Slutrapport för Triple F projekt 2021.4.2.5

År
2023

Utbyggnad av landström för trampsjöfarten

Kostnader och nyttor vid olika former av prissättning

HENRIK SJÖSTRAND, VTI

KARIN EK, VTI

TRIPLEF
FOSSIL FREE FREIGHT

Projektnummer 2021.4.2.5
Titel på projektet – svenska Utbyggnad av landström för trampsjöfarten - Kostnader och nyttor vid olika former av prissättning
Titel på projektet – engelska Expansion of shore power for tramp shipping - Socioeconomic appraisal under different access pricing
Projektledareorganisation Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI
Namn på projektledare Henrik Sjöstrand
Namn på ev övriga projektdeltagare Karin Ek, Axel Merkel (tidigare projektledare), Erik Nyberg
Nyckelord: 5-7 st Sjötransporter, trampsjöfart, landström, prissättning, kostnader och nyttor

Förord

Denna rapport har tagits fram inom ramen för projektet *Strategier för minskade koldioxidutsläpp genom landansluten el för godssjöfart*, som har finansierats genom Trafikverkets forsknings- och innovationssatsning Triple F – Fossil Free Freight. Karin Ek och Henrik Sjöstrand vid VTI har tagit fram rapporten. Projektet initierades och leddes tidigare av Axel Merkel, tidigare vid VTI. Även Erik Nyberg vid VTI har medverkat i projektet. Vi vill rikta ett stort tack till Björn Olsson vid Trafikanalys för granskningen av rapporten. Vi vill också tacka branschorganisationerna Svensk Sjöfart och Sveriges Hamnar för värdefulla inspel.

Studien presenterades vid den nationella konferensen i transportforskning (NKT) 2022, och den modell som har utvecklats för att skatta nyttor och kostnader för olika utbyggnadsnivåer av landström beskrivs i Merkel et al. (2022).

Stockholm, juni 2023

Henrik Sjöstrand
Projektledare

Sammanfattning

När fartyg ligger vid kaj används oftast fossildrivna motorer ombord för att förse fartyget med energi. Genom ny EU-lagstiftning kommer det 2030 att vara obligatoriskt för vissa hamnar och fartyg att erbjuda respektive använda elektricitet från land, så kallad landström, för att täcka detta energibehov. Dessa krav gäller inte den så kallade trampsjöfarten, alltså den sjöfart som saknar särskilda tidtabeller och förutbestämda rutter, och som är i fokus i denna studie. I detta projekt studeras potentialen för användning av landström inom bulk-, tank- och torrlastsegmenten genom att identifiera det samhällsekonomiskt optimala antalet hamnar med landström för dessa fartygssegment. Modellerade utfall jämförs för vinstmaximerande respektive välfärdsmaximerande prissättning av landström, och det visar sig att prissättningen är avgörande för om de möjliga samhällsekonomiska nettonyttorna realiseras. Vid en välfärdsmaximerande prissättning, där minskade externa kostnader för utsläpp av koldioxid och luftföroreningar räknas in i prissättningen, kan nettonyttor åstadkommas genom en begränsad utbyggnad av landström i ett antal nyckelhamnar. Vi visar hur en sådan prissättning i praktiken ofta innebär ett negativt pris på landström för rederierna, något som kan åstadkommas med subventioner. Vid en vinstmaximerande prissättning, där priset på landström sätts så att hela det eventuella ekonomiska överskott som skapas tillfaller hamnen, blir den totala nettonyttan lägre. Styrmedel för ökad utbyggnad och användning av landström för trampsjöfarten behöver alltså adressera rederiernas och hamnarnas lönsamhet, och bör inriktas mot prissättningen av elen i hamnen. Alternativet är att internalisera de konventionella bränslenas externa kostnader, och på så vis göra landström relativt sett mer lönsamt.

Summary

When ships are docked, fossil-fueled engines are commonly used on board to provide power to the vessel. However, new EU legislation mandates that by 2030, ports must provide and some ships must use Onshore Power Supply (OPS) to meet this energy demand. These requirements, however, do not apply to the so-called tramp shipping, which refers to maritime transport without fixed schedules or predetermined routes, and which is the focus of this study. This project examines the potential for the use of OPS in the bulk, tanker, and dry cargo segments by identifying the socioeconomically optimal number of ports with shore power for these vessel segments. Modeled outcomes are compared for profit-maximizing and welfare-maximizing pricing of shore power, and it is found that pricing is crucial in realizing potential socioeconomic net benefits. Under a welfare-maximizing pricing scheme, where reduced external costs of carbon dioxide emissions and air pollution are included in the pricing, net benefits can be achieved through a limited expansion of shore power in a number of key ports. We show how such pricing in practice often results in a negative price for onshore power for the shipping companies, something that can be achieved through subsidies. Under a profit-maximizing pricing scheme, where the price of shore power is set so that the entire potential economic surplus created accrues to the port, the overall net benefits are lower. Therefore, policies aimed at increasing the expansion and use of shore power for tramp shipping need to address the profitability of shipping companies and ports, and should focus on the pricing of electricity in ports. An alternative is to internalize the external costs of conventional fuels, and by doing so make OPS more profitable relatively speaking.

Innehållsförteckning

1 Inledning **6**

2 Bakgrund och litteraturgenomgång **6**

1.1. Tekniska aspekter **6**

1.2. Utbyggnad och användning **7**

1.3. Ekonomiska aspekter **8**

1.4. Styrmedel **10**

2. Landströmmens kostnader och nyttor **12**

2.1. Metod **12**

2.1.1 Teoretisk bakgrund 12

2.1.2 Modellansats 14

2.2. Data **15**

2.3. Resultat **18**

2.1.3 Optimal landströmsutbyggnad per segment 18

2.1.4 Samhällsekonomiska nettonyttor vid optimal landströmsutbyggnad 23

2.1.5 Känslighetsanalyser 25

3. Slutsatser och rekommendationer **28**

Bilaga, modellerade optimala nätverk för utbyggnad av OPS per segment **33**

1 Inledning

När fartyg ligger vid kaj behövs energi för lastning, lossning och andra funktioner ombord. Den absoluta majoriteten av fartygen producerar denna energi med hjälpmotorer ombord som drivs av fossila bränslen, med utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar som följd. Att i stället ansluta fartyg till en landströmsanslutning i hamnen (OPS, onshore power supply) kan kraftigt minska sjöfartens klimatpåverkan och bidrag till luftföroreningar (Innes och Monios (2018); Zis (2019); Stolz et al. (2021)). En del av denna potential har tillvaratagits inom sjöfartssegment som går i högfrekvent linjetrafik mellan fasta punkter. För en del av dessa segment kommer också EU-lagstiftning inom ramen för det så kallade 55 %-paketet (Fit for 55) att göra både landströmsutbyggnad i hamnar och landströmsanslutningar på fartyg obligatoriska. För godstrafik på sjön som går i mer sporadisk trafik, så kallad trampsjöfart, är frågan befäst med större hinder, eftersom bristen på förutsägbarhet försvårar lönsamma investeringar på land- och fartygssidan.

Tidigare studier (se exempelvis Zis (2019)) har analyserat hur investeringskalkylen ser ut för olika fartygssegment (beroende bland annat av priset på traditionellt bränsle). De kostnader som OPS ger upphov till för hamnar och rederier visar sig ofta understiga nyttor i form av minskade utsläpp för samhället som helhet (se till exempel Zis et al. (2016); Zis (2019)). Men även om OPS visar sig vara en samhällsekonomiskt fördelaktig investering, kvarstår frågan om lönsamheten för hamnar och rederier. Höga investeringskostnader riskerar att bromsa utbyggnaden av OPS. Hamnen kan tänka sig att investera i OPS bara om fartyg som anlöper hamnen faktiskt kan nyttja elanslutningen, medan rederier bara vill investera i OPS om landströmsanslutningar finns att tillgå i hamnen. Detta refereras ofta till som ett hönan och ägget-problem (se till exempel Zis et al. (2016); Zis (2019); British Ports Association (2020) och Wang et al. (2021)). I detta projekt tas metoder fram för att utvärdera vilka landströmsinvesteringar inom bulk-, tank- och torrlastsegmentet som har potential att leda till samhällsekonomiskt effektiva minskningar av sjöfartens utsläpp, och hur landström kan prissättas för att uppnå högsta möjliga samhällsekonomiska effektivitet. Projektet syftar till att generera kunskap som möjliggör samhällsekonomiskt effektiva styrmedel och prioriteringar för utbyggnaden och upptagningen av landansluten el. Rent konkret innebär detta att en prioriteringsordning tas fram för utbyggnaden av landström för trampsjöfarten i svenska hamnar. Vi visar också hur den samhällsekonomiska lönsamheten skiljer sig mellan tramp- och linjesjöfart genom att jämföra resultaten med motsvarande skattningar för container- och roro-fartyg.

2 Bakgrund och litteraturgenomgång

Här följer en beskrivning av landströmmens tekniska förutsättningar, utbyggnaden och nyttjandet av landström i Sverige samt en redogörelse för tidigare studier om utsläppsminskningar och samhällsekonomisk effektivitet. Avsnittet innehåller också en generell beskrivning av syftet med styrmedel och en redogörelse för befintliga och kommande styrmedel på nationell och internationell nivå.

1.1. Tekniska aspekter

Effektbehovet för landströmsanslutningar varierar mellan 700 kW för mindre fartyg upp till 15 MW för de största kryssningsfartygen (IEA 2020). Med landströmsanslutning avses installationer på fartyg och i hamnar som innebär att elektricitet från land kan användas när fartyget ligger vid kaj för att försörja den så kallade hotelldelen av fartyget med energi. Hotelldelen avser fartygets belysning, ventilation samt pumpar, kranar och annan utrustning som används vid lastning och lossning. Alternativet till landström är att fartyget använder hjälpmotorerna för att producera den energi som behövs vid kaj. Detta ska inte

förväxlas med laddstationer, som syftar till extern laddning av batterier avsedda för fartygets framdrift och som allt annat lika kräver betydligt högre effekter.

Tekniska specifikationer anges i ISO-standarden 8005-1. Standarden omfattar utformning, installation och testning av landströmsanslutningar i hamn och på fartyget. Inom EU är denna standard obligatorisk genom direktiv 2014/94/EU och regleras i Sverige genom förordning SFS 2016:917. EMSA, Europeiska sjösäkerhetsbyrån (2022), har utfärdat riktlinjer som riktar sig till hamnar och myndigheter och som är tänkta att hjälpa till med implementeringen av direktiv 2014/94/EU.

IMO arbetar med att ta fram riktlinjer för säkerhetskrav vid användning av landströmsanslutning i hamn. Riktlinjerna ska godkännas vid det kommande (107:e) mötet i Maritime Safety Committe (International Maritime Organization [IMO] 2023). Användning av OPS för tankfartyg kräver, på grund av brandrisken, extra säkerhetshöjande åtgärder. Göteborgs hamn leder projektet ”Green Cable” med syftet att ta fram en ny global standard för elanslutningar för tankfartyg (Göteborgs hamn u.å.).

Det finns aspekter som kan begränsa utbyggnaden av landström. Landströmsanslutningar kan ge upphov till relativt höga investeringskostnader (Zis 2019). Den standardisering som nämns ovan är begränsad till EU, men de tekniska förutsättningarna skiljer sig åt mellan EU och andra länder. En sådan skillnad är att fartygens elsystem kan kräva olika spänning (som kan variera mellan 110 volt och 11 kilovolt) och frekvens (som kan variera mellan 50 och 60 hertz [Hz]). I Sverige, med en frekvens på 50 Hz i elnätet, måste fartyg eller elanslutningen i hamnen utrustas med en konverterare i de fall fartyget kräver 60 Hz. Detta ökar kostnaderna avsevärt. Vidare kan en ökad elektrifiering resultera i att hamnar (framförallt de hamnar som tar emot stora kryssningsfartyg) saknar tillräckligt kapacitet i elnätet, vilket kräver kostsamma kapacitetsökningar (IEA 2020).

1.2. Utbyggnad och användning

Landströmsanslutningar globalt och i Sverige är i de flesta fall ämnade för roro-, ropax-, container- och kryssningsfartyg samt färjor, medan väldigt få anslutningar är avsedda för bulk- och tankfartyg (Zis (2019); Costa et al. (2022)). Mellan 10–15 procent av de container-, kryssnings- och ropaxfartyg som anlöper en EU-hamn har en landströmsanslutning installerad ombord (European Maritime Safety Agency [EMSA] 2021). 2021 erbjöd tolv hamnar i Sverige elanslutning.[1]

I februari 2023 genomfördes i Gävle hamn den första anslutningen av ett tankfartyg till elnätet, dock utan att strömmen slogs på (Rothvall 2023). I Göteborgs hamn planeras en landströmsanslutning för tankfartyg till 2023 (Göteborgs hamn 2021).

En fråga är hur mycket landström som faktiskt förbrukas varje år i Sverige, och hur stor andel av den totala energiförbrukningen i svenska hamnar som utgörs av landström. Skatteverket beslutar om återbetalning av energiskatt för den landström som förbrukas i svenska hamnar i det fall berörda rederier ansöker om och beviljas återbetalning (i enlighet med skattenedsättningen för landström enligt SFS 1994:1776). Dessa beslut visar att totalt cirka 18 GWh landström beviljades skattenedsättning under 2018[2]. Totalt ansökte 16 rederier om skatteåterbetalning och majoriteten av dessa återfinns inom ropax-

[1] Göteborg, Helsingborg, Kapellskär, Karlskrona, Luleå, Norvik, Nynäshamn, Piteå, Stockholm inklusive vissa innerstadskajer, Trelleborg, Ystad och Visby. Majoriteten är högvoltsanslutningar med 6,6 eller 11 kilovolt, att jämföra med 400 eller 690 volt för lågvoltsanslutningar. Källa: Transportstyrelsen, information presenterad vid seminarium om forskningsprojektet Kaj-el den 7 december 2021.

[2] Då ansökan om återbetalning av skatt för förbrukad landström får göras inom tre år från förbrukningsdatum redovisas förbrukningen för 2018 för att säkerställa att uppgifterna är rättvisande. I besluten från Skatteverket indikerar den höga energiförbrukningen för vissa rederier att skattenedsättning sannolikt har beviljats även för

segmentet. I DNV Sweden AB (2022) uppskattas med hjälp av AIS-data (AIS står för Automatic Identification System och innehåller information om fartygsposition och andra parametrar) det totala energibehovet i svenska hamnar till cirka 700 GWh per år, vilket skulle innebära att ungefär 2,6 procent av energiförbrukningen (18 GWh av 700 GWh) utgjordes av landström 2018. Det innebär också att det totala energibehovet i svenska hamnar utgör cirka 0,5 procent av den totala elförbrukningen i Sverige som är cirka 140 TWh per år. Att användningen av landström sannolikt har ökat sedan 2018, att Skatteverkets uppgifter om landströmsförbrukning förmodligen underskattar användningen då endast den landström som rederier har beviljats skattenedsättning för framgår av Skatteverkets uppgifter, samt att skattenedsättningen endast omfattar fartyg vars bruttodräktighet överstiger 400 (bruttodräktighet är ett enhetslöst mått som beskriver den totala volymen på ett fartygs alla inneslutna utrymmen), innebär sammantaget att 2,6 procent ska ses som en lägsta andel. I Trafikanalys (2022) uppskattas den totala landströmsförbrukningen för 2020 till 34 GWh, vilket ger en andel på cirka fem procent. Här verkar dock även laddning av batterier för fartygets framdrift ingå, vilket riskerar att överskatta landströmsförbrukningen. Av detta drar vi slutsatsen att landströmsförbrukningen i svenska hamnar i dagsläget sannolikt ligger i eller i närheten av spannet 18–34 GWh, vilket innebär en landströmsandel på ungefär 2,6–5 procent av totalt energibehov. Om vi använder de uppgifter om bränsleförbrukning för hjälpmotorer och den emissionsfaktor för koldioxid som framgår av Tabell 1, innebär en landströmsförbrukning på 18–34 GWh en minskning med cirka 12 000 – 23 000 ton koldioxid årligen (förutsatt att elen är helt fossilfri).

Stolz et al. (2021) beräknar den totala energiförbrukningen och de totala koldioxidutsläppen för 2018 i de 714 hamnar i Europa som hade minst ett anlöp av ett fartyg enligt MRV-rapporteringen för 2018.[3] Här framgår att bulk-, tank- och torrlastfartyg står för cirka 25 procent av alla koldioxidutsläpp i svenska hamnar. Då MRV endast täcker fartyg med en bruttodräktighet som överstiger 5000, bör dock andelen tolkas med försiktighet.

1.3. Ekonomiska aspekter

På senare år har sjöfartens utsläpp uppmärksammats mer och många har valt att undersöka nyttorna med OPS och dess ekonomiska förutsättningar. Nedan följer ett urval.

Företaget CE Delft tog 2016, på uppdrag av Nederländernas infrastrukturdepartement, fram ett excelbaserat verktyg för att beräkna företagsekonomiska såväl som samhällsekonomiska kostnader och nyttor med OPS (CE Delft 2016). De företagsekonomiska kostnaderna och intäkterna utgörs av investeringar i hamnterminaler och fartyg, förändrade rörliga kostnader beroende på prisskillnaden mellan elektricitet och traditionella bränslen samt lägre underhållskostnader jämfört med om hjälpmotorerna används. De externa kostnaderna består av koldioxidutsläpp, luftföroreningar och buller.

Flera studier beräknar rederiers företagsekonomiska kostnader för investeringar i landström. I exempelvis Yiğit et al. (2016) analyseras enhetskostnaden för olika konventionella bränslen jämfört med enhetskostnaden för landström i hamnar i 31 länder. Studien finner att användning av landström skulle vara lönsamt i många länder (beroende på prisskillnaden mellan elektricitet och konventionella bränslen), med en minskning av energikostnaderna per enhet med upp till 75 procent.

elektricitet som används för att ladda batterier för fartygets framdrivning. Då det inte går att exakt avgöra hur stor del av förbrukningen som härrör från laddning av batterier har vi, genom att exkludera energiförbrukning som uppenbart verkar ha använts för fartygets framdrivning (cirka 7,5 GWh), hamnat på 18 GWh som antas vara landströmsförbrukning.

[3] Beräkningen görs genom att kombinera uppgifter från AIS och MRV-databasen, där utsläpp av koldioxidutsläpp för fartyg över 5 000 brutto registreras.

Andra studier lägger ett större fokus på de samhällsekonomiska aspekterna med OPS. Ballini och Bozzo (2015) fokuserar på lokala luftföroreningar[4] i hamnar genom att studera utsläppen för kryssningsfartyg för ett planerat kajläge i Köpenhamn. Modellen som används för att beräkna kostnaden för utsläppen visar, tillsammans med antaganden om kostnaden för att installera landströmsanslutningar, att en sådan investering kan betala sig på 12–13 år i form av minskade utsläppskostnader, förutsatt att 60 procent av alla kryssningsfartyg använder OPS. I denna beräkning har ingen hänsyn tagits till minskade koldioxidutsläpp. På liknande sätt visar Innes och Monios (2018) hur en investering i OPS för färjor och offshore-fartyg i en medelstor hamn (Aberdeen i Skottland) leder till en samhällsekonomisk lönsamhet efter 7–14 år. Även Spengler och Tovar (2021) analyserar de samhällsekonomiska vinsterna med landström. De menar att landström bara kan anses vara dyrt om hänsyn endast tas till minskade utsläpp av koldioxid, men att landström är lönsamt om hänsyn även tas till minskade luftföroreningar.

I Holmgren (2020), en delrapport inom ramen för projektet ”Morötter och piskor inom sjöfarten för att uppnå miljökvalitetsmål” vid VTI, beräknas kostnader för och utsläppsminskningar av växthusgaser till följd av OPS. Kostnadsberäkningarna innefattar kostnaden för att installera OPS på fartyget, förändrade kostnader för drift och underhåll samt i flera fall kostnadsbesparingar till följd av minskad bränsleförbrukning. Kostnaderna som uppstår för hamnen vid en investering i OPS ingår inte i beräkningarna. I studien antas vidare att ett fartyg som är ombyggt för OPS kan ansluta till landström i alla hamnar som fartyget anlöper. Utifrån dessa förutsättningar är kryssningsfartyg, där en stor andel av bränsleförbrukningen sker i hamn, exempel på ett segment där en landströmsanslutning ger stora klimatnyttor. Om rederiernas kostnader och nyttor inkluderas i beräkningen är det endast för ropax-segmentet som det är lönsamt för rederierna att investera i OPS (Holmgren 2020). I Vierth (2020), som också är en delrapport inom ovan nämnda projekt, anges att rederiernas investeringskostnader i OPS är oberoende av fartygets storlek, och att lönsamheten för sådana investeringar därför typiskt sett är lägre för mindre fartyg, som förbrukar mindre energi vid kaj.

Flera samhällsekonomiska studier argumenterar för att ett större statligt engagemang krävs för att komma runt det så kallade hönan och ägget-problemet, där både sjöfartsbranschen och hamnarna väntar på att den andra parten ska ta initiativet och installera en landströmsanslutning på fartyget respektive i hamnen. I Wang et al. (2021) modelleras statliga subventioner för att hitta den optimala avvägningen mellan subventioner riktade till landströmsutbyggnad i hamnar (stöd till hamnar) och subventioner till själva driften av anläggningen (indirekt stöd till rederier genom lägre elpriser) med avseende på minskning av koldioxidutsläpp vid kaj. På liknande sätt modellerar Wu och Wang (2020) den optimala nivån för statliga subventioner med syftet att minska utsläppen vid kaj från containerfartyg. Vidare presenterar Dai et al. (2019) en metod för att bedöma lönsamheten för investeringar i OPS från hamnens perspektiv i en kinesisk kontext. Författarna menar att en subvention av elpriset kan vara att föredra framför det stöd till utbyggnaden av själva infrastrukturen som ges idag, eftersom hamnarna så som styrmedlen är utformade förlorar på att tillhandahålla el när infrastrukturen väl är på plats.

Bullock et al. (2023) genomför en fallstudie i hamnen i Aberdeen i Skottland och analyserar hur kajplatser ska prioriteras för fartyg med OPS, hur efterfrågan ser ut samt vilken typ av styrmedel som kan öka projektets genomförbarhet. Studien visar att OPS i Aberdeen skulle resultera i stora samhällsekonomiska nettonyttor, men att statliga styrmedel både i form av stöd till att installera OPS och skattesänkningar på elektricitet krävs för att satsningar på OPS faktiskt ska bli av.

[4] Svaveloxider (SO_2), kväveoxider (NO_X), flyktiga organiska ämnen / Volatile Organic Compounds (VOC) och partiklar (PM).

Martínez-López et al. (2021) uppskattar nivån på miljöavgifter i hamnar som behövs för att internalisera de externa kostnaderna för luftföroreningar som orsakas av konventionella bränslen, och därigenom göra landström mer attraktivt. Avgiften är tänkt att betalas av de fartyg som använder konventionella bränslen, med en avgiftsnivå som avgörs av skillnaden mellan utsläpp från konventionella bränslen och landström.

De beskrivna studierna använder olika metoder och ingångsvärden för att beräkna samhällsekonomiska och företagsekonomiska kostnader och nyttor med OPS, vilket gör att resultaten inte är direkt jämförbara. Med det sagt är den sammantagna bilden tydlig. Studierna visar att OPS ofta är lönsamt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv (där hänsyn tas även till externa kostnader) och ibland även ur ett mer strikt företagsekonomiskt perspektiv. Samtidigt är trampsjöfarten, som är huvudfokus i föreliggande studie, ett segment som är i stort sett obeforskat i detta hänseende.

Att landströmsinvesteringar i många fall är samhällsekonomiskt lönsamma lär i högre grad gälla för Sverige jämfört med många andra länder. I exempelvis Göteborgs hamn levereras elektricitet med en emissionsfaktor (alltså hur mycket föroreningar en viss mängd bränsle eller elektricitet bidrar med) för koldioxid på 10,5 gram per kWh. Många andra länder har betydligt högre emissionsfaktorer. Exempelvis levererar Antwerpen, som är Europas näst största hamn, elektricitet med en emissionsfaktor på 207 gram koldioxid per kWh. En landströmsanslutning i Sverige innebär alltså betydligt lägre utsläpp jämfört med de flesta andra länder (Zis 2019).

1.4. Styrmedel

Även om många studier visar på samhällsekonomiska fördelar med OPS, understryker flera studier också behovet av styrmedel för att främja utbyggnad i hamn och upptag på fartygssidan (se ovan). Givet att största möjliga samhällsnytta är målet behövs ibland styrmedel för att kompensera för marknadsmisslyckanden. Ett sådant exempel är utsläpp av koldioxid och luftföroreningar som orsakar externa kostnader, alltså negativa effekter som inte är prissatta på någon marknad (Söderholm & Hammar 2005). Om fartygsägarens kostnader för hjälpmotorerna är lägre än de samhälleliga kostnaderna ges incitament att släppa ut mer än vad som är optimalt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Att uppnå en optimal utformning av styrmedel är svårt, men det finns ändå några generella aspekter att ta hänsyn till när styrmedel utformas. En intuitiv aspekt är att ett styrmedel är effektivt om det innebär en minskning av utsläpp till lägsta möjliga kostnader för samhället, jämfört med andra styrmedel och åtgärder. Kostnaden bör också drabba den som orsakar utsläppen enligt principen att förorenaren betalar. Tanken är att förorenarna får incitament att undvika skador på miljö och klimat eftersom de hålls ansvariga för de föroreningar som de orsakar.

För utsläpp av koldioxid lyfts ofta en globalt heltäckande och enhetlig prissättning via en koldioxidskatt eller utsläppsrätter fram som det mest effektiva sättet att minska utsläppen (se exempelvis Konjunkturinstitutet (2020) och Trafikverket (2016)). Då undviks också ett stort antal styrmedel inom samma område, något som annars kan göra det svårt att förutsäga styrmedlens samlade effekt. Flera styrmedel på samma område riskerar också att leda till omfattande administration både för berörda myndigheter och de aktörer som styrmedlen riktar sig mot. Vidare ger en prissättning av utsläpp också privatpersoner och företag möjligheten att själva välja *på vilket sätt* utsläppsminskningarna åstadkoms. På så vis behöver inte lagstiftaren försöka förutse och besluta om *vilka* åtgärder som ska vidtas för att åstadkomma en minskning. En fördel särskilt med prissättning via utsläppsrätter är att utsläppen i alla fall i teorin sker till lägsta möjliga kostnad, eftersom minskningen av utsläpp kommer att vara störst hos de aktörer och sektorer som har den lägsta marginalkostnaden för att minska utsläppen. Andra aktörer

med en marginalkostnad för utsläppsminskningar som överstiger priset på utsläppsrätter kommer i stället att köpa utsläppsrätter. Vid en reglering åläggs i stället aktörer med olika kostnader för att minska utsläppen att minska dessa lika mycket, vilket leder till högre samhällsekonomiska kostnader (Söderholm och Hammar 2005).

En annan anledning till att just en global prissättning på koldioxid förespråkas är för att undvika koldioxidläckage (carbon leakage), det vill säga att en källa till växthusgasutsläpp bara flyttas medan de totala utsläppen förblir oförändrade. Inom sjöfarten är, på grund av dess globala karaktär, risken för koldioxidläckage stor. Det är en bidragande orsak till att sjöfartens klimateffekter historiskt sätt har varit relativt oreglerade jämfört andra trafikslag. Marint bränsle är undantaget beskattning inom EU, delvis på grund av att fartygen kan undvika beskattning genom att bunkra i ett land där marint bränsle inte beskattas.

I Sverige har en del styrmedel införts för att stötta en övergång till landström. Under senare år har även flera åtgärder lyfts på EU-nivå inom ramen för 55 %-paketet för att minska sjöfartens utsläpp. Nedan följer de styrmedel som antingen redan tillämpas eller planeras och direkt berör utbyggnad eller upptag av OPS i Sverige.

EU-direktiv (2014/94/EU) innehåller, förutom tekniska specifikationer för landströmsanslutningar (se ovan), också krav på att medlemsstaterna senast 2025 under vissa förutsättningar ska säkerställa att hamnar i TEN-T:s (det transeuropeiska transportnätet) stomnät tillhandahåller landström. Kraven gäller förutsatt att landströmsutbyggnad faktiskt efterfrågas i det enskilda fallet samt att kostnaderna inte är oproportionerliga jämfört med de ekonomiska och miljömässiga nyttorna. Vidare kan Länsstyrelsen, när tillstånd utfärdas för hamnverksamhet, kräva av hamnägaren (ofta kommunen) att en landströmsanslutning erbjuds. Ett sådant exempel är miljötillståndet för Norvik hamn, där det framgår att ”bolaget ska senast vid idrifttagandet av en kaj ha försett kajen med elanslutning för fartyg som ligger vid kajen” (Dom nr M 9616-14 2015, s. 5).

Fartyg som använder OPS i svenska hamnar får en skattenedsättning för den elektricitet som förbrukas. Skatten är nedsatt till 0,6 öre per kWh, att jämföra med den vanliga skattenivån på 49 öre per kWh för 2023. Den lägre skatten gäller fartyg i yrkesmässig trafik med en bruttodräktighet över 400 (SFS 1994:1776).

Klimatklivet är ett annat styrmedel som består av investeringsstöd till åtgärder som minskar utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser. Sedan starten 2015 har stöd beviljats till landströmsanslutningar i bland annat Göteborg, Gävle och Stockholm (Naturvårdsverket 2021).

55 %-paketet (Fit for 55) innehåller förslag på mer långtgående krav på tillhandahållande och användning av landström genom förslaget om alternativ bränsleinfrastruktur (AFIR) och förslaget FuelEU Maritime. När detta skrivs i maj 2023 har en preliminär överenskommelse nåtts mellan rådet och Europaparlamentet om de båda lagförslagen som ännu inte har offentliggjorts. När det gäller AFIR framgår det av rådets hemsida (2023a) och själva lagförslaget (Europeiska kommissionen 2021a) att landström ska tillhandahållas för container- och passagerarfartyg senast 2030 i kusthamnar som ingår i TEN-T:s stomnät eller övergripande nät, och som de senaste tre åren i genomsnitt har haft mer än 40, 50 respektive 25 anlöp årligen av containerfartyg, ropax-fartyg eller passagerarfartyg med en bruttodräktighet över 5 000. För dessa fartygssegment ska hamnen kunna tillgodose minst 90 procent av efterfrågan på landström. Vidare anges att inlandshamnar i TEN-T:s stomnät och övergripande nät senast den 1 januari 2030 ska ha minst en anläggning för landströmsförsörjning.

Lagförslaget FuelEU Maritime (Europeiska kommissionen 2021b) innebär att containerfartyg och passagerarfartyg från och med 2030 med vissa undantag ska använda landström för hela sitt energibehov i hamnen. På rådets hemsida (2023b) framgår att vissa ändringar har gjorts i den preliminära överenskommelsen jämfört med ursprungsförslaget, och som handlar om att synkronisera kraven med de kravs som ställs i AFIR. Vad dessa ändringar består i framgår inte.

2. Landströmmens kostnader och nyttor

För projektet har en modell utvecklats för att skatta nyttor och kostnader för olika utbyggnadsnivåer av OPS i Sverige som först presenterades i delleveransen Merkel et al. (2022). Analyser görs för fem olika fartygssegment: bulkfartyg, tankfartyg, torrlastfartyg, rorofartyg och containerfartyg. Fartyg inom de tre första segmenten används främst inom trampsjöfart medan rorofartyg och containerfartyg ofta går i linjetrafik. Estimat för container- och rorofartyg tas fram för att jämföra hur landströmmens samhällsekonomiska lönsamhet skiljer sig mellan tramp- och linjesjöfart. Containerfartyg planeras, till skillnad från övriga studerade segment, dessutom ingå i 55 %-paketets förslag gällande krav på tillgång till landström i hamn (Europeiska kommissionen 2021a).

För analysen definieras en relativt enkel modell med två agenter: hamnar och fartygsägare. Fartygsägare antas vara perfekt informerade och agera vinstmaximerande medan hamnars beslut att investera i OPS antas ske exogent. Deras beslut är med andra ord oberoende av modellens parametervärden och beror på faktorer utanför modellen, till exempel styrmedel. Utifrån olika antagna utbyggnadsscenarier skattas upptaget av landström på fartygssidan, vilket i sin tur ger emissionsminskningar och samhällsekonomisk lönsamhet vid olika utbyggnadsnivåer av landström. På så sätt identifieras det optimala antalet hamnar med OPS för varje fartygssegment, det vill säga antalet som ger störst samhällsekonomiska nettonyttor.

Modellerade utfall jämförs dessutom för två olika antaganden rörande hamnars prissättning på landström, vinstmaximerande (företagsekonomiskt optimalt) eller välfärdsmaximerande (samhällsekonomiskt optimalt). Priset på landström är direkt avgörande för fartygsägares beslut att investera i landström och påverkar på så sätt de realiserade samhällsekonomiska nettonyttorna. Jämförelsen synliggör hur pass stor den påverkan faktiskt är.

Nedan följer en beskrivning modellens teoretiska bakgrund, indata och resultat. Slutligen presenteras fyra känslighetsanalyser.

2.1. Metod

2.1.1 Teoretisk bakgrund

Den årliga vinsten av att investera i landströmsteknik för en fartygsägare (s) kan uttryckas som

$$\pi_s = \sum_j A_j E_j \left[P_f Q_f - P_e Q_e - C_p \right] - C_r$$

Där A_j är antalet anlöp per år som fartyg s gör i hamn j och E_j är en binär variabel som indikerar om hamnen har OPS. P_f är priset på marint bränsle, Q_f mängden bränsle som hjälpmotorerna förbrukar vid kaj, P_e priset på landström (vilket inkluderar spotpriset på marknaden, elnätsavgifter samt skatt med inräknat skatteavdrag), Q_e mängden landström som behövs för att motsvara energin som hjälpmotorerna genererar vid kaj (inräknat konverteringsförluster), C_p avgiften per anlöp som hamnar tar ut för att låta

fartyg koppla upp mot elnätet och C_r fartygets kostnad för att investera i landströmsteknik omräknat i annuiteter.[5]

Den årliga vinsten för en hamn (p) som investerar i landströmsinfrastruktur kan i sin tur skrivas som

$$\pi_P = \sum_i A_i D_i \left[C_{p,i} - C_a\right] - n_b C_b$$

Där A_i är antalet anlöp per år som fartyg i gör i hamn p, $C_{p,i}$ avgiften som hamnen tar ut för att ansluta fartyget till elnätet, C_a hamnens marginalkostnad for anslutningen av fartyget, n_b antalet kajer med landströmsanslutning och C_b annuitetskostnaden per kajinvestering. D_i är en binär variabel som indikerar om fartyg i kan använda landström.

C_p antas vara en fast avgift per anlöp som tas ut för själva uppkopplingen mot landström eftersom det inte är tillåtet i Sverige för hamnar att göra påslag på själva elpriset. Hamnen måste alltså erbjuda elektricitet till samma pris som de själva betalar till elleverantören (Costa et al. 2022). I praktiken kan dock en fast avgift användas för att replikera ett påslag om hamnarna tillåts differentiera avgiften mellan fartyg, vilket antas i modellen. Däremot antas avgiften för ett givet fartyg inte variera mellan hamnar.

Två olika prissättningar på C_p modelleras. Dels undersöks utfallet av att hamnarna antas agera helt vinstmaximerande. De prissätter då avgiften för varje enskilt fartyg enligt:

$$C_p^* = max\ (P_f Q_f - Q_e P_e - \frac{C_r}{\sum_j A_j D_j}; C_a)$$

Det vill säga, för att vinstmaximera sätter hamnarna avgiften så pass högt att ett givet fartyg betalar hela sin vinst av att använda landström i avgift till hamnen, samtidigt som avgiften är precis så pass låg att incitamenten för fartygsägare att investera i landströmsteknik kvarstår. Den optimala avgiftsnivån kan härledas från fartygsägarnas vinstekvation, och fås av skillnaden mellan summan per anlöp som ett fartyg sparar av att använda landström $\left(P_f P_e - Q_e P_e\right)$ och fartygets kostnad för att investera i landströmsteknik, delat på antalet anlöp som fartyget gör i hamnar med OPS. Om avgiften som täcker hela fartygsägarens vinst är lägre än hamnens marginalkostnad för att koppla upp fartyget mot elnätet, tar hamnen i stället ut sin marginalkostnad i avgift (C_a) för att undvika att gå med förlust. Värt att notera är att om hamnarna använder vinstmaximerande prissättning så hamnar hela det ekonomiska överskottet som skapas av landströmsinvesteringar hos hamnarna.

Om hamnar i stället antas ta ut en välfärdsmaximerande avgift behöver de minskade externa kostnaderna för utsläpp av koldioxid och luftföroreningar till följd av landströmsanvändningen inkluderas i prissättningen. De minskade externa kostnaderna per fartyg, ΔC_e, består av summan av utsläppskostnader som undviks till följd av användandet av landström gånger antalet anlöp som görs i hamnar med landströmsanslutning:

$$\Delta C_e = \sum_j A_j E_j \left[E_{CO2} Q_f P_{CO2} + E_{AP} Q_f P_{AP}\right]$$

E_{CO2} är emissionsfaktorn för koldioxid (ton utsläpp per ton använt bränsle) och P_{CO2} kostnadsvärderingen per utsläppt ton koldioxid. E_{AP} och P_{AP} är en sammantagen emissionsfaktor respektive kostnadsvärdering för relevanta luftföroreningar. Landström antas produceras utan externa kostnader vilket är ett rimligt antagande för svenska hamnar (Börjesson et al. 2021; Stolz et al. 2021).

Den samhällsekonomiska marginalkostnaden är väletablerad inom nationalekonomisk teori som ”första-bästa” princip (first-best) för prissättning av infrastruktur. Om prissättningen speglar de kostnader som

[5] Investeringskostnaden räknas om till annuiteter enligt $C_r = C_{inv} \frac{r}{1-(1+r)^{-t}}$ där C_{inv} är den totala investeringskostnaden, r räntesatsen och t investeringens livslängd.

nyttjandet av en resurs ger upphov till, kommer användare att internalisera dessa kostnader i sina konsumtionsbeslut vilket i slutändan leder till ett effektivt nyttjande av resurser. I nuläget finns inga internaliserande skatter på utsläpp från fartyg i hamn i Sverige vilket gör att de nyttor som skapas av landströmsanvändning, det vill säga minskade koldioxidutsläpp och luftföroreningar, är helt externa för fartygsägare. Ett sätt att få fartygsägarna att internalisera nyttorna i sitt investeringsbeslut är att de speglas i avgiften för landström. Hamnavgiften som maximerar den samhällsekonomiska nettonyttan blir därför skillnaden mellan hamnens marginalkostnad C_a för tillhandahållandet av landström och den externa marginalkostnaden som undviks vid användandet av landström i stället för hjälpmotorer:

$$C_{p,w}^{*} = C_a - \left[E_{CO2}Q_f P_{CO2} + E_{AP}Q_f P_{AP}\right]$$

Hamnars marginalkostnad för landströmsuppkoppling är oftast mindre än de externa kostnader som användandet av hjälpmotorer ger upphov till, vilket gör att den samhällsekonomiskt optimala hamnavgiften för landströmsuppkoppling i de flesta fall är en subvention.

2.1.2 Modellansats

Från det ovan beskrivna ramverket härleds en beslutsmodell för att utvärdera de samhällsekonomiska nettonyttorna av olika utbyggnadsscenarion av OPS. Som nämns ovan modelleras investeringar i hamnen som exogena och givet ett antal olika utbudsscenarion av OPS undersöks hur viljan hos fartygsägare att investera i landströmsteknik påverkas av olika prissättningar på avgiften för landström, och vilka samhällsekonomiska nettonyttor som upptaget leder till.

Om $E = \{E_1, .., E_j, ... E_m\}$ är en vektor av binära beslutsvariabler som beskriver tillgången på OPS i alla m hamnar i ett givet nätverk så kan de samhällsekonomiska nettonyttorna av att investera i landströmsteknik skattas enligt

$$NB|E = \sum_i \sum_j A_{i,j} E_j D_i \left[P_f Q_f - P_e Q_e - C_a\right] + \sum_i \sum_j A_{i,j} E_j D_i \left[E_{CO2} Q_f P_{CO2} + E_{AP} Q_f P_{AP}\right] - \sum_i D_i C_{r,i} - \sum_j E_j n_b C_b + \sum_i \sum_j A_{i,j} E_j D_i \left[Q_{e,i} t\right]$$

Vilket förenklat kan beskrivas som nettot av i) kostnadsbesparingar av att byta från fartygsbränsle till landström, ii) minskade externa kostnader för koldioxidutsläpp och luftföroreningar, ii) investeringskostnader för fartygsägare och hamnar och iv) ökade skatteintäkter (t är nettoskatten på elektricitet per kWh som också är inräknad i elpriset P_e) eftersom en obeskattad energikälla (marinbränsle) byts mot en beskattad (elektricitet). Valet för fartygsägare att investera i landströmsteknik (D_i) som svar på tillgången till landströmsanslutningar (E) modelleras

$$D_i|E = \begin{cases} 1 \; if \; \left(\pi_{s,i}|E\right) \geq 0 \\ 0 \; if \; \left(\pi_{s,i}|E\right) < 0 \end{cases}$$

Med andra ord väljer en fartygsägare att investera i landströmsteknik så fort summan av deras kostnadsbesparingar är lika med investeringskostnaden.

Modellen fångar de nätverkseffekter som följer av landströmsinvesteringar. Fartyg besöker ofta flera hamnar, vilket gör att varje ytterligare hamn med landströmsanslutning som anlöps ökar lönsamheten för fartygsägare av att investera i landströmsteknik. Hamnarnas investeringar i och kostnader för landström är i sin tur inte oberoende av varandra. Att en hamn installerar landströmsanslutningar kan öka efterfrågan på landström även i andra hamnar då fler fartygsägare väljer att investera till följd av det utökade utbudet, vilket i sin tur kan göra investeringar även i de andra hamnarna mer lönsamma. Med andra ord ökar efterfrågan på landström med utbudet av landström och lönsamheten för tillhandahållande av landström ökar i sin tur med efterfrågan. Det är därför möjligt att nettonyttorna av att flera hamnar investerar i landström är större än summan av nettonyttor från isolerade investeringar i samma hamnar.

Modellen skattas enligt följande. Först skattas de samhällsekonomiska nettonyttorna av att varje hamn enskilt skulle investera i landström. Därefter tas en optimal hamninvesteringsordning fram genom att succesivt beräkna (för *j* i 1:m där *m* är antalet hamnar i nätverket) vilken ytterligare hamninvestering som skulle ge störst marginalnettonytta. På så sätt skapas *m* alternativa investeringsscenarion. I scenario 1 har den hamn som ger störst enskild nettonytta investerat i landström och för varje efterföljande scenario har ytterligare en investering gjorts i den hamn som på marginalen ger störst nettonytta.[6] För varje scenario beräknas sedan, utifrån de två investeringsscenarierna vinstmaximering respektive välfärdsmaximering, upptaget av landströmsteknik på fartyg, den utsläppsminskning som landströmstekniken leder till och den marginella reduktionskostnaden (marginal abatement cost, MAC) per ton koldioxid.[7]

2.2. Data

Skattningen av modellen utgår huvudsakligen från Sjöfartsverkets uppgifter om alla kommersiella anlöp som gjorts i svenska hamnar under perioden 2016 – 2019.[8] Datasetet innehåller detaljerad information om varje anlöp vilket bland annat inkluderar fartygets ankomstdatum, fartygstyp och IMO-nummer vilket möjliggör matchning med externa databaser. Datasetet kompletteras med teknisk fartygsinformation som erhållits från företaget IHS Markit.

För varje studerat fartygssegment definieras ett hamnnätverk genom att inkludera alla hamnar där åtminstone ett fartyg i segmentet lagt till mellan 2016 – 2019. Antalet fartyg inom varje segment och storlek på hamnnätverk skiljer sig något mellan segmenten. Mellan 2016 – 2019 anlöpte 572 bulkfartyg 48 olika hamnar. För tankfartyg och torrlastfartyg är siffrorna högre, 1 329 tankfartyg besökte 64 olika hamnar och 1 767 torrlastfartyg besökte 101 hamnar. Roro- och containerfartyg har däremot betydligt mindre nätverk, endast 377 respektive 314 fartyg anlöpte 39 respektive 28 hamnar.

För fartygens investeringskostnader används estimat från the Global Maritime Energy Efficency Partnerships Project (GloMeep 2020), vilket är ett initiativ av IMO i syfte att stötta en ökad användning av energieffektiva lösningar inom sjöfarten. För att öka reliabiliteten i GloMeeps estimat har svenska tankfartygsägare som befinner sig i pågående investeringsprocesser konsulterats. De bedömde i stort GloMeeps estimat som rimliga.

Hamnars investeringskostnader skattas utifrån siffror från initiativet Klimatklivet (Naturvårdsverket 2022), som har bidragit med investeringsstöd i flera landströmsprojekt. För projekt som Klimatklivet har medfinansierat ligger den genomsnittliga investeringskostnaden per kaj på ungefär 7 miljoner kronor. Dock varierar kostnaden för landströmsinvesteringar mycket från fall till fall. Till exempel kan kostnaderna bli mer än dubbelt så höga om konverterare behöver installeras.[9] För både hamn- och fartygsinvesteringar antas en ekonomisk livslängd på 15 år (15–20 år tenderar att vara hamnarnas egen bedömning) och en diskonteringsränta på fyra procent. Marginalkostnaden för att tillhandahålla landström tas från CE Delft (2016) som beräknar en årlig driftkostnad på runt fem procent av

[6] För enkelhetens skull, och då anlöpsdata per kaj saknas, så antas att en hamn som investerar i OPS utrustar alla kajer för ett givet segment med landströmsanslutningar. Antalet kajer som behöver utrustas beräknas (avrundat uppåt till närmsta heltal) genom $\sum_i A_i/(\frac{365}{l})$ där A_i är antalet anlöp per segment och l den genomsnittliga liggtiden vid kaj i antal dagar.

[7] MAC ska förstås som kostnaden för att minska utsläppen med ytterligare en enhet.

[8] Datasetet inkluderar alla fartyg som behöver betala farledsavgifter vilket exkluderar servicefartyg, fartyg som används i lokaltrafik och fartyg som är mindre än 300 GT. För de studerade segmenten borde eventuellt bortfall vara försumbart.

[9] I Sverige, där frekvensen i elnätet är 50 Hz, måste fartygen eller landanslutningarna utrustas med en konverterare om fartyg vars elsystem har en frekvens på 60 Hz ska kunna anslutas.

investeringskostnaden. Utifrån detta, samt den ovan antagna investeringskostnaden per kaj och ett antagande om 300 anlöp per år, blir hamnarnas marginalkostnad för driften av landströmsanslutningar cirka 1040 kronor per anlöp.

Två av de kanske viktigaste värdena i modellen är priserna på elektricitet och marinbränsle eftersom förhållandet mellan dessa har en stor påverkan på incitamenten för fartygsägare att investera i landströmsteknik. Elpriset i modellen baseras på 2021 års genomsnittliga marknadsspotpris för icke-hushållskonsumenter (Statistiska centralbyrån 2022), 0,56 kronor per kWh. För elnätsavgifter används det nationella genomsnittet för samma år, 0,2 kronor per kWh. 2021 låg skatten på elektricitet på 0,356 kronor per kWh men, som nämns ovan, tillämpas skattelättnader för landström (som betalas ut retroaktivt) på 0,35 kronor per kWh. Nettoskatten på landström 2021 blir då 0,006 kronor per kWh och priset på landström allt inräknat blir 0,766 kronor per kWh. Konverteringsförluster antas ligga på åtta procent utifrån Zis et al. (2014). Fartygsbränsle antas kosta 5543 kronor per ton baserat på det genomsnittliga bunkerpriset på tjockolja med låg svavelhalt (i enlighet med nivån i svavelkontrollområdet SECA i Östersjön) i Rotterdam under 2021. För en hjälpmotor med en bränsleförbrukning på 210 g/kWh ger det en kostnad på ungefär 1,16 kronor per kWh producerad energi.

Emmisonsfaktorer för koldioxidutsläpp och luftföroreningar tas från IMO:s fjärde växthusgasstudie (2021) medan deras respektive kostnadsvärderingar kommer från Europeiska kommissionens handbok över transporters externa kostnader (van Essen et al. 2019). De luftföroreningar som inkluderas är kväveoxider (NO_x), svaveloxider (SO_x) och luftpartiklar (PM). Externa kostnader av buller och utsläpp till vatten bortses ifrån då tillförlitliga data och kostnadsvärderingar saknas.

Fartygens liggtid vid kaj skattas utifrån AIS-data.[10] Fartygen i Sjöfartsverkets anlöpsdata matchas först mot ett dataset över alla AIS-spårade fartygsrörelser i Östersjön under 2019. Fartygens positionsangivelser matchas sedan med ett antal geografiska polygoner som representerar svenska hamnområden och genomsnittliga kajtider kan på så sätt skattas per anlöp och fartygssegment. För att genomsnitten ska vara så representativa som möjligt exkluderas väldigt korta liggtider (< 5 timmar). Bulkfartyg spenderar i snitt 99 timmar vid kaj, tankfartyg 32 timmar, rorofartyg 33 timmar och torrlastfartyg 28 timmar. Containerfartyg å andra sidan spenderade endast 21 timmar i snitt vid kaj.

[10]AIS-data och geografiska polygoner för svenska hamnar har tillhandahållits av the Baltic Marine Environment Protection Commission (HELCOM).

Tabell 1. Parametrar och värden i huvudanalysen

Modellparameter	***Värde/Intervall***	***Källa***
Investeringskostnad per kaj (SEK)	7 miljoner	Naturvårdsverket (2022)
Elpris (spot) (SEK/kWh)	0,56	SCB (2022)
Nätverksavgift (SEK/kWh)	0,2	SCB (2022)
Skatt på el (SEK/kWh)	0,356	SCB (2022)
Skatteavdrag för landström (SEK/kWh)	0,35	SCB (2022)
Investeringskostnad för fartyg (SEK)	[3 279 500 – 7 027 500]	GloMEEP (2020)
Hjälpmotorers energiproduktion vid kaj (kWh)	[110 - 2500]	IMO (2021)
Konverteringsförlust	8%	Zis et al. (2014)
MGO (SEK/ton)	5543	Ship & Bunker (2022)
Hjälpmotorers bränsleförbrukning (g/kWh)	[185 - 210]	IMO (2021)
Liggtid vid kaj (timmar)	[21 - 99]	AIS
Marginal operating and maintenance cost (SEK)	100	
Emissionsfaktor för CO2e (kg/kg använt bränsle)	3,206	IMO (2021)
Emissionsfaktor för SOx (kg/kg använt bränsle)	0,00264	IMO (2021)
Emissionsfaktor för NOx (kg/kg använt bränsle)	0,05762	IMO (2021)
Emissionsfaktor för PM (kg/kg använt bränsle)	0,00097	IMO (2021)
Samhällsekonomisk kostnad av CO_2 (SEK/ton)	1040	van Essen et al. (2019)
Samhällsekonomisk kostnad av SOx (SEK/ton)	71 760	van Essen et al. (2019)
Samhällsekonomisk kostnad av NOx (SEK/ton)	82 160	van Essen et al. (2019)
Samhällsekonomisk kostnad av PM (SEK/ton)	190 320	van Essen et al. (2019)

Tabell 1 sammanfattar modellens parametervärden medan Tabell 2 redovisar deskriptiv statistik för fartygs- och anlöpsdatan. Som framgår i Tabell 2 finns det stor variation mellan segmenten rörande hur många anlöp som fartyg gör per år och hur många olika hamnar de anlöpte mellan 2016 – 2019. För segmenten som ofta används i så kallad trampsjöfart har bulkfartyg mer sporadiska anlöpsmönster jämfört med tank- och torrlastfartyg, både i termer av antal besökta hamnar och årliga anlöp. Roro- och containerfartyg å andra sidan besöker likt bulkfartyg relativt få hamnar men gör klart fler anlöp än de andra segmenten. Då roro- och containerfartyg ofta används i linjesjöfart är mer koncentrerade anlöpsmönster att vänta.

I modellen utvärderas kostnader och nyttor för landströmsinvesteringar utifrån hela deras antagna ekonomiska livslängd medan fartygens hamntrafikering, som beskrivs i Tabell 2, antas vara konstant över hela perioden. Genomsnittsvärden för 2016 – 2019 används för att fånga stabila och återkommande trafikflöden. En viss osäkerhet finns ändå kvar då trafikeringen av svenska hamnar under den modellerade perioden kan komma att utvecklas. För att inte riskera att överskatta nyttorna av OPS så antas i modellen ingen ökad efterfrågan på sjöfart.

Tabell 2. Deskriptiv statistik över inkluderade fartygssegments fartygsegenskaper och hamntrafikering.

	Medelvärde	Standardavvikelse	Min	Max
Bulkfartyg				
Antal anlöp i svenska hamnar per fartyg och år	1.58	11.10	0.25	156.5
Antal besökta hamnar per fartyg (2016 – 2019)	1.58	1.45	1	14
Fartygens dödviktston	43 906	22 128	838	95 746
Fartygens ålder	12.42	7.31	3	56
Tankfartyg				
Antal anlöp i svenska hamnar per fartyg och år	4.59	15.63	0.25	221
Antal besökta hamnar per fartyg (2016 – 2019)	3.43	4.26	1	26
Fartygens dödviktston	50 936	49 352	400	309 373
Fartygens ålder	14.28	6.12	3	54
Torrlastfartyg				
Antal anlöp i svenska hamnar per fartyg och år	5.85	11.48	0	160
Antal besökta hamnar per fartyg (2016 – 2019)	6.71	6.63	0	36
Fartygens dödviktston	7 348	7866	772	95 731
Fartygens ålder	20.15	9.67	3	57
Rorofartyg				
Antal anlöp i svenska hamnar per fartyg och år	7.83	22.19	0.25	155.75
Antal besökta hamnar per fartyg (2016 – 2019)	1.50	1.15	1	10
Fartygens dödviktston	18 695	10 732	624	142 018
Fartygens ålder	16.16	7.98	3	53
Containerfartyg				
Antal anlöp i svenska hamnar per fartyg och år	7.48	13.64	0.25	82
Antal besökta hamnar per fartyg (2016 – 2019)	2.61	1.95	1	9
Fartygens dödviktston	48 678	68 600	2660	21 4121
Fartygens ålder	15.23	6.13	3	40

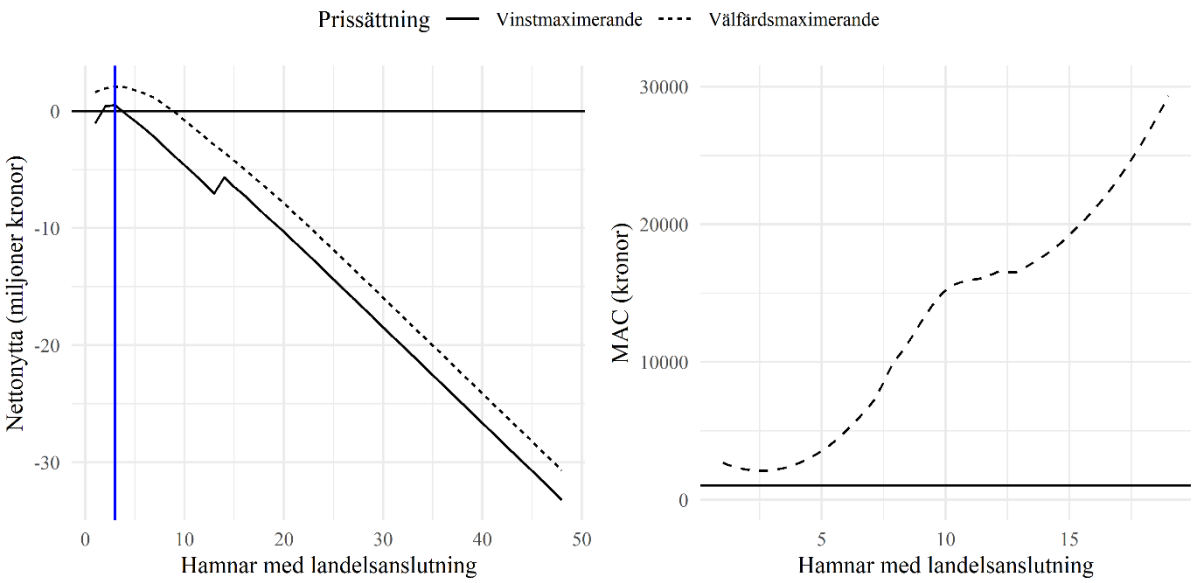
2.3. Resultat

2.1.3 Optimal landströmsutbyggnad per segment

Resultaten av modellkörningar för segmentet bulkfartyg visas grafiskt i Figur 1. Den vänstra grafen visar de skattade samhällsekonomiska nettonyttorna för alla utbyggnadscenarion, från att endast en hamn har OPS till att det finns tillgängligt i alla hamnar i nätverket. Upp till och med att tre hamnar har investerat i OPS ökar nettonyttorna med varje ny hamninvestering, men för varje ytterligare investering därefter minskar i stället nettonyttorna. Den optimala nivån av landströmsutbyggnad i hamnar, det vill säga den utbyggnad som resulterar i den största nettonyttan, nås med andra ord vid en utbyggnation i tre hamnar, vilket markeras med en blå vertikal linje i figuren. Ytterligare hamninvesteringar resulterar i lägre nettonyttor då värdet av de lägre energikostnaderna och externa kostnaderna från

fartygsinvesteringar understiger investerings- och driftkostnaderna för ytterligare hamninvesteringar. Om hamnavgifter sätts enligt en välfärdsmaximerande prissättning, som i praktiken utgörs av någon form av subvention enligt resonemang ovan, blir den totala samhällsekonomiska nettonyttan vid den optimala utbyggnaden cirka 2,1 miljoner kronor. Vid samma utbyggnation men med vinstmaximerande prissättning av hamnavgifter blir som väntat den totala nettonyttan lägre. Det är dock noterbart att även utan välfärdsmaximerande prissättning så finns det nivåer av utbyggnation som resulterar i ett positivt utfall. Med andra ord, för segmentet bulkfartyg är lönsamheten av landströmsinvesteringar robust för olika antaganden kring prissättning.

Den högra grafen i Figur 1 visar den marginella reduktionskostnaden (per ton) för att minska koldioxidutsläpp genom att låta fler hamnar investera i OPS, givet att hamnar använder en välfärdsmaximerande prissättning.[11] Värt att notera är att för inget scenario så är den marginella reduktionskostnaden lägre än värderingen av de externa kostnaderna av koldioxidutsläpp (markerat med en svart horisontell linje). För alla utbyggnationer som är större än den optimala utbygganden på tre hamnar stiger dessutom den marginella reduktionskostnaden markant med varje ytterligare hamninvestering. Det visar att krav på nätverksomfattande investeringar i OPS för bulkfartyg skulle vara en väldigt dyr åtgärd enbart sett till minskade koldioxidutsläpp. Omvänt kan man se det som att den högra grafen visar vilken nivå som värderingen av koldioxidutsläppens externa kostnader behöver ligga på för att en viss nivå av landströmsutbyggnad i hamn ska ses som samhällsekonomiskt lönsam, om man endast ser till minskade koldioxidutsläpp.



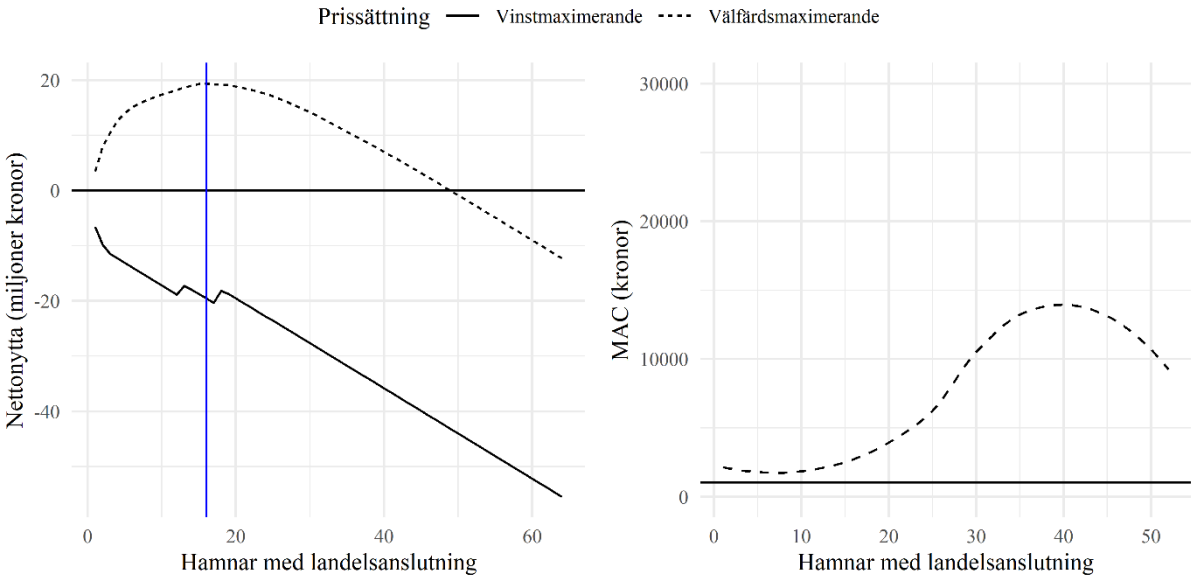
Figur 1. Bulkfartyg: Skattade nettonyttor i annuiteter (vänstra grafen) och reduktionskostnad per ton koldioxid (högra grafen). Den blå vertikala linjen i den vänstra grafen markerar det antalet hamnar med OPS som resulterar i högst samhällsekonomiska nettonyttor givet välfärdsmaximerande prissättning. Den svarta horisontella linjen i den högra grafen markerar 1040 kronor, det vill säga kostnadsvärderingen per ton koldioxidutsläpp.

I Figur 2 visas motsvarande resultat för tankfartyg. I den vänstra grafen syns tydligt hur nettonyttokurvan under välfärdsmaximerande prissättning börjar plana ut efter att tio hamnar har investerat i OPS, för att sedan vända nedåt efter att nått sitt maximum vid 16 hamnar. Till skillnad från utfallet för bulkfartyg är skillnaden i realiserade nettonyttor mellan de olika prissättningarna för hamnavgiften här markant.

[11] De marginella reduktionskostandskurvorna i det här kapitlet visar glidande medelvärden.

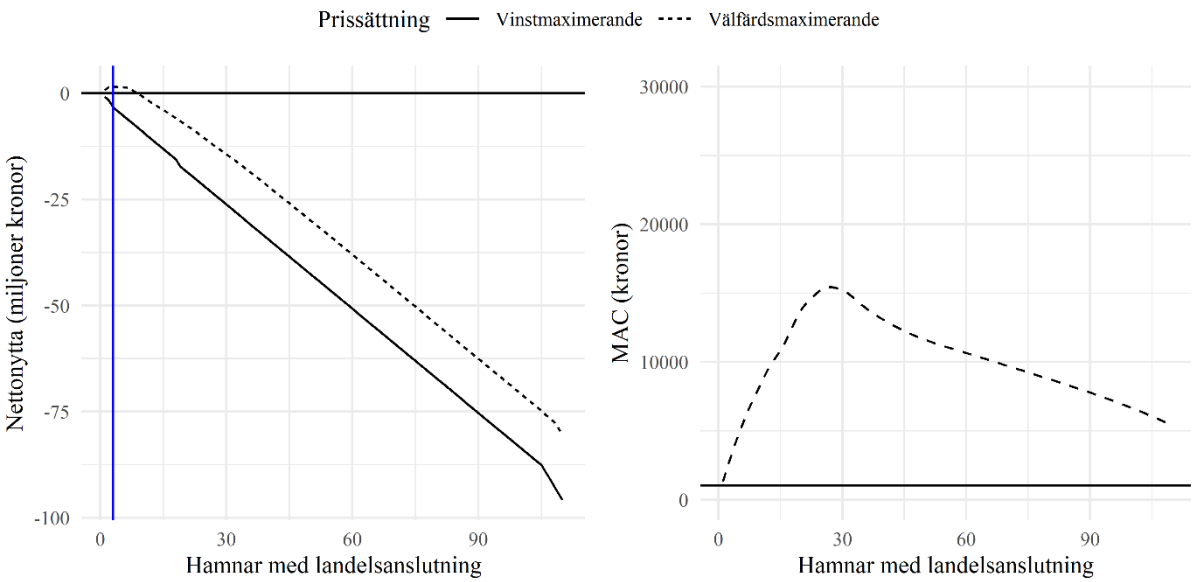
Skillnaden är så stor att om inte fartygsägare subventioneras, kommer ingen nivå av landströmsutbyggnad resultera i positiva totala samhällsekonomiska nettonyttor. Med andra ord kan inte landströmsinvesteringar i hamnar för tankfartyg resultera i ett välfärdsökande utfall om hamnar tillåts vinstmaximera sitt avgiftsuttag.

I den högra grafen visas, precis som för bulkfartyg, hur den marginella reduktionskostnadskurvan för tankfartyg ligger över den antagna värderingen av koldioxidutsläpp i alla scenarion. Minskade koldioxidutsläpp är med andra ord ensamt inte tillräckligt för att rättfärdiga investeringar i OPS oavsett utbyggnadsscenario.



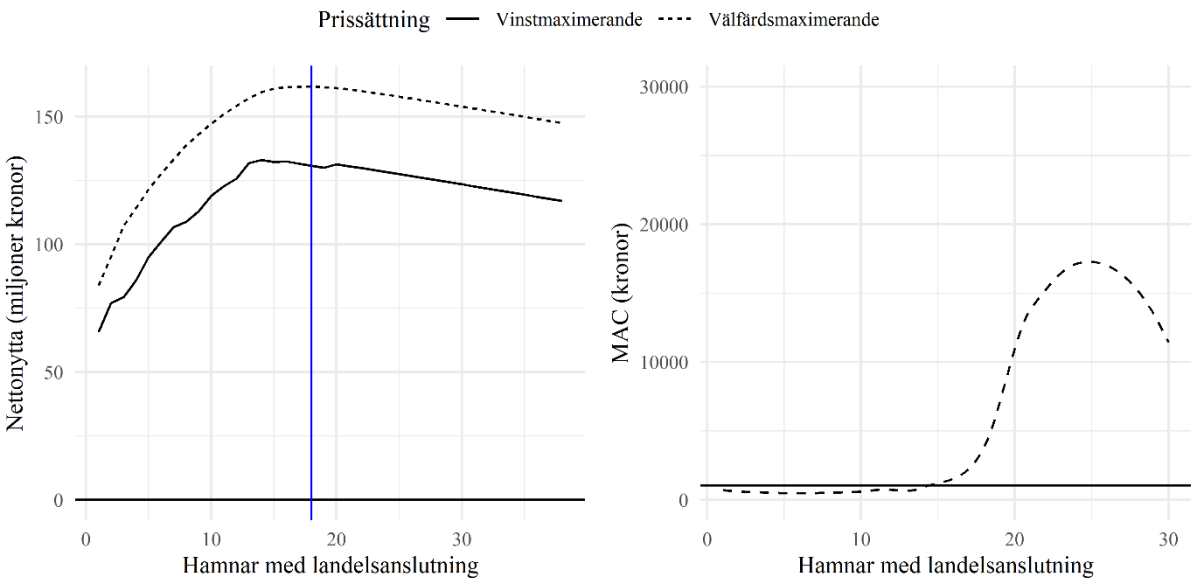
Figur 2. Tankfartyg: Skattade nettonyttor i annuiteter (vänstra grafen) och reduktionskostnad per ton koldioxid (högra grafen). Den blå vertikala linjen i den vänstra grafen markerar det antalet hamnar med OPS som resulterar i högst samhällsekonomiska nettonyttor givet välfärdsmaximerande prissättning. Den svarta horisontella linjen i den högra grafen markerar 1040 kronor, det vill säga kostnadsvärderingen per ton koldioxidutsläpp.

För torrlastfartyg, vars resultat illustreras i Figur 3, är bilden liknande den för bulkfartyg. En väldigt begränsad utbyggnad av OPS kan rättfärdigas utifrån att positiva nettonyttor uppnås. Maximal nettonytta fås av investeringar i endast tre hamnar, men nettonyttorna blir snabbt negativa i mer omfattande investeringsscenarion. Om hamnarna tillåts vinstmaximera vid prissättningen av avgiften för landström leder ingen utbyggnadsnivå till positiva nettonyttor. Precis som för bulk- och tankfartyg överstiger den marginella reduktionskostnaden värderingen av koldioxidutsläpp i alla scenarion, vilket visas i den högra grafen.



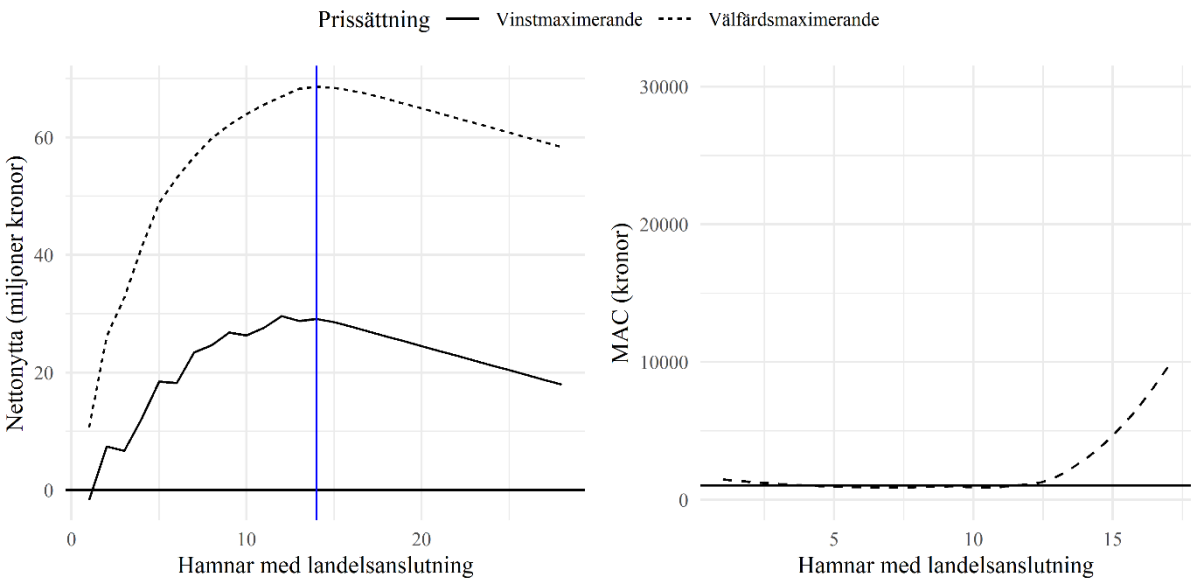
Figur 3. Torrlastfartyg: Skattade nettonyttor i annuiteter (vänstra grafen) och reduktionskostnad per ton koldioxid (högra grafen). Den blå vertikala linjen i den vänstra grafen markerar det antalet hamnar med OPS som resulterar i högst samhällsekonomiska nettonyttor givet välfärdsmaximerande prissättning. Den svarta horisontella linjen i den högra grafen markerar 1040 kronor, det vill säga kostnadsvärderingen per ton koldioxidutsläpp.

För segmenten roro- och containerfartyg, som inkluderas i analysen för att jämföra hur landströmmens ekonomiska lönsamhet skiljer sig mellan tramp- och linjesjöfart, är bilden väldigt annorlunda. Figur 4 illustrerar resultaten för rorofartyg. Till en början ökar nettonyttorna kraftigt för varje ytterligare hamn med landströmsanslutning för att börja plana ut först vid en utbyggnad i 15 hamnar. De högsta nettonyttorna nås vid en utbyggnad i 18 hamnar, men värt att notera är att oavsett prissättning och storlek på nätverket så är nettonyttorna alltid positiva. Om man ser till den marginella reduktionskostnaden så är den lägre än den antagna värderingen av koldioxidutsläpp för alla utbyggnadsscenarier på mindre än 15 hamnar. För mer storskaliga utbyggnationer börjar dock kostnaden snabbt stiga.



Figur 4. Rorofartyg: Skattade nettonyttor i annuiteter (vänstra grafen) och reduktionskostnad per ton koldioxid (högra grafen). Den blå vertikala linjen i den vänstra grafen markerar det antalet hamnar med OPS som resulterar i högst samhällsekonomiska nettonyttor givet välfärdsmaximerande prissättning. Den svarta horisontella linjen i den högra grafen markerar 1040 kronor, det vill säga kostnadsvärderingen per ton koldioxidutsläpp.

För containerfartyg ser utfallet liknande ut i det att nettonyttorna är positiva oberoende av storlek på utbyggnaden och prissättningen av OPS, se Figur 5. Däremot är skillnaden i välfärdsvinster större mellan de olika prissättningarna jämfört med för rorofartyg. Störst välfärdsvinster fås vid en utbyggnation i 14 hamnar, vilket motsvarar halva nätverkets storlek. Precis som för rorofartyg ligger den marginella reduktionskostnaden under värderingen av koldioxidutsläpp för flera av scenarierna, vilket gör en utbyggnad av landström till en så pass kostnadseffektiv koldioxidutsläppminskande åtgärd att en utbyggnad kan anses vara samhällsekonomiskt motiverat endast till följd av de minskade koldioxidutsläppen.



Figur 5. Containerfartyg: Skattade nettonyttor i annuiteter (vänstra grafen) och reduktionskostnad per ton koldioxid (högra grafen). Den blå vertikala linjen i den vänstra grafen markerar det antalet hamnar med OPS som resulterar i högst samhällsekonomiska nettonyttor givet välfärdsmaximerande prissättning. Den svarta horisontella linjen i den högra grafen markerar 1040 kronor, det vill säga kostnadsvärderingen per ton koldioxidutsläpp.

2.1.4 Samhällsekonomiska nettonyttor vid optimal landströmsutbyggnad

Tabell 3 sammanfattar hur nyttor och kostnader fördelar sig över modellens olika utfallsvariabler vid den samhällsekonomiskt optimala utbyggnaden av landström i hamn för varje studerat fartygssegment. Flera aspekter är värda att belysa. För det första är energikostnadsbesparingarna för fartygsägare alltid lägre än de minskade externa kostnaderna för både minskade koldioxidutsläpp och luftföroreningar. Genomgående är även värdet av minskade luftföroreningar högre än värdet av minskade koldioxidutsläpp. Eftersom i princip ingen form av internalisering av externa kostnader tillämpas för sjöfarten, så är det inte lönsamt inom något av segmenten att investera i landström endast på grund av minskade energikostnader.

Tabell 3. Nyttokostnadsanalys av den optimala utbyggnaden av landström i Sverige per segment och prissättning. Nyttor och kostnader uttrycks som annuiteter i tusentals kronor om inte annat uppges.

	Bulkfartyg	Tankfartyg	Torrlastfartyg	Rorofartyg	Containerfartyg
Välfärdsmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	3	16	3	18	14
Energikostnadsbesparingar för fartyg i hamn	1410	10 527	1132	33 447	17 901
Värdering av minskade CO_2-utsläpp	2932	21 887	2354	69 545	37 220
Värdering av minskade luftföroreningar	4492	33 531	3606	106 542	57 021
Investeringskostnad för hamnar	-4911	-22 099	-3274	-19 643	-13 095
Investeringskostnad för fartygsägare	-1475	-21 364	-2065	-26 252	-28 822
Drift- och underhållskostnad	-400	-3399	-218	-2768	-2060
Ökade skatteintäkter	35	263	28	837	448
Nettonytta	2083	19 347	1563	161 708	68 613
NBCR	0,33	0,45	0,29	3,52	1,64
Vinstmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	3	0	0	14	12
Energikostnadsbesparingar för fartyg i hamn	1000	0	0	25 381	7376
Värdering av minskade CO_2-utsläpp	2080	0	0	52 773	15 336
Värdering av minskade luftföroreningar	3186	0	0	80 847	23 494
Investeringskostnad för hamnar	-4911	0	0	-16 369	-11 458
Investeringskostnad för fartygsägare	-590	0	0	-8217	-4509
Drift- och underhållskostnad	-284	0	0	-2072	-834
Ökade skatteintäkter	25	0	0	635	185
Nettonytta	507	0	0	132 977	29 589
NBCR	0,09	N/A	N/A	5,41	1,85

Vidare visar resultaten att en välfärdsmaximerande prissättning på hamnavgiften för uppkoppling till landström ger positiva samhällsekonomiska nettonyttor för alla studerade fartygssegment. Det finns med andra ord åtminstone ett utbyggnadsscenario för varje studerat segment där nyttorna överstiger kostnaderna. För trampsjöfarten är den relativa storleksskillnaden mellan nyttor och kostnader (net benefit cost ratio, NBCR) likartad för de tre segmenten och ligger mellan 0,29 för torrlastfartyg och 0,45 för tankfartyg. Detta är i tydlig kontrast till containerfartyg och rorofartyg vars NBCR landar på 1,64 respektive 3,5. Även storleksordningen för realiserade nettonyttor skiljer sig markant, den totala nettonyttan vid en optimal utbyggnad är lägst för torrlastfartyg på 1,6 miljoner kronor och högst för rorofartyg vars totala nettonytta landar på 161,7 miljoner kronor. Resultaten visar hur regelbundenheten och förutsägbarheten inom linjesjöfarten ger goda förutsättningar för investeringar i OPS.

Det är också värt att betona skillnaden i utfall för de olika prissättningarna. För både tankfartyg och torrlastfartyg behövs subventionerade hamnavgifter för att incitamenten för upptag ska vara tillräckligt starka för att nyttorna ska överväga kostnaderna. Resultaten understryker vikten av att beakta fartygsägares incitament när beslut fattas kring utbyggnaden av landström i hamnen. Resultaten visar

också hur nivån av internalisering av externa kostnader (100 procent vid välfärdsmaximerande prissättning och noll procent vid vinstmaximerande prissättning) avgör om de samhällsekonomiska nyttorna realiseras eller inte.

Slutligen är de ökade skatteintäkterna anspråkslösa jämfört med övriga nyttor, de utgör mindre än en procent av den totala nyttan för alla segment. Det är ett direkt resultat av den nuvarande skattelättnaden för landström som resulterar i en väldigt låg nettoskatt.

2.1.5 Känslighetsanalyser

Då flera av huvudanalysens parametervärden är osäkra görs flera känslighetsanalyser för att testa stabiliteten i modellens utfall. Fyra alternativa scenarion definieras utifrån några av modellens osäkerheter och resultaten sammanfattas i Tabell 4.

Värderingen av externaliteter är en av de viktigaste osäkerheterna då de skattade nyttorna med OPS huvudsakligen utgörs av minskade emissioner till luft. I huvudanalysen används Europeiska kommissionens rekommenderade kostnadsvärdering av koldioxidutsläpp (van Essen et al. 2019) på 1040 kronor per ton. Trafikverket ger i sin tur ut ASEK-rapporten med rekommenderade värderingar av externa kostnader för samhällsekonomiska analyser inom transportsektorn. I den senaste upplagan (Trafikverket 2023) är den rekommenderade värderingen av koldioxid 7 000 kronor per ton, det vill säga nästan sex gånger högre än i van Essen et al. (2019). En första känslighetsanalys görs därför för att undersöka hur Trafikverkets (2023) högre värdering av koldioxidutsläpp påverkar landströmmens samhällsekonomiska lönsamhet.

En andra analys görs där, utöver Aseks koldioxidvärdering, även Aseks värderingar av kväveoxider (NO_x) och partiklar (PM) används. Trafikverket (2023) ger däremot ingen rekommenderad värdering av svaveloxider (SO_x) och därför används samma värdering av svaveloxider som i huvudanalysen. Trafikverket (2023) värderar de externa kostnaderna för utsläpp av partiklar (PM) betydligt högre än van Essen et al. (2019), 6 900 000 kronor per ton jämfört 190 320 kronor per ton, medan kväveoxider å andra sidan har en betydligt lägre värdering, 3 000 kronor per ton jämfört 82 160 kronor per ton. Skillnaderna kan ha flera orsaker, den kanske viktigaste att notera är att medan van Essen et al.:s (2019) värdering är specifik för utsläpp från sjötrafik i Östersjön ger Trafikverket (2023) endast en generell värdering. Kostnader för luftföroreningar är platsberoende då de till stor del utgörs av hälsoeffekter, de två värderingarna är med andra ord inte direkt jämförbara.

Utöver värderingen av externa kostnader finns också osäkerheter rörande parametrar som direkt påverkar fartygsägares incitament att investera i landströmsteknik. En sådan faktor är skillnaden i marknadsspotpris mellan el och marint bränsle, ett förhållande som kan variera över tid. Visserligen har en korrelation mellan olika energipriser påvisats (Zis 2019), men olika typer av marknadschocker kan påverka prisskillnaden. En tredje känslighetsanalys görs därför där stabiliteten i modellens utfall testas i ett scenario där priset på el fördubblas medan priset på marinbränsle hålls oförändrat jämfört med huvudanalysen. Scenariot testar både hur lönsamheten av landströmsinvesteringar påverkas av en påtaglig elmarknadschock samt hur beroende utfallet i huvudanalysen är av det nuvarande skatteavdraget på landström. Ett avskaffande av skatteavdraget skulle i praktiken innebära nära en fördubbling av priset på landström i Sverige.

Fartygsägares val påverkas också av de investeringskostnader som en övergång till OPS innebär. Som nämns ovan kan hamnars investeringskostnader skilja sig markant, samtidigt som de uppskattade investeringskostnaderna för fartyg är osäkra då relativt få faktiska ombyggnationer av fartyg har genomförts. Därför görs en sista känslighetsanalys där investeringskostnaderna per kaj och per fartyg höjs med 50 procent vardera.

Scenarion 1: Högre värdering av koldioxidutsläpp

En markant högre värdering av koldioxidutsläpp resulterar för alla segment och prissättningar, undantaget tankfartyg och torrlastfartyg med vinstmaximerande prissättning, i att den optimala utbyggnaden och de resulterande nettonyttorna är högre än i huvudanalysen. Likt i huvudanalysen finns dock stora skillnader i realiserade nettonyttor beroende på prissättning.

Scenario 2: Externa kostnader enligt ASEK

Förutom för torrlastfartyg med välfärdsmaximerande prissättning och bulkfartyg med vinstmaximerande prissättning är utfallet väldigt likt det i det första känslighetsscenariot. Då utsläppen av koldioxid är betydligt större än utsläppen av luftföroreningar är resultatet inte förvånande, ändringar i kostnadsvärderingen av CO_2 bör ge störst utslag.

Scenario 3: Högre elpris

Med välfärdsmaximerande prissättning är en viss utbyggnad av landström fortsatt samhällsekonomiskt lönsamt för alla segment utom bulkfartyg även med ett dubbelt så högt elpris. Den optimala utbyggnadsnivån är dock genomgående lägre jämfört med huvudanalysen. Under vinstmaximerande prissättning är ingen nivå av landströmsutbyggnad samhällsekonomiskt lönsam för något av segmenten.

Scenario 4: Högre investeringskostnader

Likt ovan resulterar högre investeringskostnader i en lägre optimal utbyggnadsnivå för alla fartygssegment. För bulkfartyg och torrlastfartyg finns dessutom ingen samhällsekonomiskt lönsam utbyggnadsnivå oavsett prissättning och för tankfartyg är en utbyggnad endast samhällsekonomiskt lönsam med välfärdsmaximerande prissättning. För roro- och containerfartyg är däremot utfallsskillnaden jämfört huvudanalysen relativt liten.

Tabell 4. Sammanfattande resultat från de fyra känslighetsanalyserna för inkluderade fartygssegment.

	Bulkfartyg	Tankfartyg	Torrlastfartyg	Rorofartyg	Containerfartyg
Känslighetsanalys 1 - Högre kostnadsvärdering av CO2-utsläpp					
Välfärdsmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	8	32	37	21	17
Nettonytta	24 000	182 308	49 333	565 863	296 310
NBCR	1,87	1,89	0,65	10,03	5,06
Vinstmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	3	0	0	20	15
Nettonytta	12 425	0	0	440 535	119 259
NBCR	2,26	N/A	N/A	14,79	6,47
Känslighetsanalys 2 - Externalitetskostnader enligt ASEK					
Välfärdsmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	9	33	47	22	17
Nettonytta	26 505	201 490	58 847	607 646	320 219
NBCR	1,90	1,96	0,63	10,33	5,33
Vinstmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	14	0	0	20	15
Nettonytta	14 114	0	0	472 045	128 499
NBCR	0,95	N/A	N/A	15,84	6,98
Känslighetsanalys 3 - Högre elmarknadsspotpris					
Välfärdsmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	0	7	2	16	13
Nettonytta	0	1 889	157	102 756	37 308
NBCR	N/A	0,07	0,06	2,67	1,03
Vinstmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	0	0	0	0	0
Nettonytta	0	0	0	0	0
NBCR	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Känslighetsanalys 4 - Högre investeringskostnader					
Välfärdsmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	0	9	0	16	13
Nettonytta	0	1 297	0	141 017	51 434
NBCR	N/A	0,03	N/A	2,44	1,01
Vinstmaximerande prissättning					
Optimalt antal hamnar med OPS	0	0	0	13	9
Nettonytta	0	0	0	108 819	3 612
NBCR	N/A	N/A	N/A	3,32	0,23

3. Slutsatser och rekommendationer

Vi har visat att det kan vara samhällsekonomiskt lönsamt med en utbyggnation av landström för trampsjöfart i Sverige om den begränsas till ett antal nyckelhamnar. Styrmedel för ökad utbyggnad och användning av landström för trampsjöfarten behöver adressera rederiernas och hamnarnas lönsamhet, och bör inrikta sig mot prissättningen av elen i hamnen. Det visar sig nämligen att denna faktor är avgörande för om en samhällsekonomiskt effektiv landströmsutbyggnad inom trampsjöfarten är möjlig. Krav på hamnar att erbjuda landströmsanslutningar, eller att erbjuda hamnar subventioner för att investera i landström, verkar inte vara tillräckligt så länge det saknas incitament för rederier att nyttja anslutningarna. I likhet med de slutsatser som dras i Dai et al. (2019) och som beskrivs i avsnitt 1.4, riskerar ett investeringsstöd att leda till en utbyggnad av OPS som sedan inte nyttjas av hamnen eller fartygen på grund av att operativa kostnader för försäljning och överföring av el inte täcks.

Ett marknadsmisslyckande särskilt för trampsjöfarten kan bli resultatet om hamnarna sätter ett vinstmaximerande pris på landströmmen. Samhällsekonomiska nettonyttor kan åstadkommas med en välfärdsmaximerande prissättning, som i praktiken (förutsatt att marginalkostnaden för att tillhandahålla en landströmsanslutning är lägre än de externa kostnaderna för de utsläpp som undviks) innebär ett stöd till rederier för att nyttja landströmsanslutningar. Med detta i åtanke rekommenderar vi att ha kvar skattenedsättningen på landström, samt att överväga huruvida hamnarnas prissättning av landström kan regleras så att de potentiella marknadsmisslyckanden som uppstår vid en vinstmaximerande prissättning på landström kan undvikas.

Enligt gällande lagstiftning är det inte tillåtet för hamnar att ta mer betalt för den el som levereras till fartyg än vad de själva betalar elleverantören (Costa et al. 2022). I Costa et al. (2022) beskrivs tre alternativa prismodeller för tillhandahållande av el som används eller diskuteras i svenska hamnar:

1. Alla användare bekostar utbyggnaden genom en generell höjning av hamnavgiften.
2. Alla användare utom de som använder landströmsanslutningen betalar en högre hamnavgift, alltså en rabatt för elanslutning.
3. De som nyttjar landströmsanslutningen betalar en särskild avgift, alltså en omvänd subvention för upptagning.

Vår rekommendation innebär då en variant av det andra alternativet, men där hamnen tar ut ett negativt pris, alltså en subvention, för anslutning till landström för trampsjöfarten. Denna rekommendation kan tyckas ologisk med hänsyn till vad som nämns i avsnitt 1.4, det vill säga att styrmedel med en hög täckningsgrad ofta är att rekommendera. Men eftersom denna studie visar att endast en begränsad utbyggnad av landström för trampsjöfarten visar sig vara samhällsekonomiskt lönsam, vore mer riktade styrmedel att föredra.

Alternativt kan externaliteter internaliseras genom att marint bränsle blir dyrare (i stället för att subventionera landström). Som nämns i Kapitel 2.4 har sjöfartens globala karaktär ansetts försvåra den typen av styrmedel, både i genomförande och effektivitet. Här går dock EU nu före genom 55 %-paketet med flera styrmedel riktade mot sjöfartens koldioxidutsläpp. Utöver de förslag som nämns i Kapitel 2.4 finns även mer generella styrmedel som kan påverka landströmmens samhällsekonomiska lönsamhet. FuelEU maritime (Europeiska kommissionen 2021a) innehåller, utöver krav på landströmsanvändning för container- och passagerarfartyg på över 5000 GT, krav på lägre genomsnittlig växthusgasintensitet[12] från fartygs energianvändning ombord. Givet ett referensvärde ska intensiteten minskas med 2 % från

[12] Växthusgasintensitet definieras som mängden växthusgasutsläpp, uttryckt i gram koldioxidekvivalenter, fastställd från källa till kölvatten (well-to-wake), per megajoule (MJ) energi som används ombord.

och med 2025 för att sedan stegvis åtstramas till 75 % år 2050. Bränslen med lägre växthusgasintensitet är i regel dyrare vilket skulle kunna höja incitamenten för användning av landström. Användning av bränslen med lägre växthusgasintensitet sänker å andra sidan de externa klimatkostnaderna vid användning av hjälpmotorer i hamnen, då växthusgasutsläppen blir lägre. Hur den samhällsekonomiska lönsamheten för landström påverkas är därför inte självklart och något som behöver studeras vidare.

55 %-paketet innehåller även en utvidgning av EU:s utsläppsrättshandelssystem (EU ETS) till att inkludera sjöfartens utsläpp, vilket i alla fall delvis kommer att internalisera externa kostnader vid landströmsanvändning. Till en början föreslås endast fartyg som är 5000 GT eller större inkluderas, men diskussioner förs om att sänka gränsen till 400 GT. Utsläpp från resor mellan två EES-hamnar ska täckas till 100 % medan resor mellan en EES-hamn och en hamn utanför området ska täckas till 50 %. För Sverige gör gränsen på 5000 GT styrmedlet aningen trubbigt då en relativt stor andel av fartygen som anlöper svenska hamnar är mindre än 5000 GT. Det finns dessutom stora skillnader mellan segment. Av fartygen i den här studien är fartyg inom linjesjöfarten generellt stora, av roro- och containerfartygen är 99% respektive 94 % av fartygen 5000 GT eller större. Inom trampsjöfarten är bilden lite annorlunda, för bulkfartyg är andelen stor, 95 %, medan 81 % av tankfartygen och endast 31 % av torrlastfartygen är 5000 GT eller större. Som nämns ovan anger dessutom Vierth (2020) att investeringar i landström tenderar att vara lönsammare för större fartyg. EU ETS riskerar därför att framför allt träffa fartyg som redan har incitament att investera i landström även utan styrmedlet. Nationella styrmedel kan därför fortsatt ha en roll, men skulle EU ETS på sikt leda till en fullständig internalisering av de externa kostnader som uppstår när hjälpmotorer brukas i hamn, finns inte längre något behov av särskilda subventioner till trampsjöfarten i Sverige.

Referenser

Ballini, F. & Bozzo, R. 2015. Air pollution from ships in ports: The socio-economic benefit of cold-ironing technology. *Research in Transportation Business & Management*, 17**,** 92-98.

British Ports Association 2020. Reducing Emissions from Shipping in Ports: Examining the Barriers to Shore Power.

Bullock, S., Higgins, E., Crossan, J. & Larkin, A. 2023. Improving shore power project economics at the Port of Aberdeen. *Marine Policy*, 152**,** 105625.

Börjesson, M., Johansson, M. & Kågeson, P. 2021. The economics of electric roads. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 125**,** 102990.

CE Delft. 2016. *Cost benefit calculation tool onshore power* [Online]. https://cedelft.eu/publications/cost-benefit-calculation-tool-onshore-power-supply/ [2023-05-14].

Costa, N., Williamsson, J., Ekholm, J., Santén, V., Rogerson, S. & Borgh, M. 2022. Connecting vessels to shoreside electricity in Sweden. *SSPA Sweden AB*.

Dai, L., Hu, H., Wang, Z., Shi, Y. & Ding, W. 2019. An environmental and techno-economic analysis of shore side electricity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 75**,** 223-235.

DNV Sweden AB 2022. Marknadsbeskrivning elektrifierad sjöfart - Elsjöfart i Sverige: document no. 10355544-07 , underlagsrapport till Trafikanalys rapport 2022:17

Dom nr M 9616-14 2015. Anläggande och drift av hamn vid Norvikudden i Nynäshamns kommun *In:* MILJÖÖVERDOMSTOLEN, M.-O. (ed.).

Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/94/EU 2014. Om utbyggnad av infrastrukturen för alternativa bränslen.

European Maritime Safety Agency [EMSA] 2021. European Maritime Transport Environmental Report 2021. Luxemburg.

European Maritime Safety Agency [EMSA] 2022. Shore-Side Electricity, Guidance to Port Authorities and Administrations; Part 1 – Equipment and Technology och Part 2 - Planning, Operations and Safety.

Europeiska kommissionen 2021a. Förslag till förordning COM(2021) 559: Om utbyggnad av infrastruktur för alternativa bränslen, Bryssel den 14.7.2021.

Europeiska kommissionen 2021b. Förslag till förordning om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport, COM(2021), 562 final Bryssel den 16 juli 2021.

Europeiska unionens råd. 2023a. *Infrastruktur för alternativa bränslen: preliminär överenskommelse om fler laddnings- och tankstationer i Europa* [Online]. https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2023/03/28/alternative-fuel-infrastructure-provisional-agreement-for-more-recharging-and-refuelling-stations-across-europe/.

Europeiska unionens råd. 2023b. *Initiativet FuelEU Maritime: preliminär överenskommelse om utfasning av fossila bränslen inom sjöfartssektorn* [Online]. https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2023/03/23/fueleu-maritime-initiative-provisional-agreement-to-decarbonise-the-maritime-sector/ [2023-05-15].

Global Maritime Energy Efficiency Partnerships [GloMEEP]. 2020. *Shore Power: Applicability and assumptions* [Online]. Glomeep.imo.org [2023-05-14].

Göteborgs hamn. 2021. *Klart: Göteborgs Hamns Energihamn elansluter tankfartyg från 2023* [Online]. https://www.goteborgshamn.se/press/pressmeddelanden/klart-goteborgs-hamns-energihamn-elansluter-tankfartyg-fran-2023/ [2022-01-10].

Göteborgs hamn. u.å. *Green Cable - elanslutning av tankers* [Online]. https://www.goteborgshamn.se/hamnens-projekt/greencable/ [2023-05-12].

Holmgren, K. 2020. Emission reductions and costs of abatement measures for air pollutants and greenhouse gases from shipping: selected measures with importance for the Swedish Environmental Quality Objectives. Statens väg-och transportforskningsinstitut.

IEA 2020. Global EV Outlook 2020 - Entering the decade of electric drive?

Innes, A. & Monios, J. 2018. Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports–The case of Aberdeen. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62**,** 298-313.
International Maritime Organization [IMO] 2021. Fourth IMO Greenhouse Gas Study 2020. London.
International Maritime Organization [IMO]. 2023. *Sub-Committee on Ship Systems and Equipment (SSE 9), 27 February-3 March 2023* [Online]. https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/SSE-9th-session.aspx [2023-05-12].
Konjunkturinstitutet 2020. Miljö, ekonomi och politik 2020 - Upphandling med klimathänsyn: KI 2020:26.
Martínez-López, A., Romero-Filgueira, A. & Chica, M. 2021. Specific environmental charges to boost Cold Ironing use in the European Short Sea Shipping. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 94**,** 102775.
Merkel, A., Nyberg, E., Ek, K. & Sjöstrand, H. 2022. Economics of shore power for non-liner shipping: socioeconomic appraisal under different access pricing.
Naturvårdsverket. 2021. *Klimatklivsåtgärder ökar kraftigt inom sjöfarten* [Online]. https://www.naturvardsverket.se/om-oss/aktuellt/nyheter-och-pressmeddelanden/klimatklivsatgarder-okar-kraftigt-inom-sjofarten/ [2022-01-02].
Naturvårdsverket. 2022. *Klimatklivets samlade resultat* [Online]. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/klimatklivet/resultat-for-klimatklivet/ [2022-05-23].
Rothvall, C. K. 2023. *Världsunik anslutning av Terntanks Tern Fors* [Online]. Sjöfartstidningen. https://www.sjofartstidningen.se/varldsunik-anslutning-av-terntanks-tern-fors/ [2023-05-12 2023].
SFS 1994:1776 Lag (1994:1776) om skatt på energi. Finansdepartementet.
SFS 2016:917 Förordning (2016:917) om krav på installationer för alternativa drivmedel. Landsbygds- och infrastrukturdepartementet.
Ship & Bunker. 2022. *Global Average Bunker Price – MGO* [Online]. https://shipandbunker.com/prices/av/global/av-glb-global-average-bunker-price#MGO [2022-05-23].
Spengler, T. & Tovar, B. 2021. Potential of cold-ironing for the reduction of externalities from in-port shipping emissions: The state-owned Spanish port system case. *Journal of Environmental Management*, 279**,** 111807.
Statistiska centralbyrån. 2022. *Elpriser och elavtal* [Online]. https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/prisutvecklingen-inom-energiomradet/elpriser-och-elavtal/ [2022-05-23].
Stolz, B., Held, M., Georges, G. & Boulouchos, K. 2021. The CO2 reduction potential of shore-side electricity in Europe. *Applied Energy*, 285**,** 116425.
Söderholm, P. & Hammar, H. 2005. Kostnadseffektiva styrmedel i den svenska klimat- och energipolitiken? Metodologiska frågeställningar och empiriska tillämpningar.
Trafikanalys 2022. Förutsättningar och styrmedel för ökad elsjöfart, rapport 2022:17.
Trafikverket 2016. Styrmedel och åtgärder för att minska transportsystemets utsläpp av växthusgaser - med fokus på transportinfrastrukturen: Publikationsnummer 2016:043.
Trafikverket 2023. Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 7.1, version 2023-02-01.
van Essen, H., van Wijngaarden, L., Schroten, A., Sutter, D., Bieler, C., Brambilla, M., Maffii, S., El Beyrouty, K., Fiorello, D., Fermi, F. & Parolin, R. 2019. Handbook on the external costs of transport, 18.4K83.131. .
Vierth, I. 2020. Policies and measures to reduce air emissions from shipping - Recommendations for Swedish stakeholders, VTI notat 24A-2019.
Wang, Y., Ding, W., Dai, L., Hu, H. & Jing, D. 2021. How would government subsidize the port on shore side electricity usage improvement? *Journal of Cleaner Production*, 278**,** 123893.
Wu, L. & Wang, S. 2020. The shore power deployment problem for maritime transportation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 135**,** 101883.

Yiğit, K., Kökkülünk, G., Parlak, A. & Karakaş, A. 2016. Energy cost assessment of shoreside power supply considering the smart grid concept: a case study for a bulk carrier ship. *Maritime Policy & Management,* 43**,** 469-482.

Zis, T., Angeloudis, P., Bell, M. G. & Psaraftis, H. N. 2016. Payback period for emissions abatement alternatives: role of regulation and fuel prices. *Transportation Research Record,* 2549**,** 37-44.

Zis, T., North, R. J., Angeloudis, P., Ochieng, W. Y. & Harrison Bell, M. G. 2014. Evaluation of cold ironing and speed reduction policies to reduce ship emissions near and at ports. *Maritime Economics & Logistics,* 16**,** 371-398.

Zis, T. P. 2019. Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* 119**,** 82-95.

Bilaga, modellerade optimala nätverk för utbyggnad av OPS per segment

För mer information om resultaten som redovisas i Tabell 3, visas nedan vilka hamnar som ingår i den optimala utbyggnaden enligt vår modellering. Det bör noteras att resultaten kan vara känsliga för indata och användningen av historiska data för framtida prognoser, och därför bör de listade förslagen från modellen tolkas med försiktighet. Dock tenderar rangordningen av hamnar att vara robust vid olika prissättningsantaganden och känslighetsanalyser.

Rangordningen och inkluderingen av hamnar inom olika segment korrelerar generellt sett med antalet anrop per segment i de angivna hamnarna. Vältrafikerade hamnar med många återkommande fartyg är bra kandidater för positiva modellerade nettonyttor av landström. Dock spelar även nätverkseffekter en roll i den meningen att hamnar med mycket trafik till och från en hamn där landström är lönsamt också sannolikt modelleras som att ha positiva nettonyttoeffekter av landström.

Tabell 5. Hamnar som inkluderas i optimala utbyggnadsscenarion (under välfärdsmaximerande prissättning) för inkluderade fartygssegment

Investerings-ordning	***Bulk***	***Tank***	***Torrlast***	***Roro***	***Container***
1	Slite	Göteborg	Luleå	Göteborg	Göteborg
2	Degerhamn	Brofjorden	Storugns	Tunadal	Helsingborg
3	Stockholm	Malmö	Oxelösund	Malmö	Norrköping
4		Nynäshamn		Iggesund	Gävle
5		Norrköping		Husum	Stockholm
6		Västerås		Hallstavik	Halmstad
7		Stockholm		Braviken	Tunadal
8		Trelleborg		Södertälje	Åhus
9		Gävle		Oxelösund	Holmsund
10		Kalmar		Halmstad	Malmö
11		Södertälje		Helsingborg	Varberg
12		Sundsvall		Holmsund	Södertälje
13		Karlshamn		Haraholmen	Piteå
14		Helsingborg		Nynäshamn	Oxelösund
15		Halmstad		Wallhamn	
16		Karlskrona		Sundsvall	
17				Simpevarp	
18				Karlskrona	