det ikke gjort noen norske analyser av eksterne kostnader fra godsterminaler for jernbane og lastebiler. Det er grunn til å tro at de eksterne kostnadene per gods-enhet håndtert vil være lavere enn i en havn, ettersom vi finner at de største eksterne kostnadene kommer fra utslipp til luft fra skips hjelpemotorer, noe som ikke er en aktuell problemstilling for lastebiler og godstog. Likevel, å ikke inkludere de eksterne kostnadene fra jernbane- og lastebilterminaler, er isolert sett en undervurdering av de eksterne kostnadene.

7.1 Veien videre

Denne rapporten har studert eksternaliteter ved havneoperasjoner og konkluderer med at utslipp til luft fra skip i havn fremstår som den viktigste kostnaden. Samtidig vet vi at eksterne kostnader ved havnevirksomhet er et stort og komplekst felt. Denne rapporten kan derfor ikke sees som uttømmende. Vi har i stor grad måttet gjøre prioriteringer, og tilgangen på data har satt begrensninger for hva som kan studeres. Det vil derfor være hensiktsmessig å kartlegge og tallfeste øvrige eksterne kostnader i det følgende, da en utelatelse av dem isolert sett vil innebære en undervurdering av de samlede eksterne kostnadene ved sjøtransport. Samtidig eksisterer det også usikkerhet i estimatene dokumentert i denne rapporten, som kan reduseres med videre forskning med nyere og bedre data og videreutviklede metoder.

EXPORT-prosjektet har fokusert på utslipp til luft under lasting og lossing av skip, og har studert havnenes potensiale til å redusere disse utslippene gjennom en mer effektiv godshåndtering. En forlengelse av denne studien vil være å vurdere tidsbruk og utslipp knyttet til annen aktivitet i havnen (skipenes bunkring, ventetid osv), og å vurdere hvordan

havnen kan påvirke disse. Spesielt interessant er det om en mer effektiv godshåndtering i havnene medfører at skipene utnytter potensialet til å spare drivstoff ved å seile til lavere hastigheter (slow steaming), eller om det helt enkelt skaper mer ventetid i havn og dermed ikke gir noen miljøgevinst. Samtidig kan det være aktuelt å gjøre en ny vurdering av kø i havn (ventetid for et skip som følge av et annet blir lastet/losset) og hvilket bidrag det i så fall gir til utslipp til luft i havneområdet.

Kapittel 3 gir en beregning av marginale støykostnader knyttet til containerhåndteringen i Oslo havn. Det vil også være relevant å gjøre liknende vurderinger av støy forbundet med håndteringen av andre typer gods, samt å etterprøve hvorvidt beregningen kan generaliseres til andre norske havner. Vi utvikler et forenklet beregningsverktøy for å identifisere havnens influensområde og påfølgende marginale eksterne kostnader grunnet støy. Vi understreker at dette kun kan gi et grovt anslag, og at detaljerte støyberegninger for området som analyseres er beste praksis. Vår studie av Oslo havn viser at ingen personer lenger er utsatt for støy etter flyttingen av containervirksomheten fra Sjursøya til Ormsund, noe som tilsier at den marginale støykostnaden grunnet containerhåndtering er null.

8 Referanser

- Andersson, H., Ögren, M., 2007. Noise charges in railway infrastructure: A pricing schedule based on the marginal cost principle. *Transport Policy* 14(3), 204-213.
- Andersson, H., Ögren, M., 2011. Noise charges in road traffic: pricing schedule based on the marginal cost principle. *Journal of Transportation Engineering* 137(12), 926-933.
- Andersson, H., Ögren, M., 2013. Charging the polluters: a pricing model for road and railway noise. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)* 47(3), 313-333.
- Bendtsen, H., 2009. Highway noise abatement - Planning tools and Danish example's. Danish road Directorate.
- Berechman, J., Tseng, P.-H., 2012. Estimating the environmental costs of port related emissions: The case of Kaohsiung. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 17(1), 35-38.
- Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A., Fagiani, P., Hunt, A., de Jong, G., Laird, J., Lieb, C., Lindberg, G., Mackie, P., 2006. Proposal for Harmonised Guidelines. Deliverable 5, Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment (HEATCO). Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Stuttgart.
- Cofala, J., Amann, M., Heyes, C., Wagner, F., Klimont, Z., Posch, M., Schöpp, W., Tarasson, L., Jonson, J.E., Whall, C., Stavrakaki, A., 2007. Analysis of policy measures to reduce ship emissions in the context of the revision of the National Emissions Ceilings Directive. Final report. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Endresen, Ø., Bakke, J., Sørgård, E., Flatlandsmo Berglen, T., Holmvang, P., 2005. Improved modelling of ship SO₂ emissions—a fuel-based approach. *Atmospheric Environment* 39(20), 3621-3628.
- EPA, 2009. Current methodologies in preparing mobile source port-related emission inventories. U.S. Environmental Protection Agency, Virginia.
- Eyre, N.J., Ozdemiroglu, E., Pearce, D., Steele, P., 1997. Fuel and Location Effects on the Damage Costs of Transport Emissions. *Journal of Transport Economics and Policy* 31(1), 5-24.
- Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S., 2010. Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. *Atmospheric Environment* 44(37), 4735-4771.
- Fann, N., Fulcher, C., Hubbell, B., 2009. The influence of location, source, and emission type in estimates of the human health benefits of reducing a ton of air pollution. *Air Quality, Atmosphere & Health* 2(3), 169-176.
- Grudemo, S., Ivehammar, P., Sandström, J., 2002. *Beräkningsmodell för infrastrukturinvesteringars intrångskostnader*. Statens väg- och transportforskningsinstitut., VTI meddelande 939.
- Hjelle, H.M., 2006. Sjøfart, marginale eksterne kostnader og avgifter. En vurdering av mulighetene for et mer effektivt avgiftsregime for sjøfarten, *Rapport 0616*. Møreforskning Molde AS, Molde.
- Kystverket, 2007. Veileder i samfunnsøkonomiske analyser. Versjon 1.0, In: Sørøst, K. (Ed.), Arendal.

- Madslie, A., Steinsland, C., Grønland, S.E., 2015. Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen., *TØI-rapport 1429/2015*.
- Magnussen, K., Ibenholt, K., Skjelvik, J.M., Lindhjem, H., Pedersen, S., Dyb, V.A., 2015. Marginale eksterne kostnader ved transport av gods på sjø og bane, In: AS, V.A. (Ed.), Oslo.
- Magnussen, K., Navrud, S., San Martin, O., 2010. Den norske verdsettingsstudien: verdsetting av tid, sikkerhet og miljø i transportsektoren: Støy, *Den norske verdsettingsstudien*. Sweco/TØI, Oslo.
- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., van Essen, H.P., Boon, B.H., Smokers, R., Schrotten, A., Doll, C., 2008. Handbook on estimation of external cost in the transport sector Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT) Delft.
- McArthur, D.P., Osland, L., 2013. Ships in a city harbour: An economic valuation of atmospheric emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 21, 47-52.
- Miljødirektoratet, 2011. Veileder: Risikovurdering av forurenset sediment, In: Forurensingsdirektoratet), M.t.K.-o. (Ed.), Oslo.
- Miljødirektoratet, 2017. Havnevirkomhetens bidrag til sjøbunnsforurensing - Avslutningskonferanse EXPORT, september 2017.
- Miola, A., Paccagnan, V., Mannino, I., Massarutto, A., Perujo, A., Turvani, M., 2009. External cost of transportation. case study: maritime transport. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.
- Moon, D.S.-H., Woo, J.K., 2014. The impact of port operations on efficient ship operation from both economic and environmental perspectives. *Maritime Policy & Management* 41(5), 444-461.
- Oslo Economics, 2015. Konkurransanalyse av godsmarkedet, *OE-rapport 2015-9*.
- Ricardo-AEA, 2014. Update of the handbook of external costs of transport, Report for the European Commission, ED 57769 - Issue Number 1.
- Rødseth, K.L., Killi, M., 2014. Marginale eksterne kostnader for godstransport på sjø og jernbane – en forstudie *TØI rapport 1313/2014*. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Rødseth, K.L., Schøyen, H., Wangsness, P.B., Førund, F., 2017. Produktivitet og effektivitet i norske havner, *Status 2017*. Kystverket.
- Rødseth, K.L., Wangsness, P.B., 2015a. Application of production analysis in port economics: A critical review of modeling strategies and data management, *TØI-rapport 1390/2015*. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- Rødseth, K.L., Wangsness, P.B., 2015b. Data availability for traditional and environmental productivity and efficiency analyses of Norwegian ports, *TØI report 1461/2015*. Transportøkonomisk institutt, Oslo.
- St.meld.nr.14, 2006-2007. Sammen for et giftfritt miljø – forutsetninger for en tryggere fremtid, In: Miljøverndepartementet (Ed.), Oslo.
- Thune-Larsen, H., Veisten, K., Rødseth, K.L., Klæboe, R., 2014. Marginale eksterne kostnader ved vegtrafikk med korrigerede ulykkeskostnader, *TØI rapport*. Institute of Transport Economics, Oslo.
- Trozzi, C., 2000. Environmental impact of port activities, *International conference on maritime engineering and ports*, Barcelona, pp. 151-161.
- Tzannatos, E., 2010. Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus – Greece. *Atmospheric Environment* 44(3), 400-407.
- Vegdirektoratet, S.v., 2014. Håndbok V172 Konsekvensanalyser, In: Vegdirektoratet, S.v. (Ed.), Oslo.

Transportøkonomisk institutt (TØI) Stiftelsen Norsk senter for samferdselsforskning

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 70 høyt spesialiserte forskere.

Instituttet utgir tidsskriftet Samferdsel med 10 nummer i året og driver også forskningsformidling gjennom TØI-rapporter, artikler i vitenskapelige tidsskrifter, samt innlegg og intervjuer i media. TØI-rapportene er gratis tilgjengelige på instituttets hjemmeside www.toi.no.

TØI er partner i CIENS Forskningscenter for miljø og samfunn, lokalisert i Forskningsparken nær Universitetet i Oslo (se www.ciens.no). Instituttet deltar aktivt i internasjonalt forsknings-samarbeid, med særlig vekt på EUs rammeprogrammer.

TØI dekker alle transportmidler og temaområder innen samferdsel, inkludert trafiksikkerhet, kollektivtransport, klima og miljø, reiseliv, reisevaner og reiseetterspørsel, arealplanlegging, offentlige beslutningsprosesser, næringslivets transport og generell transportøkonomi.

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

Besøks- og postadresse:

Transportøkonomisk institutt
Gautstadalléen 21
NO-0349 Oslo

22 57 38 00
toi@toi.no
www.toi.no