

**Isbrytningens samhälls-
ekonomiska marginalkostnad** PM
2017:4

**Isbrytningens samhälls-
ekonomiska marginalkostnad** PM
2017:4

Trafikanalys

Adress: Torsgatan 30

113 21 Stockholm

Telefon: 010 414 42 00

Fax: 010 414 42 10

E-post: trafikanalys@trafa.se

Webbadress: www.trafa.se

Ansvarig utgivare: Brita Saxton

Publiceringsdatum: 2017-03-24

Förord

Till Trafikanalys löpande uppdrag hör att ansvara för analyser av transportsektorns samhällsekonomiska kostnader i relation till skatte- och avgiftsuttag inom olika delar av den svenska och europeiska transportsektorn. Föreliggande PM om marginalkostnaden för isbrytning utgör ett kunskapsunderlag till Trafikanalys årliga redovisning.

Rapporten har författas av Eva Lindborg som också varit projektledare. Trafikanalys vill särskilt tacka Ulf Gullne på Sjöfartsverket som bidragit med dataunderlag och har varit behjälplig med att svara på ett stort antal frågor om isbrytningsverksamheten.

Stockholm i mars 2017

Brita Saxton

Generaldirektör

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	7
1 Bakgrund	13
1.1 Sjöfartsverkets isbrytningsverksamhet	13
1.2 Isvintrarnas svårighetsgrad	14
1.3 Är kostnaden för isbrytning kopplad till hur mycket isbrytning som genomförs?...	15
2 Isbrytningens kostnadskomponenter	21
2.1 Kapitalkostnad för isbrytande fartyg.....	21
2.2 Personalkostnader	21
2.3 Operativa kostnader; underhåll, drivmedel och övrigt.....	22
2.4 Positioneringskostnad	22
2.5 Negativa externa effekter	23
2.6 Infrastrukturkostnader	24
2.7 Undanträngnings- och fördröjningseffekter	24
2.8 Potentiella nyttor för sjöfarten	24
2.9 Sammanställning av kostnadsposter relevanta för marginalkostnads-beräkning .	25
3 Sjöfartsverkets driftskostnader	27
3.1 Data på driftkostnader.....	27
3.2 Vilka är relevanta för marginalkostnadsberäkning?	27
3.3 Omräkning till fasta priser	31
4 Externa effekter	33
4.1 Bränsleförbrukning och energianvändning för statsisbrytarna	33
4.2 Klimatpåverkande utsläpp.....	35
4.3 Luftföroreningar.....	36
5 Samhällsekonomiska marginalkostnader	39
5.1 Samhällsekonomisk marginalkostnad för statsisbrytare	39
5.2 Samhällsekonomisk kostnad per assistans eller assisterat fartyg	40
5.3 Samhällsekonomisk kostnad för stats- och Viking-isbrytare per timme.....	42
5.4 Samhällsekonomisk kostnad för stats- och Viking-isbrytare per nautisk mil.....	44
5.5 Påverkar vinterns svårighetsgrad den samhällsekonomiska marginalkostnaden?	45
5.6 Jämförelse med tidigare studier	46
6 Slutsatser	49

Referenser	51
Bilaga 1: Avtagande och ökande marginalkostnad.....	53
Bilaga 2: Skattade driftkostnads-funktioner	57
1 Driftskostnader för statsisbrytare	57
2 Driftkostnader för inhyrda isbrytare	60
3 Driftkostnader med avseende på typ av isbrytare.....	61
4 Driftkostnader i förhållande till antalet assistanser och assisterade fartyg	63
5 Påverkar vintrarnas svårighetsgrad kostnaden?.....	67
6 Driftskostnader per timme för stats- och Viking-isbrytarna	70
7 Driftskostnader per nautisk mil för stats- och Viking-isbrytarna	72
Bilaga 3: Skattad kostnads-funktion för externa kostnader	75
1 Externa kostnader för statsisbrytare per assistans och assisterat fartyg	75
2 Externa kostnader i förhållande till antal assistanser och assisterade fartyg.....	76
3 Externa kostnader för stats- och Viking-isbrytare per timme	77
4 Externa kostnader för stats- och Viking-isbrytare i förhållande till nautiska mil	79

Sammanfattning

Trafikanalys har i uppdrag att analysera transportsektorns samhällsekonomiska kostnader i relation till skatte- och avgiftsuttag. En viktig del av detta är att sammanställa och tydliggöra marginalkostnader för olika transportslag både för persontrafik och godstrafik. Syftet med detta PM är att närmare belysa marginalkostnaden för isbrytning i Sverige.

Enligt de transportpolitiska principerna ska trafikens samhällsekonomiska kostnader vara en utgångspunkt när transportpolitiska styrmedel utformas (prop. 2008/09:93). Kunskap om isbrytningens samhällsekonomiska marginalkostnader kan därmed bidra till diskussionen både om hur isbrytningen bör finansieras och om internaliseringsgraden hos de olika trafikslagen.

I denna PM beräknas de samhällsekonomiska marginalkostnaderna för isbrytning med hjälp av en skattad kostnadsfunktion, något som inte gjorts tidigare. Tidigare studier av marginalkostnader bygger på fallstudier, schablonberäkningar eller genomsnittsberäkningar.

De skattade modellerna visar att de kostnader som generellt bedöms som rörliga innehåller en fast komponent som inte varierar med hur mycket isbrytning som genomförs. Detta syns tydligast vad gäller kostnader för driv- och smörjmedel, men även vad gäller kostnaden av externa effekter kopplade till drivmedelsförbrukningen. Tänkbara förklaringar till detta är att det går åt drivmedel även när isbrytarna inte genomför assistanser, exempelvis för att hålla fartyget stilla på en fast position i väntan på isbrytaruppdrag, eller för att driva hjälpmotorer som producerar elström och värme.

På grund av att kostnaderna har en fast komponent så överskattar genomsnittliga rörliga kostnader marginalkostnaden och bör därför inte användas som approximation av marginalkostnaden. Den genomsnittliga rörliga kostnaden minskar ju mer isbrytning som genomförs under en vintersäsong. De samhällsekonomiska marginalkostnaderna i denna studie är i samma storleksordning som hos en fallstudie presenterad hos Melin (2014) men bara är ca hälften så stora som hos Vierth (2016). De totala marginalkostnaderna ligger inom det intervall som presenterades av Näringsdepartementet (2003) men är betydligt lägre än hos Virth (2016).

Marginalkostnader har skattats för flera olika enheter (assistanser, assisterade fartyg, assisterade timmar, gångtimmar, assisterade nautiska mil och nautiska mil). Inga tidigare studier där marginalkostnaden är skattad i förhållande till tid eller avstånd har återfunnits. De skattade marginalkostnaderna innebär därmed helt ny och mer detaljerad kunskap. I samtliga fall har modellerna genererat statistiskt signifikanta resultat med höga förklaringsgrader, dessa redovisas i Tabell 0-1. Detta visar att det är relevant att tala om marginalkostnaden för isbrytning, något som delvis varit ifrågasatt i tidigare studier.

Det finns oklarhet gällande hur den externa kostnaden av utsläpp av luftföroreningar för sjöfarten bör värderas. Därför redovisas nedan två marginalkostnader vars storlek skiljer sig åt beroende på hur luftföroreningarna värderas.

Tabell 0-1 Skattade samhällsekonomiska marginalkostnader för isbrytning. Siffror markerade med * är signifikanta på 0,1 procentsnivån och siffror markerade med ** är signifikanta på 1 procentsnivån.**

Samhällsekonomiska marginalkostnad per	Luftföroreningar värderade enligt ASEK (2016)		Luftföroreningar värderade enligt Nerhagen (2016)	
	Kr	Modellens förklaringsgrad (justerat R ² -värde)	Kr	Modellens förklaringsgrad (justerat R ² -värde)
Assistans (statsisbrytare)	66 262**	0,51	41 466**	0,48
Assiterade fartyg (statsisbrytare)	58 284**	0,60	35 823**	0,51
Assistans (samtliga isbrytare)	88 255***	0,69	60 522***	0,66
Assiterade fartyg (samtliga isbrytare)	69 617***	0,77	49 570***	0,74
Gångtime (stats- och Vikingisbrytare)	12 706**	0,61	7 510**	0,54
Assisterad timme (stats- och Vikingisbrytare)	27 916***	0,70	16 291**	0,60
Nautiska mil (stats- och Vikingisbrytare)	1 925***	0,75	1 156***	0,68
Assisterade nautiska mil (stats- och Vikingisbrytare)	3 265***	0,68	1 959**	0,62

Hela den beräknade marginalkostnaden är extern för sjöfarten, eftersom de fartyg som får isbrytningsassistans från Sjöfartsverket inte betalar någon särskild avgift kopplat till detta. Kostnaden för utsläpp av luftföroreningar och växthusgaser är inte heller till någon del internaliserad i driftskostnaden då drivmedel för sjöfarten är skattebefriat och det inte heller utgår någon annan internaliserande skatt eller avgift för isbrytare (eller för handelsfartyg).

Sjöfartsverket använder dels egna fartyg, de så kallade statsisbrytarna, dels inhyrda hjälpisbrytare. Sjöfartsverket har tidigare också haft tillgång till så kallade Viking-isbrytare. Viking-isbrytarna användes vanligen inom off-shore verksamhet men kunde kallas in av Sjöfartsverket för att hjälpa till med isbrytning. Separata skattningar har gjorts för marginalkostnaderna för statsisbrytarna och inhyrda isbrytare (hjälpisbrytare och Viking-isbrytare). Marginalkostnaden för statsisbrytare är generellt lägre än marginalkostnaden för inhyrda isbrytare. Detta trots att statsisbrytarna generellt är betydligt större än de inhyrda isbrytarna. Sjöfartsverket bör kunna påverka marginalkostnaden för isbrytning genom att öka eller minska sin flotta av isbrytare. Om Sjöfartsverket har en stor egen flotta av isbrytare och inte behöver lika många inhyrda isbrytare, så bör marginalkostnaderna minska samtidigt som de fasta kostnaderna ökar. Om Sjöfartsverket har en liten egen flotta och använder sig av många inhyrda isbrytare så bör marginalkostnaderna öka samtidigt som de fasta kostnaderna minskar.

Det har generellt inte gått att visa att marginalkostnaderna är beroende av vinterns svårighetsgrad. I den absoluta merparten av analyserna syns ingen effekt på marginalkostnaderna beroende på vinterns svårighetsgrad. Vissa enstaka analyser med hjälp av dummyvariabler har visat på en högre kostnad mycket lindriga vintrar. För att djupare studera sambanden behövs troligtvis mer data, där både vinterns svårighetsgrad och hur mycket isbrytning som genomförs varierar oberoende av varandra.

Summary

Transport Analysis has been tasked with analysing the transport sector's socioeconomic costs in relation to levied taxes and fees. One important part of this process involves compiling and clarifying the marginal costs of various types of passenger and cargo transport. The purpose of this report is to elucidate in detail the marginal costs of icebreaking in Sweden, and to expand our knowledge in this area.

Icebreaking from the open ocean to sheltered waters is carried out by the Swedish Maritime Administration. The Maritime Administration does this using both its own vessels, known as "state icebreakers", and hired auxiliary icebreakers. The Maritime Administration has previously had access to "Viking icebreakers" as well. The Viking icebreakers are usually used in offshore operations, but can be called in by the Maritime Administration to aid in icebreaking.

In this PM report we will calculate the socioeconomic marginal costs of icebreaking using an estimated cost function, something that has not previously been done. Earlier studies of marginal costs have been based on case studies, flat-rate calculations, and average calculations. Despite differences in the calculation methods, the estimated marginal costs found in this study are consistent with earlier results.

The calculable costs considered relevant to the socioeconomic marginal costs comprise:

- maritime operating costs, consisting of
 - share of fuels and lubricants for state icebreakers
 - share of maintenance costs for state icebreakers
 - share of the cost of the Viking icebreakers
 - hired auxiliary icebreakers
- external effects, consisting of
 - air pollution emissions
 - greenhouse gas (GHG) emissions

The foregoing costs are considered to account for most of the costs. In addition, external effects in the form of noise, traffic safety problems, water pollution, sediment changes, habitat and biodiversity losses, crowding-out and delay effects of maritime operations in connection with icebreaking, and potential cost savings for maritime operations are also considered relevant to the socioeconomic marginal costs. However, it has been impossible to calculate these effects, most of which are also considered small. The marginal costs of external effects, including GHG emissions and air pollution, is of the same order of magnitude as the marginal cost of operation. However, how the external cost of air pollution emissions from maritime operations should be determined is somewhat unclear. Two marginal costs have consequently been reported, the values of which differ depending on how air pollution is valued.

The entire calculated marginal cost is external for maritime operations, as the vessels that receive icebreaking assistance from the Maritime Administration pay no associated special

fees. Nor is the cost of air pollution and GHG emissions internalised in the operating costs, as fuel for maritime operations is tax exempt.

The estimated models indicate that the costs generally considered variable do have a fixed component that does not vary depending on how much icebreaking is carried out. This is most obvious concerning fuel and lubricant costs, but applies to the cost of external effects associated with fuel consumption as well. Conceivable explanations for this are that fuel is also being consumed when the icebreakers are not providing assistance, for example, to keep the vessels in a stationary location while awaiting an icebreaking mission, or to power the auxiliary motors that produce electricity and heat. The model used to describe fuel and lubricant costs has significantly lower explanatory power than does the model describing the cost of external effects, which is directly proportional to fuel consumption. One conceivable explanation for this is that the model of fuel and lubricant costs is sensitive to price variations (despite price indexing), while the model of external costs is based on a fixed price tied to fuel consumption.

Because the costs have a fixed component, the average variable costs overestimate the marginal costs and should consequently not be used as an approximation of the marginal costs. The more icebreaking carried out, the lower the average variable cost.

Marginal costs have been estimated for several different units (i.e., assistance missions, assisted vessels, assisted hours, running hours, assisted nautical miles, and nautical miles). In all cases, the models yielded statistically significant results and high explanatory power, which are reported in Table 0-1. This indicates that it is relevant to talk about the marginal costs of icebreaking, which has been partly called into question in earlier studies.

Table 1. Estimated socioeconomic marginal costs of icebreaking; numbers marked with * and ** are significant at the 0.1 % and 1 % levels, respectively.**

<i>Socioeconomic marginal cost per</i>	<i>Air pollution valued as per ASEK (2016)</i>		<i>Air pollution valued as per Nerhagen (2016)</i>	
	<i>SEK</i>	<i>Model's explanatory power (adjusted R2 value)</i>	<i>SEK</i>	<i>Model's explanatory power (adjusted R2 value)</i>
Assistance (state icebreakers)	66 262**	0,51	41 466**	0,48
Assisted vessel (state icebreakers)	58 284**	0,60	35 823**	0,51
Assistance (all icebreakers)	88 255***	0,69	60 522***	0,66
Assisted vessel (all icebreakers)	69 617***	0,77	49 570***	0,74
Running hour (state and Viking icebreakers)	12 706**	0,61	7 510**	0,54
Assisted hour (state and Viking icebreakers)	27 916***	0,70	16 291**	0,60
Nautical mile (state and Viking icebreakers)	1 925***	0,75	1 156***	0,68
Assisted nautical mile (state and Viking icebreakers)	3 265***	0,68	1 959**	0,62

Several models for describing a cost function and calculating the marginal costs have been tested. The issue is partly whether the cost items should be estimated separately or using a

common function, and partly whether the cost function is linear and yields a constant marginal cost or whether the cost function should allow the marginal cost to increase or decrease depending on how much icebreaking is carried out. Because the explanatory variable is the same for the various cost items, a model has been chosen that is based on a common estimation of the summed costs rather than on several cost items separately. Each estimate entails an uncertainty, and by performing just one estimate we avoid compounding these uncertainties. The differences in the results obtained using a single common versus multiple separate cost functions are, however, minor.

A linear model has been chosen with respect to the cost function. This was done because the estimated parameters were not statistically significant in most of the models that include the explanatory variable both linearly and squared.

Separate estimates were performed for the marginal costs of the state icebreakers and hired icebreakers (i.e., auxiliary icebreakers and Viking icebreakers), respectively. The marginal cost of state icebreakers is generally lower than that of hired icebreakers, even though the state icebreakers are generally significantly larger than the hired icebreakers. The Maritime Administration should be able to influence the marginal costs of icebreaking by increasing or decreasing its icebreaker fleet. If the Maritime Administration has a large icebreaker fleet of its own and does not need as many hired icebreakers, then the marginal costs will decrease even as the fixed costs rise. If the Maritime Administration has a small private icebreaker fleet and uses a large number of hired icebreakers, then the marginal costs will increase even as the fixed costs decrease.

It has not generally been possible to demonstrate that the marginal costs are dependent on the severity of the winter. No winter severity-dependent effect on the marginal costs is evident in the vast majority of the analyses. Using dummy variables, a few isolated analyses have pointed to higher costs in very mild winters.

1 Bakgrund

Trafikanalys har i uppdrag att analysera transportsektorns samhällsekonomiska kostnader i relation till skatte- och avgiftsuttag (SFS 2010:186). En viktig del av detta är att sammanställa och tydliggöra marginalkostnader för olika transportslag för både persontrafik och godstransporter. På väg- och järnvägssidan finns relativt sett god kunskap om trafikens marginalkostnader, men för både luftfart och sjöfart behövs mer kunskapsutveckling.

Syftet med detta PM är att närmare belysa den samhällsekonomiska marginalkostnaden för isbrytning i Sverige. Enligt de transportpolitiska principerna ska trafikens samhällsekonomiska kostnader vara en utgångspunkt när transportpolitiska styrmedel utformas (prop. 2008/09:93). Kunskap om isbrytningens samhällsekonomiska marginalkostnader kan därmed bidra till diskussionen både om hur isbrytningen bör finansieras och om internaliseringsgraden hos de olika trafikslagen.

1.1 Sjöfartsverkets isbrytningsverksamhet

Vintertid lägger sig is som hindrar sjöfarten på vissa farvatten. Eftersom svensk industri och handel är beroende av att sjöfarten fungerar året om assisterar Sjöfartsverket fartyg med isbrytning så att farleder kan hållas öppna. Isbrytning inom det statliga ansvarsområdet är avgiftsfri för fartyg som får isbrytarassistans. Enligt Isbrytarförordningen (2000:1149) kan fartyg lämpade för vintersjöfart erhålla isbrytarassistans i svenska kustfarvatten och på sjövägarna dit mellan öppet vatten till havs och farvatten som är skyddade för havsis, drivas, packis och liknade ishinder. I områden som är skyddade för havsis är lokala intressenter ansvariga för isbrytningen.

Isbrytningen leds av Sjöfartsverkets isbrytarledning som fördelar resurser och utfärdar trafikrestriktioner samt informerar om is- och trafikläget. Sjöfartsverket har fem fartyg för isbrytning. Sjöfartsverkets isbrytningsverksamhet kan hyra in fartyg från andra verksamheter hos Sjöfartsverket och från externa parter. Sjöfartsverket hade mellan år 2001 och 2015 också avtal som gav dem tillgång till de så kallade Viking-isbrytarna (Sjöfartsverket, 2016). Vid behov kunde Viking-isbrytarna kallas in för att bryta is i Sverige. Viking-isbrytarna är byggda för att klara av att användas till isbrytning, men används vanligen inom offshore-verksamhet på Nordsjön.

Sjöfartsverket dimensionerar resurserna för isbrytning så att de ska vara tillräckliga för en viss trafiktillväxt. Sjöfartsverkets mål är att den genomsnittliga väntetiden på isbrytarassistans ska vara högst fyra timmar (Sjöfartsverket, 2015b). En isbrytare kan assistera ett fartyg eller flera fartyg samtidigt. Om flera fartyg är i samma område, väntar in varandra och ska åt samma håll kan en isbrytare assistera flera fartyg i en konvoj. Om något av fartygen fastnar kan isbrytaren antingen gå tillbaks och hjälpa fartyget loss, eller lämna fartyget som fastnat för att hjälpa vidare övriga fartyg och sedan återvända för att assistera fartyget som fastnat. Hur många fartyg som assisteras samtidigt beror bland annat på vädret och hur många fartyg som behöver assistens vid ett givet tillfälle.

I den omfattning som Sjöfartsverket bestämmer utförs brytning av svårare is i Vänern, Mälaren och Ångermanälven. I princip varje år utför Sjöfartsverket lokal isbrytning. Lokal isbrytning kan exempelvis vara att rensa bort is som fastnat vid bropelare i Göta älv. I dessa fall är isbrytningen inte kopplat till framförandet av ett särskilt fartyg. Sjöfartsverket kan också utföra lokal isbrytning för enskilda fartyg mot avgift.

Inomskärs går det att bryta rännor som inte driver igen utan kan återanvändas. Detta går närmast att jämföra med vinterväghållning. På öppet vatten driver däremot isen normalt snabbt igen på grund av strömmar och vind. Det innebär att rännorna inte går att återanvända. Om ett fartyg kan ta sig fram på egen hand beror framför allt på fartygets isklass, som definieras bland annat i förhållande till maskinstyrka, och isens egenskaper som är väderberoende. Det är vanligtvis lättare för ett (isbrytande) fartyg att färdas genom jämn slät is, än genom en igenfrusen och delvis ihoptryckt ränna. (Årnell och Gullne, 2016)

Isbrytning genom Bottenhavet görs vanligen längs en gemensam färdväg i havet med avstickare in mot kusten på lämplig plats. Syftet med detta är att flera fartyg går i samma stråk. När ett fartyg fryser fast kommer då isbrytarna lättare till assistans och kan bogsera loss fartyget. Ett fartyg kan bli assisterat av flera isbrytare. Två isbrytare kan exempelvis dela upp ett visst geografiskt område, så att den första isbrytaren hjälper fartyget fram till en viss punkt där nästa isbrytare tar vid. (Årnell och Gullne, 2016)

Sjöfartsverket är generellt finansierat av farledsavgifter som tas ut av fartyg som anlöper svenska hamnar. Intäkterna från farledsavgifterna används bland annat till att finansiera isbrytningen. De senaste tre åren har sjöfartsverket fått extra anslag och 200 miljoner kr per år har används till att finansiera isbrytningsverksamheten (Sjöfartsverket, 2014, 2015, 2015).

1.2 Isvintrarnas svårighetsgrad

Isens utbredning varierar år från år. Sjöfartsverket och SMHI delar in vintrarna i fyra kategorier, mycket lindrig, lindrig, normal eller svår isvinter. Hur en vinter kategoriseras beror bland annat på hur länge isen ligger och hur stort område som är istäckt.

Vintern 2014/2015 är ett exempel på en mycket lindrig isvinter. Då genomfördes 320 assistanser. Mot slutet av november började isen lägga sig i norra Bottenvikens skärgård. Ingen riktig tillfrysning skedde förrän i januari och i slutet av månaden var isutbredningen som störst och då var i princip hela Bottenviken istäckt. I och med blåsigt väder bildades en stampisvall i centrala delarna av Bottenviken som bestod ända till mars och försvårade för sjöfarten. I början av maj var isen borta. (Sjöfartsverket, 2015)

Ett exempel på en lindrig isvinter är vintern 2015/2016. Då genomfördes 770 assistanser. I slutet av november lade sig tunn is i de inre vikarna i nordligaste Bottenviken. I mitten på december började isen lägga sig i Bottenvikens norra skärgårdar samt i övre Ångermanälven. I januari lade sig isen i delar av Mälaren och längs Värnens kuster. I slutet på januari uppnåddes den största isutbredningen. Då var centra delar av Bottenviken fortfarande öppna. Hela Bottenviken frös till i februari och öppnade sig sedan för att åter lägga sig i mars. I slutet av april fanns bara mindre områden med ruttnade is kvar i till sjöss i Bottenviken. (Sjöfartsverket, 2016)

Ett exempel på en normal isvinter är vintern 2005/2006, då genomfördes 1097 assistanser. Under mitten av november kom ett tunt istäcke i de inre skyddande vikarna i Bottenviken. Den första isen i Ångermanälven kom i slutet av månaden. Därefter växte skärgårdsisen långsamt i

norr och i mitten av december kom den första isen till norra Värnen och västra Mälaren. En stampisvall bildades i norr. I januari accelererade isläggningen. I början av januari var Mälaren islagd och tunn fast is täckte Bottenhavets skärgårdar. I februari blev hela Bottenviken istäckt men sydvästliga vindar bröt upp is och talrika vallar bildades. Tunn skärgårdsis bildades från Stockholm och ner till Kalmarsund. I början på Mars var hela Vänern täckt med is och i mitten av månaden var hela Bottenhavet istäckt. Besvärliga stampisvallar som innebar att fartygen behövde assistans bildades utanför Gävle och i Kalmar sund. Isutbredningen var som störst i mitten på mars och då fanns is både i Ålands Hav och Norra Östersjön. I april smälte den tunna isen i norra Östersjön och Bottenhavet. Passagen genom Norra Kvarken öppnades och isen i södra Bottenhavet liksom fastisen i Stockholmsskärgård försvann. I slutet av maj var det isfritt utanför inloppen till Kalix och Karlsborg. (Sjöfartsverket, 2006)

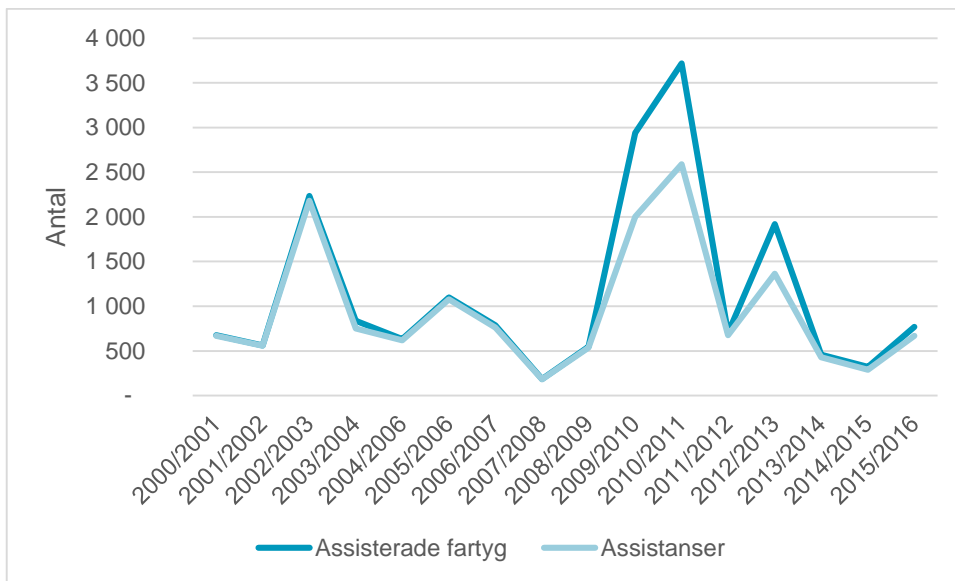
Ett exempel på en svår isvinter är vintern 2009/2010, då genomfördes 3720 assistanser. Isläggningen i de norra kustområdena inleddes först i början på december och isläggningen i december följde snarare mönstret för en lindrig eller mycket lindrig isvinter. I början av januari kom kylan och Bottenviken och Norra Kvarken blev helt täckta med is. I mitten på månaden var större delen av skärgårdarna på västkusten täckta med is. I slutet på månaden fanns tunn fast is i samtliga fjärdar och skyddade vikar ända ner till Kalmarsund. Isutbredningen var som störst i mitten av februari och då var även hela Bottenhavet islagt. I mars orsakade kraftiga vindar stampisvallar och drivis som försvårade för sjöfarten. I början av april försvann den sista isen på Västkusten och Värnen var helt isfri i mitten av månaden. Den sista havsisen smälte i början slutet av maj i norra Bottenviken. (Sjöfartsverket, 2010)

1.3 Är kostnaden för isbrytning kopplad till hur mycket isbrytning som genomförs?

Marginalkostnaden är kostnaden för att producera ytterligare en enhet, i detta fall assistera ytterligare ett fartyg. Det förutsätter att det finns en koppling mellan kostnaden och hur många fartyg som assisteras. Det finns en diskussion om huruvida marginalkostnaden för isbrytning är beroende av hur många fartyg som assisteras. Vierth (2007, sid 45) menade att marginalkostnaden för isbrytning är noll och att den inte påverkas av antalet fartyg. Vierth (2016, s 31) menar att assistansen av ytterligare ett fartyg eller fartygskilometer inte förefaller ha någon signifikant påverkan på kostnaderna, utan att de snarare antas bero på om vinterns svårighetsgrad.

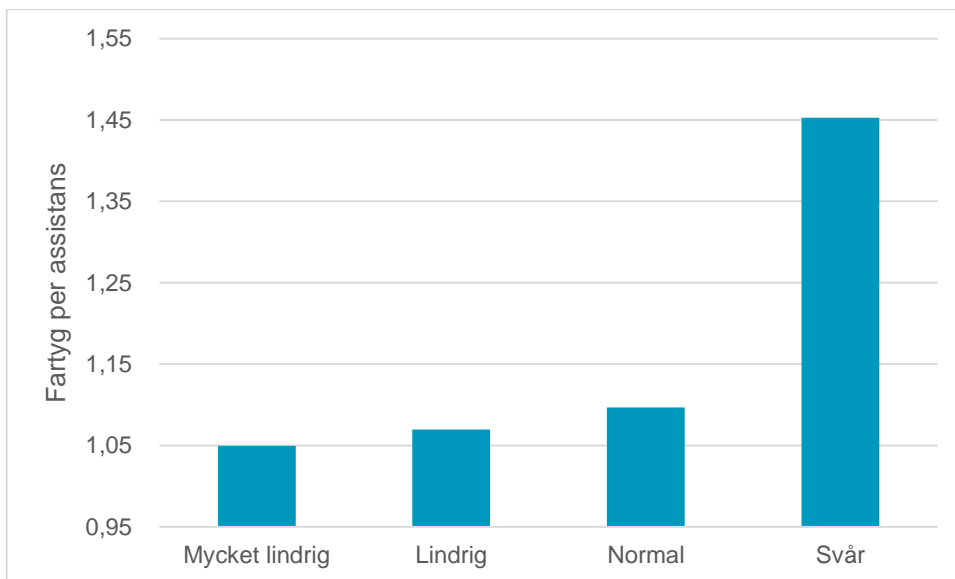
Det går också att resonera som så att eftersom det förekommer att en isbrytare assisterar flera fartyg samtidigt så finns det bara en marginalkostnad för det första fartyget i konvojen, för övriga fartyg kan marginalkostnaden anses vara noll. Ett argument mot detta är att enskilda fartyg i konvojer kan fastna i isen och behöva enskild assistans och att bilda en konvoj är förknippat med tidskostnader – fartyg kan behöva vänta in andra. Kostar det mer att ytterligare ett fartyg ska kunna ta sig fram, eller kan vissa fartyg "åka snålskjuts"?

I Figur 1-1 visas antalet assisterade fartyg och antal assistanser som genomförts per år de senaste 16 vintrarna. Antalet assisterade fartyg och antalet assistanser följs relativt väl åt. I genomsnitt för hela perioden assisterades 1,1 fartyg per assistans. Inom Sjöfartsverkets isbrytningsverksamhet finns målsättningen att i genomsnitt assistera 1,4 fartyg per isbrytningsassistans. (Årnell och Gullne, 2016)



Figur 1-1 Antal assisterade fartyg och genomförda assistanser per vintersäsong. Källa: Bearbetade data från Sjöfartsverket, *Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten 2000/2001 till och med 2015/2016*.

Vid svåra vintrar är det vanligare med att fartyg assisteras i konvoj. En svår vinter assisteras nästan 40 procent fler fartyg per assistans än mycket lindriga vintrar, se Figur 1-2.



Figur 1-2 Genomsnittligt antal fartyg per assistans efter isvinterns svårighetsgrad. Källa: Bearbetade data från Sjöfartsverket, *Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten 2000/2001 till och med 2014/2015*.

En möjlig förklaring till detta är att fler fartyg behöver assistans kalla vintrar och att det därmed blir lättare att korrdinera dem och köra konvojer efter isbrytaren.

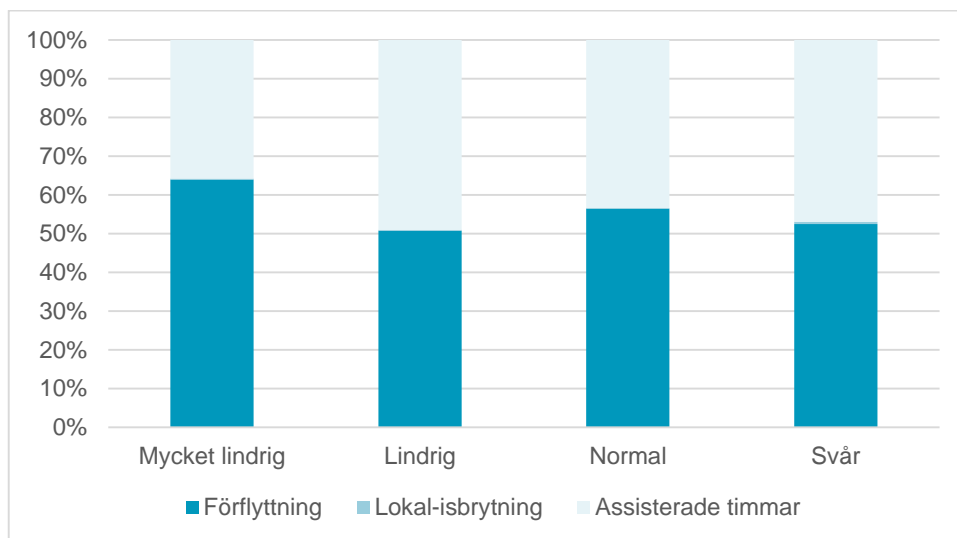
En slutsats av detta torde vara att isbrytarna i relativt hög omfattning assisterar ett fartyg i taget, i synnerhet isvintrar som inte svåra. Om marginalkostnaden är kopplad till antalet assistanser som isbrytarna genomför, innebär det att marginalkostnaden för isbrytning i relativt stor utsträckning går att spåra tillbaks till enskilda fartyg.

Kostnaden per assistans eller per assisterat fartyg kan vara ett relativt grovt mått på prestationen, med tanke på att fartyg kan behöva assistans olika lång tid och olika lång sträcka. I de data som använts för beräkningarna nedan finns uppgifter också om tid och avstånd för isbrytarna.

Tid

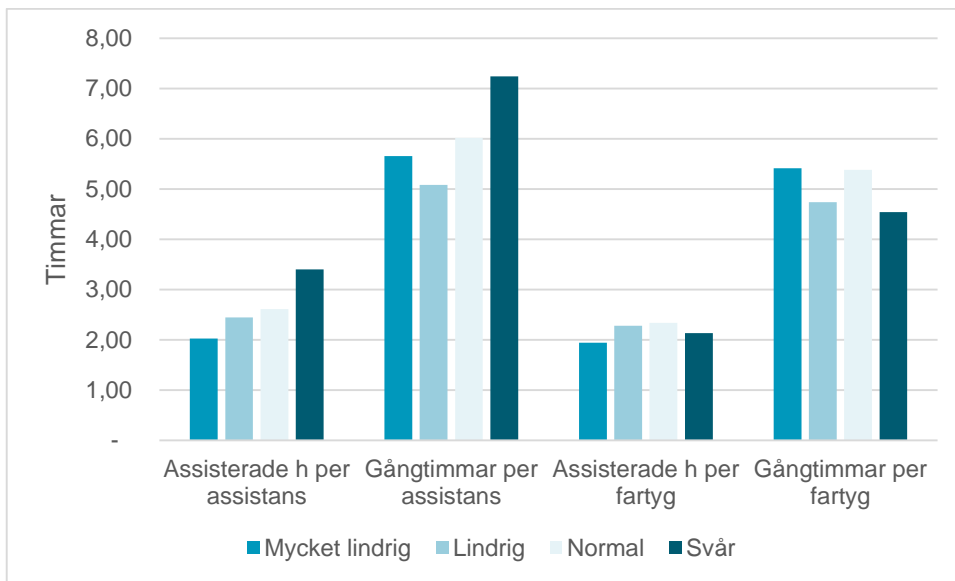
Vi har fått uppgifter om hur statsisbrytarna inklusive Viking-isbrytarna använder sin tid. Den totala gångtiden isbrytarna används delas upp i förflyttningar, lokal isbrytning och assisterade timmar, där assisterade timmar står för antalet timmar isbrytarna assisterat fartyg inom Sjöfartsverkets ansvarsområde. Alla siffror i detta avsnitt avser därför statsisbrytarna inklusive Viking-isbrytarna.

Förutsättningarna att bedriva isbrytning skiljer sig något åt beroende på vinterns svårighetsgrad. Mycket lindriga vintrar används mer av isbrytarnas tid för att förflytta sig dit isbrytarassistansen ska genomföras jämfört med strängare vintrar. Andelen timmar som ägnas åt lokal-isbrytning är mycket liten (i medeltal 0,3 procent av den totala gångtiden).



Figur 1-3 Fördelning av tid mellan förflyttning, lokal-isbrytning och isbrytarassistans efter vinterns svårighetsgrad.

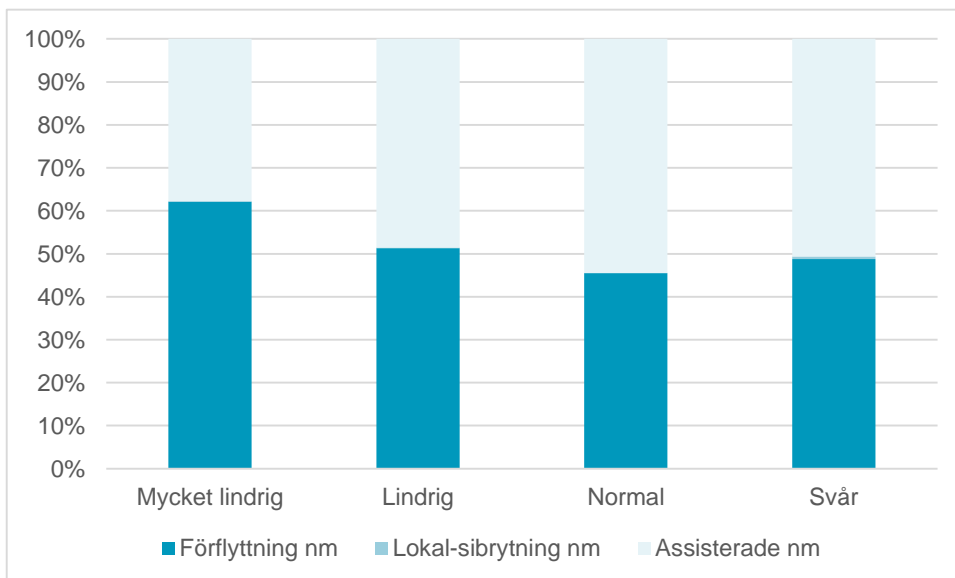
Figur 1-4 visar att antalet assisterade timmar per assistans ökar med vinterns svårighetsgrad. Det samma gäller inte för antalet assisterade timmar per fartyg, vilket kan ha att göra med att isbrytarna assisterar fler fartyg per assistans kalla vintrar. Det är svårt att se något tydligt samband mellan vinterns svårighetsgrad och antalet totala gångtimmar per assistans och per assisterat fartyg.



Figur 1-4 Tidsåtgång per assistans och assisterat fartyg beroende på vinterns svårighetsgrad.

Avstånd

Avståndet ett fartyg behöver assistans av isbrytare varierar med isen utbredning och var fartyget ska anlöpa. Driftskostnaden per isbrytarassistans eller assisterat fartyg kan därmed variera beroende på hur lång sträcka fartyget behöver assisteras. Ur den aspekten är det rimligt att differentiera beräkningen så att marginalkostnaden istället beräknas per assisterad sträcka.

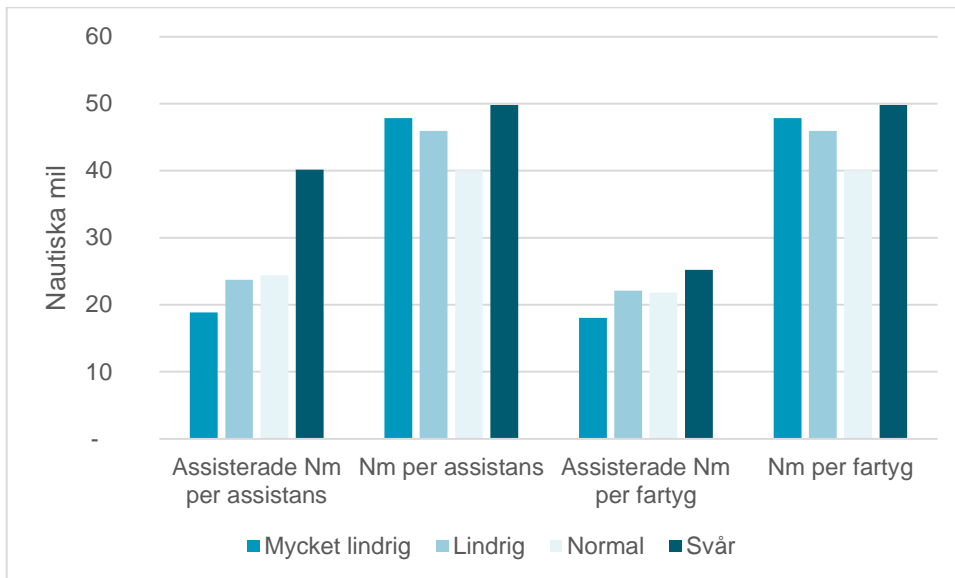


Figur 1-5 Fördelning av tillryggalagt avstånd mellan förflyttning, lokal-isbrytning och isbrytarassistans efter vinterns svårighetsgrad.

Fördelningen mellan förflyttning, lokal-isbrytning och isbrytarassistans gällande tillryggalagda nautiska mil är liknande fördelningen av tid men inte identisk, se Figur 1-5. En mycket lindrig vinter utfördes isbrytning på 38 procent av den tillryggalagda sträckan. Andelen ökade till 54 procent en normal vinter, men sjunker sedan till 51 procent en svår vinter. Det innebär att en

större del av tiden men en mindre andel av sträckan används för faktisk isbrytning en svår vinter.

Ju kallare vinter desto längre sträcka assisteras fartygen, se Figur 1-6. De stämmer överens med vad som går att förvänta sig; en kall vinter är det is över större område och fartygen behöver därmed assistans längre sträckor.



Figur 1-6 Assisterad sträcka och totala nautiska mil per assistans och per assisterat fartyg efter vinterns svårighetsgrad.

2 Isbrytningens kostnadskomponenter

I nedanstående kapitel beskrivs marginalkostnaden för isbrytning med hjälp av en botten-uppansats. Här diskuteras vilka kostnadskomponenter som är att betrakta som fasta respektive rörliga, samt vilka kostnader som är relevant vid beräkning av marginalkostnaden.

2.1 Kapitalkostnad för isbrytande fartyg

Enligt Eriksson et. al. (2009) är kapitalkostnaden för isbrytare att betrakta som en så kallad sunk cost. Det betyder att kostnaden är historisk och att den inte påverkar framtida handlingsalternativ. Isbrytare är till stor del unika och har begränsad alternativ användning om de inte skulle användas för isbrytning. För vissa av isbrytarna finns emellertid alternativa användningsområden. Det gäller till exempel Sjöfartsverkets isbrytare Oden, som används som forskningsfartyg och Viking-isbrytarna som även används inom offshore-verksamhet. Sjöfartsverket hade tidigare tillgång till dessa genom avtal som innebar att Sjöfartsverket betalade en fast avgift för att dessa fartyg skulle kunna användas till isbrytning i Sverige vid behov. Denna avgift betalades oavsett om fartyg används för isbrytning eller ej.

Sjöfartsverket hyr vid behov in fartyg som hjälper till vid isbrytningen, så kallade hjälpisbrytare. Dessa fartyg är ofta bogserbåtar och har således en alternativ användning. Den kostnad Sjöfartsverket betalar till hjälpisbrytarna skulle troligtvis mer kunna liknas vid företagsekonomiska (genomsnitts-)kostnader och skulle därmed kunna inkludera fartygens kapitalkostnad. Det går att anta att hjälpisbrytarna enbart hyrs in när det finns behov av att använda dem. Därmed utgör hela kostnaden för hjälpisbrytarna en del av marginalkostnaden även om en del av kostnaden för att hyra fartygen består av kapitalkostnaden.

Slutsatsen av detta torde vara att kapitalkostnaden för stats- och Viking-isbrytare inte varierar med antalet fartyg som får isbrytarassistans och att investeringskostnaden för isbrytarna därmed inte ska ingå i marginalkostnaden för isbrytning. Kapitalkostnaden för stats- och Viking-isbrytarna är att betrakta som fast kostnad i alla fall på kort till medellång sikt.¹ Kostnaden för inhyrda hjälpisbrytare bör dock inkludera även om en del av kostnaden utgörs av kapitalkostnader.

2.2 Personalkostnader

Är personalkostnad en del av marginalkostnaden för att ge ytterligare ett fartyg isbrytarassistans? Det beror på den ersättningsmodell Sjöfartsverket har. Givet att personalkostnaden inte ökar med ytterligare en isbrytarassistansinsats är personalkostnaden

¹ Detta gäller givet Sjöfartsverkets mål om att medelväntetiden på isbrytarassistans inte ska vara högre än fyra timmar. Om målet ändras kan ett förändrat antal isbrytare behövas.

något som inte bör inkluderas i marginalkostnaden. Detta synsätt återfinns hos Eriksson et. al. (2009).

Näringsdepartementet (2003) för en diskussion om att personalkostnader bör ses som en del av marginalkostnaden för lotsning. De poängterar att lotsorganisationen är uppbyggd för att fartyg ska få lots utan att behöva vänta om de anmäler behovet minst fem timmar i förväg. Däremot så menar Näringsdepartementet att lotsar och båtmän har en alternativkostnad då de kan utföra annat produktivt arbete, så som exempelvis underhåll av lotsbåtarna. Näringsdepartementet uppskattar att alternativkostnaden för lotsar är 50 procent av den fasta ersättningen och för båtmän är motsvarande andel 75 procent. Dessutom räknar Näringsdepartementet att rörlig ersättning, så som uppdrags-, tim- och övertidstillägg till lotsar och båtmän, ingår i marginalkostnaden.

Om Sjöfartsverket behöver kalla in ett extra isbrytarfartyg och därmed också extra personal, bör denna personalkostnadsökning vara en del i marginalkostnaden för att utföra ytterligare en isbrytning. Det innebär att marginalkostnaden för personal kan variera från noll (givet att alternativkostnaden för personalen på isbrytarna är noll) till hela personalkostnaden om ytterligare en isbrytare med personal behöver anlitas. Givet att personalkostnaden är fast för den ytterligare isbrytaren när den väl satts i drift, är marginalkostnaden för personal noll för därefter tillkommande fartyg som får isbrytarassistans.

2.3 Operativa kostnader; underhåll, drivmedel och övrigt

Eriksson et. al. (2009) delar in de operativa kostnaderna i fasta och rörliga operativa kostnader. Fasta operativa kostnader är kostnader för att ha fartygen redo att utföra isbrytning, och inkluderar både fasta underhållskostnader och personalkostnader. Underhållskostnaderna delas upp i en fast och en rörlig del. M4Traffic (2015) ser både underhållskostnader och personalkostnader som rörliga tidsberoende kostnader. Dessutom inkluderar M4Traffic administration, försäkring, torrdockning samt bränsle till hjälpmaskiner (som bland annat används för fartygets elförsörjning när det ligger vid kaj) i de tidsberoende kostnaderna.

Eriksson et. al. menar att de rörliga operativa kostnaderna består av bränslekostnad samt underhåll som påverkas av hur mycket isbrytaren används. För vissa isbrytare används även kemikalier för rening av avgaser och då inkluderas även dessa i de rörliga operativa kostnaderna. M4Traffic ser bränslekostnaden som en rörlig avståndsberoende kostnad. De rörliga operativa kostnaderna varierar med antalet fartyg som får isbrytarassistans och bör därför vara en del av marginalkostnaden.

2.4 Positioneringskostnad

Positioneringskostnad är den kostnad fartyget (i detta fall isbrytaren) har för att nå den plats där isbrytarassistansen ska inledas. Denna kostnad bör variera med antalet assisterade fartyg och bör därför vara en del av marginalkostnaden. Positioneringskostnaden hänger samman med hur många gångtimmar och nautiska mil som isbrytarna använder till förflyttningar.

2.5 Negativa externa effekter

Eriksson et. al. (2009) tar inte upp kostnader för externa effekter. Externa effekter är sådana som påverkar någon annan än de som tar beslut om att producera och konsumera en vara. Det gör däremot Melin och Creutzer (2014) och Vierth (2016).

De emissioner som vanligen diskuteras är luftföroreningar samt växthusgaser. Men förbränning av drivmedel ger också utsläpp av kortlivade klimatpåverkande ämnen så som svart sot (SMHI, 2016). Utsläppen av dessa ämnen varierar med bränsleförbrukningen och utgör därmed en marginalkostnad för att ge ytterligare fartyg isbrytarassistans.

Buller har en negativ påverkan på människors hälsa men också för det marina djurlivet. Med tanke på att Sjöfartsverkets isbrytning nästan uteslutande sker på öppet hav torde påverkan på människor vara försumbar. För de marina djuren är hörseln ett viktigt redskap som bland annat används för att navigera, hitta föda, kommunicera och skydda sig mot rovdjur. Enligt Melin (2014) finns det dock ingen forskning om marginalkostnader för maritimt buller. I det här arbetet görs inga försök att värdera kostnaden av buller i samband med isbrytning.

Det finns en del studier av sjösäkerhet, men inte i direkt relation till isbrytning. Lundkvist (2010, 2011) har tagit fram olycksvärderingar för påsegling, kollision och grundstötning som bygger på kostnader för skador på skrov, utsläpp av miljöfarliga ämnen, fara för liv, gods-förseningar, förlorade intäkter för redare och skador på annan egendom. Vierth (2015) studerat kostnader av fartygsskador och oljeutsläpp. Transportstyrelsen har en databas med Sjöfartsolyckor som kan användas för skattning. Om och i så fall i vilken utsträckning isbrytningsverksamheten leder till ökad eller eventuellt minskad säkerhet har inte analyserats i denna rapport, men om sjösäkerheten påverkas är det relevant vid beräkningen av isbrytningens marginalkostnad.

Vattenföroreningar, sedimentföroreningar samt habitat och biodiversitets har studeras i låg omfattning ur marginalkostnadsperspektiv (Melin, 2014). Vattenföroreningar är främst olja men kan även vara avfall så som avloppsvatten, gråvatten och fast avfall. Utsläppen kan bland annat bero av olyckor, ballastvatten, rensning och tömning av tankar eller dumpning. Det finns indikationer på att de små utsläppen sammantaget kan ha större negativ miljöpåverkan än mer sällsynta men större utsläpp i samband med olyckor. (Melin, 2014) Det är rimligt att tänka sig att även isbrytare kan orsaka både oljeutsläpp och kostnaden för detta skulle i så fall tas med i marginalkostnaden för isbrytning.

Den vanligaste orsaken till sedimentföroreningar är aktiviteter runt hamnar. Även på grundstötningar och påsegling innebär en risk att bottenfärg skrapas bort och att farliga kemikalier kan komma ut. (Melin, 2014) Det är inte orimligt att tänka sig att en likande risk förekommer vid isbrytning.

Habitat- och biodiversitetsförluster är oftast orsakade av andra externa effekter och habitatförluster kan i sin tur leda till biodiversitetsförluster. Habitat kan till exempel förstöras eller bli otjänliga på grund av miljögifter. I den mån utsläpp av olja, avskrapning av bottenfärg eller buller från isbrytarna kan påverka livsbetingelserna för det marina livet är denna eventuella kostnad även relevant för isbrytning.

Vad gäller buller, sjösäkerhet och marina externaliteter så som vattenföroreningar, sedimentföroreningar och habitat- och biodiversitetsförluster, är det rimligt att tänka sig att de varierar med antalet assisterade fartyg och att de därmed utgör en relevant grund för

isbrytningens marginalkostnader. I det här arbetet görs dock inga försök att värdera dessa kostnader.

Erosion innebär att vågor tar bort material från stränderna så att de bryts ner och landytan minskar. Sjöfarten orsakar svallvågor som kan öka erosionen. Det är dock uppenbart att Sjöfartsverkets isbrytning knappast bidrar till erosionen då isbrytning sker utomskärs. Slutsatsen är att erosion inte är en del av marginalkostnaden för att assistera ytterligare ett fartyg.

2.6 Infrastrukturkostnader

Både Melin och Creutzer (2014) och Vierth (2007) tar upp kostnader för infrastruktur som en relevant marginalkostnad för sjöfart. Infrastrukturkostnader anses bestå av lotsning, isbrytning samt slitage av infrastrukturen. Slitagekostnaden består av löpande drift och underhåll samt tidigare lagda reinvesteringar. Vierth menar att hamninfrastruktur inte har några marginalkostnader för slitage, men att däremot slussar har det. Eriksson et. al. (2009) menar att kostnaden för farleder i öppet vatten i princip bara är sjömätning och att detta är en sunk cost.

I och med att isbrytare inte har hjälp av lotsar och per definition klarar sin isbrytning på egen hand så utgör varken lotsning eller isbrytning någon del i marginalkostnaden för att assistera ytterligare ett fartyg. Inte heller infrastrukturellerade slitagekostnader bedöms uppstå vid isbrytning och därmed så bedöms de infrastrukturellerade kostnaderna för isbrytningen inte vara relevanta.

2.7 Undanträngnings- och fördröjningseffekter

Näringsdepartementet (2003) tar upp att kostnader för fartyg att invänta isbrytarassistans och i vissa fall vänta in andra fartyg. Näringsdepartementet menar att en beräkning av marginalkostnaden för isbrytning därför kräver en analys av undanträngnings- och fördröjningseffekter. Undanträngnings- och fördröjningseffekter bör vara kostnader som i första hand drabbar transportören (och i förlängningen transportköparen) eller andra transportörer då de tvingas vänta in varandra. Kostnaden bör gå att likna vid den förlängda restid som vägfordon ger andra vägfordon vid trängsel.

Trots att undanträngningseffekter bör vara en relevant del av den samhällsekonomiska marginalkostnaden för isbrytning har inga försök gjorts att beräkna denna kostnad i detta arbete.

2.8 Potentiella nyttor för sjöfarten

De fartyg som får isbrytarassistans skulle beroende på vilken isklass de har och isläget i vissa fall ta sig fram för egen maskin. Får de hjälp av en isbrytare torde dessa fartygs egen

bränsleförbrukning gå ner. Detta skulle kunna ses som en positiv marginaleffekt. I detta arbete har dock inga försök på att kvantifiera denna positiva effekt genomförts.

2.9 Sammanställning av kostnadsposter relevanta för marginalkostnadsberäkning

I Tabell 2-1 presenteras en sammanställning av de studier som tittat på marginalkostnader för isbrytning. I den näst sista kolumnen är Trafikanalys bedömning huruvida kostnadsposterna bör ingå i en beräkning av marginalkostnaden för isbrytning och i den sista kolumnen redovisas vilka kostnader som har beräknats och ligger till grund för de samhällsekonomiska marginalkostnader som redovisas i kapitel 5.

De kostnadsposter som ingår i den samhällsekonomiska marginalkostnaden kan delas upp i driftskostnader (underhåll, bränsle, kemikalier och positioneringskostnad) och externa effekter (övriga effekter). Driftskostnaderna definieras i den här rapporten som de kostnader som Sjöfartsverket har för isbrytningsverksamheten och som vid denna första bedömning i kapitel 2 förefaller vara rörliga och relevanta för marginalkostnaden.

Vid beräkning av samhällsekonomiska marginalkostnader är det inte en självklarhet att Sjöfartsverkets driftkostnader kan användas rakt av. Vid beräkning av samhällsekonomiska marginalkostnader så ska resurserna som används värderas till sin alternativkostnad, det vill säga det värde de skulle ha i en alternativ användning och det behöver inte per automatik vara så Sjöfartsverkets driftkostnader motsvarar alternativkostnaden. De driftkostnader som Sjöfartsverket har bedöms dock motsvara resursernas alternativkostnad och kan därmed används vid beräkning av samhällsekonomiska marginalkostnader.

De externa effekterna är i detta fall kostnader som inte direkt drabbar Sjöfartsverket eller de fartyg som får nytta av isbrytningsassistans. Exempelvis påverkar luftföroreningar och klimatutsläpp samhället i stort. Av de externa effekterna är det endast luftföroreningar och växthusgaser relaterade till bränsleförbrukning som värderas i kapitel 4, vilket dock utgör merparten av de externa kostnaderna. Eftersom sjöfarten inte betalar någon skatt för bränslet (SFS, 1994:1776) eller någon motsvarande avgift betalar de som släpper ut inte någon del av den externa kostnaden som uppstår till följd av luftföroreningar och klimatgaser.

Tabell 2-1 Sammanställning av kostnadsposter relevanta för marginalkostnadsberäkning.

<i>Kostnadstyp</i>	<i>Eriksson et. al. (2009)</i>	<i>Melin och Creutzer (2014)</i>	<i>Bör ingå i marginalkostnaden för isbrytning</i>	<i>Ingår i beräknade kostnader</i>
Kapitalkostnad	Sunk cost		Nej	Nej
Hyra hjälpisbrytare			Ja	Ja
Personalkostnad	Fast kostnad		Skulle kunna vara	Nej
Underhåll	Fast och rörlig kostnad		Delvis	Delvis
Bränsle	Rörlig kostnad		Ja	Ja
Kemikalier	Rörlig kostnad		Ja	I princip
Positioneringskostnad			Ja	Ja
Klimatpåverkande utsläpp		Marginalkostnad	Ja	Ja
Luftföroreningar		Marginalkostnad	Ja	Ja
Buller		Marginalkostnad	Ja	Nej
Sjösäkerhet		Marginalkostnad	Ja	Nej
Vattenföroreningar		Marginalkostnad	Ja	Nej
Sedimentföroreningar		Marginalkostnad	Ja	Nej
Erosion		Marginalkostnad	Nej	Nej
Habitat- och biodiversitets-förluster		Marginalkostnad	Ja	Nej
Undanträngs- och fördröjningskostnad			Ja	Nej
Nyttor för sjöfarten			Ja	Nej

3 Sjöfartsverkets driftskostnader

I detta kapitel redogörs för vilka data som används för beräkningar av Sjöfartsverkets driftkostnader. Först görs en genomgång av vilka kostnader som är rörliga och vilka kostnader som är fasta. Här redogörs också för hur kostnaderna har justerats för att fånga marginalkostnaden av isbrytning så väl som möjligt samt hur omräkning av prisnivå har genomförts.

3.1 Data på driftkostnader

Sjöfartsverket har sedan millennieskiftet tagit fram den årliga skriften "Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten". I skriften finns bland annat uppgifter om vinterns svårighetsgrad, antalet utförda assistanser, antalet assisterade fartyg och kostnadsuppgifter för isbrytningen. Data från samtliga 16 vintrar det finns uppgifter från har används vid beräkningarna.

Som komplement till uppgifterna från "Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten" har ett antal mer detaljerade uppgifter om statsisbrytarnas gångtid och assisterade nautiska mil samt bränsleförbrukning erhållits från Sjöfartsverket (Gullne, 2016-10-05).

3.2 Vilka är relevanta för marginalkostnadsberäkning?

Endast de rörliga kostnaderna är relevanta för att beräkna marginalkostnaden. Därför är det viktigt att skilja ut vilka kostnader som är fasta och vilka som är rörliga. Från genomgången i kapitel 3 vet vi att rörliga underhållskostnader, bränslekostnader, kostnader för kemikalier och positioneringskostnader är relevanta för beräkning av marginalkostnaden.

I "Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten" redovisas kostnaderna för isbrytning i följande kostnadsposter:

1. Statsisbrytarna
 - Lön
 - Driv- och smörjmedel
 - Övrig drift
 - Underhåll
2. Viking-isbrytarna
3. Övriga kostnader

- administration
- förhyrningar (helikoptrar och bogserbåtar)
- särskilda väderprognoser

4. Kapitalkostnader.

Finsk-svenskt samarbete

Sverige och Finland samarbetar genom att samutnyttja isbrytare. Kostnaden för de svenska isbrytarna när de utför uppdrag i Finland är inkluderad i de kostnader som redovisas i rapporterna "Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten". Men det är även antalet assisterade fartyg och antal assistanser. Det innebär att beräknade kostnader för isbrytningen avser isbrytning med svenska (och inhyrda) isbrytare oavsett om de arbetar i Sverige eller Finland.

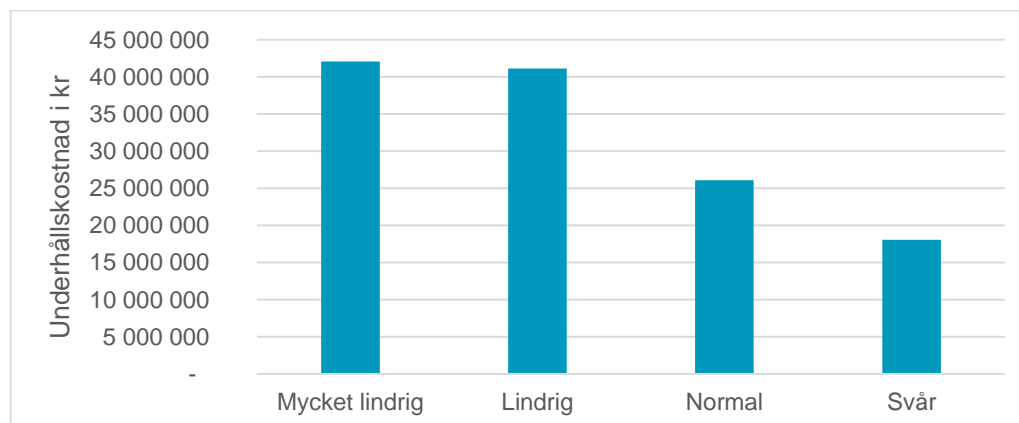
Statsisbrytarna

Kostnaden för driv- och smörjmedel är kopplad till hur mycket isbrytarna används och därmed kopplat till antalet genomförda assistanser.

Lönekostnaden för statsisbrytarna har inte i bedömts som rörlig även om den tidigare genomgången i avsnitt 2.2 visar att åtminstone delar av lönekostnaderna skulle kunna utgöra en del av marginalkostnaden.

Inte heller "övrig drift" bedöms som en rörlig kostnad. "Övrig drift" är kostnader för sådant som resor till och från isbrytarna, försäkring, satellitkommunikation, telefon, kajhyra, förrådslokaler med mera² och dessa bedöms inte variera med hur många fartyg som får isbrytarassistans.

Gullne (2016-09-13) bedömde att 10 till 20 procent av underhållskostnaden är att betrakta som rörlig. En viss del av underhållet är beroende av hur många timmar fartyget används, exempelvis gör Sjöfartsverket en mindre översyn efter 5 000 timmar och en större översyn efter 10 000 timmar.³ I Figur 3-1 nedan visas hur stora kostnaderna för underhåll är i förhållande till vinternssvårighetsgrad. Figuren visar att desto mildare vinter ju mer resurser läggs på underhåll.

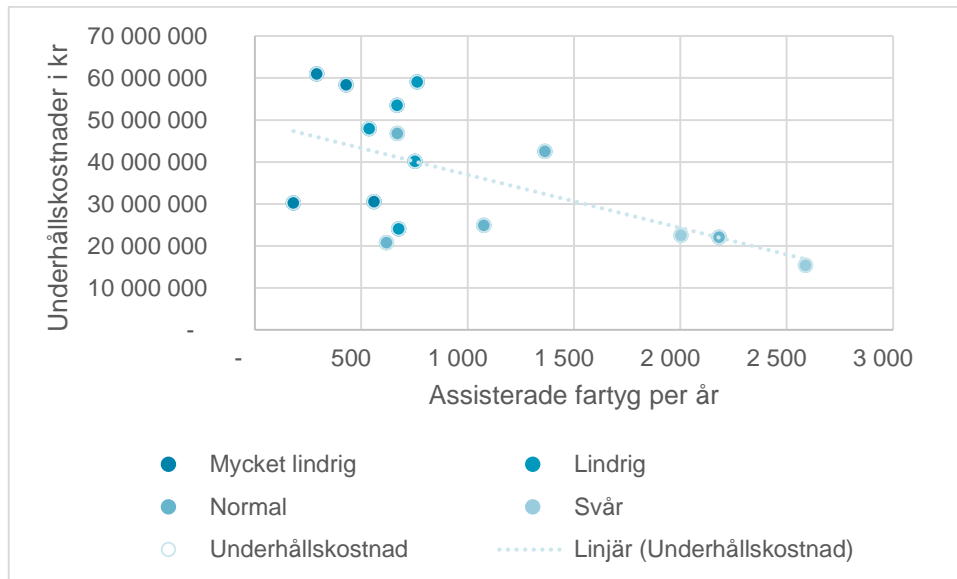


Figur 3-1 Genomsnittlig underhållskostnader i förhållande till vinterns svårighetsgrad i prisnivå 2015.

² Uppgifter från möte med Ulf Gullne på Sjöfartsverket, 2016-09-13.

³ Uppgifter från möte med Ulf Gullne på Sjöfartsverket, 2016-09-13

I Figur 3-2 visas underhållskostnaderna i förhållande till antalet assisterade fartyg. Varje prick i diagrammet motsvarar ett givet år. I diagrammet finns en trendlinje som visar att underhållskostnaderna är lägre när fler assistanser genomförs, vilket i stor utsträckning sammanfaller med de kallare vintrarna. En möjlig förklaring för höga underhållskostnader milda vintrar är enligt Gullne (2016) dels att fartygen då är tillgängliga för att genomföra underhåll i större utsträckning (de inte är ute och bryter is), dels att personalen har tid att utföra underhållsarbete.



Figur 3-2 Underhållskostnad i prisnivå 2015 förhållande antalet assistanser.

Om de rörliga underhållskostnaderna uppskattas genom att beräkna dem som 10 till 20 procent av den totala underhållskostnaden för respektive år blir de rörliga kostnaderna högre milda vintrar än svåra vintrar. Att kostnaden skulle vara högre milda vintrar då fler fartyg assisteras än svåra vintrar då många fartyg assisteras bedöms som orimligt i och med att kostnaden varierar beroende på hur mycket isbrytarna används. En rimlig slutsats är att det inte är bra att approximera de rörliga kostnaderna som 10 till 20 procent av underhållskostnaderna för ett enskilt år eftersom det ger ett resultat som inte är konsistent med vad det finns anledning att förvänta sig. På en övergripande nivå är det emellertid rimligt att 10 till 20 procent av underhållskostnaderna är rörliga. I avsaknad på exakta uppgifter om hur stora de rörliga underhållskostnaderna är för varje enskilt år har därför följande beräkningsmetod använts. Genomsnittskostnaden för underhåll (både fast och rörlig) för alla 16 år är ca 37,5 miljoner kr. I genomsnitt assisteras 1 149 fartyg per vinter. Om vi antar att de rörliga underhållskostnaderna är 15 procent av de totala underhållskostnaderna ger det en genomsnittlig kostnad på knappt 5 000 kr per assisterat fartyg. Denna kostnad har sedan multiplicerats med genomsnittligt antal assisterade fartyg för svåra, normala, lindriga respektive mycket lindriga isförhållanden. Det ger rörliga underhållskostnader på ca 16 miljoner kr en svår vinter, 6,4 miljoner kr en normal vinter, 3,6 miljoner kr en lindrig vinter och 1,9 miljoner kr en mycket lindrig vinter.

Viking-isbrytarna

Vad gäller kostnader för Viking-isbrytarna är det något mer komplicerat. Den årliga kostnaden rapporteras som en totalsumma. Viking-isbrytarna har endast använts fyra säsonger⁴ men det finns kostnader för Viking-isbrytarna från alla studerade säsonger, eftersom Sjöfartsverket som tidigare nämnts, betalar en fast avgift för dem oavsett om de används eller inte. Kostnaden för Viking-isbrytarna när de inte används har sjunkit från knappt 44 miljoner kr 2001/2002 till ca 2,9 miljoner kr 2015/2016. För de år Viking-isbrytarna har använts har kostnaden varierat mellan ca 34 och 85 miljoner kr. Merkostnaden som Sjöfartsverket betalar bedöms motsvara alternativkostnad då Viking-isbrytarna inte kan tjänstgöra på Nordsjön. Eftersom Viking-isbrytarna kallas in när de behövs bedöms merkostnaden för att använda Viking-isbrytarna vara rörlig kostnad och relevant vid beräkning av marginalkostnaden. Den rörliga kostnaden för Viking-isbrytarna har beräknats som den totala kostnaden för Viking-isbrytarna den aktuella säsongen minus kostnaderna för Viking-isbrytarna närmast föregående säsong då de inte hyrts in av Sjöfartsverket. Det ger rörliga kostnader på mellan 6 och 51 miljoner kr per år de år Viking-isbrytarna har använts för isbrytning i Sverige.

Övriga kostnader

Ingen av de kostnader som redovisas under övriga kostnader har bedömts som rörliga. Möjligen är det så att vissa delar av administrationskostnaden är rörlig i förhållande till hur många fartyg som assisteras då det troligen uppkommer en kostnad för Sjöfartsverket ta mot information om vilka fartyg som behöver assistans och koordinera insatserna. Dessa kostnader är dock inte inkluderade i de rörliga kostnaderna som använts för beräkningarna nedan.

Förhyrningar

Förhyrningar avser framförallt hjälpisbrytare men inkluderar också helikoptrar. Hjälpisbrytare har använts samtliga studerade vintrar utom vintern 2007/2008. Kostnaden för att hyra in hjälpisbrytarna antas motsvara den nytta hjälpisbrytarna skulle ha vid en alternativ användning. Hjälpisbrytare kallas in vid behov och kostnaden för dem bedöms därför som rörlig. Det är inga hjälpisbrytare användes redovisades ändå en kostnad på knappt en miljon kr på posten "förhyrningar", trots detta har hela kostnaden för förhyrningar inkluderades i den rörliga kostanden i beräkningarna nedan.

Beräkning av driftskostnader

Sammanfattningsvis bedömer Trafikanalys att följande kostnader som relevanta för beräkning av marginalkostnader:

- driv- och smörjmedel för statsisbrytarna,
- del av underhållskostnaderna för statsisbrytarna,
- del av kostnaden för Viking-isbrytarna samt
- förhyrningar av hjälpisbrytare.

Summan av dessa kostnader benämns i denna rapport som driftskostnader. Driftskostnaderna är med andra ord summan av de kostnader som bedöms som rörliga som Sjöfartsverket har för isbrytningsverksamheten. Kostnaderna för driv och smörjmedel samt för förhyrningar har

⁴ 2002/2003, 2006/2007, 2009/2010 samt 2010/2011.

tagits direkt från redovisningarna i "Sammanfattning av isvintern och isbrytarverksamheten" och kostnaderna för underhåll och för Viking-isbrytarna har beräknats såsom redovisats ovan.

Justering av kostnader med hänsyn till lokal isbrytning

Samtliga år utom ett⁵, har Sjöfartsverket även utfört lokal isbrytning. Kostnaderna som diskuterats ovan omfattar kostnader för hela isbrytningsverksamheten inklusive lokal isbrytning. Då lokal isbrytning inte är relaterat till marginalkostnaden för att assistera ett givet fartyg eller en fartygsassistans behöver kostnaderna för den lokala isbrytningen dras bort. Det finns inga direkt tillgängliga uppgifter om hur stor del av kostnaden för isbrytning som går åt till lokal isbrytning. Dock har Trafikanalys fått uppgifter om kostnader för lokal isbrytning för fem år från Sjöfartsverket.⁶ Ett av dessa år var året då ingen lokal isbrytning genomfördes och då var också kostnaden noll kr. De övriga fyra åren var kostnaden för lokal isbrytning mellan 2,5 procent och 1,1 procent av den beräknade driftkostnaden. I förhållande till det totala antalet assistanser och lokal isbrytning utgjorde den lokala isbrytningen mellan 0,6 och 11 procent av den totala verksamheten (assistanser plus lokal isbrytning). En linjär regressionsanalys baserat på data från dessa fem år gav att kostnadsandelen för lokal isbrytning ökar med 0,13 procentenheter när andelen lokal isbrytarassistans ökar med en procent samt en konstant på 0,005 procentenheter. Dessa värden har används för att uppskatta kostnaderna för lokal isbrytning de år det inte finns data för. Kostnaden för lokal isbrytning (de år det inte finns data för) har på så sätt beräknats till mellan cirka 11 och 0,5 procent av driftkostnaderna. Kostnaden för lokal isbrytning har tagits bort från driftkostnaderna.

3.3 Omräkning till fasta priser

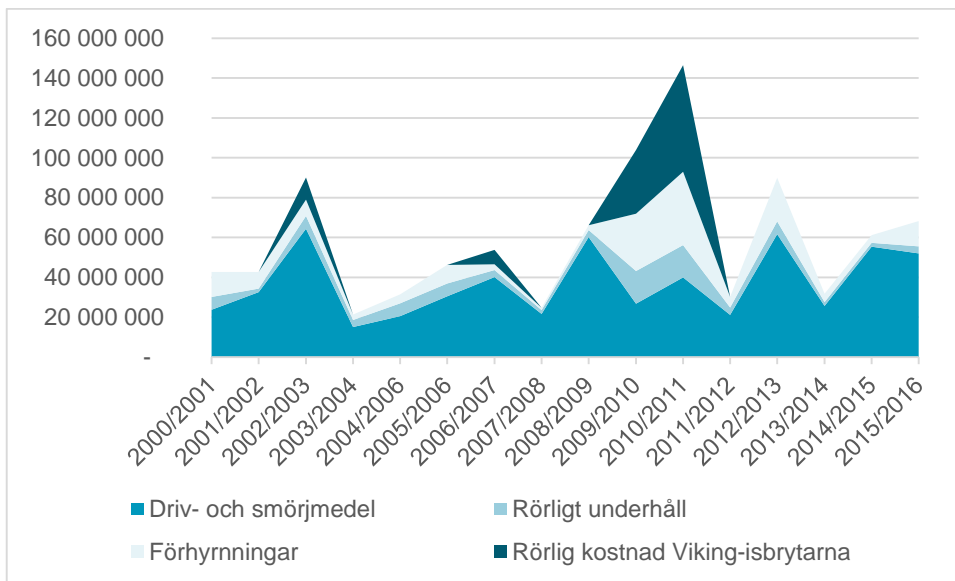
För att kunna jämföra kostnaderna mellan flera år har kostnaderna räknats upp med hjälp av index. Kostnaderna för driv- och smörjmedel har räknats upp med ett index för importpriser för råpetroleum och övriga priser med Transportkostnadsindex. Kostnaderna i källmaterialet är angivna i brutna år. Vid indexuppräknings av kostnaderna har index för det senare året används då merparten av kostnaderna antas uppkomma under senare delen av vintern.⁷ Exempelvis har index för år 2015 använts för det brutna året 2014/2015. Då beräkningarna till denna PM genomfördes fanns inte tillgängliga index för år 2016 tillgängligt. Det innebär att kostnaderna för vintern 2015/2016 inte är indexberäknade. Bedömningen är att prisförändringarna mellan år 2015 och 2016 inte var så stora att detta kommer påverka resultaten.

I Figur 3-3 visas beräknade driftskostnader i prisnivå 2015.

⁵ Vintersäsongen 2014/2015 genomfördes ingen lokal isbrytning.

⁶ Muntliga uppgifter per telefon från Ulf Gullne november 2016. Kostnaden för lokal isbrytning vintern 2010/2011 var 2 miljoner kr, vintern 2011/2012 1,2 miljoner kr, vintern 2013/2014 530 000 kr, vintern 2014/2015 noll kr och vintern 2015/2016 800 000 kr.

⁷ Maximal isutbredning brukar vara i Mars. (Eriksson et. al. 2009)



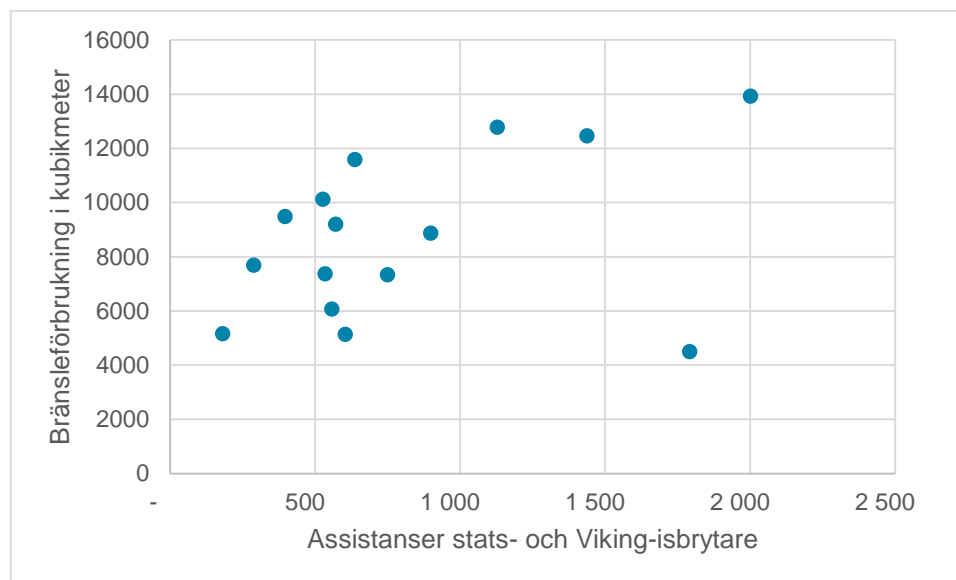
Figur 3-3 Beräknade driftskostnader per vintersäsong i prisnivå 2015.

4 Externa effekter

I detta kapitel redovisas data för beräkning av kostnader för externa effekter från växthusgaser och luftföroreningar. Både utsläpp av växthusgaser och utsläpp av luftföroreningar varierar med bränsleförbrukningen. Externa effekter som har en koppling till bränsleförbrukning är de som är av stort betydelse i detta sammanhang. De externa effekterna som inte är kopplade till bränsleförbrukning bedöms som små. I kapitlet görs först en genomgång av bränsleförbrukningen baserat på uppgifter från Sjöfartsverket gällande statsisbrytarna. Då data saknas gällande bränsleförbrukning för inhyrda hjälpisbrytare och Viking-isbrytarna förs sedan en diskussion om hur bränsleförbrukning och kostnader kan uppskattas för Viking-isbrytare och förhyrda hjälpisbrytare.

4.1 Bränsleförbrukning och energianvändning för statsisbrytarna

Sjöfartsverket kan ta fram uppgifter om bränsleförbrukning för statsisbrytarna från sina system. Det finns möjlighet att få ut information i olika delar av systemet. Uppgifter om bränsleförbrukningar av tjockolja (HFO) och dieselbrännolja (MGO)⁸ per vintersäsong har fått för vintersäsongen 2001/2002 till och med 2015/2016. Bränsleförbrukning avser november ett år till maj nästa år för statsisbrytarna (Gullne, 2016-10-05) se Figur 4-1.



Figur 4-1 Bränsleförbrukning i kubikmeter per år i förhållande till antalet assistanser per år.

Bränsleförbrukningen den svåra vintervintern 2010/2011 (pricken längst ner i det högra hörnet i Figur 4-1) ser ut att avvika i förhållande till mönstret från övriga vintrar. På grund av detta

⁸ HFO står för heavy fuel oil och innehåller normalt 1 procent svavel. DBO står för dieselbrännolja, även kallat MGO (marin gas oil) och innehåller vanligen 0,1 procent svavel.

kontaktades Sjöfartsverket igen och nya uppgifter om bränsleförbrukning för vintrarna 2009/2010 till 2014/2015 erhöles från Fastland (2016-12-12). Uppgifterna om bränsleförbrukningen från Fastland är återskapade från den ekonomiska redovisningen. Emellertid skiljer sig de uppgifter om bränsleförbrukning som fått från Gullne relativt mycket från de uppgifter som fått från Fastland, se Tabell 4-1.

Tabell 4-1 Total bränsleförbrukning för statsisbrytarna enligt två olika källor på Sjöfartsverket.

	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Uppgifter från Gullne (2016-10-05)	12 462	4 504	5 142	12 780	9 484	7 689
Uppgifter från Fastland (2016-12-12)	20 569	30 956	10 745	15 112	5 508	5 622
Skillnad	8 107	26 452	5 604	2 332	-3 976	-2 067

I analysen nedan har Trafikanalys valt att utgå från data från Gullne (2016-10-05) men plockat bort vintersäsongen 2010/2011. Det innebär att det finns data för 14 år och endast en svår vinter.

Statsisbrytarna utför också lokal isbrytning. På samma sätt som beskrivits i avsnitt 3.2 har bränsleförbrukningen och kostnaderna för externa effekter räknats ner med en viss procent i förhållande till hur mycket lokal isbrytning som genomförts det året.

Bränsleförbrukning för Viking-isbrytarna och inhyrda isbrytare

Vi har inte haft tillgång till data för bränsleförbrukningen för Viking-isbrytarna eller andra inhyrda isbrytare. För att kunna beräkna utsläpp från alla isbrytare (inte enbart från statsisbrytarna) antas liksom i Eriksson et al. (2009) att bränsleförbrukningen är proportionerlig till isbrytarens maskinstyrka.

För att ta reda på isbrytarens maskinstyrka har uppgifter om fartygens namn hämtats från I Sjöfartsverkets rapporter *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen*. För vintersäsongerna 2000/2001 till och med vintersäsongen 2015/2016 finns 68 namngivna fartyg. För att få fram uppgifter om maskinstyrka hos fartygen har en sökning gjorts i *Sveriges Skeppslista 2015* (Transportstyrelsen, 2015). Uppgifter om maskinstyrka har fått fram för 46 fartyg. Därefter har medelvärde för maskinstyrka beräknats för statsisbrytarna, Viking-isbrytarna respektive de förhyrda hjälpisbrytarna. Medelvärdet är vägt beroende på hur många vintersäsonger respektive fartyg används till isbrytning. Viking-isbrytarens maskinstyrka har på detta sätt beräknats till 88 procent av statsisbrytarens maskinstyrka. De förhyrda hjälpisbrytarna har i genomsnitt en maskin styrka på 9 procent av statsisbrytarens. Bränsleförbrukningen hos Viking-isbrytarna har därmed antagits vara 88 procent av statsisbrytarens bränsleförbrukning och de förhyrda hjälpisbrytarna antas ha en förbrukning på 9 procent av statsisbrytarens.

Bränslekvalitet

Vid beräkning av utsläpp av klimatgaser och luftföroreningar spelar det roll vilket bränsle som används. Sjöfartsverket har historiskt använt både HFO och MGO. Sedan 2015-01-01 har det så kallade SECA-direktivet införts vilket begränsar bränslets svavelhalt till 0,1 procent (Trafikanalys 2016:12). I beräkningarna nedan har förbrukningen av HFO och MGO räknats samman till en total förbrukning. Sjöfartsverket har använt HFO även efter införande av svavelkontrollområdet (SECA), men det har då varit försöksverksamhet med HFO som klarar

SECA-direktivets krav på 0,1 procents svavelhalt. För beräkning av utsläpp har historisk energianvändning (från HFO och MGO sammantaget) använts. Däremot så har emissionsfaktorer för MGO använts. Det vill säga vid beräkning av kostnader för externa effekter antas allt drivmedel klarar kraven enligt SECA-direktivet.

Detta görs för att de beräknade kostnaderna av externa effekter i så hög grad som möjligt ska motsvara de kostnader av externa effekter som finns i dag, snarare än att ge en uppfattning om hur stora kostnaderna tidigare varit. Trots detta används data från flera år. Eftersom bränsleförbrukning och antal assistanser har varierat mellan åren är det troligt att beräkning av utsläpp baserat på bränsleförbrukning från flera år ger en bättre uppskattning om de externa effekterna än att bara använda data från det senaste året.

4.2 Klimatpåverkande utsläpp

Växthusgaser är gaser, främst koldioxid, men även exempelvis metan och lustgas, som bidrar till att värma upp jorden. Sjöfarten står för ca 3,3 procent av de globala utsläppen av koldioxid. (Melin, 2014)

Förutom långlivade växthusgaser finns det mer kortlivade klimatpåverkande ämnen. Ett av dessa är svart sot. Sjöfarten står för 2 procent av de globala utsläppen av svart sot. (Transportstyrelsen, 2016). Om sotet faller ner på snö eller is absorberas solljuset och leder till ökad uppvärmning och snabbare avsmältning av snö och is. Uppvärmningen från ett gram svart sot sett över en hundraårsperiod är lika stor som uppvärmningen från 100 till 2 000 gram koldioxid. Svart sot är har mer kortlivade effekter än koldioxid vilket innebär att ökade eller minskade utsläpp får en mer direkt effekt på klimatet. (SMHI, 2016) I detta arbete har inte kostnader på grund av utsläpp av svart sot inkluderas främst på grund av avsaknaden av emissionsfaktorer för utsläppen.

Utsläpp av växthusgaser är en extern kostnaden som sjöfarten inte själv betalar.

För att beräkna marginalkostnaden av utsläpp av växthusgaser behövs dels kunskap om hur mycket växthusgaser som släpps ut, dels en värdering av växthusgasutsläppen.

Enligt Trafikanalys (2016:12) är koldioxidutsläppen 73 kg/GJ vid förbränning av MGO. Även metan och kvävedioxid bidrar till den globala uppvärmningen. Inkluderas effekterna av dessa ämnen blir utsläppen 73,9 kg koldioxidekvivalenter per GJ⁹. Det är något lägre än de 74,45 kg koldioxid per GJ som uppges av Naturvårdsverket (2015). Inkluderas hela livscykelkostnaden, det vill säga även de utsläpp som sker vid framställandet av bränslet, samt utsläppen av metan och kväveoxider, uppgår utsläppen till 87 kg koldioxidekvivalenter per GJ enligt Trafikanalys (2016:12).

Emissionsfaktorerna ovan relaterar utsläppen till energiinnehållet. Det innebär att de bränsleförbrukningsdata vi fått från Sjöfartsverket behöver räknas om från förbrukning i kubikmeter till energi.

Enligt Trafikanalys (2016:12 s. 19) motsvarar MGO ungefär eldningsolja 1 och diesel och HFO eldningsolja 2-6. Enligt Energimyndigheten (2016) är värmevärdet för eldningsolja 1 9,95 MWh per kubikmeter. Det motsvarar 35,8 GJ per kubikmeter. Värmevärdet för eldningsolja 2-6

⁹ Utsläpp som bidrar till den globala uppvärmningen kan räknas om till koldioxidekvivalenter med hjälp så kallad global warming potentials. Metan har ett global warming potential på 28 och har således 28 gånger högre växthuseffekt än koldioxid. Kvävedioxid har ett global warming potential på 265.

är 10,58 MWh per kubikmeter vilket motsvara 38,1 GJ per kubikmeter. Med hjälp av dessa värmevärden har bränsleförbrukningen per år räknats om till energiförbrukning per år.

Används Trafikanalys (2016:12) emissionsfaktorer för MGO och ovanstående emissionsfaktorer blir det 2 973 kg/kubikmeter bränsle i livscykelutsläpp eller 2 647 kg/kubikmeter för utsläppen "tank till propeller". Sjöfartsverket räknar med 2 660 kg koldioxidutsläpp per kubikmeter bränsle.¹⁰ Sjöfartsverkets emissionsfaktorer relaterar direkt till bränsleförbrukningen i kubikmeter vilket förenklar beräkningarna. Sjöfartsverkets emissionsfaktorer ligger i intervallet mellan kostanden för "tank till propeller" och livscykelkostnaden hos Trafikanalys (2016:12). I beräkningarna nedan används Sjöfartsverkets emissionsfaktor på 2 660 kg/kubikmeter.

ASEK¹¹ rekommenderar en värdering på av koldioxid på 1,14 kr/kg prisnivå 2014 (Trafikverket, 2016b). ASEK rekommenderar vidare att värdet på koldioxidutsläpp ska räknas upp med real BNP per capita. Real BNP per capita ökade 5 procent mellan 2014 och 2015 och inflationstakten var negativ på -0,04 procent.¹² Det ger en värdering på 1,20 kr/kg.

4.3 Luftföroreningar

Kväveoxider (NO_x), svaveldioxid (SO₂) och partiklar är de farligaste luftföroreningarna från sjöfarten. Kväveoxider och svaveldioxid bidrar till försurning av mark och vatten. Kväveoxider bidrar även till övergödning. Studier visar på samband mellan dödlighet och partikelutsläpp från sjöfarten. Utsläppen har mest skadeverkan i hamnstäder och lägre effekt i mindre tätbebyggda områden. (Melin, 2015).

I Tabell 4-2 redovisas emissionsfaktorer hämtade från Sjöfartsverket samt emissionsfaktorer hämtade från Trafikanalys (2016:12) kombinerat med värmevärden från Energimyndigheten. Sjöfartsverket räknar med större emissioner från kväveoxider men mindre utsläpp av svaveldioxid jämfört med emissionsfaktorerna från Trafikanalys (2016:6). Någon värdering av partiklar (PM10) har inte erhållits från Sjöfartsverket.

Tabell 4-2 Emissionsfaktorer för luftföroreningar hämtade från Trafikanalys (2016:12).

Utsläpp	Sjöfartsverket	Trafikanalys (2016:12)	
	kg/m ³	"tank till propeller" kg/m ³	Livscykelkostnad kg/m ³
NO _x	60 – 95	53,7	53,7
SO ₂	1,7	1,7	3,2
PM10	-	0,4	4,3

ASEK har rekommendationer för värdering av både för lokala och regionala effekter av luftföroreningar. I landsbyggsmiljö motsvaras kostnaden av den regionala effekten och i

¹⁰ Sjöfartsverket, 2016. Mail från Reidar Grundström på Sjöfartsverket 2016-11-25.

¹¹ ASEK står för Arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder inom transportområdet och är en myndighetsgemensam samrådsgrupp som leds av Trafikverket och ansvarar för att utveckla de principer för samhällsekonomisk analys och de kalkylvärden som ska tillämpas i transportsektorns samhällsekonomiska analyser.

¹² Beräknat med hjälp av SCBs statistik av löpande BNP per capita och KPI. (SCB, 2016) När dessa beräkningar genomfördes hade inte uppgifter för år 2016 publicerats.

tätortsmiljö motsvaras kostnaden av summan av regionala och lokala effekter. ASEK:s regionala värderingar antas motsvara de geografiska områden där isbrytning förekommer. ASEK rekommenderar en värdering av SO₂ utsläpp på 29 kr/kg och en värdering av NO_x till 86 kr/kg. Liksom för värderingen av koldioxid rekommenderar ASEK att värdena räknas upp med real BNP per capita. Det ger en värdering på 30 kr/kg i prisnivå 2015 för SO₂ och 90 kr/kg för NO_x.¹³

Den regionala värderingen av partiklar är noll kr enligt ASEK och den lokala värderingen 586 kr/kg. Att inte värdera partikelutsläpp från isbrytningen är rimligt givet att isbrytningen till utslutande sker på betydande avstånd från tätbebyggt område.

En alternativ värdering kan fås från Nerhagen/VTI (2016). Nerhagen har beräknat marginalkostnader av utsläpp från sjöfart baserat på AIS-data och en utsläppsmodell från SMHI. Modellen beräknar spridningen av luftföroreningar och därefter värderas kostnaden av utsläppen beroende på hur många personer som påverkas (bor i de områden där luftföroreningarna hamnar) och vilket skada utsläppen har där. Nerhagen värderar endast effekten på hälsa av NO_x utsläpp. NO_x-utsläpp bildar sekundära partiklar vilka skadar människors hälsa. Effekter på ekosystemet av övergödning (av kväveoxider), försurning (av svaveldioxid) och skador på skog och grödor (från ozon) värderas inte med hänvisning till att det inte finns tillräckligt bra värderingsstudier för dessa. Nerhagen konstaterar att de värderingar hon har beräknat med hjälp av SMHIs utsläppsmodell är mycket lägre än tidigare värderingar, exempelvis ASEK. Bland annat därför rekommenderar hon att en värdering som innebär dubbla exponeringen jämfört med SMHIs utsläppsmodell används. Nerhagen har differentierat sina beräkningar av kostnader beroende på var utsläppen sker. Med område Norr avses havsområdena från Åland och norrut, med syd avses havsområdena söder om Åland fram till de danska sunden och med väst avses västkusten. I Tabell 4-3 visas Nerhagens värderingar.

Tabell 4-3 Värdering av sekundära partiklar orsakade av utsläpp från sjöfarten. Källa: Nerhagen, 2016.

<i>Totalt/område</i>	<i>Ohälsokostnad (SEK/ton bränsle)</i>
Norr	353
Syd	1 371
Väst	1 264
Genomsnitt Sverige	1 288

Nerhagen anger kostnad av utsläpp per ton bränsle och kostnaden har därför räknats om med ett antagande om att bränslet till isbrytarna har en densitet om 890 kg per kubikmeter. Isbrytning genomförs i större utsträckning norrut, dels därför, dels för att visa på spännvidden i värderingar används Nerhagens värderingar för region Norr i jämförelsen i Tabell 4-4. Värderingen av luftföroreningarnas externa effekter skiljer sig med nästan en faktor 20. Att värderingarna skiljer sig åt kan vara rimligt i och med att Nerhagen har räknat påverkan på människors hälsa av sjöfarten. Asek:s värderingar grundar sig inte på skattade skadekostnader utan grundar åtgärds-kostnader för att uppnå politisk satta miljömål och inkluderar både ett vidare span av hälsoeffekter och naturskadeeffekter, exempelvis

¹³ När dessa beräkningar genomfördes hade inte uppgifter för år 2016 publicerats.

försurning (Trafikverket, 2016b). På grund av den stora skillnaden i värderingar har två alternativa beräkningar av de externa kostnaderna för luftföroreningar genomförts.

Tabell 4-4 Värdering av luftföroreningar i kr per kubikmeter från olika källor

<i>Utsläpp</i>	<i>Nerhagen</i>	<i>Sjöfartsverket</i>	<i>Trafikanalys (2016:12)</i>	
	<i>region Norr</i> <i>kr/m³</i>	<i>kr/m³</i>	<i>"tank till</i> <i>propeller"</i> <i>kr/m³</i>	<i>Livscykelkostnad</i> <i>kr/m³</i>
NO _x		5 417	4 851	4 851
SO ₂		52	51	96
Totalt/ Summa	315	5 469	4 902	4 947

5 Samhällsekonomiska marginalkostnader

I kapitlet nedan kallar vi summan av de externa effekterna (av luftföroreningar och växthusgaser) och driftkostnaderna (som bedömts som rörliga i kapitel 3) för samhällsekonomisk kostnad. Det är egentligen inte helt korrekt då Sjöfartsverkets fasta kostnader inte ingår (och inte heller vissa externa effekter som bedömts som små och där det inte heller funnits data för att beräkna). Ska den totala samhällsekonomiska kostnaden beräknas på ett korrekt sätt ska även Sjöfartsverkets fasta kostnader ingå. Derivatet, det vill säga lutningen på kostnadsfunktionen, av de skattade funktionerna för samhällsekonomisk kostnad motsvarar den samhällsekonomiska marginalkostnaden. Fasta kostnader påverkar inte derivatet, och därmed så kan modellerna för att beräkna den "samhällsekonomiska kostnaden" i detta kapitel användas för att ta fram de samhällsekonomiska marginalkostnaderna. Däremot bör modellerna inte ligga till grund för att beräkna den totala kostnaden.

Som tidigare diskuterats kan marginalkostnad i princip beräknas för ett antal skilda och potentiellt relevanta kostnadsbaser. I detta kapitel analyseras separata kostnadsfunktioner för statsisbrytare, samt kostnadsfunktioner för samtliga isbrytartyper baserat på antalet assisterade fartyg, assistanser, assisterade timmar, gångtimmat och assisterade nautiska mil och totalt antal nautiska mil.

5.1 Samhällsekonomisk marginalkostnad för statsisbrytare

Det finns åtminstone två sätt att skatta en funktion för att kunna beräkna de samhällsekonomiska marginalkostnaderna. Antingen så skattas först separata modeller för driftkostnaden och de externa effekterna, och därefter summeras de bägge modellerna, så som visas i modell 5.1, eller så skattas en ny modell för de samhällsekonomiska kostnaderna genom att addera driftkostnader och kostnader för externa effekter per år och analysera dessa med hjälp av en regressionsanalys (modell 5.2).

$$SK_s(q_s) = D_s(q_s) + E_s(q_s) \quad (5.1)$$

$$SK_s(q_s) = a + b \cdot q_s + e \quad (5.2)$$

I modellerna står SK för den samhällsekonomiska kostnaden för statsisbrytare och q_s för assistanser eller assisterade fartyg med statsisbrytare. D_s står för en driftkostnadsfunktion för statsisbrytarna och E_s för en funktion som visar de externa kostnaderna för statsisbrytarna. Den samhällsekonomiska marginalkostnaden motsvarar derivatet av modell 5.1 respektive modell 5.2. I modell 5.2 är den samhällsekonomiska marginalkostnaden lika med parametern b och i modell 5.1 är den samhällsekonomiska marginalkostnaden lika med summan av derivatet av driftkostnadsfunktionen och kostnadsfunktionen för externa effekter. Tabell 2-1

visar skattade värden enligt modell 5.2. Två olika värden redovisas, dels då luftföroreningarna värderas enligt ASEK, dels då luftföroreningarna värderas enligt Nerhagen/VTI.

Tabell 5-1 Skattade värden för samhällsekonomiska kostnader för statsisbrytare enligt modell 5.2

<i>q</i>	<i>a (mkr)</i>	<i>P-värde</i>	<i>b (kr)</i>	<i>P-värde</i>	<i>Justerat R²-värde</i>
Assistanser (Asek)	73	0,000	66 626	0,002	0,51
Assisterade fartyg (Asek)	74	0,000	58 284	0,001	0,60
Assistanser (Nerhagen)	45	0,001	41 466	0,006	0,48
Assisterade fartyg (Nerhagen)	45	0,000	35 823	0,003	0,51

a i modell 5.2 motsvarar en fast kostnad, som synes är a skild från noll i Tabell 5-1. Det innebär att hela de kostnader som bedömts som rörliga och inkluderats i kostnadsfunktionen inte är rörliga. Enligt regressionsanalysen är den fasta delen ca 45 miljoner kr per år med Nerhagens värdering av luftföroreningar. I bilaga 2 och bilaga 3 har detta undersökts djupare. Den fasta komponenten beror framför allt på att det finns en fast kostnad för drivmedelförbrukningen. Tänkbara förklaringar till detta är som nämnts att isbrytarna förbrukar bränsle även när de inte assisterar fartyg, t.ex. för att hålla igång värme och elförsörjning till fartyget.

I Tabell 5-2 jämförs resultaten av modell 5.1 och marginalkostnaden från en skattning av modell 5.2. Kostnaderna enligt modell 5.1 kommer från summan av skattad driftkostnadsfunktioner (bilaga 2) och skattad kostnadsfunktion för externa kostnader (bilaga 3). Resultaten är relativt lika oavsett vilken modell som används. Tabell 5-2

Tabell 5-2 Jämförelse av marginalkostnad enligt beräknad enligt modell 8.1 och 8.2

<i>q</i>	<i>modell 5.1</i>	<i>modell 5.2</i>
	<i>b (kr)</i>	<i>b (kr)</i>
Assistanser Statsisbrytare (Asek)	67 423	66 626
Assistanser Statsisbrytare (Asek och Nerhagen)	42 264	41 466
Assisterade fartyg Statsisbrytare (Asek)	56 650	58 284
Assisterade fartyg Statsisbrytare (Asek och Nerhagen)	34 190	35 823

Modell 5.2 har också testats i en variant där både q_s och q_s^2 har inkluderats. Detta för att undersöka om marginalkostnaden var ökande eller avtagande. När både q_s och q_s^2 inkluderas blev parametrarna inte signifikanta. Denna modell har därför valts bort.

5.2 Samhällsekonomisk kostnad per assistans eller assisterat fartyg

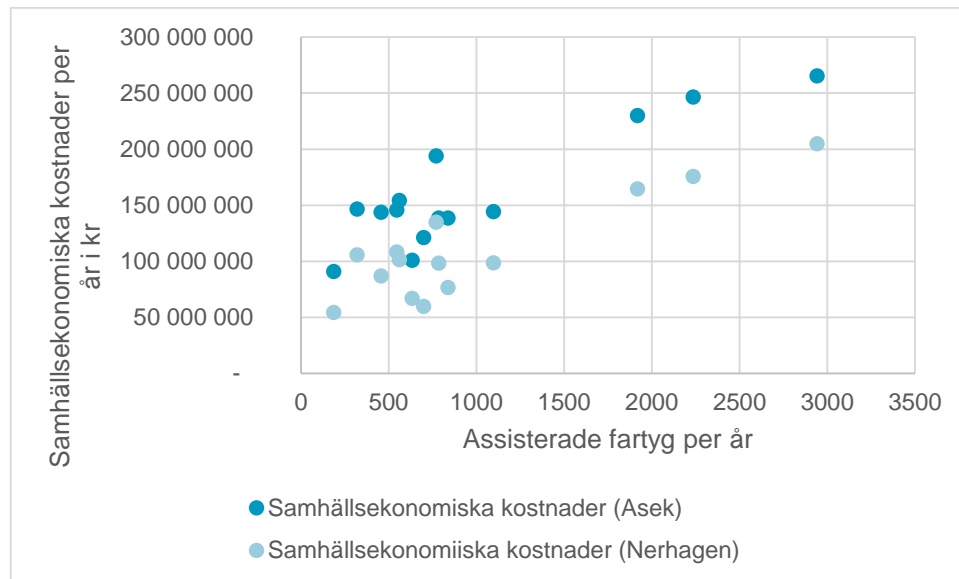
Den samhällsekonomiska kostnaden per assistans eller assisterat fartyg för samtliga typer av isbrytare (statsisbrytare, Viking-isbrytarna och förhyrda hjälpisbrytare) kan liksom kostnaden för statsisbrytarna beräknas på två sätt, se modell 5.3 och 5.4.

$$SK_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) + E_{S+V+f}(q_{S+V+f}) \quad (5.3)$$

$$SK_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + b \cdot q_{S+V+f} + e \quad (5.4)$$

I modellerna står SK_{S+V+f} för den samhällsekonomiska kostnaden för samtliga isbrytare och q_{S+V+f} för samtliga assistanser eller assisterade fartyg. D_{S+V+f} står för driftkostnaden för samtliga isbrytare och E_{S+V+f} står för kostnaden för externa effekter för samtliga isbrytare.

I Figur 5-1 visas summan av driftkostnader per år och externa kostnader per år, det vill säga de samhällsekonomiska kostnaderna per år för samtliga isbrytare.



Figur 5-1 Samhällsekonomiska kostnader per år för samtliga isbrytare i förhållande till antalet assisterade fartyg

Modell 5.4 har analyserats med hjälp av en regressionsanalys. Resultaten av analysen visas i Tabell 5-3. En variant av modell 5.4 som inkluderar både q och q^2 har också testats. Denna modell fick inte signifikanta parametrar och lägre förklaringsgrad än den linjära modellen. Därmed bedöms den linjära modellen beskriva data på ett bättre sätt.

Tabell 5-3 Skattade värden för samhällsekonomiska kostnader samtliga isbrytare enligt modell 5.4

q	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Assistanser (Asek)	82	0,000	88 225	0,000	0,69
Assisterade fartyg (Asek)	89	0,000	69 617	0,000	0,77
Assistanser (Nerhagen)	54	0,001	60 522	0,000	0,66
Assisterade fartyg (Nerhagen)	59	0,000	47 650	0,000	0,74

De beräknade samhällsekonomiska marginalkostnaden enligt modell 5.3 och 5.4 jämförs i Tabell 5-4. I modell 5.3 har marginalkostnaden för drift och marginalkostnaden för externa effekter summerats (se bilaga 2 och bilaga 3) för att få den samhällsekonomiska marginalkostnaden. Modell 5.3 och modell 5.4 ger samma storleksordning på de samhällsekonomiska marginalkostnaden, men modell 5.4 ger genomgående något lägre samhällsekonomiska marginalkostnader.

Modell 5.4 bedöms vara att föredra framför modell 5.3 i och med att modellerna har samma förklarande variabler och modell 5.4 endast bygger på en skattning, medan modell 5.3 bygger på två skattningar och därmed adderas osäkerheter på varandra. Det är inte omöjligt att tänka sig att det finns en viss samvariation mellan felen i modellerna för driftkostnader och modellerna för kostnaden av externa effekter, eftersom båda modellerna indirekt kopplar till fartygens bränsleförbrukning.

Tabell 5-4 Jämförelse av samhällsekonomisk marginalkostnad

<i>q</i>	<i>modell 5.3</i>	<i>modell 5.4</i>
	<i>b (kr)</i>	<i>b (kr)</i>
per assistans (Asek)	95 802	88 225
per assisterat fartyg (Asek)	72 947	69 617
per assistans (Nerhagen)	68 099	60 522
per assisterat fartyg (Nerhagen)	50 980	47 650

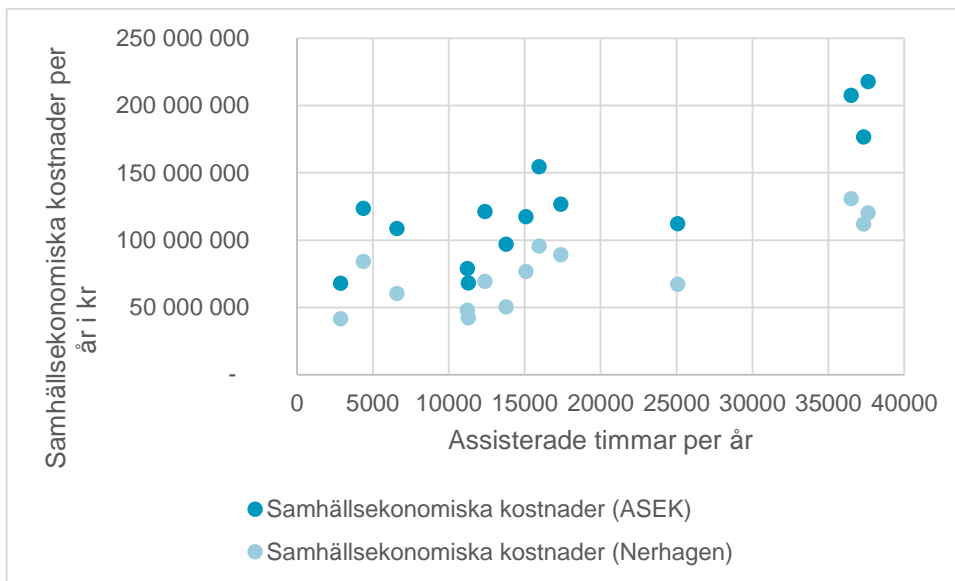
5.3 Samhällsekonomisk kostnad för stats- och Viking-isbrytare per timme

På samma sätt som den samhällsekonomiska kostnaden per assistans kan beräknas på två sätt, kan den samhällsekonomiska kostnaden per timme beräknas på två sätt.

$$SK_{S+V}(q_{S+V}) = D_{S+V}(q_{S+V}) + E_{S+V}(q_{S+V}) \quad (5.5)$$

$$SK_{S+V}(q_{S+V}) = a + b \cdot q_{S+V} + e \quad (5.6)$$

Då data gällande gångtid och assisterade timmar endast finns för stats- och Viking-isbrytarna så avser de samhällsekonomiska kostnaderna SK_{S+V} enbart kostnader orsakade av stats- och Viking-isbrytarna. Figur 5-2 visar de samhällsekonomiska kostnaderna per år i relation till antalet assisterade timmar.



Figur 5-2 Samhällsekonomiska kostnader per år för stats- och Viking-isbrytare i förhållande till antalet assisterade timmar

Tabell 5-5 visar resultat enligt modell 5.6. Även modell 4.6 visar på fasta kostnader runt 45 miljoner kr per år med Nerhagens värderingar av luftföroreningar.

En variant av modell 5.6 där både q_{s+v} och q_{s+v}^2 inkluderas har också testats. Denna modell fick inte signifikanta parametrar och lägre eller ungefär samma förklaringsgrad som den linjära modellen.

Tabell 5-5 Skattade värden för samhällsekonomiska kostnader samtliga isbrytare enligt modell 5.6

q	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Gångtimmar (Asek)	72	0,000	12 706	0,001	0,61
Assisterade timmar (Asek)	73	0,000	27 916	0,000	0,70
Gångtimmar (Nerhagen)	45	0,001	7 510	0,002	0,54
Assisterade timmar (Nerhagen)	46	0,000	16 291	0,001	0,60

I Tabell 5-6 jämförs beräknad marginalkostnad enligt modell 5.5 och 5.6. Modellerna ger kostnader i ungefär samma storleksordning men modell 5.6 ger genomgående lägre marginalkostnader.

Tabell 5-6 Jämförelse av marginalkostnad för stats och Viking-isbrytare enligt olika modeller

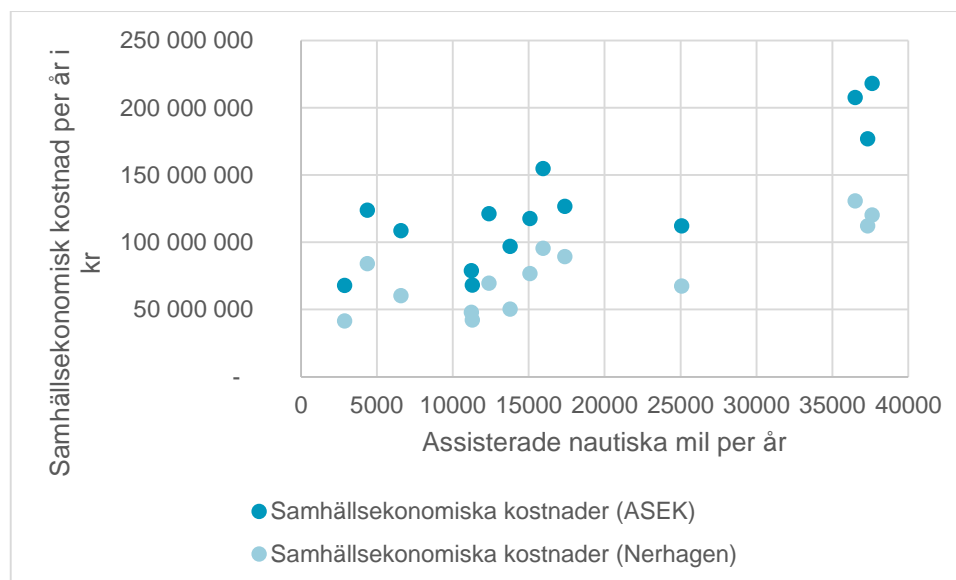
q	modell 5.5	modell 5.6
	b (kr)	b (kr)
Gångtimmar (Asek)	13 520	12 706
Assisterade timmar (Asek)	39 694	27 916
Gångtimmar (Nerhagen)	8 324	7 510
Assisterade timmar (Nerhagen)	28 069	16 291

5.4 Samhällsekonomisk kostnad för stats- och Viking-isbrytare per nautisk mil

Modell 5.5 och 5.6 kan också användas för att analysera den samhällsekonomiska kostnaden i förhållande till nautiska mil, om q_{s+v} istället anges i antal assisterade nautiska mil eller totalt antal nautiska mil som stats- och Viking-isbrytarna färdats. Figur 5-3 visar sambandet mellan samhällsekonomisk kostnad och antal assisterade nautiska mil per år. I Tabell 5-7 visas resultatet av den skattade modellen. Parametern b kan tolkas som den samhällsekonomiska marginalkostnaden per assisterad nautisk mil eller per nautisk mil och konstanten a som en fast kostnad. När den förklarande variabeln är assisterade nautiska mil är den fasta kostnaden ungefär lika stor som när den förklarande variabeln var antalet assistanser eller assisterade fartyg. När totalt antal nautiska mil används som förklarande variabel är den fasta kostnaden lägre. Detta kan tyckas rimligt om den fasta kostnaden framför allt beror på bränsleförbrukningen och om viss förflyttning av isbrytarna kan tänkas vara oberoende av huruvida de assisterar eller ska assistera fartyg.

Tabell 5-7 Skattade värden för samhällsekonomiska kostnader samtliga isbrytare enligt modell 5.6

q	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Nautiska mil (Asek)	58	0,001	1 925	0,000	0,75
Assisterade nautiska mil (Asek)	69	0,000	3 263	0,000	0,68
Nautiska mil (Nerhagen)	36	0,002	1 156	0,000	0,68
Assisterade nautiska mil (Nerhagen)	43	0,000	1 959	0,001	0,62



Figur 5-3 Samhällsekonomisk kostnad för stats- och Viking-isbrytare i förhållande till antalet assisterade nautiska mil

Resultatet från modell 5.5 och 5.6 jämförs i Tabell 5-8. Modellerna ger relativt lika resultat. Modell 5.6 bedöms vara att föredra framför modell 5.5 i och med att modellerna har samma förklarande variabler och modell 5.6 endast bygger på en skattning, medan modell 5.5 bygger på två skattningar och därmed adderas osäkerheter på varandra. Det är inte omöjligt att tänka

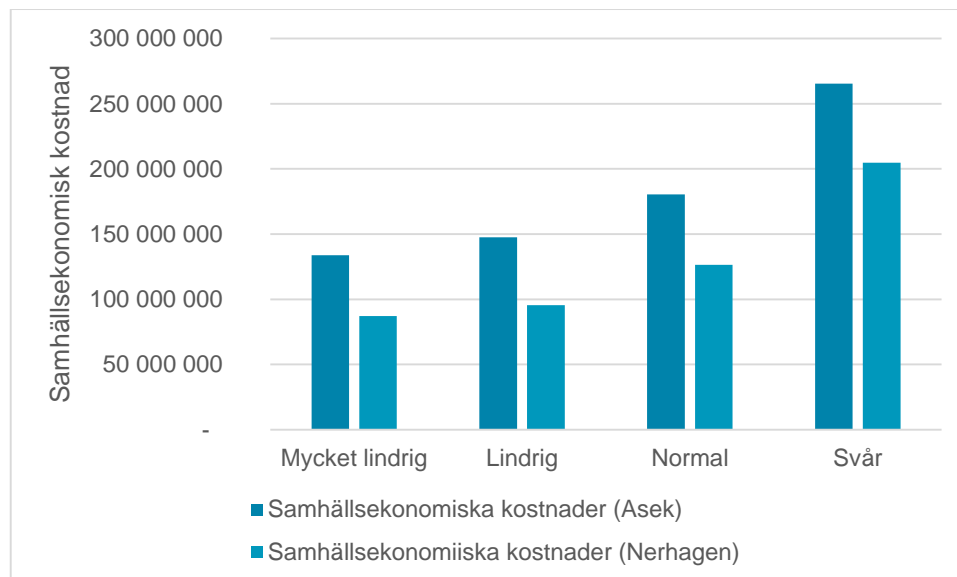
sig att det finns en viss samvariation mellan felen i modellerna för driftkostnader och modellerna för kostnaden av externa effekter, eftersom båda modellerna indirekt kopplar till fartygens bränsleförbrukning.

Tabell 5-8 Jämförelse av samhällsekonomiska marginalkostnader för stats och Viking-isbrytare

q	modell 5.5	modell 5.6
	b (kr)	b (kr)
Totalt antal nautiska mil (Asek)	2 465	1 925
Assisterade nautiska mil (Asek)	4 245	3 263
Totalt antal nautiska mil (Nerhagen)	906	1 156
Assisterade nautiska mil (Nerhagen)	1 640	1 959

5.5 Påverkar vinterns svårighetsgrad den samhällsekonomiska marginalkostnaden?

Den (förmodat rörliga) samhällsekonomiska genomsnittskostnaden skiljer sig åt beroende på vinternssvårighetsgrad, se Figur 5-4.



Figur 5-4 Genomsnittlig (förmodat rörlig) samhällsekonomisk kostnad beroende på vinterns svårighetsgrad.

För att undersöka huruvida den samhällsekonomiska marginalkostnaden är beroende av vinterns svårighetsgrad har regressionsanalyser med dummyvariabler använts. I de linjära modellerna 5.3 till och med 5.6 har dummyvariabler lagts till för mycket lindriga och lindriga vintrar. Normala och svåra vintrar har slagits ihop till en kategori då antalet observationer för

svåra vintrar är få (endast en). Dummyvariabler för att testa om dels den fasta kostnaden, dels marginalkostnaden påverkas av vinterns svårighetsgrad har inkluderats i analyserna.

Då antalet assistanser, assisterade fartyg, assisterade timmar, gångtid och totalt antal nautiska mil används som förklaringsvariabler blev ingen av dummyvariablerna statistiskt signifikanta. Det vill säga det går inte att visa att varken den fasta kostnaden eller marginalkostnaden beror av vinterns svårighetsgrad. När antalet assisterade nautiska mil används som förklaringsvariabel och de externa effekterna värderas enligt Asek blev inte heller dummyvariablerna signifikanta. Däremot blev en dummyvariabel signifikant på 10-procentsnivån när assisterade nautiska mil används som förklaringsvariabel och de luftföreningarna värderas enligt Nerhagen. I detta fall visade analysen att marginalkostnaden per assisterad nautisk mil var 6 300 kr högre mycket lindriga vintrar. Det ger en marginalkostnad som är ca tre gånger högre än övriga vintrar, vilket anmärkningsvärd stor skillnad.

Det kan också tyckas kontraintuitivt att mycket lindriga isvintrar skulle ge en högre marginalkostnad. En mild isvinter behöver emellertid inte betyda lätta isförhållanden, utan vallar och drivbildning kan förekomma även milda vintrar. En annan möjlig förklaring skulle kunna vara att isbrytningens effektivitet, mät som andel av sträckan som används till förflyttning respektive assistans, är lägre mycket lindriga vintrar, se Figur 1.6. Det bör emellertid inte dras alltför starka slutsatser, dels då signifikansnivån är låg, dels då antalet assisterade nautiska mil, liksom övriga förklaringsvariabler samvarierar med vinterns svårighetsgrad, vilket försvårar den statistiska analysen.

5.6 Jämförelse med tidigare studier

Det finns som nämnts ett antal tidigare beräkningar av storleken på marginalkostnaden för isbrytning. En genomgång finns hos Melin (2014) och hos Vierth (2016). Melin redovisar en fallstudie som visar på en marginalkostnad på 50 000 kr för isbrytarassistans från Bottenhavet in till Luleå hamn vid 2001 års prisnivå. Räknar vi upp denna kostnad med transportprisindex till 2015 års prisnivå blir det ca 70 000 kr, vilket ungefär motsvarar en marginalkostnaden för en assistans med statsisbrytare och Asek-värderingar av luftföreningar.

Eriksson et. al. (2009) har beräknat maximala rörliga kostnader per dag för fyra typer av isbrytare. Kategoriseringen bygger på isbrytarens maskinstyrka och storlek. För den största kategorin bedöms den maximala kostnaden vara € 39 000 per dag. Kostnaden består av bränslekostnad på € 34 000, kemikalier till katalysator på € 3 000 (en kostnad som inte längre föreligger eftersom isbrytarna numer inte är utrustade med katalytisk avgasrening), och resterande kostnader för underhåll. Den genomsnittliga bränsleförbrukningen uppskattas till 30 till 35 procent av den maximala förbrukningen. Det motsvarar ungefär 125 000 kr per dag.¹⁴ För den minsta kategorin av isbrytare beräknas den maximala kostnaden till mellan € 2 600 och € 12 900 per dag.

De beräknade kostnaderna per assisterad timme kan jämföras med den taxa Sjöfartsverkets använder när de bryter is på beställning och mot ersättning i skyddade farvatten. Taxan faktureras per påbörjad timme och är beroende av isbrytarens effektiva maskineffekt. Taxan varierar mellan 5 500 kr och 21 600 kr per påbörjad timme beroende på isbrytarens storlek. (SJÖFS 2014:6) Flertalet av stats- och Viking-isbrytarna tillhör den största storlekskategorin

¹⁴ € 1 = 10 sek

och därmed hösta prisklass. Taxan inkluderar positioneringskostnaden då tiden för uppdraget räknas från tidpunkten för isbrytarens avgång från uppehållsplatsen vid beställningen och avslutas när isbrytaren, efter avslutat uppdrag, har återkommit till uppehållsplatsen eller har anlänt till en annan överenskommen plats. Det får förmodas att Sjöfartsverkets taxa inte avses motsvara marginalkostnaden utan snarare en självkostnad, som inte inkluderar externa effekter. Det kan konstateras att taxan är högre än den rörliga genomsnittskostnaden¹⁵ för drift som är ca 10 000 kr per gångtimme, marginalkostnaden för drift som är ca 5 700 kr per gångtimme och högre än den samhällsekonomiska marginalkostnaden på ca 12 700 kr per gångtimme.

Vierth (2016) har beräknat genomsnittliga rörliga kostnader för isbrytningen som en approximation av marginalkostnaden. Vierth har värderat luftföroreningar 1 288 kr/ton bränsle enligt Nerhagen (2016) och växthusgaser till 0,66 kr/ton CO₂, vilket är en lägre värdering av kostnaden för växthusgasutsläpp jämfört med Aseks värderingar. Vierth har räknat på två alternativa kostnader, ett låg alternativ som enbart inkluderar kostnader för driv- och smörjmedel samt externa effekter och ett högalternativ som även inkluderar inhyrda isbrytare och underhåll av Sjöfartsverkets isbrytare. I lågalternativet är marginalkostnaden ca 68 000 kr per assistans och i högalternativet ca 121 000 kr per assistans. Marginalkostnaden enligt Vierth är dubbel så hög som marginalkostnaderna i denna studie när samma kostnadskomponenter ingår och samma värdering av luftföroreningar används.

Näringsdepartementet (2003) uppskattade den totala samhällsekonomiska marginalkostnaden för isbrytning per år, det vill säga summan av marginalkostnader vid samtliga assistanser, till 20 till 75 miljoner kr. Om vi räknar upp kostnaden med transportprisindex till 2015 års prisnivå motsvarar det 27 till 102 miljoner kr per år.¹⁶ I Virth (2016) är de totala rörliga kostnaderna mellan 125 och 200 miljoner kr per år. Det motsvarar mellan 33 och 66 procent av de totala kostnaderna för isbrytning. Den totala samhällsekonomiska marginalkostnaden i denna studie är i genomsnitt ca 50 och 75 miljoner kr beroende på om värderingen av luftföroreningar kommer från Asek eller Nerhagen och om beräkningen baseras på marginalkostnaden för antal assistanser eller assisterade fartyg. Det motsvarar mellan 18 och 27 procent Sjöfartsverkets totala kostnader. Kostnaderna i denna studie ligger därmed inom det intervall som återfinns hos Näringsdepartementet (2003), men betydligt lägre än hos Virth (2016) både vad det gäller absoluta tal och som andel av totalkostnaden särskilt när samma värdering av luftföroreningar används.

¹⁵ Genomsnittlig driftkostnad här inkluderar endast de kostnader som bedömdes som rörliga i kapitel 3.

¹⁶ Antagen prisnivå hos Näringsdepartementet (2003) är 2002 års prisnivå.

6 Slutsatser

I denna PM beräknas de samhällsekonomiska marginalkostnaderna för isbrytning med hjälp av en skattad kostnadsfunktion, något som inte gjorts tidigare. Tidigare studier av marginalkostnader bygger på fallstudier, schablonberäkningar eller genomsnittsbereäkningar. Trots skillnader i beräkningsmetoder ligger de skattade marginalkostnaderna i denna studie i linje med tidigare resultat.

De skattade modellerna visar att de kostnader som tidigare bedömts som rörliga i sammanhanget innehåller en fast komponent som inte varierar med hur mycket isbrytning som genomförs. Detta syns tydligast vad gäller kostnader för driv- och smörjmedel, men även vad gäller kostnaden av externa effekter kopplade till drivmedelsförbrukningen. Tänkbara förklaringar till detta är att det går åt drivmedel även när isbrytarna inte genomför assistanser, exempelvis för att driva hjälpmotorer som producerar elström och värme när fartygen ligger stilla.

På grund av att kostnaderna har en fast komponent så överskattar genomsnittliga rörliga kostnader marginalkostnaden och bör därför inte användas som approximation av marginalkostnaden. De samhällsekonomiska marginalkostnaderna i denna studie är i samma storleksordning som hos en fallstudie presenterad hos Melin (2014) men är bara ca hälften så stora som hos Vierth (2016) när samma kostnadskomponenter och värdering av luftföroreningar används. De totala marginalkostnaderna ligger inom det intervall som presenterades av Näringsdepartementet (2003) men är betydligt lägre än hos Vierth (2016).

Marginalkostnader har skattats för flera olika enheter (assistanser, assisterade fartyg, assisterade timmar, gångtimmar, assisterade nautiska mil och nautiska mil). Inga tidigare studier där marginalkostnaden är skattad i förhållande till tid eller avstånd har återfunnits. De skattade marginalkostnaderna innebär därmed helt ny och mer detaljerad kunskap. I samtliga fall har modellerna genererat statistiskt signifikanta resultat och höga förklaringsgrader, dessa redovisas i Tabell 6-1. Detta visar att det är relevant att tala om marginalkostnaden för isbrytning, något som delvis varit ifrågasatt i tidigare studier.

Flera modeller för att beskriva en kostnadsfunktion och beräkna marginalkostnaden har prövats. Dels handlar det om kostnadsposterna ska skattas separat eller i en gemensam funktion, dels om kostnadsfunktionen är linjär och ger en konstant marginalkostnad eller om kostnadsfunktionen ska tillåta att marginalkostnaden ökar eller avtar ju mer isbrytning som genomförs under en säsong. Då den förklarande variabeln är den samma för de olika kostnadsposterna har en modell valts som bygger på en gemensam skattning av de summerade kostnaderna, istället för separata skattningar av kostnadsposterna. Varje skattning innebär en osäkerhet och genom att endast göra en skattning så adderas inte osäkerheterna på varandra. Skillnaderna i resultat med en gemensam eller flera separata kostnadsfunktioner är dock relativt små.

Vad gäller kostnadsfunktion har en linjär modell valts. Detta på grund av att de skattade parametrarna inte varit statistiskt signifikanta i flertalet av modellerna som inkluderar förklaringsvariabeln både linjärt och i kvadrat.

Tabell 6-1 Skattade samhällsekonomiska marginalkostnader för isbrytning. Siffror markerade med * är signifikanta på 0,1 procentsnivån och siffror markerade med ** är signifikanta på 1 procentsnivån.**

Samhällsekonomiska marginalkostnad per	Luftföreningar värderade enligt ASEK (2016)		Luftföreningar värderade enligt Nerhagen (2016)	
	Kr	Modellens förklaringsgrad (justerat R ² -värde)	Kr	Modellens förklaringsgrad (justerat R ² -värde)
Assistans (statsisbrytare)	66 262**	0,51	41 466**	0,48
Assiterade fartyg (statsisbrytare)	58 284**	0,60	35 823**	0,51
Assistans (samtliga isbrytare)	88 255***	0,69	60 522***	0,66
Assiterade fartyg (samtliga isbrytare)	69 617***	0,77	49 570***	0,74
Gångtime (stats- och Vikingisbrytare)	12 706**	0,61	7 510**	0,54
Assisterad timme (stats- och Vikingisbrytare)	27 916***	0,70	16 291**	0,60
Nautiska mil (stats- och Vikingisbrytare)	1 925***	0,75	1 156***	0,68
Assisterade nautiska mil (stats- och Vikingisbrytare)	3 265***	0,68	1 959**	0,62

Separata skattningar har gjorts för marginalkostnaderna för statsisbrytarna och inhyrda isbrytare (hjälpisbrytare och Viking-isbrytare). Marginalkostnaden för statsisbrytare är generellt lägre än marginalkostnaden för inhyrda isbrytare. Sjöfartsverket bör därmed kunna påverka marginalkostnaden för isbrytning genom att öka eller minska sin flotta av isbrytare. Om Sjöfartsverket har en stor egen flotta av isbrytare och inte behöver lika många inhyrda isbrytare, så bör marginalkostnaderna minska samtidigt som de fasta kostnaderna skulle öka. Om Sjöfartsverket har en liten egen flotta och använder sig av många inhyrda isbrytare så bör marginalkostnaderna öka samtidigt som de fasta kostnaderna minskar.

Det har generellt inte gått att visa att marginalkostnaderna är beroende av vinterns svårighetsgrad. I absolut merparten av analyserna syns ingen effekt på marginalkostnaderna beroende på vinterns svårighetsgrad. Vissa analyser med hjälp av dummyvariabler har visat på en högre kostnad mycket lindriga vintrar. För att djupare studera sambanden behövs troligtvis mer data, där både vinterns svårighetsgrad och hur mycket isbrytning som genomförs varierar oberoende av varandra.

Referenser

- Engineering ToolBox, 2016. http://www.engineeringtoolbox.com/fuels-densities-specific-volumes-d_166.html hämtat 2016-10-11.
- Eriksson G., Gullne U., Lindvall J., Karvonen, T., Saurama A., Göthe-Lundgren, M., Mellin A., Lindberg G. 2009. *CATRIN (Cost Allocation of TRansport INfrastructure cost), Deliverable D 10, Allocation of infrastructure cost in the maritime sector*. Funded by Sixth Framework Programme. VTI, Stockholm, March 2009
- Energimyndigheten, 2016. *Värmevärdet och emissionsfaktorer*. <http://www.energimyndigheten.se/statistik/branslen/varmevardet-och-emissionsfaktorer1/>
- Europaparlamentets och Rådets Direktiv 2003/87/EG av den 13 oktober 2003 om ett system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser inom gemenskapen och om ändring av rådets direktiv 96/61/EG.
- Jernkontoret (2016). *Järnkontorets energihandbok*. <http://www.energihandbok.se/branslen/>
- Lundkvist, M. (2010) *Riskvärdering av sjötrafikinformation*, Sjöfartsverket.
- Lundkvist, M. (2011) *Insegling Gävle – Riskvärdering av olyckor*, Sjöfartsverket.
- Melin, A och Creutzer, 2014. *SJÖSAM – Sjöfartens samhällsekonomiska marginalkostnader; En förstudie inom SAMKOST*. VTI rapport 804.
- Naturvårdsverket, 2015. *Emissionsfaktorer-och-varmevardet-vaxthusgaser-och-luftforeningar-2015-Rev4*. 2015-03-23.
- Nerhagen, 2016 kommande. *Externa kostnader för luftföroreningar; Kunskapsläget avseende påverkan på ekosystemet i Sverige, betydelsen av var utsläppen sker samt kostnader för utsläpp från svensk sjöfart*. VTI-rapport.
- Näringsdepartementet, 2003. *Nya farledsavgifter*, Ds 2003:41.
- Proposition 2008/09:93. *Mål för framtidens resor och transporter*.
- SCB, 2016. *BNP per capita (år 1993-)* http://www.scb.se/sv/_Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Nationalrakenskaper/Nationalrakenskaper/Nationalrakenskaper-kvartals--och-arsberakningar/Aktuell-Pong/22918/Diagram/219325/ och *Konsumentprisindex (1980=100) fastställda tal* http://www.scb.se/sv/_Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Priser-och-konsumtion/Konsumentprisindex/Konsumentprisindex-KPI/33772/33779/Konsumentprisindex-KPI/272151/
- Sjöfartsverkets föreskriftssamling (SJÖFS). *Sjöfartsverkets föreskrifter om statens isbrytningsverksamhet*, SJÖFS 2011:1.
- Sjöfartsverket, 2006. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2005/2006*.
- Sjöfartsverket, 2007. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2006/2007*.
- Sjöfartsverket, 2008. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2007/2008*.
- Sjöfartsverket, 2009. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2008/2009*.

Sjöfartsverket, 2010. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2009/2010.*

Sjöfartsverket, 2011. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2010/2011.*

Sjöfartsverket, 2012. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2011/2012.*

Sjöfartsverket, 2012b. *Sjöfartsverkets isbrytarstrategi.* <http://www.sjofartsverket.se/upload/Pdf-Gemensamma/Isbrytarstrategi.PDF>

Sjöfartsverket, 2013. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2012/2013.*

Sjöfartsverket, 2014. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2013/2014.*

Sjöfartsverket, 2015. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2014/2015.*

Sjöfartsverket, 2015b. *Årsredovisning.*

Sjöfartsverket, 2016. *Sammanfattning av isvintern och isbrytarsäsongen 2015/2016.*

SMHI, 2016. <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/kortlivade-klimatpaverkande-luftfororeningar-slcp/sot-1.99800>

Svenskförfattningssamling (SFS), 1994:1776. *Lagen (1994:1776) om skatt på energi.*

Svenskförfattningssamling (SFS), 2000:1149. *Isbrytarförordning 2000:1149.*

Svenskförfattningssamling (SFS), 2010:186. *Förordning (2010:186) med instruktion för Trafikanalys.*

Trafikanalys, 2016:6. *Transportsektorns samhällsekonomiska kostnader.* Rapport 2016:6.

Trafikanalys, 2016:12. *Fuels in the Baltic Sea after SECA.* PM 2016:12.

Trafikverket, 2016a. <http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/miljo-och-halsa/klimat/transportsektorns-utslapp/vagtrafikens-utslapp/>

Trafikverket, 2016b. *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6.0. Version 2016-04-01.*
http://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/12_klimateffekter_a60.pdf

Transportstyrelsen, 2015. *Sveriges skeppslista 2015.*

Transportstyrelsen, 2016. http://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Miljo-och-halsa/Klimat-och-energi/Kortlivade-klimatpaverkande-luftfororeningar-SLCP/? t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCf%3d%3d& t_q=svart+sot& t_tags=language%3asv& t_ip=193.182.52.35& t_hit.id=TS_Externwebb_Models_Pages_StandardPage/ d221ddf0-78ef-4ece-90b7-ceedb4d55c1b_sv& t_hit.pos=4

Vierth, I., McDaniel, J. & Lindberg G. (2007), *Underlag till Hamnstrategiutredningen.* VTI notat 11-2007.

Vierth, I., Landergren, M., Sowa, V., 2015. *Svenska sjöolyckors samhällsekonomiska kostnader; Värdering av fartygsskador, oljeutsläpp och personskador.* VTI notat 32-2015

Vierth, I. 2016. *Sjöfartens policyrelevanta samhällsekonomiska marginalkostnader.* VTI rapport 908.

Årnell, Tomas och Gullne, Ulf. Intervju med isbrytningsansvariga på sjöfartsverket. 2016-06-21.

Bilaga 1: Avtagande och ökande marginalkostnad

I denna bilaga visas förhållandet mellan marginalkostnad, genomsnittskostnad och rörlig genomsnittskostnad.

Kostnaden för isbrytning består både av rörliga kostnader och fasta kostnader. De rörliga kostnaderna beror på hur många fartyg som får isbrytarassistans medan de fasta kostnaderna inte direkt påverkas av hur mycket isbrytning som genomförs. Det går det att föreställa sig en (total)kostnadsfunktion som beror av antalet fartyg som får isbrytarassistans. Den skulle kunna skrivas så här:

$$\text{Kostnad} = \text{fasta kostnader} + \text{rörliga kostnader}$$

Marginalkostnaden motsvarar kostnaden för att producera ytterligare en enhet.

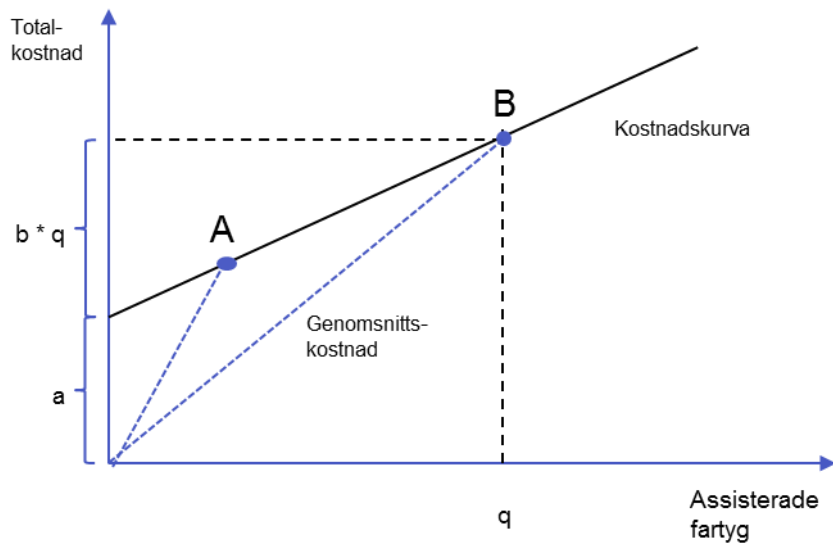
Marginalkostnaden har ett samband med den rörliga kostnaden och den rörliga kostnaden varierar beroende på hur mycket av en vara eller tjänst som produceras. Marginalkostnader kan vara konstanta eller variera beroende på hur mycket som produceras av en vara eller tjänst. Avtagande marginalkostnad innebär att det kostar mindre att producera ytterligare en enhet än vad enheten innan kostade att producera. Marginalkostnader kan också stiga med större produktionsvolym. Teoretiskt sett kan marginalkostnaden sägas motsvara lutningen på kostnadskurvan. Det innebär att om kostnadsfunktionen är känd så kan den deriveras och på så sätt fås en funktion för marginalkostnaden.

Det finns ytterligare ett par kostnadsbegrepp att hålla reda på, den genomsnittliga kostnaden som är den totala kostnaden dividerat med antalet enheter, i det här fallet antalet fartyg som assisteras, och den genomsnittliga rörliga kostnaden som är lika med de rörliga kostnaderna dividerat med antalet enheter.

Om den rörliga kostnaden är lika stor för varje enhet som produceras är kostnadsfunktionen linjär. En sådan kostnadsfunktion skulle kunna se ut så här:

$$\text{Kostnader (q)} = a + b \cdot q$$

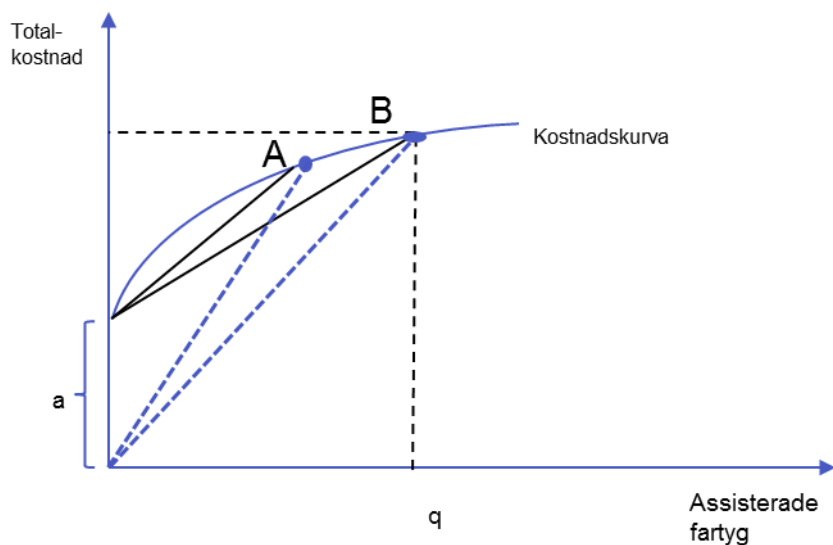
Där a är en konstant som motsvarar de fasta kostnaderna och b är en parameter som motsvarar den rörliga kostnaden per enhet. Om ovanstående funktion deriveras fås marginalkostnaden som i detta fall är konstant och samma som parameter b . Med en linjär kostnadsfunktion är också den genomsnittliga rörliga kostnaden, $b \cdot q / q = b$. Det vill säga både den genomsnittliga rörliga kostnaden och marginalkostnaden är konstanta och lika stora. Den genomsnittliga kostnaden minskar däremot med antalet enheter. Detta illustreras i Figur 1-1 där kostnadskurvan är den svarta linjen, och lutningen på den svarta linjen motsvarar både marginalkostnaden och den genomsnittliga rörliga kostnaden. Marginalkostnaden och den genomsnittliga rörliga kostnaden är den samma i punkt A och punkt B. Lutningen på de blå streckade linjerna motsvarar genomsnittskostnaden i punkt A och punkt B. Lutningen på de blå streckade linjerna, liksom genomsnittskostnaden, är högre i punkt A jämfört med B.



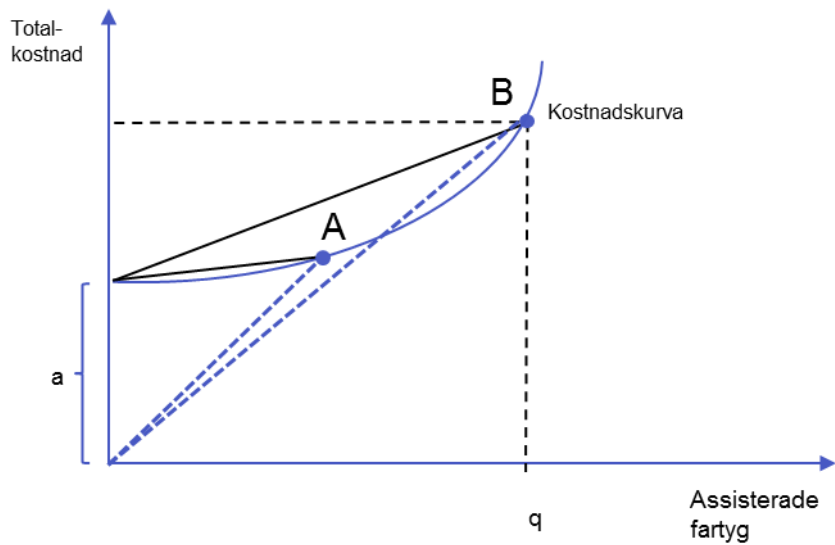
Figur 0 Kostnadsfunktion med konstant marginalkostnad

Om kostnadsfunktionen inte är linjär så skiljer sig marginalkostnaden och den rörliga genomsnittskostnaden sig åt. Om den rörliga kostnaden ökar ju fler enheter som produceras är den rörliga genomsnittskostnaden högre än marginalkostnaden. Om den rörliga kostnaden minskar ju fler enheter som produceras är den genomsnittliga rörliga lägre än kostnaden.

I Figur 2 motsvarar den heldragna blå linjen kostnadsfunktionen för isbrytning och lutningen på den heldragna blå linjen motsvarar marginalkostnaden för isbrytning. Lutningen och marginalkostnaden är lägre i punkt B, där fler fartyg assisteras än i punkt A. Lutningen på den svarta linjen motsvarar den genomsnittliga rörliga kostnaden och lutningen på den streckade blå linjen motsvarar den genomsnittliga kostnaden. Både i punkt A och punkt B är marginalkostnaden lägre än den genomsnittliga rörliga kostnaden. I detta fall är marginalkostnaden lägre än den rörliga genomsnittskostnaden som i sin tur är lägre än genomsnittskostnaden.



Figur 2 Kostnadsfunktion med avtagande marginalkostnad



Figur 3 Kostnadsfunktion med stigande marginalkostnad

I Figur 3 representerar den heldragna blå linjen kostnadsfunktionen för isbrytning och lutningen på linjen marginalkostnaden för isbrytning. Lutning och marginalkostnaden är högre i punkt B, när fler fartyg assisteras än i punkt A. Lutningen på de svarta linjerna motsvarar den genomsnittliga rörliga kostnaden. Den genomsnittliga rörliga kostnaden är lägre än marginalkostnaden både i punkt A och punkt B. När marginalkostnaden är ökande, det vill säga att det blir dyrare att producera ytterligare en enhet, så är marginalkostnaden högre än den genomsnittliga rörliga kostnaden. Lutningen på de streckade blå linjerna motsvarar genomsnittskostnaden. I punkt A är genomsnittskostnaden högre än marginalkostnaden men i punkt B är marginalkostnaden högre än genomsnittskostnaden.

Bilaga 2: Skattade driftkostnadsfunktioner

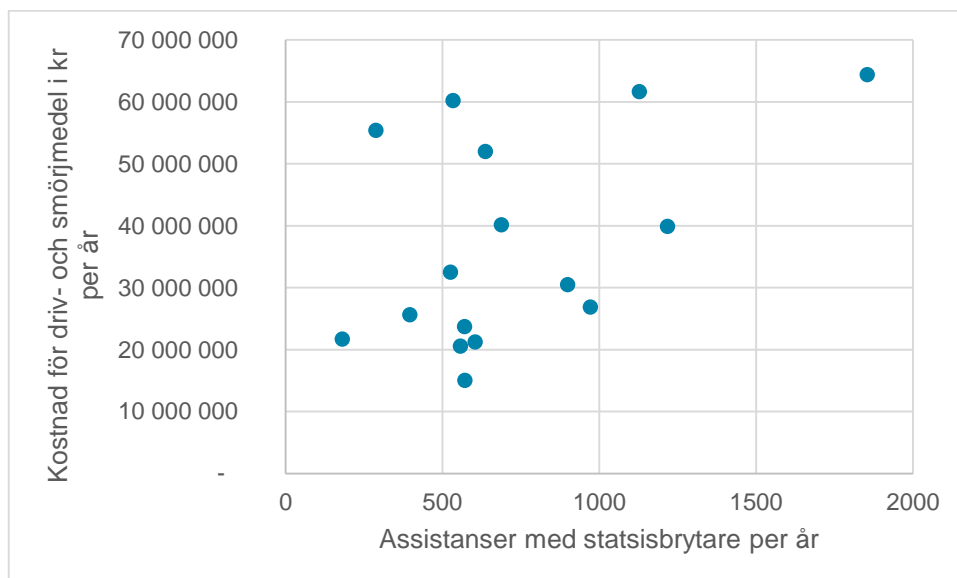
I denna bilaga redovisas regressionsanalyser genomförda i dataprogrammet Stata för att få fram en driftkostnadsfunktion för isbrytning och där igenom kunna beräkna marginalkostnaden för drift och genomsnittliga driftkostnader. Beräkningarna bygger på bearbetade data från Sjöfartsverket enligt kapitel 3 i huvudrapporten.

1 Driftkostnader för statsisbrytare

Driftkostnaderna för statsisbrytarna består dels av kostnaden för driv- och smörjmedel, dels av kostnaderna för det underhåll som bedöms som rörligt enligt avsnitt 3.2 i huvudrapporten.

Driv- och smörjmedel

I Figur 0Fel! Hittar inte referenskälla. visas kostnaden för driv- och smörjmedel per år i förhållande till antalet assisterade fartyg.



Figur 0-1 Beräknad kostnad för driv- och smörjmedel per år i förhållande till antalet assistanser per år.

Det går att ana att när fler isbrytarassistanser genomförs med statsisbrytarna så är kostnaderna för driv- och smörjmedel högre. Med hjälp av regressionsanalys testades följande modell:

$$B(q_s) = a + b \cdot q_s + e \quad (B2.1)$$

Där B står för kostnaden av driv- och smörjmedel, q_s är antalet assistanser eller antalet fartyg som assisterats med statsisbrytarna och e är en residual som motsvarar skillnaden mellan modellens beräknade kostnad och kostnaden i enligt data. Resultatet av analysen redovisas i Tabell 1 Skattade konstanter och parametrar för kostnader för driv- och smörjmedel.

Tabell 1 Skattade konstanter och parametrar för kostnader för driv- och smörjmedel.

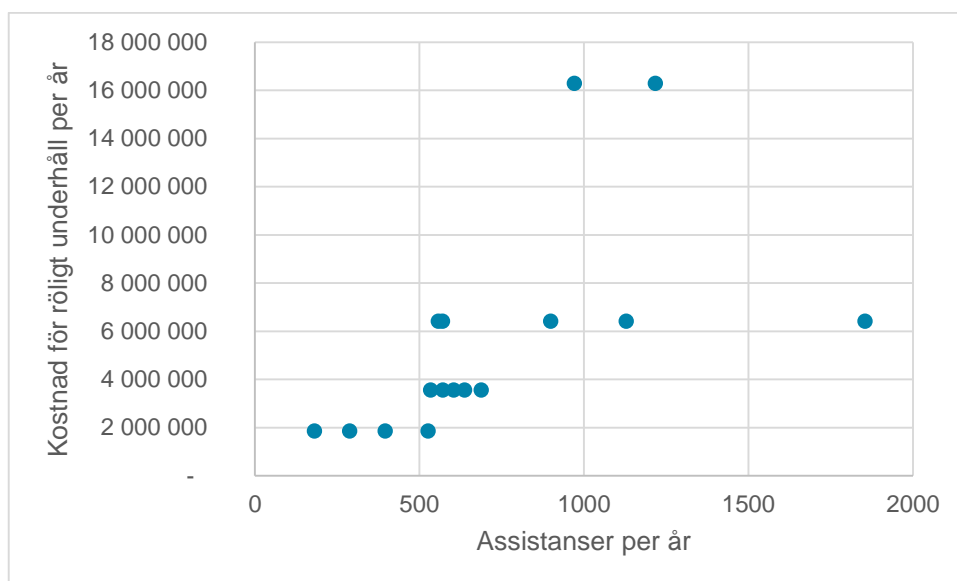
q	a (miljoner kr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Assistanser	23,3	0,011	18 819	0,070	0,16
Assisterade fartyg	26,0	0,003	12 769	0,100	0,12

Konstanten a tolkas som en fast kostnad för driv- och smörjmedel, för att hålla isbrytarna igång och redo att assistera men utan att genomföra några assistanser. Parametern b kan tolkas som kostnaden för att assistera ytterligare ett fartyg eller genomföra ytterligare en assistans. I bägge regressionerna blev konstanten a signifikant och omkring 25 miljoner kr. Det kan tolkas som att driv- och smörjmedel kostar cirka 25 miljoner kr om året att hålla isbrytarna redo, även om inga assistanser genomförs. Det innebär att hela kostnaden inte är rörlig så som förutsatts i kapitel 3. Tänkbara förklaringar till detta är att isbrytarna genomför förflyttningar som inte är direkt kopplade till antalet assistanser eller assisterade fartyg, men även att det är troligt att viss bränsleförbrukning sker även då fartygen är stilla till exempel för att hålla en viss position trots eventuella vindar och strömmar eller att fartygen ligger vid kaj och använder hjälpmaskiner för att hålla igång värme och elektricitet.

Även parametern b är signifikant. Parametern b är derivatan av Modell B2.1 ($B'(q_s) = b$) och kan tolkas som marginalkostnaden för drift och underhåll beroende på hur många fartyg som assisteras. Enligt Modell B2.1 är marginalkostnaden för driv- och smörjmedel för ytterligare en assistans med statsisbrytare är ca 19 000 kr eller ca 13 000 kr per assisterat fartyg. Trots att både konstanten a och parametern b är signifikanta är modellens förklaringsgrad (justerat R^2 -värde) är lågt. Det tyder på att det finns fler faktorer än antalet assistanser eller assisterade fartyg som påverkar kostnaden för driv- och smörjmedel.

Rörligt underhåll

I Figur 0-2 **Fel! Hittar inte referenskälla.** visas den beräknade kostnaden för rörligt underhåll (se avsnitt 3.2 i huvudrapporten). I figuren ligger kostnader för alla år på fyra olika nivåer. Anledningen till detta är att den beräknade kostnaden beror av vilken svårighetsgrad isvintern hade och alla isvintrar med samma svårighetsgrad har samma beräknade kostnad. I figuren ser det ut som kostnaderna ökar de vintrar fler fartyg assisteras.



Figur 0-2 Beräknad kostnad för rörligt underhåll per år i förhållande till antalet assistanser per år.

Med hjälp av en regressionsanalys har följande linjära modell testats.

$$U(q_s) = a + b \cdot q_s + e \quad (\text{B2.2})$$

Där U står för kostnaden av rörligt underhåll, q_s är antalet assistanser eller antalet fartyg som assisterats med statsisbrytarna och e är en residual. Resultatet från analysen visas i Tabell 2.

Tabell 2 Skattade konstanter och parametrar för den rörliga underhållskostnaden.

q	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Assistanser	1,08	0,594	6 246	0,022	0,27
Assisterade fartyg	0,42	0,775	6 068	0,001	0,52

Derivatet av modell B2.2 ($U'(q_s) = b$) är parametern b . Parametern b är positiv och statistiskt signifikant. Det innebär att totalkostnaden ökar ju mer assistanser som genomförs och att marginalkostnaden är konstant. Konstanten kan tolkas som att marginalkostnaden för underhåll när ytterligare en assistans genomförs är ca 6000 kr. Konstanten a är inte signifikant. Det innebär att det inte är med någon fast kostnad. Resultatet är förväntat då underhållskostnaderna tagits fram med utgångspunkt från att de är just rörliga (se vidare avsnitt 3.2).

Driftkostnader för statsisbrytarna

Det finns två sätt att räkna ut de hela driftkostnaden för statsisbrytarna. Antingen kan modellerna B2.1 och B2.2 summeras:

$$D_s(q_s) = B(q_s) + U(q_s) \quad (\text{B2.3})$$

där D_s står för driftkostnaden för statsisbrytare, eller så kan en ny modell skattas genom att summera kostnaderna för driv- och smörjmedel med den rörliga underhållskostnaden och analysera den sammanlagda kostnaden med hjälp av en regressionsanalys.

$$D_s(q_s) = a + b \cdot q_s + e \quad (\text{B2.4})$$

I Tabell 3 jämförs marginalkostnaden baserat på de två beräkningssätten i modell B2.3 och modell B2.4. Marginalkostnaden enligt de två beräkningssätten är i princip identiska.

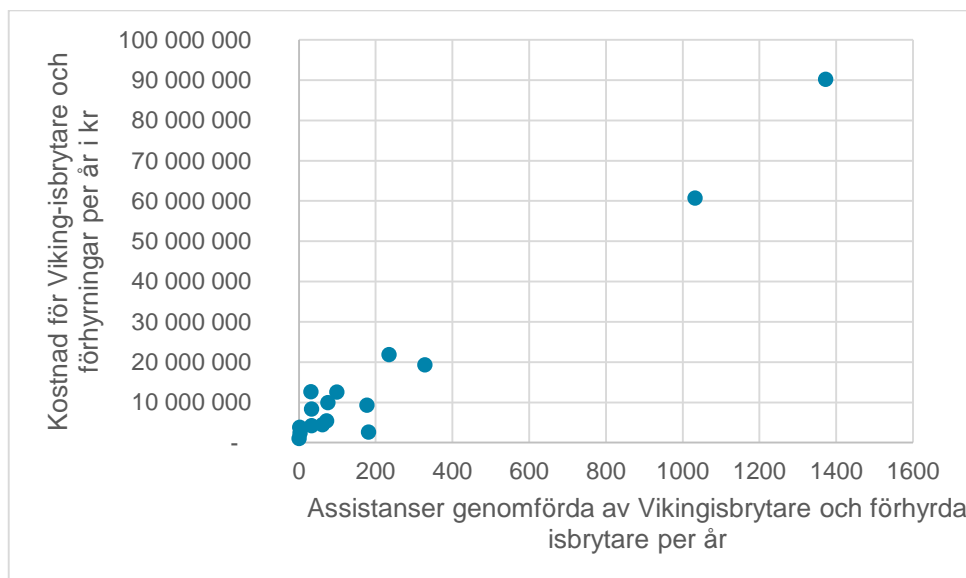
Tabell 3 Jämförelse av marginalkostnad enligt modell B2.3 och modell B2.4

q	modell 5.3 b (kr)	modell 5.4 b (kr)	P-värde
Assistanser	25 065	25 065	0,014
Assisterade fartyg	18 837	18 837	0,012

2 Driftkostnader för inhyrda isbrytare

Det finns flera fördelar med att skatta en gemensam modell för driftkostnaden för inhyrda hjälpisbrytare och Viking-isbrytarna. För det första går det att tänka sig att hjälpisbrytare och Viking-isbrytare är utbytbara så att det snarare är summan av dem som bör variera med antal assisterade fartyg och därmed vara relevanta för att beräkna en marginalkostnad. För det andra har Viking-isbrytarna använts så få år att det blir svårt att skatta en kostnadsfunktion för enbart Viking-isbrytarna.

I Figur 0-3 **Fel! Hittar inte referensskälla.** visas kostnaden för inhyrda isbrytare per år i förhållande till genomförda assistanser av de inhyrda isbrytarna. I figuren ser kostnaderna ut att öka när fler assistanser genomförs.



Figur 0-3 Beräknad kostnad för inhyrda isbrytare, inklusive Viking-isbrytarna, per år i förhållande till antalet assistanser av Viking-isbrytare och förhyrda isbrytare per år.

För att beräkna kostanden (l) för inhyra isbrytare har följande två modeller testats:

$$l(q) = a + b \cdot q_{v+f} + e \quad (\text{B2.5})$$

$$l(q) = a + b \cdot q_{v+f} + c \cdot q_{v+f}^2 + e \quad (\text{B2.6})$$

Resultatet från regressionsanalyserna visas i Tabell 44 och Tabell 55. Både modellerna har mycket högt förklaringsvärde.

Tabell 4 Skattad modell gällande kostnaden för inhyrda isbrytare $h(q) = a + b \cdot q_{v+f} + e$

q	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Assistanser	2,73	0,073	60 400	0,000	0,96
Assisterade fartyg	3,99	0,021	43 798	0,000	0,95

Tabell 5 Skattad modell gällande kostnad för inhyrda isbrytare $h(q) = a + b \cdot q_{v+f} + c \cdot q_{v+f}^2 + e$

q	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	c (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Assistanser	4,53	0,016	37 343	0,014	17,93	0,095	0,97
Assisterade fartyg	5,47	0,014	26 280	0,240	10,15	0,240	0,95

I modell B2.5 är marginalkostnaden ($l'(q) = b$) ca 60 000 kr per assistans med inhyrda isbrytare eller 44 000 kr per fartyg assisterat av inhyrda isbrytare.

Samtliga parametrar i modell B2.6 är signifikanta när antalet assistanser används som förklarande variabler och modellens förklaringsgrad är mycket hög. Derivatans i modell B2.6 skiljer sig från derivatan i modell B2.5. I modell B2.6 är derivatan $l'(q) = b + 2 \cdot c \cdot q$. Det innebär att marginalkostnaden är beroende av hur många enheter som produceras. Parametern c är positiv, vilket innebär att marginalkostnaden ökar ju fler assistanser som genomförs. Enligt modell B2.6 är marginalkostnaden för genomföra den sista assistansen ett genomsnittligt år ca 46 000 kr per assistans eller ca 32 000 kr per assisterat fartyg.

3 Driftkostnader med avseende på typ av isbrytare

Enligt kapitel 3 i huvudrapporten består driftkostnaderna för isbrytning av kostnaden för statsisbrytarna (det vill säga, driv- och smörjmedel och rörligt underhåll) samt kostnaden för förhyrda hjälpisbrytare och rörliga kostnader för Viking-isbrytarna. Det ger oss två sätt att beräkna marginalkostnaden för drift. Det första innebär att följande modell för att beräkna driftkostnaderna för samtliga isbrytare:

$$D_{s+v+f}(q_s, q_{v+f}) = B(q_s) + U(q_s) + l(q_{v+f}) \quad (\text{B2.7})$$

D_{s+v+f} står för driftkostnader (för både statsisbrytarna, Viking-isbrytarna och förhyrda isbrytare), $B(q_s)$ är en funktion som visar hur stora kostnaderna för driv- och smörjmedel är för statsisbrytarna, $U(q_s)$ är en funktion som visar hur stora kostnaderna för underhåll är för statsisbrytarna, $l(q_{v+f})$ är kostnaden för förhyrda hjälpisbrytare samt Viking-isbrytarna.

Det andra sättet att beräkna driftkostnaderna är att göra regressionsanalyser där summan av de årliga kostnaderna för driv- och smörjmedel, rörligt underhåll och förhyrda hjälpisbrytare (inklusive Viking-isbrytarna) förklaras av antalet assistanser genomförda med statsisbrytare

och antalet assistanser med förhyrda isbrytare. Då modell B2.6 hade signifikanta parametrar och ett högt förklaringsvärde väljer vi att först testa en modell som liksom modell B2.6 inkluderar q_{v+f}^2 :

$$D_{s+v+f}(q_s, q_{v+f}) = a + b_s * q_s + b_{v+f} * q_{v+f} + c * q_{v+f}^2 + e \quad (B2.8)$$

Resultatet av regressionsanalyserna visas i Tabell 6.

Tabell 6 Skattad modell för driftkostnader med avseende på typ av isbrytare $D_{s+v+f}(q_s, q_{v+f}) = a + b_s * q_s + b_{v+f} * q_{v+f} + c * q_{v+f}^2 + e$

q_s och q_{v+f}	a (mkr)	P -värde	b_s (kr)	P -värde	b_{v+f} (kr)	P -värde	c (kr)	P -värde
Assistanser	23,7	0,019	48 188	0,011	-77 900	0,277	94,63	0,070
Assisterade fartyg	23,8	0,009	39 948	0,002	-40 542	0,290	66,58	0,080

I modell (B2.9) är de fasta kostnaderna cirka 24 miljoner kr. Marginalkostnaden per assistans och assisterat fartyg för statsisbrytare är signifikant och motsvarar ca 48 000 kr per assistans respektive ca 40 000 kr per assisterat fartyg. Marginalkostnaden för inhyrda isbrytare varierar med antalet. Parametern b_{v+f} är inte signifikant men däremot parametern c . En genomsnittlig vinter är marginalkostnaden enligt modellen B2.8 cirka -34 000 kr per assistans och cirka -1500 kr per assisterat fartyg. Då en negativ kostnad är en intäkt, kan detta tolkas som att Sjöfartsverket skulle gå plus ca 34 000 kr per assistans med inhyrda isbrytare, vilket inte bedöms som ett rimligt resultat. Trots den relativt höga förklaringsgraden (justerat R^2 -värde) bedöms därmed modell B2.8 inte vara bra för att beräkna marginalkostnaden för drift.

Regressionsanalyser för ett par varianter av modell (B2.8) har också prövats, dels då q_s^2 lagts till, det vill säga kvadraten på antalet assistanser eller antalet assisterade fartyg med statsisbrytare. q_s^2 blev inte signifikant då den inkluderas i modellen. Dels har q_{v+f}^2 plockats bort:

$$D_{s+v+f}(q_s, q_{v+f}) = a + b_s * q_s + b_{v+f} * q_{v+f} + e \quad (B2.9)$$

I detta fall blev alla parametrar signifikanta men förklaringsvärdet något lägre (justerat R^2 -värde blir 0,72 när antalet assistanser används som förklarande variabel och 0,77 när antalet assisterade fartyg används). Marginalkostnaden är konstant då q_{v+f}^2 plockats bort, och motsvarar ca 33 000 kr per assisterat fartyg för statsisbrytare och ca 27 000 kr per assisterat fartyg för inhyrda isbrytare.

I Tabell 7 visas en jämförelse av marginalkostnaderna enligt modell B2.3, modell B2.5 och modell B2.9. I modell B2.9, där driftkostnaden är skattad i samma modell för både statsisbrytare och inhyrda isbrytare, ger högre marginalkostnader för statsisbrytarna och lägre marginalkostnader för de inhyrda isbrytarna jämfört med modell B2.3 och modell B2.5 där kostnaderna för respektive typ av isbrytare är skattade var för sig. Oavsett vilken modell som används är dock marginalkostnaden för statsisbrytare lägre än kostnaden för inhyrda isbrytare. Detta är ett resultat i linje med vad som går att förvänta sig då, marginalkostnaden för inhyrda isbrytare även kan förväntas täcka en förlust av alternativ användning av den inhyrda isbrytaren.

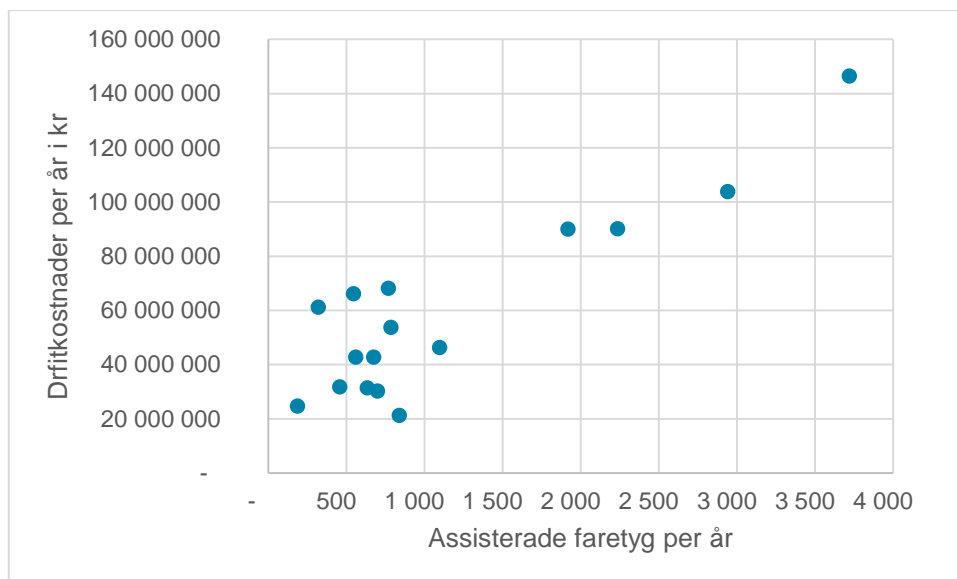
Tabell 7 Jämförelse av driftkostnader beroende på typ av isbrytare och modell.

q_s och q_{v+f}	Statistbrytare		Inhyrda isbrytare	
	Modell B2.3	Modell B2.9	Modell B2.5	Modell B2.9
Assistanser	25 065	27 438	60 400	55 648
Assisterade fartyg	18 837	33 070	43 798	26 823

4 Driftkostnader i förhållande till antalet assistanser och assisterade fartyg

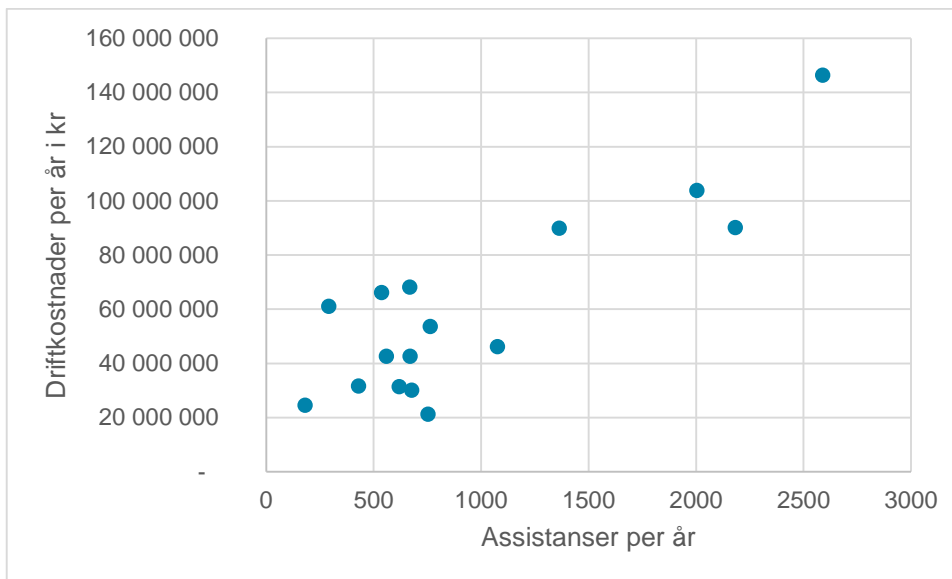
I avsnitt 3 testades flera modeller för att beräkna driftkostnaderna beroende på vilken typ av isbrytare som användes. I detta avsnitt testar vi istället en mer generell modell där driftkostnaderna (för samtliga isbrytare) förklaras av antalet assisterade fartyg eller antalet assistanser genomförda av samtliga isbrytare. I Figur 0-4 visas driftkostnaderna per år i förhållande till antalet assisterade fartyg och i Figur 0-5 visas samma kostnader i förhållande till antalet assistanser.

Det ser ut att finnas ett samband mellan de totala rörliga driftkostnaderna och antalet assisterade fartyg. Ju fler assisterade fartyg desto högre är driftkostnaderna.



Figur 0-4 Driftkostnad i relation till antalet assisterade fartyg i prisnivå 2015.

Samma samband finns med antalet assistanser, se Figur 0-5. Ju fler assistanser fartyg desto högre driftkostnader.



Figur 0-5 Driftkostnader i relation till antalet assistanser i prisnivå 2015.

Med hjälp av regressionsanalys har följande funktioner som beskriver drifkostnaden för samtliga isbrytare (D_{S+V+f}) som en funktion av q_{S+V+f} , där q_{S+V+f} är assisterade fartyg eller genomförda assistanser med samtliga isbrytare:

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + b^* q_{S+V+f} + e \quad (B2.10)$$

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + b^* q_{S+V+f} + c^* q_{S+V+f}^2 + e \quad (B2.11)$$

e är en residual som fångar skillnaden mellan verkliga värden och modellens skattade värden. I modell B2.10 förutsätts att sambandet mellan drifkostnaden och q_{S+V+f} är linjärt och att kostnaden ökar lika mycket för varje tillkommande enhet, det vill säga marginalkostnaden är konstant. Det kan visas genom att marginalkostnaden som är lika med modellens derivata, i detta fall $D_{S+V+f}'(q_{S+V+f}) = b$, är oberoende av hur många enheter som produceras. Om drifkostnadsfunktionen verkligen enbart innehåller kostnader som är rörliga i förhållande till q_{S+V+f} kommer konstanten a att vara lika med noll, den genomsnittliga rörliga kostnaden vara $(a + b^* q_{S+V+f}) / q_{S+V+f} = b$, det vill säga samma som marginalkostnaden.

I modellen B2.11 tillåts att drifkostnaden ökar med tilltagande eller avtagande takt i förhållande till q_{S+V+f} . Det innebär att marginalkostnaden kan vara ökande eller minskande. I detta fall blir marginalkostnaden $D_{S+V+f}'(q_{S+V+f}) = b + 2^* c^* q_{S+V+f}$ och skiljer sig därmed ifrån genomsnittskostnaden även om konstanten a (de fasta kostnaderna) är större än noll.

I Tabell 8 visas resultatet av en regressionsanalys enligt modell B2.10. Konstanten a är statistiskt signifikant skild från noll och ligger omkring 20 miljoner kr. Det innebär att de drifkostnader som antogs vara rörliga och relevanta för marginalkostnaden i kapitel 3 i huvudrapporten, inte är rörliga fult ut, utan innehåller en fast kostnad.

Parametern b är statistiskt signifikant både när antalet assistanser och antalet fartyg används som enhet. Parametern b motsvarar marginalkostnaden, vilket innebär att marginalkostnaden är skattad till är ca 41 000 kr per assistans eller ca 30 000 kr per assisterat fartyg. Det justerade R^2 -värdet beskriver hur stor del av variationen i dataunderlaget som fångas i modellen. Regressionerna får relativt höga justerade R^2 -värden på mellan 0,72 och 0,78.

Tabell 8 Skattade rörliga driftkostnader med en linjär modell B2.10

<i>q</i>	<i>a</i> (mkr)	<i>P</i> - värde	<i>b</i> (kr)	<i>P</i> -värde	Justerat <i>R</i> ² -värde
Assistanser	19,9	0.023	41 149	0.000	0,72
Assisterade fartyg	24,9	0.000	29 999	0.001	0,78

Eftersom konstanten *a* är skild från noll kommer den genomsnittliga rörliga kostnaden skilja sig från den skattade marginalkostnaden. Den genomsnittliga rörliga driftkostnaden per assistans har beräknats till ca 77 000 kr och per assisterat fartyg till ca 71 000 kr, det vill säga betydligt högre än den skattade marginalkostnaden.

I Tabell 9 visas skattade driftkostnader enligt modell B2.11 som tillåter att marginalkostnaden är tilltagande eller avtagande. Även i denna modell är konstanten *a* statistiskt signifikant skild från noll, det innebär, så som ovan beskrivits, att de kostnader som antogs vara rörliga i kapitel 4 innehåller en fast komponent. De fasta kostnaderna i denna modellspecifikation är dock högre ca 35 miljoner kr.

Tabell 9 Skattade driftkostnader med modell B2.11

<i>q</i>	<i>a</i> (mkr)	<i>P</i> - värde	<i>b</i> (kr)	<i>P</i> -värde	<i>c</i> (kr)	<i>P</i> - värde	Justerat <i>R</i> ² -värde
Assistanser	38,0	0,028	997	0,974	14,66	0,200	0,73
Assisterade fartyg	33,1	0,009	14 589	0,415	4,54	0,378	0,78

Parametrarna *b* och *c* beskriver hur kostnaden förändras när antalet assistanser eller assisterade fartyg förändras. Dessa parametrar är inte statistiskt signifikanta. Marginalkostnaden kan beräknas som modellens derivata, det vill säga 997 kr + 2*14,66 kr * antalet assistanser, alternativt 14 589 kr + 2*4,54 kr * antalet assisterade fartyg. I genomsnitt genomförs 960 assistanser per vintersäsong och 1 149 fartyg assisteras. Det innebär att marginalkostnaden enligt modell B2.10 är ca 29 000 kr för den sista assistansen som utförs en genomsnittlig isvinter eller ca 27 000 kr för det sista fartyget som assisteras en genomsnittlig isvinter. Dock bygger dessa beräkningar på parametrar som inte är statistiskt signifikanta vilket innebär att de bör användas med försiktighet. Modell B2.11 har lika högt, eller högre förklaringsvärde (justerat *R*²-värde) som modell B2.10, så även om modell B2.11 inte ger signifikanta parametrar lyckas den förklara stora delar av kostnadsvariationerna.

Parametern *c* i modell B2.11 har ett positivt tecken (större än noll). Det innebär att den skattade marginalkostnaden stiger när antalet assisterade fartyg eller antalet assistanser ökar. Det skulle i så fall tyda på att marginalkostnaden för isbrytning är ökande. Tolkningar ska dock göras med försiktighet då parametrarna inte är signifikanta.

Även en special variant av modell B2.11 har testats.

$$D_{s+v+f}(q_{s+v+f}) = a + c * q_{s+v+f}^2 + e \quad (5.12)$$

Parametern *b* i modell B2.11 har högst *p*-värde och därmed lägst signifikans, den har därför plockats bort i modell B2.12. I modell B2.12 är antas att parametern *b* är lika med noll. I Tabell 10 redovisas resultatet av regressionsanalyserna. Konstanten *a* är signifikant skild från noll

och motsvarar omkring 40 miljoner kr, det vill säga en högre fast kostnad i förhållande till modell B2.10 och B2.11. Parametern c är också statistiskt signifikant.

I Figur 0-1 och Figur 0-2 kan vi se att driftkostnaden ökar när antalet assistanser eller assisterade fartyg ökar. För att återskapa detta måste parametern c i modell B2.12 vara positiv och på så sätt tvingar modellen marginalkostnaden att öka när antalet assistanser eller assisterade fartyg ökar. Det innebär resultaten bör tolkas med försiktighet trots att parametrarna är signifikanta och förklaringsgraden är relativt hög.

Tabell 10 Skattade driftkostnader med modell (3) $D(q) = a + c \cdot q^2 + e$

q	a (mkr)	P -värde	c (kr)	P -värde	R^2 -värde
Assistanser	38,5	0,000	15,02	0,000	0,75
Assisterade fartyg	41,4	0,000	7,88	0,000	0,79

I Tabell 11 redovisas genomsnittliga driftkostnader beroende på vinterns svårighetsgrad samt beräknade marginalkostnader för drift för enligt modell B2.10, B2.11 och B2.12. I samtliga modeller för beräkning av marginalkostnaden finns en signifikant konstant. En slutsats av detta är att de driftkostnader som inkluderats i beräkningen eftersom de enligt diskussionen i kapitel 2 och 3 i huvudrapporten antas vara relevanta för marginalkostnaden inte är fullt ut rörliga. Modellerna ger generellt en marginalkostnad som är lägre än den genomsnittliga kostnaden. Den genomsnittliga driftkostnaden minskar kallare vintrar när fler fartyg assisteras. En anledning till att den genomsnittliga driftkostnaden minskar kan vara att den fasta delen av driftkostnaden fördelas ut på fler enheter.

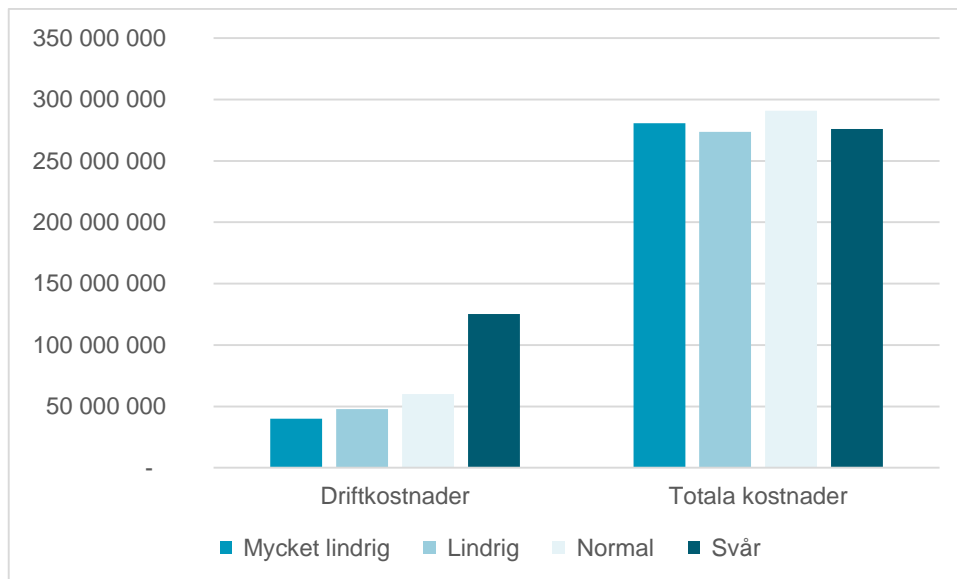
Tabell 11 Genomsnittlig kostnad och marginalkostnad per assistans och per assisterat fartyg (för samtliga typer av isbrytare).

<i>Driftkostnad</i>	<i>Medel</i>	<i>Mycket lindrig</i>	<i>Lindrig</i>	<i>Normal</i>	<i>Svår</i>	<i>Justerat R^2-värde</i>
Assistanser (antal)	960	365	679	1 182	2 296	
Assisterade fartyg (antal)	1 149	381	728	1 312	3 331	
<i>per assistans</i>						
Genomsnittlig driftkostnad	77 456	124 306	73 726	53 005	54 212	
<i>Marginalkostnad</i>						
Modell B2.10	41 149	41 149	41 149	41 149	41 149	0,72
Modell B2.11	29 135	11 691	20 911	35 642	68 316	0,73
Modell B2.12	28 829	10 957	20 403	35 495	68 972	0,75
<i>per assisterat fartyg</i>						
Genomsnittlig driftkostnad	70 809	117 283	69 347	48 481	37 337	
<i>Marginalkostnad</i>						
Modell B2.10	29 999	29 999	29 999	29 999	29 999	0,78
Modell B2.11	25 021	18 046	21 196	26 500	44 834	0,78
Modell B2.12	18 106	6 001	11 467	20 674	52 497	0,79

Förklaringsgraden är något högre när antalet assisterade fartyg används som förklaringsvariabel jämfört med när antalet assistanser används som förklaringsvariabler. Detta skulle kunna tala för att det verkligen finns en marginalkostnad som är kopplad till antalet assisterade fartyg och inte enbart till antalet assistanser. Å andra sidan har den rörliga underhållskostnaden beräknas fram med hjälp av antalet assisterade fartyg (se avsnitt 4,2) också skulle kunna förklara att antal fartyg ger en högre förklaringsgrad än antalet assistanser.

5 Påverkar vintrarnas svårighetsgrad kostnaden?

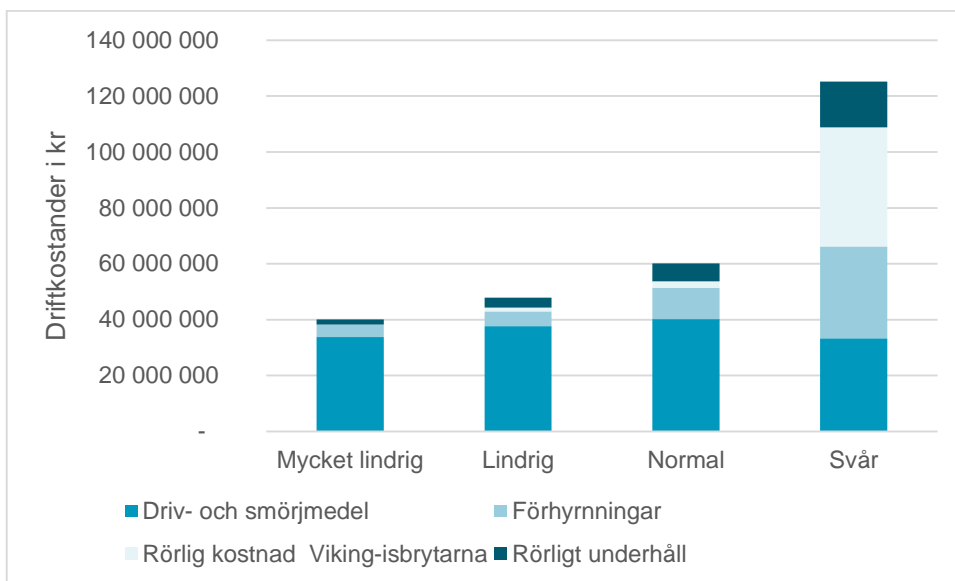
De genomsnittliga driftkostnaderna per vintersäsong är högre svåra vintrar jämfört med lindriga vintrar. Vid svårare vintrar assisteras fler fartyg och driftskostnaderna stiger. Samma samband syns inte för Sjöfartsverkets totala kostnader för isbrytningen. Det skulle kunna bero på att kostnaderna för underhåll är högre ju mildare vintern är – vilket skulle kunna vara kopplat till att isbrytarna då är tillgängliga för underhållsarbeten, se vidare under avsnitt 3.2 i huvudrapporten.



Figur 0-6 Totala kostnader och beräknade rörliga driftskostnader efter vinterns svårighetsgrad i prisnivå 2015.

I Figur 0-76 visas genomsnittliga driftskostnaderna per vinter fördelat på vinterns svårighetsgrad. Den största skillnaden i driftskostnader kopplat till vinterns svårighetsgrad beror på att kostnaden för förhyrningar och Viking-isbrytarna är högre de svåra vintrarna. Anmärkningsvärt är att kostnaderna för driv- och smörjmedel inte är högre de svåra vintrarna.

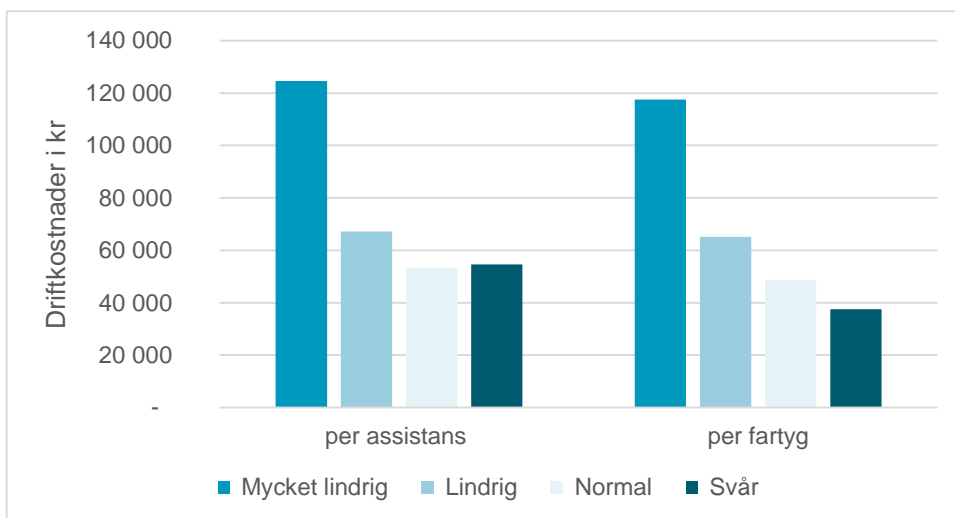
Driftskostnaderna per vinter är dubbelt så höga en svår vinter (ca 125 mkr) jämfört med en normal vinter (ca 61 mkr) och cirka två och en halv gånger så höga som en lindrig vinter (ca 48 mkr). En möjlig förklaring till att driftskostnaderna stiger så pass mycket de svåra vintrarna kan enligt Gullne (2016-09-13) vara att isbrytningsverksamheten är dimensionerad för att klara en normal vinter. Vid en svår vinter blir därmed de tillkommande kostnaderna högre.



Figur 0-7 Beräknade driftskostnader per vinter efter vinterns svårighetsgrad i prisnivå 2015.

Även driftskostnadernas andel av totalkostnaderna stiger vid svårare vintrar. Vid lindriga och mycket lindriga vintrar motsvarar driftskostnaderna runt 15 procent av totalkostnaderna, vid svåra vintrar över 40 procent.

Till skillnad från de totala driftskostnaderna så minskar de genomsnittliga driftskostnaderna när vinterns svårighetsgrad ökar och när antalet assisterade fartyg ökar, se Figur 0-8.



Figur 0-8 Genomsnittliga driftskostnader per assistans och assisterat fartyg i prisnivå 2015 efter vinterns svårighetsgrad.

En möjlig förklaring till detta är att de kostnader som vi ovan bedömt som rörliga driftskostnader, inte tillfullo är rörliga utan består av en fast del. Med hjälp av regressionsanalyserna ovan visades att ca 20 till 40 miljoner kr per vintersäsong av driftkostnaderna är fasta. När totala driftkostnaderna fördelas på fler assistanser eller fler assisterade fartyg, så som sker svåra vintrar, fördelas den fasta driftkostnaden ut på fler

enheter och de genomsnittliga driftkostnaderna blir lägre svåra vintrar med fler assistanser och assisterade fartyg.

För att avgöra om de lägre genomsnittliga kostnaderna milda vintrar enbart beror på att antalet assistanser och assisterade fartyg skiljer sig åt, eller om kostnaderna också beror på vinterns svårighetsgrad har en statistisk analys genomförts. I modellerna B2.10, B2.11 och B2.12 ovan har dummyvariabler lagts till. En dummyvariabel antar antingen värdet 0 om observationen inte tillhör en bestämd kategori, eller värdet 1 om observationen tillhör kategorin. Eftersom det endast finns data från två år med svåra vintrar har svåra vintrar och normala vintrar lagts samman till en kategori. Regressionsanalyser har genomförts både där mycket lindriga och lindriga vintrar har förts samman till en kategori och där två dummyvariabler har använts en för lindriga vintrar och en för mycket lindriga vintrar.

I en första analys har en dummy-variabel lagts till enligt nedan:

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + b \cdot q_{S+V+f} + d \cdot \text{dummy} + e \quad (\text{B2.10a})$$

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + b \cdot q_{S+V+f} + c \cdot q_{S+V+f}^2 + d \cdot \text{dummy} + e \quad (\text{B2.11a})$$

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + c \cdot q_{S+V+f}^2 + d \cdot \text{dummy} + e \quad (\text{B2.15a})$$

I om parametern d är statistiskt signifikant skild från noll så påverkas de fasta driftkostnaderna av vinterns svårighetsgrad. I ingen av de studerade modellerna var parametern framför dummyvariabeln skild från noll, med andra ord går det inte statistiskt att visa vinterns svårighetsgrad påverkar den fasta delen av driftkostnaderna.

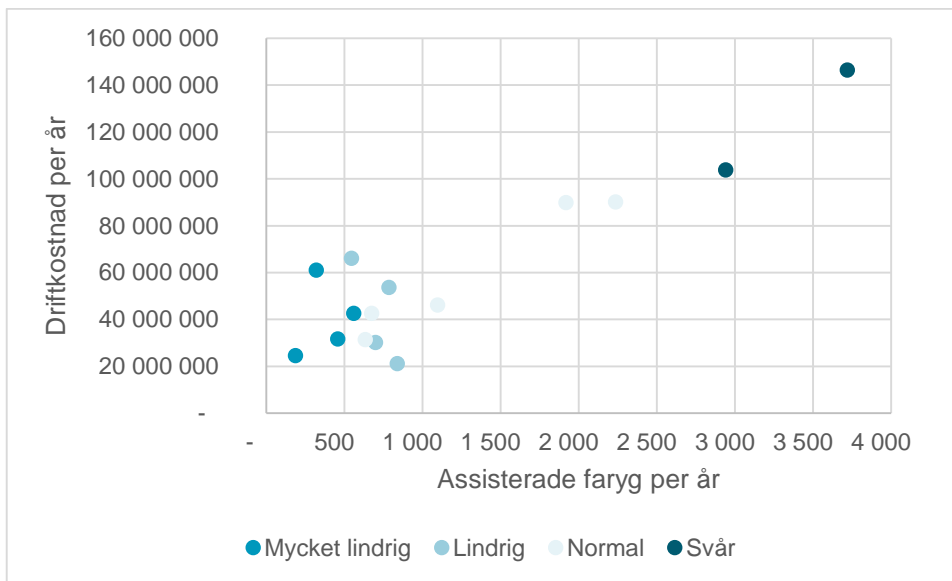
I en andra analys har det testats om kostnaden per enhet skiljer sig åt beroende på vinterns svårighetsgrad.

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + b \cdot q_{S+V+f} + d \cdot \text{dummy} \cdot q_{S+V+f} + e \quad (\text{B2.10b})$$

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + b \cdot q_{S+V+f} + c \cdot q_{S+V+f}^2 + d \cdot \text{dummy} \cdot q_{S+V+f} + e \quad (\text{B2.11b})$$

$$D_{S+V+f}(q_{S+V+f}) = a + c \cdot q_{S+V+f}^2 + d \cdot \text{dummy} \cdot q_{S+V+f} + e \quad (\text{B2.12b})$$

Inte heller i dessa analyser var någon av parametern framför dummyvariabler statistiskt signifikant. Det går därmed inte att visa att kostnaden för isbrytning är beroende av vinternssvårighetsgrad, om hänsyn tas till hur många assistanser eller assisterade fartyg som genomförs. En svårighet med analysen är dock att antalet assistanser och assisterade fartyg till viss del samvarierar med vinterns svårighetsgrad. Hur många fartyg som assisteras har både att göra med hur omfattande isens utbredning är men också med sjöfartens omfattning. Svåra vintrar assisteras fler fartyg och milda vintrar assisteras färre fartyg, vilket kan ses i figur 9. Detta försvårar till viss del analysen.



Figur 9. Driftkostnader per år i förhållande till assisterade fartyg per år samt vinterns svårighetsgrad.

6 Driftkostnader per timme för stats- och Viking-isbrytarna

Från Sjöfartsverket har vi fått uppgifter om gångtid och antal assisterade timmar gällande statsisbrytarna och Viking-isbrytarna. Med gångtid menas antalet timmar isbrytarna framförts. Med hjälp av dessa uppgifter går det att beräkna kostnaden per timme. Eftersom underlaget angående antal timmar enbart inkluderar stats- och Viking-isbrytare och inte förhyrda hjälpisbrytare, så har kostnader för förhyrningar tagits bort vid beräkningarna. Följande modeller har testats:

$$D_{s+v}(q_{s+v}) = a + b \cdot q_{s+v} + e \quad (5.13)$$

$$D_{s+v}(q_{s+v}) = a + b \cdot q_{s+v} + c \cdot q_{s+v}^2 + e \quad (5.14)$$

$$D_{s+v}(q_{s+v}) = a + c \cdot q_{s+v}^2 + e \quad (5.15)$$

Där D_{s+v} står för driftkostnader för stats- och Viking-isbrytarna, och q_{s+v} är antingen antal gångtimmar eller antal assisterade timmar för stats- och Viking-isbrytarna. Resultatet av regressionerna visas i tabellerna nedan.

Tabell 12 Driftkostnader för stats- och Viking-isbrytarna modell B2.13

q_{s+v}	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Gångtimmar	20,9	0,007	5 744	0,000	0,63
Assisterade timmar	21,8	0,004	12 481	0,000	0,65

Tabell 13 Driftkostnader för stats- och Viking-isbrytarna modell B2.14

q_{s+v}	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	c (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Gångtimmar	30,1	0,031	1 705	0,726	0,29	0,398	0,63
Assisterade timmar	33,7	0,008	255	0,979	1,99	0,203	0,67

Tabell 14 Driftkostnad för stats- och Viking-isbrytarna modell B2.15

q_{s+v}	a (mkr)	P -värde	c (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Gångtimmar	34,2	0,000	0,41	0,000	0,65
Assisterade timmar	34,0	0,000	2,02	0,000	0,70

Konstanten a är signifikant skild från noll i alla modellspecifikationerna och varierar mellan ca 20 miljoner kr i modell B2.13 till ca 34 miljoner kr i modell B2.15. Konstanten kan tolkas som en fast del av driftkostnaden som inte varierar med antalet timmar.

I modell B2.13 motsvarar marginalkostnaden är konstant (parameter b) och motsvarar ca 5 700 kr per gångtimme eller ca 12 500 kr per assisterad timme. I modell B2.14 och B2.16 varierar marginalkostnaden med antalet timmar. Parametern c är positiv vilket tyder på att marginalkostnaderna ökar ju fler timmar som isbrytarna är verksamma, samtidigt är inte parametern signifikant vilket innebär att det inte säkert går att säga att marginalkostnaden ökar med vid fler timmar. För ett genomsnittligt år är marginalkostnaden enligt modell B2.14 ca 4 500 kr för den sista gångtimmen och 4 000 kr enligt modell B2.15 eller ca 9000 kr för den sista assisterade timmen enligt både modell B2.14 och modell B2.15. I modell B2.14 är dock inte parametrarna b och c signifikanta vilket innebär att siffrorna är osäkra. Modell B2.14 har dock högre förklaringsvärde (justerat R^2 -värde) än modell B2.13. Högst förklaringsvärde har modell B2.15, som också har signifikanta parametrar. Ett komplikation med tolkningen av modell B2.15 är att den "tvingar" fram en ökande marginalkostnad på samma sätt som modell B2.12 (se diskussion i avsnitt 4)

Marginalkostnaderna beräknade med hjälp av modellerna kan jämföras med den genomsnittliga driftkostnaden på 10 000 kr per gångtimme och ca 22 000 kr per assisterad timme. Att den genomsnittliga kostnaden blir högre beror främst på att den fasta delen av driftkostnaden (motsvarande konstanten a).

En statistisk analys av om vinterns svårighetsgrad påverkar kostnaderna har gjorts med hjälp av dummy-variabler. Vinternssvårighetsgrad påverkar inte den fasta delen av driftkostnaden och inte heller den rörliga delen av driftkostnaden.

I Tabell 15 redovisas genomsnittlig driftkostnad och marginalkostnader per timme för stats- och Viking-isbrytarna. Den genomsnittliga kostnaden högre än marginalkostnaden och den genomsnittliga kostanden sjunker då isbrytarna använts fler timmar. Modell B2.13 ger konstanta marginalkostnader, medan modell B2.14 och B2.15 har på ökande marginalkostnader. Förklaringsgraden i modell B2.13, B2.14 och B2.15 är generellt lägre än förklaringsgraden i modell B2.10, B2.11 och B2.12 där kostanden förklaras av antal assistanser eller assisterade fartyg. Modell B2.15 har högst förklaringsvärde och parametrarna är signifikanta, men modellen tvingar i princip marginalkostnaderna att vara ökande.

Tabell 15 Genomsnittlig kostnad och marginalkostnad per timme för stats- och Viking-isbrytare.

<i>Driftkostnad</i>	<i>Medel</i>	<i>Mycket lindrig</i>	<i>Lindrig</i>	<i>Normal</i>	<i>Svår</i>	<i>Justerat R²-värde</i>
Gångtimmar (antal)	4 897	1 966	3 147	6 276	11 687	
Assisterade timmar (antal)	2 187	705	1 515	2 723	5 489	
<i>per gångtimme</i>						
Genomsnittlig driftkostnad	10 019	18 140	13 576	7 777	7 901	
<i>Marginalkostnad</i>						
Modell 5.13	5 744	5 744	5 744	5 744	5 744	0,63
Modell 5.14	4 545	2 845	3 530	5 345	8 483	0,63
Modell 5.15	4 015	1 612	2 580	5 146	9 583	0,65
<i>per assisterad timme</i>						
Genomsnittlig driftkostnad	22 436	50 612	28 192	17 923	16 824	
<i>Marginalkostnad</i>						
Modell 5.13	12 481	12 481	12 481	12 481	12 481	0,65
Modell 5.14	8 958	3 060	6 286	11 093	22 100	0,67
Modell 5.15	8 834	2 847	6 122	11 001	22 174	0,70

7 Driftskostnader per nautisk mil för stats- och Viking-isbrytarna

Även uppgifter om antal assisterade nautiska mil och totalt antal nautiska mil har fått från Sjöfartsverket gällande stats- och Viking-isbrytarna. Med hjälp av dessa uppgifter går det att beräkna kostnaden per nautisk mil. Eftersom underlaget angående antal timmar enbart inkluderar stats- och Viking-isbrytare och inte förhyrda hjälpisbrytare, så har kostnader för förhyrningar tagits bort vid beräkningarna. Följande modeller har testats:

$$D_{S+V}(q_{S+V}) = a + b \cdot q_{S+V} + e \quad (\text{B2.16})$$

$$D_{S+V}(q_{S+V}) = a + b \cdot q_{S+V} + c \cdot q_{S+V}^2 + e \quad (\text{B2.17})$$

$$D_{S+V}(q) = a + c \cdot q_{S+V}^2 + e \quad (\text{B2.18})$$

Där D_{S+V} står för driftkostnader för stats- och Viking-isbrytarna, och q_{S+V} är antingen totalt antal eller antal assisterade nautiska mil för stats- och Viking-isbrytarna. Resultatet av regressionerna visas i tabellerna nedan.

Tabell 16 Driftskostnader för stats- och Viking-isbrytare enligt modell B2.16

q_{S+V}	<i>a (mkr)</i>	<i>P-värde</i>	<i>b (kr)</i>	<i>P-värde</i>	<i>Justerat R²-värde</i>
Nautiska mil	25,0	0,000	540	0,000	0,67
Assisterade nautiska mil	27,2	0,000	982	0,000	0,66

Tabell 17 Driftkostnader för stats- och Viking-isbrytare enligt modell B2.17

q_{s+v}	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	c (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Nautiska mil	12,7	0,194	1 028	0,007	-	0,002	0,137
Assisterade nautiska mil	21,3	0,031	1 474	0,028	-	0,005	0,403

Tabell 18 Driftkostnader för stats- och Viking-isbrytare enligt modell B2.18

q_{s+v}	a (mkr)	P -värde	c (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Nautiska mil	40,1	0,000	0,003	0,001	0,53
Assisterade nautiska mil	40,3	0,000	0,009	0,001	0,53

Konstanten a är signifikant och skild från noll i flertalet av modellskattningarna. Det innebär att driftkostnaderna i inte är rörliga i förhållande till antalet timmar.

Vad gäller assisterade nautiska mil har den enkla linjära modellen B2.16 högst förklaringsvärde och vad gäller total antal nautiska mil har modell B2.17 högst förklaringsvärde. Parametern c i modell B2.17 är negativ (men inte signifikant). Det innebär att när antalet enheter ökar så minskar marginalkostnaden. I modell B2.18 däremot så är parametern c positiv och signifikant samtidigt som modellen har sämre förklaringsvärde.

Med hjälp av dummy-variabler har vi testat resultatet i modellerna B2.6, B2.17 och B2.18 är beroende av vinterns svårighetsgrad på samma sätt som beskrivs i avsnitt 0. När enbart dummy-variabel för den fasta kostnaden inkluderades i modellen visade modell B2.17 signifikant högre fasta kostnader för mycket lindriga vintrar (i förhållande till totalt antal nautiska mil). När enbart dummy-variabler för den rörliga kostnaden inkluderades visade modell B2.17 signifikant högre kostnader för mycket lindrig vintrar (både i förhållande till totalt antal nautiska mil och assisterade nautiska mil). Men om både dummy-variabeln för fastakostnader och dummy-variabeln för rörliga kostnader inkluderas samtidigt blev ingen av dummy-variablerna signifikanta. I modell B2.16 och B2.18 var ingen av dummy-variablerna signifikanta. Slutsatsen av detta torde vara att det inte går att visa att vinterns svårighetsgrad påverkar kostnaden för isbrytning. Men om vinterns svårighetsgrad skulle påverka driftkostnaden så är det troligare att mycket lindriga vintrar snarare leder till högre än lägre kostnader.

I Tabell 19 redovisas genomsnittlig driftkostnad och marginalkostnader per nautisk mil för stats- och Viking-isbrytare. Den genomsnittliga kostnaden minskar kallare vintrar när fler isbrytare används mer. Det kan troligtvis förklaras av att driftkostnaderna även innehåller en fast del. Modell B2.16 har en konstant marginalkostnad, men modell B2.17 och B2.18 tillåter marginalkostnaden att ändras beroende på hur mycket isbrytning som utförs. Modell B2.17 har högst förklaringsvärde, men parametrarna är inte signifikanta. I modell B2.17 så minskar marginalkostnaden per nautisk mil ju mer isbrytning som genomförs. I modell B2.18 så ökar istället marginalkostnaderna. Skillnaden i resultat beror troligtvis på att modell B2.18 i princip tvingar marginalkostnaderna att öka med antalet nautiska mil, vilket ger ett betydligt lägre förklaringsvärde.

Tabell 19 Genomsnittlig kostnad och marginalkostnad per nautisk mil för stats- och Viking-isbrytare.

<i>Driftkostnad</i>	<i>Medel</i>	<i>Mycket lindrig</i>	<i>Lindrig</i>	<i>Normal</i>	<i>Svår</i>	<i>Justerat R²-värde</i>
Nautiska mil	44 510	17 381	30 535	46 729	128 154	
Assisterade nautiska mil	22 283	6 558	14 695	25 416	64 870	
<i>per totalt antal nautiska mil</i>						
Genomsnittlig driftkostnad	1 102	2 052	1 399	1 044	721	
Marginalkostnad						
Modell B2.16	540	540	540	540	540	0,67
Modell B2.17	850	958	906	841	515	0,72
Modell B2.18	267	104	183	280	769	0,53
<i>per assisterade nautiska mil</i>						
Genomsnittlig driftkostnad	2 202	5 439	2 907	1 920	1 423	
Marginalkostnad						
Modell B2.16	982	982	982	982	982	0,66
Modell B2.17	1 251	1 408	1 327	1 220	825	0,65
Modell B2.18	401	118	265	457	1 168	0,53

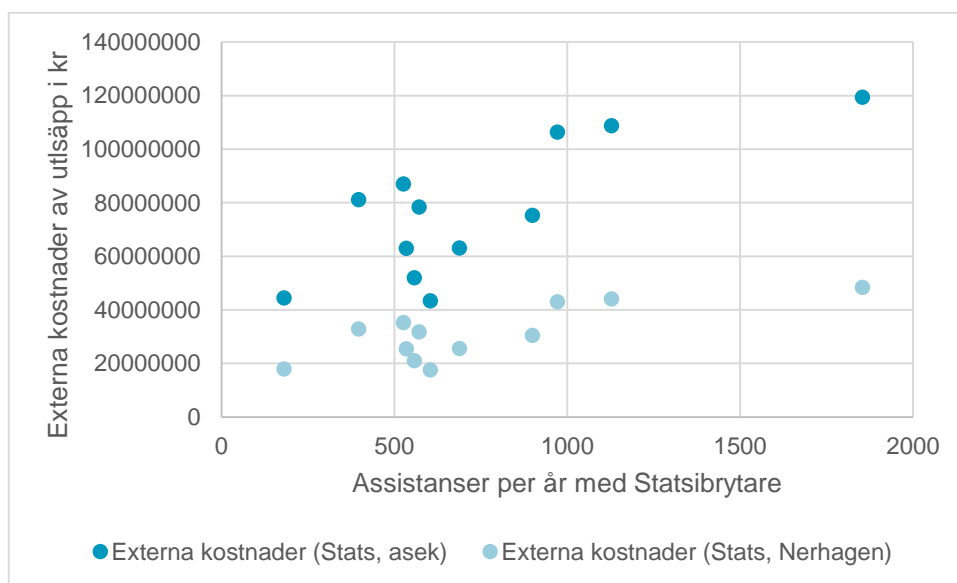
Bilaga 3: Skattad kostnadsfunktion för externa kostnader

I denna bilaga redovisas regressionsanalyser genomförda i dataprogrammet Stata för att få fram en kostnadsfunktion för externa kostnader av luftföroreningar och växthusgaser i samband med isbrytning och där igenom kunna beräkna den externa marginalkostnaden. Beräkningarna bygger på bearbetade data från Sjöfartsverket och värderingar enligt kapitel 4 i huvudrapporten.

1 Externa kostnader för statsisbrytare per assistans och assisterat fartyg

I Figur 0-1 visas beräknade externa kostnader för växthusgaser och luftföroreningar från statsisbrytarna i förhållande antalet assistanser statsisbrytarna genomfört.

Figuren visar externa kostnader beräknade på två olika sätt, dels då kostnaden av luftföroreningar beräknats med hjälp av emissionsfaktorer och värderingar enligt ASEK, dels då de beräknats med hjälp av värderingar från Nerhagen. I båda fallen bygger den externa kostnaden av växthusgaser från emissionsfaktorer från Sjöfartsverket och värdering enligt ASEK.



Figur 0-1 Kostnader från växthusgaser och luftföroreningar i förhållande till antalet assistanser med statsisbrytare.

Med hjälp av en regressionsanalys har följande linjära modell testats:

$$E_s(q_s) = a + b \cdot q_s + e \quad (\text{B3.1})$$

Där E_s är de externa kostnader från statsisbrytarna och q_s antalet assistanser statsisbrytarna utfört eller antalet fartyg statsisbrytarna assisterats. Resultaten från regressionsanalysen finns i Tabell 1. Det kan precis som gällande kostnaden för driv- och smörjmedel konstaterats att hela bränsleförbrukningen inte är rörlig i förhållande till antalet assisterade fartyg eller antalet assistanser. Värderas luftföroreningarna enligt ASEK är den fasta externa kostnaden knappt 50 miljoner kr och värderas luftföroreningar enligt Nerhagen blir den fasta externa kostnaden knappt 20 miljoner kr. Parametern b motsvarar den externa marginalkostnaden för luftföroreningar och växthusgaser. Värderas de externa effekterna enligt ASEK är kostanden per assistans ca 38 000 kr och värderas de externa effekterna enligt Nerhagen är de ca 15 000 kr per assistans. Den genomsnittliga kostnaden per assistans och per assisterat fartyg är nästan dubbelt så hög som de beräknade marginalkostnaderna. Den genomsnittliga kostanden per fartyg är ca 75 000 kr med värdering enligt ASEK och ca 30 000 kr med värdering enligt Nerhagen.

Tabell 1 Skattad modell för externa kostnader för statsisbrytarna i förhållande till antalet assistanser eller assisterade fartyg

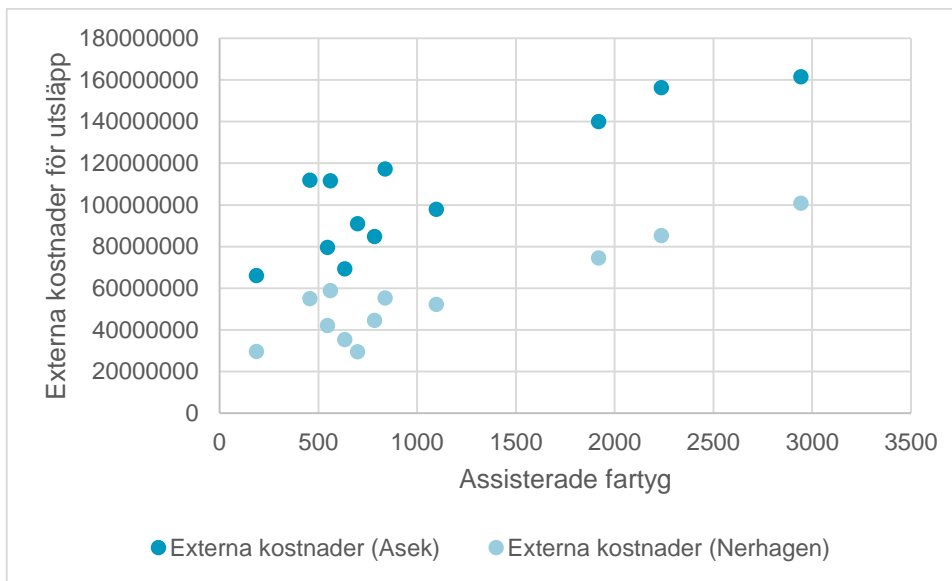
q externa kostnader	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Assistanser Statsisbrytare (Asek)	47,9	0,000	42 358	0,003	0,50
Assisterade fartyg Statsisbrytare (Asek)	47,4	0,000	37 813	0,001	0,61
Assistanser Statsisbrytare (Nerhagen)	19,4	0,000	17 199	0,003	0,50
Assisterade fartyg Statsisbrytare (Nerhagen)	19,1	0,000	15 353	0,001	0,61

En modell där både q_s och q_s^2 inkluderas har också testats. När både q_s och q_s^2 inkluderas blev dock förklaringsgraden av modellen lägre och parametrarna inte signifikanta. Därmed antas den linjära modellen beskriva data på bäst sätt.

2 Externa kostnader i förhållande till antal assistanser och assisterade fartyg

Vi har ingen data för bränsleförbrukningen för Viking-isbrytarna eller andra inhyrda isbrytarna. För att kunna beräkna utsläpp från alla isbrytare (inte enbart från statsisbrytarna) har antagande gjorts av bränsleförbrukning i förhållande till isbrytarens storlek, se kapitel 4 i huvudrapporten.

I Figur 0-2 visas beräknade externa kostnader från växthusgaser och luftföroreningar för samtliga isbrytande fartyg i förhållande antalet assisterade fartyg med samtliga isbrytare. Bränsleförbrukningen ökar kostnaderna när fler fartyg assisteras. Figuren visar externa kostnader beräknade på två olika sätt, dels då kostnaden av luftföroreningar beräknats med hjälp av emissionsfaktorer och värderingar enligt ASEK, dels då de beräknats med hjälp av värderingar från Nerhagen.



Figur 0-2 Kostnader från växthusgaser och luftföroreningar i förhållande till antalet assisterade fartyg.

Med hjälp av en regressionsanalys har följande linjära modell testats:

$$E_{s+v+f}(q_{s+v+f}) = a + b \cdot q_{s+v+f} + e \quad (\text{B3.2})$$

Där E_{s+v+f} är de externa kostnader för samtliga isbrytare och q_{s+v+f} assisterade fartyg eller antalet assistanser genomförda med samtliga isbrytare.

Resultaten från regressionsanalysen visas i Tabell 2 Skattad modell för externa kostnader. Värderas luftföroreningarna enligt ASEK är den fasta externa kostnaden ca 70 miljoner kr och värderas luftföroreningar enligt Nerhagen blir den fasta externa kostnaden ca 30 miljoner kr. Parametern b motsvarar den externa marginalkostnaden för luftföroreningar och växthusgaser. Den externa marginalkostnaden är ca 50 procent högre med ASEKs värderingar jämfört med Nerhagens värdering. Marginalkostnaden för externa kostnader är samma storleksordning som marginalkostnaden för drift som beräknats i bilaga 2.

Tabell 2 Skattad modell för externa kostnader i förhållande till antalet assistanser eller assisterade fartyg

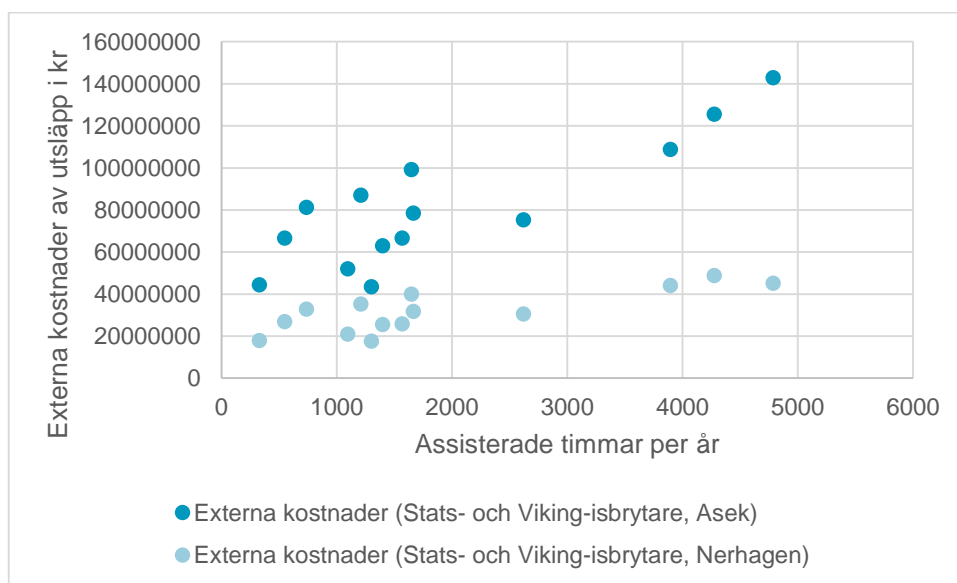
q externa kostnader	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Assistanser (Asek)	56,5	0,000	54 653	0,000	0,68
Assisterade fartyg (Asek)	60,9	0,000	42 948	0,000	0,76
Assistanser (Nerhagen)	30,9	0,000	26 950	0,000	0,66
Assisterade fartyg (Nerhagen)	33,2	0,000	20 981	0,000	0,72

En modell där både q och q^2 inkluderas har också testats. När både q och q^2 inkluderas blev dock förklaringsgraden av modellen lägre och parametrarna inte signifikanta. Därmed bedöms den linjära modellen beskriva data på ett bättre sätt.

3 Externa kostnader för stats- och Viking-isbrytare per timme

Uppgifter gällande antal assisterade timmar och totala gångtimmar finns bara för statsisbrytarna och Viking-isbrytarna. Det innebär att det går att beräkna externa kostnader för luftföroreningar och växthusgaser i förhållande till assisterade timmar och totala gångtimmar. De externa kostnaderna för statsisbrytarna är beräknade passerat på bränsleförbrukning enligt kapitel 4 i huvudrapporten. De externa kostnaderna för Viking-isbrytarna antas vara lika stora per assisterat fartyg som för statsisbrytarna. Kostnader för lokal isbrytning har tagits bort.

I Figur 0-3 visas den beräknade kostanden för externa effekter i förhållande till antalet assisterade timmar. Kostnaden är beräknad på två sätt, dels utifrån ASEKs värderingar, dels utifrån värdering från Nerhagen. Kostnaden ser ut att öka med antalet assisterade timmar.



Figur 0-3 Kostnader från växthusgaser och luftföroreningar i förhållande till antalet assisterade timmar för stats- och Viking-isbrytarna.

Med hjälp av en regressionsanalys har följande linjära modell testats:

$$E_{s+v}(q) = a + b \cdot q_{s+v} + e \tag{B3.3}$$

Där E_{s+v} är de externa kostnaderna för luftföroreningar och växthusgaser från stats- och Viking-isbrytare och q_{s+v} är antalet gångtimmar av stats- och Viking-isbrytare per år eller antalet assisterade timmar med stats- och Viking-isbrytare per år. Resultaten visas i

Tabell 2-1 Tabell 3. Där konstanten a motsvarar en fast kostnad, ca 46 miljoner kr med ASEK värdering och ca 20 miljoner kr med Nerhagens värdering. Parametern b representerar marginalkostnaden för växthusgaser och luftföroreningar.

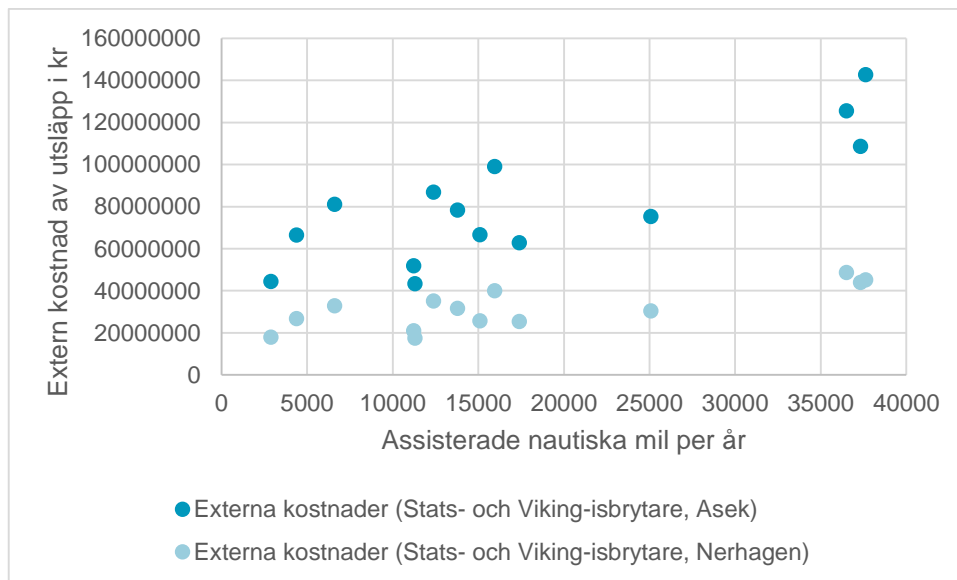
Tabell 3 Skattad modell för externa kostnader i förhållande till antalet gångtimmar eller assisterade timmar

q externa kostnader	a (mkr)	P -värde	b (kr)	P -värde	Justerat R^2 -värde
Gångtimmar (Asek)	46,9	0,000	7 776	0,001	0,60
Assisterade timmar (Asek)	47,2	0,000	17 258	0,000	0,70
Gångtimmar (Asek och Nerhagen)	20,4	0,000	2 580	0,002	0,53
Assisterade timmar (Asek och Nerhagen)	20,7	0,000	5 633	0,001	0,61

En modell där både q och q^2 inkluderas har också testats. Denna modell fick lägre förklaringsgrad och inte signifikanta parametrar och har därför valts bort.

4 Externa kostnader för stats- och Viking-isbrytare i förhållande till nautiska mil

Även uppgifter om antalet assisterade nautiska mil samt totalt antal nautiska mil per år för stats- och Viking-isbrytarna har fått från Sjöfartsverket. De externa kostnaderna för stats- och Viking-isbrytarna har beräknats som beskrivit kapitel 4 i huvudrapporten.



Figur 0-4 Kostnader från växthusgaser och luftföroreningar i förhållande till antalet assisterade nautiska mil för stats- och Viking-isbrytarna.

I Figur 0-4 ser de externa kostnaderna ut att öka med antalet assisterade nautiska mil. Detta har testats i följande linjära modell:

$$E_{s+v}(q) = a + b \cdot q_{s+v} + e \quad (B3.4)$$

Där E_{s+v} är de externa kostnaderna för luftföroreningar och växthusgaser från stats- och Viking-isbrytare och q_{s+v} är antalet assisterade nautiska mil av stats- och Viking-isbrytare per år eller totalt antal nautiska mil som färdats med stats- och Viking-isbrytare per år. Resultatet visas i Tabell 4.

Tabell 4 Skattad modell för externa kostnader i förhållande till totalt antal nautiska mil eller assisterade nautiska mil

<i>q externa kostnader</i>	<i>a (mkr)</i>	<i>P-värde</i>	<i>b (kr)</i>	<i>P-värde</i>	<i>Justerat R²-värde</i>
Nautiska mil (Asek)	57,6	0,001	1 925	0,000	0,75
Assisterade nautiska mil (Asek)	69,0	0,000	3 263	0,000	0,68
Nautiska mil (Asek och Nerhagen)	18,5	0,000	366	0,001	0,56
Assisterade nautiska mil (Asek och Nerhagen)	20,0	0,000	658	0,001	0,58

En modell där både q och q^2 inkluderas har också testats. Dessa modeller fick inte signifikanta parametrar och lägre eller ungefär samma förklaringsgrad som den linjära modellen. Därmed bedöms den linjära modellen beskriva data på ett bättre sätt.



Trafikanalys är en kunskapsmyndighet för transportpolitiken. Vi analyserar och utvärderar föreslagna och genomförda åtgärder inom transportpolitiken. Vi ansvarar även för officiell statistik inom områdena transporter och kommunikationer. Trafikanalys bildades den 1 april 2010 och har huvudkontor i Stockholm samt kontor i Östersund.