

CO₂-utsläpp från transporter av vindkraftverk till vindkraftparken Havsnäs i Jämtland från leverantören i Danmark

För Vägverket

Martin Jerksjö

Åke Sjödin

2009-07-10

Arkivnummer: U2499

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	3
2.	Bakgrund och syfte	4
3.	Allmänt om beräkningar av miljöpåverkan vid godstransporter	5
4.	CO ₂ -utsläpp från transporter av vindkraftverk relaterat till de totala CO ₂ -utsläppen under ett vindkraftverks livscykel	6
5.	Beräkningar av CO ₂ -utsläpp från transportfordon vid transport av vindkraftverk till Havsnäs.....	8
5.1	Bakgrundsdata	9
5.1.1	Moduler till vindkraftverk	9
5.1.2	Transportfordon och följevagnar	10
5.1.3	Bränsleförbrukningar	10
5.1.4	Möjligheter till returtransporter.....	12
5.2	Beräkningsmetodik	13
5.2.1	Beräkning av CO ₂ -utsläpp från lastbilar och följevagnar.....	13
5.2.2	Beräkningar av CO ₂ -utsläpp från fartyg.....	13
5.2.3	Allokering av CO ₂ -utsläpp till gods som fraktas med lastbil (och färja).....	13
5.2.4	Allokering av CO ₂ -utsläpp till gods som fraktas med fraktfartyg.....	15
5.2.5	Returlast	15
6.	Resultat.....	16
6.1	Känslighetsanalys	18
7.	Slutsatser	19
8.	Referenser.....	21
	Bilaga 2 – kartor.....	24
	Bilaga 3 – Resultattabeller	27

1. Inledning

Denna rapport är en revidering av IVLs uppdragsrapport U-2541. Revideringen har utförts på uppdrag av Vägverket med syfte att förbättra beräkningarna av CO₂-utsläpp vid transport av vindkraftverk från Vestas produktionsfabriker i Danmark till vindkraftparken vid Havsnäs (Strömsund, Jämtland). Med förbättringar avses att använda bättre underlagsdata för avstånd och transportvägar, antalet moduler som skall transporteras, följevagnar (som inte alls beaktades i ursprungsrapporten) samt för bränsleförbrukningar. Andelen av CO₂-utsläppen från Stena Lines färjor som skall belasta vindkraftverken vid överfarterna Grenå-Varberg och Fredrikshamn-Göteborg har också reviderats efter bland annat diskussioner med Stena Line.

I denna rapport redovisas CO₂-utsläpp, för utöver de två logistikupplägg som behandlades i ursprungsrapporten, även för ett tredje logistikupplägg där vindkraftverken transporteras med fartyg till Köpmanholmen med Odense som utskeppningshamn i Danmark istället för Esbjerg.

Samtidigt som denna rapport skrivits har också transporterna av vindkraftsverkskomponenter och av lyftkranar ämnade för montering av dessa från Danmark till Havsnäs inletts. Transporterna görs med lastbil (och i de flesta fall med färja mellan Fredrikshamn-Göteborg och Grenå-Varberg).

2. Bakgrund och syfte

Byggnationen av vindkraftverk i Sverige har ökat under senare år, och förväntas fortsätta öka kraftigt inom den närmsta framtiden. Expansionen av vindkraft som energikälla i Sverige förutsätter vanligtvis mycket speciella och omfattande transporter, då tillverkningen ligger på långt avstånd från installationsplatsen. Miljökonsekvenserna av sådana transporter är bristfälligt utredda. Eftersom miljöärenden av denna typ bedöms komma att öka i framtiden, föreligger ett behov av enhetliga, generella och vedertagna metoder för hur denna miljöpåverkan ska beräknas.

Med utgångspunkt från ett aktuellt fall - transporter av komponenter till en vindkraftpark utanför Strömsund i Jämtland från vindkraftsverkstillverkaren Vestas i Danmark - har IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Vägverket tagit fram förslag till grunder (beräkningsmetodik m.m.) som bör användas för bedömning av miljöpåverkan i form CO₂-utsläpp från fordon som används för transporter av vindkraftverk i detta och liknande fall. Härvid har främst två olika möjliga transportslag för transporterna omfattats – väg- och färjetransporter och sjöfart, samt olika kombinationer dem emellan.

Eftersom möjligheten till returtransporter av annat gods kan ha en betydande inverkan på den resulterande miljöpåverkan som specifikt bör hänföras? till transporten av vindkraftverken, så har i uppdraget även undersökts möjligheter för sådana. Möjligheten till samlastning vid båttransporter kan också ha en betydande inverkan men den problematiken behandlas ej i denna rapport.

3. Allmänt om beräkningar av miljöpåverkan vid godstransporter

Miljöpåverkan av godstransporter är omfattande. Förutom utsläpp till luft av ämnen med såväl global som regional och lokal (hälso-)påverkan, så uppstår annan påverkan genom buller, vibrationer, markintrång m.m. I detta uppdrag har en avgränsning av miljöpåverkan skett till klimatpåverkan genom att beskriva utsläppen av CO₂ från transportfordon vid transporter av vindkraftverk.

För att beräkna utsläpp till luft från transporter, oavsett om dessa avser transport av gods eller persontransporter, har genom åren en rad olika metoder och modeller utvecklats, såväl nationella som internationella. Metoder och modeller med internationell förankring är att föredra, eftersom transporter ofta är internationella - detta gäller särskilt godstransporter och transporter till sjöss och med flyg.

Inom EU har sedan tidigt 1990-tal ett omfattande arbete lagts ned på att i samarbete mellan olika medlemsländer utveckla gemensam och harmoniserad metodik för att beräkna utsläpp av CO₂ och andra föroreningar från transporter - Cost 319, MEET, ARTEMIS m fl projekt. Detta och delvis liknande parallellt arbete har också drivits fram av de allt större krav som ställs på ländernas internationella utsläppsrapportering till FN:s klimatkonvention, FN:s konvention om gränsöverskridande luftföroreningar, EU:s direktiv om nationella utsläppstak för vissa luftföroreningar (det s.k. takdirektivet) m.m.

I de modeller och metoder som nämns ovan behandlas dock inte den viktiga frågan om allokeringen av utsläppen till det transporterade godset, t ex uttryckt som kg utsläpp per transporterad tonkilometer. Här har istället ett omfattande pionjärarbete drivits av föreningen NTM - Nätverket för Transporter och Miljön - ända sedan omkring mitten av 1990-talet (se www.ntmcalc.se).

NTM med dess metoder och data för beräkning av bränsleförbrukning och utsläpp till luft drivs av godstransport-(och rese-)branschens aktörer, med en bred representation av såväl godstransportköpare som godstransportsäljare och alla fyra transportslagen. NTM:s metoder och data är framarbetade och fastställda i konsensus mellan dessa aktörer, och därför transportslags-neutrala. Man har också lagt sig vinn om att använda senaste och bästa tillgängliga internationella modeller, metoder och data. Det betyder att dessa är de samma som eller harmoniserade med de som tagits fram i internationellt samarbete för transportsektorn för olika ändamål enligt vad som redogjorts ovan.

Även om det finns andra internationella aktörer som tillhandahåller liknande metoder och data som NTM (t ex de europeiska järnvägsbolagens organ Ecotransit, se www.ecotransit.org), så får NTM:s metoder idag anses vara de som representerar "state-of-the-art". NTM arbetar nu också för att få sin metod för beräkning av utsläpp och bränsleförbrukning för godstransporter att bli accepterad som en internationell standard.

Vi rekommenderar således att NTM:s metodik utgör grunden för beräkningar av CO₂ utsläpp och bränsleförbrukning för transporter för byggnation av vindkraftverk.

I Bilaga 1 beskrivs kortfattat NTM:s beräkningsmetoder för utsläpp från väg-, sjö- och järnvägstransporter. För mer detaljerade beskrivningar hänvisas www.ntmcalc.se eller kontakt via info@ntm.a.se.

4. CO₂-utsläpp från transporter av vindkraftverk relaterat till de totala CO₂-utsläppen under ett vindkraftverks livscykel

Denna rapport är avgränsad till att behandla CO₂-utsläpp från transportfordon vid transporter av vindkraftverk och av lyftkranar för montering av dessa. Det skall då komma ihåg att vindkraftutbyggnaden även genererar CO₂-utsläpp från bland annat:

1. transporter för nya vägar som ansluts till befintligt vägnät och hårdgjorda ytor för bygg- och lyftmaskiner, uppställning och service och förstärkning av befintliga vägar.
2. 50 till 100 transporter per verk med fabriksbetong i roterbilar och vissa andra maskin- och materieltransporter för grundläggnings- och fundamentarbeten.
3. lyft- och montagearbeten
4. persontransporter
5. tillverkning av vindkraftskomponenter och förädling av annan insatsmateriel och de transporter som kan härledas tillbaka i förädlingskedjan.

Dessutom medför vindkraftsutbyggnaden även att CO₂ fallor (skog och vegetation) ersätts av hårdgjorda ytor.

Enligt en artikel av Weisser (Weisser, 2007), där livscykelanalyser för flera elproduktionstekniker granskas och jämförs, uppstår de mesta utsläppen av växthusgaser (VHG) under ett vindkraftverks livstid vid produktion av komponenter till kraftverket, samt vid monteringen på uppställningsplatsen. Dessa faser står för 72 - 90 % av de kumulativa VHG-utsläppen. För landbaserade vindkraftverk uppstår de mesta utsläppen av växthusgaser vid produktion av framförallt för tornet och nosdelen. Återstående utsläpp av växthusgaser som inte kan relateras till tillverkningen eller monteringen uppkommer under transporter, drift och underhåll, samt nedmontering och sträcker sig mellan 10 – 28 % av de kumulativa VHG-utsläppen. Utsläppen varierar mycket beroende på var vindkraftverken byggs. Till exempel så kräver havsbaserade konstruktioner en betydande mängd mer stål och cement jämfört med landbaserade. Generellt har större turbiner lägre utsläpp av växthusgaser jämfört med mindre turbiner givet samma vindförhållanden.

Utsläppen av växthusgaser under ett vindkraftverks livstid är till stor del beroende av monteringsplatsen, vindförhållanden på platsen och kraftverkets livslängd. Detta medför att det blir ett stort spann för utsläppen per producerad energienhet i olika livscykelanalyser för vindkraftverk. För landbaserade kraftverk anges ett spann mellan 8-30 g CO₂ ekvivalenter/kWh och för havsbaserade 9-19 g CO₂ ekvivalenter/kWh (Weisser, 2007). Det framgår inte i artikeln om de studerade livscykelanalyserna tar hänsyn till byggandet av nya vägar samt till att CO₂ fallor som skog ersätts med hårdgjorda ytor.

Enligt en livscykelanalys utförd för Vattenfalls vindkraftsproduktion i Norden, genererar Vattenfalls vindkraftverk 12 g CO₂/kWh genererad el (och 13 g CO₂/kWh levererad el). Av dessa står

byggfasen för ca 9 g CO₂/kWh. I byggfasen ingår tillverkning och transport av material till huvudkomponenter, tillverkning av huvudkomponenter som rotorblad, nav, maskinhus samt torn och transporter till byggplatsen. Även reinvestering av växellåda eller generator ingår i beräkningarna under byggfasen. Byggande av fundamentet står för drygt 2 g CO₂/kWh och driften, rivningen samt distributionen står tillsammans för ca.1 g CO₂/ kWh. CO₂ uppges stå för 90 % av de totala utsläppen av växthusgaser (Vattenfall, 2007). Vattenfalls livscykelanalys tar inte hänsyn till utsläpp vid byggandet av nya vägar samt att CO₂ fallor som skog ersätts med hårdgjorda ytor.

Det skall kommas ihåg att eftersom vindkraftstekniken ständigt förbättras har livscykelanalyser en begränsad livslängd. Utvecklingen går mot en ökad livslängd. En ökad livslängd för ett vindkraftverk påverkar starkt utsläppen per producerad energienhet (det påverkar då naturligtvis också att olika studier ansätter olika livslängder).

5. Beräkningar av CO₂-utsläpp från transportfordon vid transport av vindkraftverk till Havsnäs

I detta avsnitt beräknas CO₂-utsläpp från transportfordon och följefordon vid transporter av vindkraftverk (inklusive kranar för montering) från Vestas produktionsfabriker i Danmark till vindkraftparken vid Havsnäs utanför Strömsund. I beräkningarna ingår också att bestämma hur stor del av fordonens utsläpp som skall belasta vindkraftverken. Beräkningarna görs för tre olika logistikupplägg:

Logistikupplägg I: Godset körs med lastbil direkt från produktionsfabrikerna i Danmark till Havsnäs. Vingarna transporteras via Köpenhamn-Malmö medan övriga moduler transporteras med färja via Grenå-Varberg eller Fredrikshamn-Göteborg. Se karta i Bilaga 2.

Logistikupplägg II: Godset transporteras med lastbil från produktionsfabrikerna till hamnen i Esbjerg där det lastas på en fraktbåt och körs till Köpmanholmen (strax söder om Örnköldsvik). Från Köpmanholmen till Havsnäs transporteras godset med lastbil. Se karta i Bilaga 2.

Logistikupplägg III: Godset transporteras med lastbil från produktionsfabrikerna till hamnen i Odense där det lastas på en fraktbåt och körs till Köpmanholmen. Från Köpmanholmen till Havsnäs transporteras godset med lastbil. Se karta i Bilaga 2.

De två första logistikuppläggen har beskrivits i Vestas miljökalkyl¹ omfattande transporter till Havsnäs och har också tidigare beskrivits i IVLs rapport U-2541. När denna rapport skrivs (juni 2009) har transporterna till Havsnäs påbörjats enligt logistikupplägg I. Eftersom transportvägarna nu är fastlagda till skillnad mot när den första rapporten skrevs, samt att det nu finns bättre uppgifter om antal transporter och inblandade fordon, finns det anledning att revidera beräkningarna. Dessutom har bränsleförbrukningarna reviderats för samtliga fordon, vilket gör det nödvändigt att även revidera beräkningarna för logistikupplägg II.

Det tredje logistikupplägget har uppkommit som förslag genom diskussioner mellan Mårten Nilsson (Vägverket) och Emil Fastén (Sjöfartsverket).² Alternativet innebär en minskad transportsträcka både till sjöss och på land.

Utsläppen beräknas för fallet då inga returtransporter föreligger men också för då returgods tas upp på vägen tillbaka från Havsnäs till Danmark.

¹ rapport gällande CO₂ emissioner på projekt RES, Strömsund Havsnäs

² Enligt uppgifter från Mårten Nilsson har Vestas har inte lämnat några synpunkter om alternativet med Odense som utskeppningshamn eller någon annan lämplig hamn på Danmarks östkust.

5.1 Bakgrundsdata

För att kunna göra rimliga bedömningar om CO₂-utsläppen från transportfordonen och sedan allokera en andel av utsläppen till transporterat gods behövs följande uppgifter:

- Transportavstånd (för väg-, färje- och sjötransporter).
- Storlek och vikt på transporterat gods och transportfordon.
- Bränsleförbrukningar (för lastbilar, följevagnar och färjor och fartyg).
- Kännedom om möjligheter till returtransporter (för lastbilar och båtar).
- Uppskattningar av färjornas och fartygens fyllnadsgrad med avseende på lastat gods.
- Uppskattningar om hur stor del av ett fartygs lastutrymme en modul till ett vindkraftverk upptar.
- Bedömningar av hur stor del av utsläppen som skall allokeras till lasten respektive passagerarna på så kallade RoPax-färjor, som transporterar både gods och passagerare.

5.1.1 Moduler till vindkraftverk

Storleken på ett vindkraftverk varierar mellan olika tillverkare och kraftverkens effekt. Tabell 1 visar mått och vikt för ett 2 MW vindkraftverk från Vestas. Uppgifterna i tabellen är de som används i beräkningarna i denna rapport.

Utöver modulerna till själva vindkraftverken behöver även kranar transporteras till byggsplatsen. Kranarna används vid monteringen av vindkraftverken. För varje kran krävs tre dispenstransporter samt ca 17 normaltransporter för motvikter med mera, se Tabell 2.

Tabell 1 Ungefärliga uppgifter om mått och vikt för moduler till landbaserade vindkraftverk från Vestas, samt dispenstransporters utrymmesbehov och totalvikter

Leverans Leverantör	Effekt (MW)	Transportmodul	Moduler per verk	Lastat transportfordons mått och totalvikt (m och ton)				Transportmodulers mått och totalvikt (m och ton)			
				L	B	H	Vikt/st	L	B	H	Vikt/st
Havsnäs (Strömsund) 48 verk Vestas	2,0	Infästningsplatta	1	4,7	4,7	4,0	40	4,7	4,7		16,0
		Rotorblad	3	49	3,4	4,0	40	44,0	3,4	2,0	9,5
		Maskinhus	1	34	4,3	4,3	125	12,8	3,4	3,8	75,0
		Rotor	1	17	3,6	4,2	48	3,6	3,6	3,1	22,0
		Nedre tornsektion (1)	1	48	4,2	4,3	123	23,7	4,2	4,2	74,7
		Mellan tornsektion	1	50	4,2	4,3	104	25,5	4,2	4,2	56,7
		Mellan tornsektion	1	30	3,3	4,2	70	21,0	3,4	3,4	35,2
		Övre tornsektion (4)	1	27	3,3	4,2	56	22,6	3,4	3,4	27,5

Tabell 2 Antal moduler till en lyftkran som används vid uppmontering av vindkraftverk samt totalt antal moduler till kranar för vindkraftpark Havsnäs. Mått och totalvikter för transportfordon.

Kranar för montering av landbaserade vindkraftverk						
Transportmodul	Antal moduler per kran	Antal moduler för de 4 kranarna till Havsnäs	Lastat transportfordons mått och totalvikt (m och ton)			
Lyftkranmodul I	2	8	25	2,8	4,0	90
Lyftkranmodul II	1	4	25	3,5	4,0	70
Motvikter, master, mm	17	68	17	2,6	4,0	45

5.1.2 Transportfordon och följevilar

Alla lastbilar som fraktar moduler till vindkraftverken är så stora att de behöver dispens för att köra på svenska allmänna vägar. Transporterna går i kolonner om vardera två eller tre lastbilar, beroende på ekipagens längd. Utöver lastbilarna krävs följevilar av typen varningsbilar, vägtrafikledarbilar och för vissa av transporterna även styrbilar (varifrån bakdelen till de längre lastbilarna radiostyrts). Följevilar är lätta lastbilar (ca 3,5 ton?). I denna rapport uppskattas att det i genomsnitt krävs 4,5 följevilar per kolonn.

Sjötransporter mellan Fredrikshamn och Göteborg går med Stena Jutlandica och mellan Grenå och Varberg med Stena Nautica (Lars Nilsson, Stena Line). Dessa färjor är så kallade RoPax färjor. (Kallas allmänt för bilfärjor. Fartyg med kapacitet för både last och passagerare och där lasten lastas och lossas med hjälp av ramper).

Enligt Vestas miljö kalkyl³ har Blue water shipping kontaktats om sjötransporten mellan Esbjerg och Köpmanholmen. I rapporten framgår att Blue water shipping har angivit M/V Vindö och M/V CEC Enterprise som möjliga fartyg för transporten. Dessa är handelsfartyg i storleksklassen 4 000 dwt⁴ – 5 000 dwt.

5.1.3 Bränsleförbrukningar

Lastbilar

Det finns flera källor som tillhandahåller uppgifter om bränsleförbrukningar för lastbilar, till exempel NTM:s metoddokument för vägtransporter (www.ntmcalc.se), vägtrafikemissionsmodellerna ARTEMIS (www.trl.co.uk/artemis/) och COPERT (<http://lat.eng.auth.gr/copert/>). Dessa modeller behandlar dock bara normalstora fordon. För specialtransporter blir bränsleförbrukningen lite svårare att uppskatta, dels på grund av den större vikten jämfört med normala transporter men även för att körmönstret ofta skiljer sig från ett normalt körmönster. Vid CO₂-beräkningar bör alltid den verkliga bränsleförbrukningen användas, om den finns att tillgå. I annat fall måste rimliga bedömningar göras. För att få en rimlig uppskattning av bränsleförbrukningen för de fordon som används vid transporterna till Havsnäs kontaktades Volvo Technology AB (Lennart Cider), som rekommenderade att i detta projekt uppskatta bränsleförbrukningen utefter fordonets GCW (Gross Combined Weight, vikten på lastbil + last) och terrängen, se Tabell 3. I tabellen används benämningarna platt, kuperat och berg vilka avser +/-2 % lutning, +/-10 % samt konstant uppförsbacke 7 % stigning. Inverkan av hastigheten på bränsleförbrukningen ryms inom felgränserna. Transporterna till Havsnäs kommer delvis att pågå under vintermånaderna. Storleksordningen på ökningen av bränsleförbrukning vid vinterväglag kontra sommarväglag bedöms av samma källa vara 10 %.

Uppgifterna får ses som en grov uppskattning men där storleksordningen stämmer bra överens med verkligheten. För att få bättre uppskattningar av bränsleförbrukningarna krävs mer djupgående studier, vilket inte ryms inom detta projekt.

³ rapport gällande CO₂ emissioner på projekt RES, Strömsund Havsnäs

⁴ Dwt (eng. Deadweight tonnage) är ett mått på den maximala vikten av last + bränsle ett fartyg kan ta.

Tabell 3 Bränsleförbrukning för tunga lastbilar enligt Volvo Technology AB (Lennart Cider)

GCW (ton)	Platt (l/100 km)	Kuperat (l/100 km)	Berg (l/100 km)
30	40	60	80
40	45	67.5	90
50	50	75	100
60	55	82.5	110
70	60	90	120
80	65	97.5	130
90	70	105	140
100	75	112.5	150
110	80	120	160
120	85	127.5	170
130	90	135	180
140	95	142.5	190
150	100	150	200
160	105	157.5	210
170	110	165	220
180	115	172.5	230
190	120	180	240
200	125	187.5	250

Följebilar

Följebilar är av typen lätta lastbilar eller stora personbilar. Enligt uppskattningar från vägtransportledare (Glenn Hallin, G. Hallins Entreprenad) förbrukar en vägtransportledarbil typiskt 0,7-0,8 l/mil (diesel). Dessa uppgifter har jämförts med andra källor. Vägemissionsmodellen COPERT visar på en genomsnittlig bränsleförbrukning på 0,75 l/mil för en medelhastighet mellan 40 km/h – 70 km/h. Vägverkets handbok för luftföroreningar⁵ anger en medelförbrukning på 1,1 l/mil för lätta diesellastbilar i Sverige. Som en ytterligare jämförelse drar en lätt lastbil av modellen Mercedes-Benz 115 CDI 8,6 l/mil vid blandad körning och 11,4l/mil i stadstrafik enligt tillverkaren⁶. Transporterna till Havsnäs kommer delvis att pågå under vintermånaderna. Storleksordningen på ökningen av bränsleförbrukning vid vinterväglag kontra sommarväglag bedöms av IVL att vara i samma storleksordning som för de tunga lastbilarna, det vill säga omkring 10 %.

Fartyg

I Tabell 4 visas uppgifter om bränsleförbrukning för de fartyg som ingår i logistikupplägg I-III. Bränsleförbrukningen för Stenas Lines färjor, i enheten ton per resa, kommer från Kristin Jonson (Miljöcontroller, Stena Line Scandinavia AB). Bränslet uppgavs vara både HFO (Heavy Fuel Oil) och MDO (Marine Diesel Oil), utan någon angivelse om proportionerna av varje. Bränsleförbrukningen för de fraktfartyg som kör mellan Esbjerg/Odense och Köpmanholmen har uppskattats utifrån uppgifter från Blue Water shipping (Brian Sørensen) som angivit bränsleförbrukningar för fartygen M/V Vindö och M/V CEC Enterprise till ca.5 ton/dag respektive ca. 6 ton/dag, samt uppgifter från Sjöfartsverket (Emil Fastén) som grovt uppskattat att en båt av M/V Vindös storlek drar cirka 7,5 ton/dag IVL bedömer det rimligt att i denna rapport använda ett medelvärde av dessa uppgifter för att uppskatta bränsleförbrukningen för fraktfartyg.

⁵ http://www22.vv.se/filer/18413/bilagor_emissionsfaktorer.pdf

⁶ <http://www.mercedes-benz.se/splashpages/vans.html>

Alla bränsleförbrukningar har i Tabell 4 räknats om till l/km. Densiteterna som använts vid omräkningarna finns i Tabell 5. För Stena Lines fartyg har ett medelvärde av densiteterna för MD och HFO använts. För fraktfartyget användes densiteten för MD (M/V Vindö och M/V CEC Enterprise går på MD enligt Brian Sørensen, Blue water shipping). Det krävs också att en hastighet ansätts för att räkna om en förbrukning i ton per dag till liter per kilometer, här ansattes 12 knop⁷. Tabell 5 visar även hur mycket koldioxid som bildas vid förbränning av en liter bränsle.

Tabell 4 Bränsleförbrukning för fartyg.

Rutt	Fartyg	Sträcka (km)	Bränsleförbrukning		
			(ton/resa)	(ton/dag)	(l/km)
Fredrikshamn-Göteborg	Stena Jutlandica	96*	8.7*		100
Grenå-Varberg	Stena Nautica	120*	6*		55
Esbjerg-Köpmansholmen	Fraktfartyg	1902**		6,2	15

*Kristin Jonson, Stena Line Scandinavia AB

** <http://e-ships.net/dist.htm>, Gäller sträckan Esbjerg-Örnsköldsvik

Tabell 5 Specifikationer för bränslen som används i denna rapport.

Specifikationer marina bränslen	Marine Diesel (MD)	Heavy Fuel Oil (HFO)	Medel (MD+HFO)	MK1 Diesel
Densitet (ton/m ³)	0,861*	0,965*	0,9025	0,830**
CO ₂ (g/l)	2737*	2737*	2737	2621**

*(Cooper, 2004)

** ARTEMIS Road Model v. 04.d (www.trl.co.uk/artemis)

5.1.4 Möjligheter till returtransporter

Fartyg

Blue Water Shipping kontaktades (Brian Sørensen) för att höra om möjligheten att transportera gods även på returresan mellan Köpmansholmen och Esbjerg. Man uppskattar att i ca 90 % av fallen hämtar båtarna upp gods under returresorna. Generellt sett går ett fartyg inte utan gods om resan tar mer än två dagar. I det specifika fallet med transporter av vindkraftverk till Köpmansholmen försöker rederiet att ta upp last i Köpmansholmen om möjligt eller i en närliggande hamn (t.ex. Umeå eller Sundsvall) för vidare transport till exempelvis Baltikum. I Sverige brukar det oftast gå att hämta upp returlast tack vare skogsindustrin. Uppgifterna från Blue Water Shipping har bedömts vara rimliga av Sjöfartsverket (Emil Fastén).

Vägtransport

Utformningen av de lastbilar som kör torndelarna gör det svårt att lasta på annat gods. Lastbilarna som används till de övriga delarna bör kunna användas för att transportera annat gods. I ett projekt där många vindkraftverk ska transporteras är det ofta tidsaspekten som avgör om returgods hämtas upp.

⁷ <http://www.bodewesshipyards.nl/index1.html?pact=&sact=Detail&newsItem=24&offset=0>

Vestas angav innan transportererna startade att ca. hälften av fordonen tar upp returgods i Karlstad eller Guldsmedshyttan på vägen från Havsnäs till Danmark.. Det har inte kunnat bekräftas om så blivit fallet när transportererna startats.

5.2 Beräkningsmetodik

Beräkningarna av CO₂-utsläppen har utförts i två steg:

1. Beräkning av de totala utsläppen från ett transportfordon mellan Danmark och Havsnäs, tur och retur.
2. Allokering av fordonets totala utsläpp till den/de moduler som transporteras.

Steg 1 kräver att det finns bra uppgifter om bränsleförbrukning och transportsträcka. Transportsträckan är oftast enkel att få en bra uppskattning om både för väg- och sjötransporter. Bränsleförbrukningarna kan vara lite svårare att uppskatta och därför skall helst värden från det aktuella fordonet under liknande transportförhållanden användas. Finns inte sådana uppgifterna att tillgå får defaultvärden ansättas. Steg 2 är oftast lite svårare eftersom där krävs uppgifter om hur stor del av det totala lastutrymmet som det aktuella godset upptar, samt hur mycket annat gods som körs samtidigt och hur stor del av fordonets totala lastkapacitet som utnyttjas. För passagerarfärjor måste dessutom andelen av utsläppen som skall allokeras till passagerare respektive lasten bestämmas.

5.2.1 Beräkning av CO₂-utsläpp från lastbilar och följevilar

Beräkningar av CO₂-utsläpp från vägfordonen baseras på bränsleförbrukningar och mängden bildad CO₂ per volym förbränt bränsle i avsnitt 4.1.3, samt sträckorna utmärkta på kartorna i Bilaga 2. För lastbilar har ett medelvärde av bränsleförbrukningarna i Tabell 3 för platt och kuperad terräng använts. För lätta lastbilar har valts att ansätta en bränsleförbrukning (diesel) på 1,1 l/mil för alla följevilar. Utifrån de uppgifter som samlats in bedömer IVL att denna siffra förmodligen är lite överskattad men valde ändå att tillämpa försiktighetsprincipen genom att välja en lite högre bränsleförbrukning än vad som angivits av till exempel av vägtrafikledare.

5.2.2 Beräkningar av CO₂-utsläpp från fartyg

Beräkningar av CO₂-utsläpp från fartygen baseras på bränsleförbrukningar enligt Tabell 4 och mängden bildad CO₂ per volym förbränt bränsle i Tabell 5, samt sträckorna utmärkta på kartorna i Bilaga 2.

5.2.3 Allokering av CO₂-utsläpp till gods som fraktas med lastbil (och färja)

Eftersom varje lastbil endast transporterar en modul åt gången innebär detta att alla utsläpp skall allokeras till den modulen.

Mellan Fredrikshamn och Göteborg transporteras lastbilarna med vindkraftverken med Stena Jutlandica och mellan Grenå och Varberg med Stena Nautica. Båda fartygen är RoPax färjor. För att kunna avgöra hur stor del av fartygens utsläpp som skall belasta vindkraftverken krävs bland

annat att det bestäms hur stor del som skall belasta passagerarna respektive lasten. Det finns idag ingen standard för hur en sådan allokering skall göras. I denna rapport görs allokeringen av utsläppen till vindkraftverken utifrån NTM:s metod som kan sägas utföras i tre steg:

1. Beräkna hur stor del av utsläppen som skall allokeras till last respektive passagerare.

Metoden baseras på att alla utsläpp från fartyget skall allokeras till lasten och passagerarna. Hur stor del som avsätts för varje kategori avgörs genom att räkna antalet däck som är avsatta för passagerare (däck för personbilar, däck med affärer, restauranger, uppehållsrum mm.) och lasten (antalet bildäck med tillräcklig takhöjd för att rymma lastbilar). Ett däck som rymmer lastbilar räknas som två däck för att ta hänsyn till att volymen blir större än för ett däck för personbilar. Tabell 6 visar antalet däck som använts i beräkningarna för Stena Jutlandica och Stena Nautica. Stena Jutlandica har totalt tre däck för rullande last samt ett hängdäck för personbilar som kan fällas ner vid behov. Detta minskar höjden på däckets nedanför, vilket gör att färre lastbilar får plats. Här har valts att inte räkna med hängdäcket eftersom de turer där vindkraftverken transporteras kan förväntas köra med hängdäcket uppfällt.

Beräkningarna visar att 71 % av Jutlandicas utsläpp skall allokeras till lasten. Motsvarande siffra för Nautica blir 62 %. Det valdes här att använda samma andel till allokeringen för båda fartygen, ett medelvärde på 67 %.

Tabell 6. Antal däck avsedda för passagerare och last samt andel CO₂ att allokera till lasten på Stena Jutlandica och Stena Nautica.

Fartyg	Antal passagerardäck	Antal däck för personbilar+lastbilar	Antal däck för personbilar	CO2 allokering till last (%)
Stena Jutlandica	2,5	3		71
Stena Nautica	1,5	2	1	62

2. Uppskatta fartygets fyllnadsgrad med avseende på vägfordon (personbilar + lastbilar).

För att få en uppskattning om en medelfyllnadsgrad på däcken för rullande last kontaktades Stena Line (Magnus Weghammar). För Jutlandica anger man en fyllnadsgrad på i genomsnitt 52 % under månaderna april och maj 2009 och för Nautica att fyllnadsgraden i genomsnitt sett över en hel vecka är 67 %, se Tabell 6. Fyllnadsgraderna avser de avgångar som anses vara aktuella för transportererna av vindkraftverken. Dessa fyllnadsgrader bedöms av IVL vara rimliga att använda i CO₂-beräkningarna för vindkraftparken i Havsnäs.

3. Beräkna hur stor del av lastutrymmet varje fordon upptar.

Den totala lastkapaciteten uttryckt i längdmeter erhöles av Stena Line (Kristin Jonson) och avser både lastbilar och personbilar, se Tabell 7. Då längden på varje lastbil är känd går det att beräkna hur stor andel av den totala laststräckan varje bil tar upp. Eftersom bredden för de lastade fordonen överstiger bredden för ett körfält, upptar de ett utrymme motsvarande två gånger sin längd. Tomma fordon tar bara upp ett körfält.

Tabell 7 Stena Jutlandicas och Stena Nauticas lastkapacitet i längdmeter samt medelfyllnadsgrad för däcken avsedda för rullande last.

	Lastkapacitet (längdmeter)	Fyllnadsgrad, medelvärde (%)
Stena Jutlandica	2100	52
Stena Nautica	1640	67

Räkneexempel:

Hur stor del av Stena Jutlandicas utsläpp skall allokeras till en transport av tornsektion 2 (se Tabell 2)?

Andel CO₂ som allokeras till lasten: 67 % (Tabell 6)

Fyllnadsgrad på bildäck: 52% (Tabell 7)

Lastbilens längd: 50m (Tabell 2)

Lastbilens bredd: 4,2m (Tabell 2, bredden överstiger ett körfält)

Med uppgifterna ovan kan andelen av CO₂-utsläppen som skall allokeras till lastbilen beräknas med ekvationen nedan

$$CO_2\text{andel} = 100 * \frac{0,67 * 50 * 2}{(2100 * 0,52)} = 6,1\%$$

5.2.4 Allokering av CO₂-utsläpp till gods som fraktas med fraktfartyg

Från Esbjerg/Odense till Köpmanholmen fraktas godset med fartyg endast avsedda för godstransport. Allokeringen av CO₂-utsläppen till godset kan för sådana fartyg utföras i två steg

1. Uppskatta hur stor del av lastutrymmet som varje vindkraftsmodul upptar.
2. Uppskatta fartygets totala fyllnadsgrad.

Blue Water Shipping har angett M/V Vindö och M/V CEC Enterprise som möjliga båtar för detta uppdrag och anger också att det går ca. 2.5 kraftverk per båt. För att förenkla beräkningarna har IVL antagit att varje modul tar lika stort utrymme.

5.2.5 Returlast

Då transportfordonen går tomma tillbaks från Havsnäs/Köpmanholmen allokeras alla utsläpp under tillbakaresan till vindkraftverken. Hämtas däremot returlast upp allokeras en del av utsläppen till det upphämtade godset istället. Om ett fraktfartyg kör tillbaka till Danmark från Köpmanholmen med ett halvfullt lastutrymme allokeras hälften av fartygets utsläpp under den resan till vindkraftverken och hälften till returgodset.

I denna rapport har CO₂-utsläpp beräknats för fallen då returlast hämtas upp och i fallet då transportfordonen kör tomma tillbaka. För Logistikupplägg II och III har scenariot med returlast beräknats utifrån att fraktfartygen som kör tillbaka från Köpmanholmen kör 90 % av sträckan med returlast och att fartyget då utnyttjar lastkapaciteten till 85 %. För logistikupplägg I har inga returlaster antagits. Detta utifrån att Vestas inte kunnat bekräfta att så sker.

6. Resultat

CO₂-utsläpp vid transport av vindkraftverk från Danmark till Havsnäs har beräknats för tre olika logistikupplägg. För varje logistikupplägg har utsläppen som kan relateras till transporten av vindkraftverken beräknats både i fallet då transportfordonen går tomma tillbaka samt för fallet då de tar upp returlast. Hur stor andel av transporterna som hämtar upp returlast har antagits efter diskussioner med Vestas, Blue Water Shipping och Sjöfartsverket. För montering av vindkraftverken krävs även att lyftkranar finns tillgängliga på monteringsplatsen. Utsläppen som kan relateras till lyftkranarna som transporterats med dispenstransporter från Danmark har valts att redovisas separat i tabellen. Resultaten av beräkningarna visas i Tabell 8. För utförligare tabeller se Bilaga 3.

Tabell 8 visar att det genereras minst CO₂ per vindkraftverk då logistikupplägg III tillämpas och mest när logistikupplägg II tillämpas om returgods ej tas upp. Alternativet med lastbilstransporter hamnar mitt emellan de båda båtalternativen. Eftersom det inte kunnat verifieras att returlast tas upp under transporten enligt Logistikupplägg I som startade sommaren 2008 får det ses som mindre troligt med returlast vid lastbilstransporter. Utifrån uppgifter IVL inhämtat från Blue Water Shipping och Sjöfartsverket verkar det dock troligt att returlast tas upp på fartygen mellan Köpmanholmen och Danmark enligt Logistikupplägg II och III. Utifrån detta resonemang genererar båttransporter till Köpmanholmen, både med Esbjerg och med Odense som utskeppningshamnar, mindre CO₂-utsläpp per vindkraftverk jämfört med lastbilstransporter från Danmark till Strömsund.

I de två uppläggen med båttransport mellan Danmark och Köpmanholmen minskas utsläppen med 18 ton CO₂ per vindkraftverk om Odense används som utskeppningshamn i Danmark i stället för Esbjerg.

Tabell 8 Resultande CO₂-beräkningar enligt logistikupplägg I-III.

		Ej returlast	Med returlast
Logistik I Bil inkl. färjetransporter Fredrikshamn-Göteborg resp. Grenå-Varberg	Ton CO ₂ exkl. transport av lyftkranar	3485	*
	Ton CO ₂ /kraftverk exkl. transport av lyftkranar	73	*
	Ton CO ₂ för transport av lyftkranar	376	*
	Ton CO ₂ inkl. transport av lyftkranar	3861	*
	Ton CO ₂ /kraftverk inkl. transport av lyftkranar	80	*
Logistik II Bil och båt Esbjerg-Köpmanholmen	Ton CO ₂ exkl. transport av lyftkranar	3829	2747
	Ton CO ₂ /kraftverk exkl. transport av lyftkranar	80	57
	Ton CO ₂ för transport av lyftkranar	591	410
	Ton CO ₂ inkl. transport av lyftkranar	4420	3157
	Ton CO ₂ /kraftverk inkl. transport av lyftkranar	92	66
Logistik III Bil och båt Odense-Köpmanholmen	Ton CO ₂ exkl. transport av lyftkranar	3100	2269
	Ton CO ₂ /kraftverk exkl. transport av lyftkranar	65	47
	Ton CO ₂ för transport av lyftkranar	449	311
	Ton CO ₂ inkl. transport av lyftkranar	3550	2580
	Ton CO ₂ /kraftverk inkl. transport av lyftkranar	74	54

* Returlast ej sannolik

Ett 2 MW vindkraftverk producerar cirka 4 600⁸ MWh el per år och har en livslängd på ca 20 år (Producerad el varierar mellan olika kraftverk och placering.). Under sin livstid genererar alltså ett sådant vindkraftverk 92 000 TWh el. Tabell 8 visar att transporter enligt logistikupplägg I genererar 80 ton CO₂ per kraftverk. Detta innebär att transporten står för 0.8 g/CO₂ per kWh genererad el under kraftverkets livslängd och kan jämföras med de 12 g/CO₂ per kWh totalt som Vattenfall uppger i sin rapport (Vattenfall 2007). Transporten står i detta fall för ca 7 % av de totala CO₂-utsläppen.

Det kan också vara intressant att jämföra CO₂-utsläpp per kilometer vid transport av ett helt vindkraftverk med fartyg och lastbil, se Tabell 9. Sjötransporten visar sig då ge ifrån sig ca. 40 % av utsläppen jämfört med vägtransporten.

Tabell 9 CO₂-utsläpp per kilometer per transporterat vindkraftverk på väg och till sjöss.

Biltransport			Liter drivmedel per fordonskm		Liter drivmedel per km transport för ett vindkraftverk		g CO2 per liter drivmedel	Kg CO2 per km transport för ett vindkraftverk	
	Konstruktionsmodul	Antal per verk	Lastat fordon	Tomt fordon	Lastade fordon	Tomma fordon		Lastade fordon	Tomma fordon
	Infästningsplatta	1	0.56	0.46	0.56	0.46	2 621	1.5	1.2
	Rotorblad	3	0.56	0.50	1.69	1.51	2 621	4.4	4.0
	Maskinhus	1	1.09	0.63	1.09	0.63	2 621	2.9	1.6
	Rotor	1	0.61	0.48	0.61	0.48	2 621	1.6	1.2
	Nedre tornsektion (1)	1	1.08	0.61	1.08	0.61	2 621	2.8	1.6
	Mellan tornsektion (2)	1	0.96	0.61	0.96	0.61	2 621	2.5	1.6
	Mellan tornsektion (3)	1	0.75	0.53	0.75	0.53	2 621	2.0	1.4
	Övre tornsektion (4)	1	0.66	0.49	0.66	0.49	2 621	1.7	1.3
	Följebilar	22.5	0.11	0.11	2.48	2.48	2 621	6.5	6.5
Båt	SUMMA per vindkraftverk				9.9	7.8		26	20
					8.8			23.2	
			Liter drivmedel per fordonskm		Lastade fordon	77 % returlast bedömt!	g CO2 per liter drivmedel	Lastade fordon	77 % returlast bedömt!
Antaget 2,5 verk per båtlast! 22 % av lastkapaciteten!		14.2		5.7	1.3	2 737	15.5	3.6	
				3.5			9.5		
Relation båttransport / biltransport inkl. sannolik returlast						39%		41%	

⁸ Carl-Ivar Stahl, Energimyndigheten

6.1 Känslighetsanalys

Tillgång till tillförlitlig ingångsdata vid CO₂-beräkningar har en kritisk inverkan på resultatet. I denna rapport görs ingen djupare analys av hur osäkerheter i ingångsdata påverkar slutresultatet, men för att ge en uppfattning om hur stora skillnaderna kan bli visas några exempel i Tabell 10. Tabellen åskådliggör hur stor skillnaden i CO₂-utsläpp blir för logistikupplägg I om bränsleförbrukningen för foljebilarna ansätts som 0.7 l/km eller 1.2 l/km. För logistikupplägg II varierar istället bränsleförbrukningen för fraktbåten från 5,5 ton/dag till 7,5 ton/dag. Tabellen belyser vikten av att använda så realistiska uppgifter som möjligt.

Tabell 10 CO₂-utsläpp per vindkraftverk vid olika bränsleförbrukningar.

Logistik	Bränsleförbrukning Fraktbåt (ton/dag)	Bränsleförbrukning Vägtransportledare (l/km)	CO ₂ (ton/krafterk)	Skillnad (ton)
Upplägg I		0,7	74	8
Upplägg I		1,2	82	
Upplägg II	5,5		80	21
Upplägg II	7,5		101	

7. Slutsatser

Miljöpåverkan av godstransporter är omfattande. Förutom utsläpp till luft av ämnen med såväl global som regional och lokal (hälso-)påverkan, så uppstår annan påverkan genom buller, vibrationer, markintrång m.m. I detta uppdrag har en avgränsning av miljöpåverkan skett till klimatpåverkan genom att beskriva utsläpp av CO₂ från transportfordon vid transporter av vindkraftverk. Det skall då komma ihåg att vindkraftutbyggnaden medför att även CO₂-fällor (skog och vegetation) ersätts av hårdgjorda ytor samt att vindkraftparkerna även genererar CO₂-utsläpp från bland annat:

1. transporter för nya vägar som ansluts till befintligt vägnät och hårdgjorda ytor för bygg- och lyftmaskiner, uppställning och service och förstärkning av befintliga vägar.
2. 50 till 100 transporter per verk med fabriksbetong i roterbilar och vissa andra maskin- och materieltransporter för grundläggnings- och fundamentarbeten.
3. lyft- och montagearbeten
4. persontransporter
5. tillverkning av vindkraftskomponenter och förädling av annan insatsmateriel och de transporter som kan härledas tillbaka i förädlingskedjan.

Utsläppen från transportfordon vid transport av vindkraftverk står enligt beräkningarna i denna rapport och uppgifter från Vattenfall för ca 7 % av CO₂-utsläppen per genererad kWh el sett över ett vindkraftverks livstid.

En viktig aspekt vid jämförelser av olika godstransportalternativ är allokeringen av miljöbelastningen, uttryckt som t ex utsläpp till luft, till det transporterade godset. En ytterligare faktor som är av stor vikt för en godstransports miljöpåverkan är därmed också möjligheten att kunna utnyttja returtransporter samt positioneringen av godset i relation till aktuell godsbärare. Eftersom dessa kan variera mycket från fall till fall, bör man alltid göra beräkningar och jämförelser av utsläpp från godstransporter som är så specifika för det aktuella fallet som möjligt. Det är alltid en fördel när man beräknar utsläpp till luft från transporter att kunna utgå från den faktiska bränsleförbrukningen i de aktuella fallen. Defaultdata bör bara användas när sådan information saknas. När det gäller miljöpåverkan genom utsläpp till luft samt även defaultvärden på bränsle/energiförbrukning tillhandahåller NTM – Nätverket för Transporter och Miljön (www.ntmcalc.se) – vedertagen metodik och aktuella data.

I fallet som behandlas i denna rapport – transport av vindkraftverk från Danmark till Jämtland i huvudsak med lastbil respektive i huvudsak med fartyg – så uppvisar logistikupplägget med båttransport från Odense till Köpmanholmen (inklusive kortare lastbilstransporter i Danmark och från Köpmanholmen till Havsnäs) den lägsta miljöpåverkan (uttryckt som CO₂-utsläpp per transporterat vindkraftverk), både i fallet med och utan returtransporter. Om returtransporter ej antas för något av uppläggen ger alternativet med lastbilstransport mindre miljöpåverkan än alternativet med båttransport mellan Esbjerg och Köpmanholmen. Men returtransporter med lastbil bedöms inte som sannolika, returtransporter med fartyg mellan Köpmanholmen och Danmark bedöms vara mer troliga. Utifrån detta resonemang genererar båttransporter till

Köpmanholmen, både med Esbjerg och Odense som utskeppningshamnar, mindre CO₂-utsläpp per vindkraftverk jämfört med lastbilstransporter från Danmark till Strömsund.

Tittar man på utsläppen som genereras vid transport av ett vindkraftverk per kilometer ger båtalternativet lägre miljöpåverkan jämfört med lastbilsalternativet (uttryckt som CO₂-utsläpp per transporterat vindkraftverk).

8. Referenser

Vattenfall, 2007, EPD S-P-00-115, 2007-02-01,
<http://www.environdec.com/reg/115/Chapters/dokument/EPD%20Vind.pdf>

Cooper, 2004, Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors, SMED, 2004-02-02

Weisser, Daniel, 2007, A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies, Energy, Volume 32, Issue 9

Beräkningar för vägtransporter

Efter att tidigare ha baserat utsläpps- och bränsleförbrukningsberäkningar för vägtransporter av gods på den tysk/österrikisk/schweiziska emissionsmodellen Handbook of Emission Factors HBEFA v 2.1, håller NTM på att gå över till den nyare EU-gemensamma beräkningsmodellen ARTEMIS Road Model (v 0.4d). Dock finns stora likheter mellan HBEFA och ARTEMIS. Den största skillnaden är det större antal trafiksituationer som kan beskrivas med ARTEMIS-modellen. Bägge modellerna förvaltas av en multilateral samarbetsgrupp med representanter från både myndigheter och emissionsforskare/expert i ett flertal europeiska länder. I samband med den uppdatering till nya versioner av bägge modellerna som kommer att ske under 2009, väntas modellerna i praktiken bli identiska till både innehåll och utformning.

NTM:s metodik tillhandahåller data för 10 olika fordonstyper, från lätt lastbil till långtradare med släp med en totalvikt på upp till 60 ton. Dessa data bygger på agglomereringar från ARTEMIS-modellen.

Den tillämpade beräkningsgången är:

- Välj aktuell fordonstyp
- Ansätt bränsletyp och aktuell bränsleförbrukning
- Beräkna bränsleförbrukning och utsläpp för den aktuella driften av fordonet
- Kompensera för effekt av avgasreningsutrustning
- Ansätt aktuell transportssträcka
- Allokera utsläpp och bränsleförbrukning till det transporterade godset

Beräkningar för sjötransporter

NTM:s beräkningar av utsläpp och bränsleförbrukning grundas på en internationell (EU) studie av emissionsfaktorer och utsläpp för alla typer av fartyg som trafikerar farvatten inom EU och anlöper europeiska hamnar. Det är samma metodik, data och antaganden som rekommenderas internationellt för utsläppsrapporteringen till bland annat FN:s klimatkonvention och som tagits upp i sjöfartsdelen av ARTEMIS-projektet. Metodiken tillhandahåller data för ett flertal fartygstyper av olika typ och storlek, olika motorstorlekar, olika bränsletyper samt olika avgasreningsutrustning.

För allokering av utsläpp och bränsleförbrukning till aktuell godsmängd har NTM tagit fram internationella data på fyllnadsgrad för de olika fartygstyperna. Även problemet med positionering av containrar för containertransporter beaktas, liksom allokering mellan gods och passagerare i fallet med färjor, där ett flertal olika allokeringsmodeller/principer tillhandahålls.

Beräkningar för järnvägstransporter

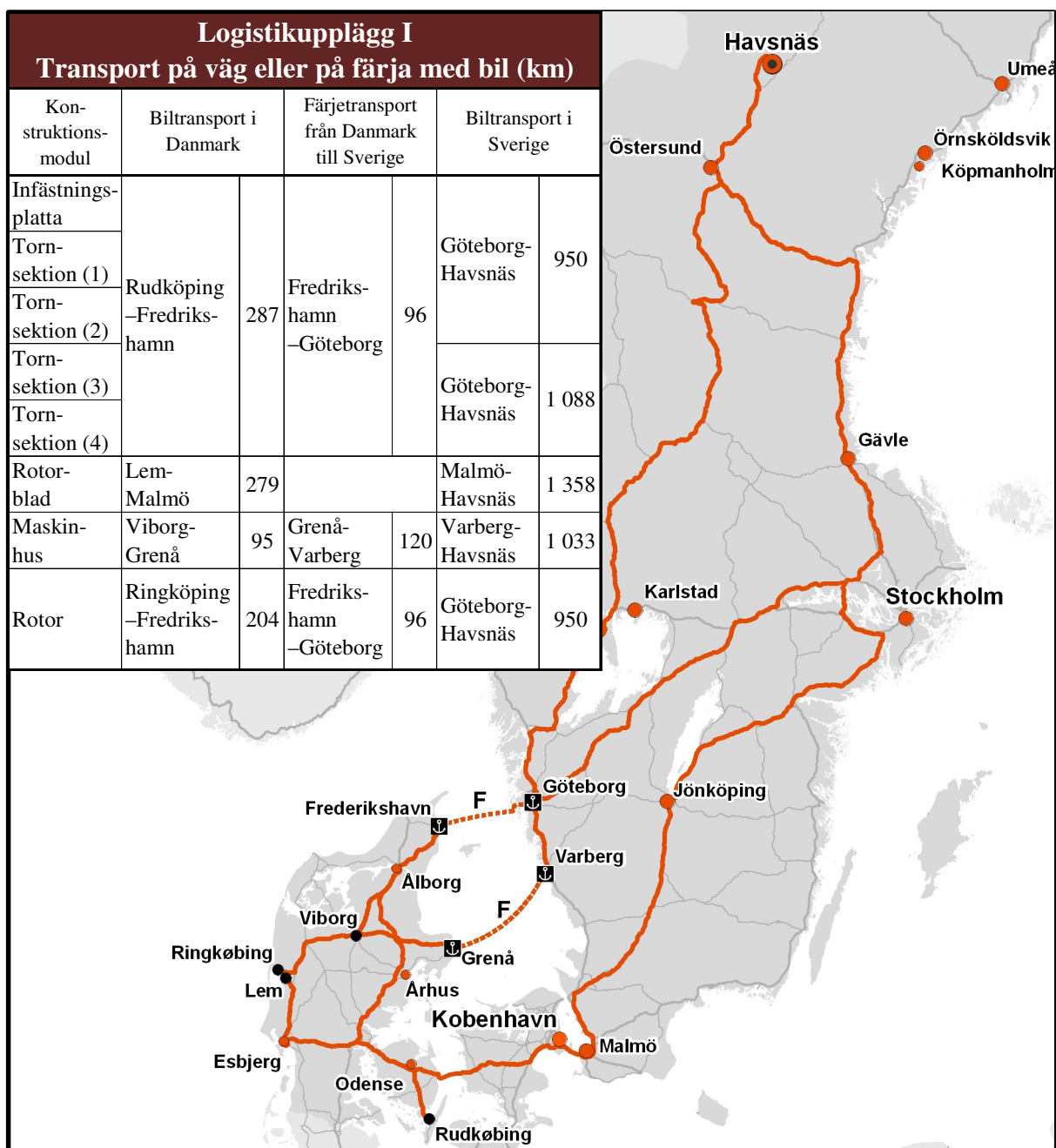
NTM:s metodik för beräkning av emissioner och bränsle/elförbrukning bygger i stora delar på den som tagits fram av Ecotransit (se ovan) inom ramen för ett stort samarbetsprojekt mellan de större europeiska tågbolagen som avslutades 2003. Denna metodik anses vara den bästa tillgängliga i Europa idag. Metodiken tillhandahåller tre olika typer av tåg (kort, medellångt och långt) och fyra olika typer av fraktat gods (bulkgoods, volymgoods, "average goods", samt "shuttle").

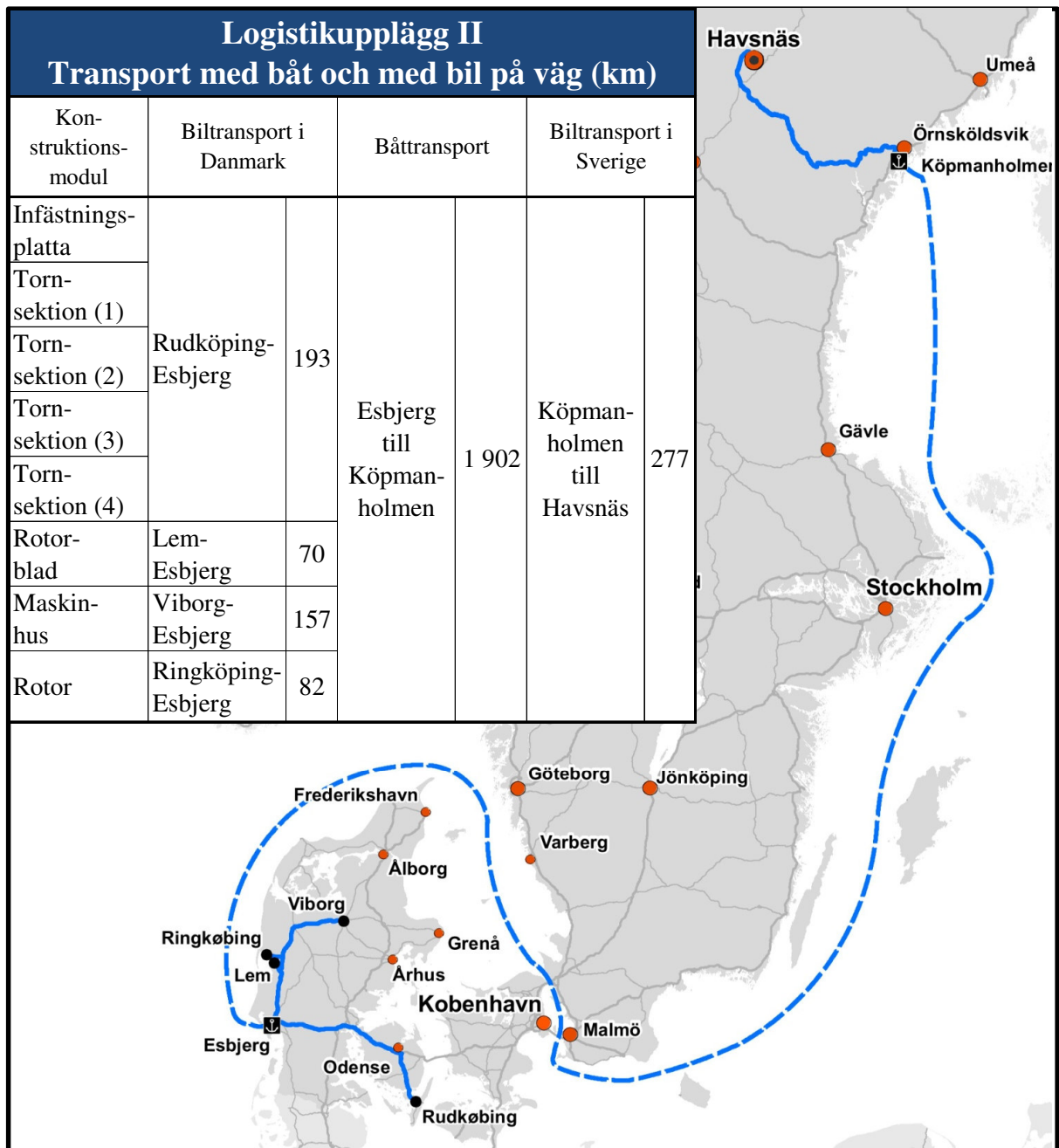
Den tillämpade beräkningsgången är:

- Välj aktuell motortyp för loket

- Ansätt tågets bruttovikt
- Beräkna el- eller bränsleförbrukningen
- Beräkna primär elproduktion och emissioner - för eldrift
- Beräkna primär bränsleförbrukning och emissioner - för dieseldrift
- För dieseldrift, kompensera utsläpp för eventuell avgasreningsutrustning
- Ansätt aktuell transportsträcka
- Allokera utsläpp och bränsleförbrukning till det transporterade godset

Bilaga 2 – kartor





Logistikupplägg III					
Transport med bil på väg och med båt (km)					
Konstruktionsmodul	Biltransport i Danmark		Båttransport (77 % jmf. Esbjerg)		Biltransport i Sverige
Infästningsplatta	Rudköping-Odense	62	Odense – Köpmanholmen	1461	Köpmanholmen – Havsnäs
Tomsektion (1)					
Tomsektion (2)					
Tomsektion (3)					
Tomsektion (4)					
Rotorblad	Lem-Odense	161			277
Maskinhus	Viborg-Odense	167			
Rotor	Ringköping-Odense	195			

Bilaga 3 – Resultattabeller

Tabell 11. Drivmedelsförbrukning och CO₂-utsläpp vid transporter av vindkraftverk enligt Logistikupplägg I.

	Transport- modul/ Fordon	Antal moduler Följebilar per kolonn!	Sträcka	Km en väg	Total drivmedels- förbrukning (liter)		Total CO2 ton	
					Utan returlast	Med ev. returlast	Utan returlast	Med returlast
Transporter i Danmark	Infästningsplatta	48	Rudköping- Fredrikshamn	287	14 786	14 786	39	39
	Rotorblad	144	Lem-Malmö Fredrikshamn-Lem	279	42 595	42 595	112	112
	Maskinhus	48	Viborg-Grenå Fredrikshamn- Viborg	95	8 738	8 738	23	23
	Rotor	48	Ringköping- Fredrikshamn	204	11 333	11 333	30	30
	Nedre tornsektion (1)	48	Rudköping- Fredrikshamn	287	24 244	24 244	64	64
	Mellan tornsektion (2)	48	Rudköping- Fredrikshamn	287	22 513	22 513	59	59
	Mellan tornsektion (3)	48	Rudköping- Fredrikshamn	287	18 396	18 396	48	48
	Övre tornsektion (4)	48	Rudköping- Fredrikshamn	287	16 592	16 592	43	43
	Följebilar Danmark	4.5	Alla ovan		63 475	63 475	166	166
	SUMMA				222 671	206 425	584	222 671
Sjötransporter	Infästningsplatta	48	Fredrikhamn- Göteborg	96	12 629	12 629	37	37
	Rotorblad	144	Ingen till Göteborg- Fredrikshamn	96	37 044	37 044	108	108
	Maskinhus	48	Grenå-Varberg Göteborg- Fredrikshamn	120	26 910	26 910	78	78
	Rotor	48	Fredrikhamn- Göteborg	96	14 312	14 312	42	42
	Nedre tornsektion (1)	48	Fredrikhamn- Göteborg	96	32 750	32 750	95	95
	Mellan tornsektion (2)	48	Fredrikhamn- Göteborg	96	33 898	33 898	98	98
	Mellan tornsektion (3)	48	Fredrikhamn- Göteborg	96	23 573	23 573	68	68
	Övre tornsektion (4)	48	Fredrikhamn- Göteborg	96	21 328	21 328	62	62
	SUMMA				202 445	198 150	588	202 445
Transporter i Sverige	Infästningsplatta	48	Göteborg-Havsnäs	950	47 406	47 406	124	124
	Rotorblad	144	Malmö-Havsnäs Havsnäs-Göteborg	1 358	180 999	180 999	474	474
	Maskinhus	48	Varberg-Havsnäs Havsnäs-Göteborg	1 033	83 633	83 633	219	219
	Rotor	48	Göteborg-Havsnäs	950	50 274	50 274	132	132
	Nedre tornsektion (1)	48	Göteborg-Havsnäs	950	78 205	78 205	205	205
	Mellan tornsektion (2)	48	Göteborg-Havsnäs	950	72 496	72 496	190	190
	Mellan tornsektion (3)	48	Göteborg-Havsnäs	1 088	64 099	64 099	168	168
	Övre tornsektion (4)	48	Göteborg-Havsnäs	1 088	57 677	57 677	151	151
	Följebilar Sverige	4.5	Alla ovan		248 090	248 090	650	650
	SUMMA				882 880	882 880	2 314	2 314
	Summa per vindkraftverk				27250	27250	73	73

Tabell 12 Drivmedelsförbrukning och CO₂-utsläpp vid transporter av kranar enligt Logistikupplägg I.

Vindkraftpark Havsnäs – Transporter av lyftkranar från Danmark – Logistikalterantiv I: bil (och färja) för lyftkranar								
	Transport-modul/ Fordon	Antal moduler Följebilar anget per kolonn exkl för motvikter!	Sträcka	Km en väg	Total drivmedels- förbrukning (liter)		Total CO2 ton	
					Utan returlast	Med returlast	Utan returlast	Med returlast
Transporter i Danmark	Lyftkransmodul I	8	Rudköping- Fredrikshamn	287	3 119	3 119	8	8
	Lyftkransmodul II	4	Rudköping- Fredrikshamn	287	1 416	1 416	4	4
	Motvikter, master	68	Rudköping- Fredrikshamn	287	21 018	21 018	55	55
	Följebilar Danmark	4.5	Rudköping- Fredrikshamn	287	1 794	1 794	5	5
	SUMMA BIL				27 347	24 835	72	27 347
Sjö- transporter	Lyftkransmodul I	8	Fredrikhamn- Göteborg	96	3 508	3 508	10	10
	Lyftkransmodul II	4	Fredrikhamn- Göteborg	96	1 754	1 754	5	5
	Motvikter, master	68	Fredrikhamn- Göteborg	96	20 276	20 276	59	59
	SUMMA FÄRJA omräknat till full last				25 538	25 538	74	25 538
Transporter i Sverige	Lyftkransmodul I	8	Göteborg-Havsnäs	950	10 080	10 080	26	26
	Lyftkransmodul II	4	Göteborg-Havsnäs	950	4 565	4 565	12	12
	Motvikter, master	68	Göteborg-Havsnäs	950	67 511	67 511	177	177
	Följebilar Sverige	4.5	Göteborg-Havsnäs	950	5 732	5 732	15	15
	SUMMA BIL				87 888	87 888	230	230
	Summa per vindkraftverk				2933	2933	8	8

Tabell 13 Drivmedelsförbrukning och CO₂-utsläpp vid transporter av vindkraftverk enligt Logistikupplägg II.

Vindkraftpark Havsnäs – Logistikalternativ II: båt och bil exkl. lyftkranar								
	Transport- modul/ Fordon	Antal moduler Följebilar anget per kolonn!	Sträcka	Km en väg	Total drivmedels- förbrukning (liter)		Total CO2 ton	
					Utan returlast	Med returlast	Utan returlast	Med returlast
Transporter i Danmark	Infästningsplatta	48	Rudköping-Esbjerg	193	10 162	10 162	27	27
	Rotorblad	144	Lem-Esbjerg	70	12 915	12 915	34	34
	Maskinhus	48	Viborg-Esbjerg	157	13 853	13 853	36	36
	Rotor	48	Ringköping-Esbjerg	82	4 964	4 964	13	13
	Nedre tornsektion (1)	48	Rudköping-Esbjerg	193	16 593	16 593	43	43
	Mellan tornsektion (2)	48	Rudköping-Esbjerg	193	15 426	15 426	40	40
	Mellan tornsektion (3)	48	Rudköping-Esbjerg	193	12 621	12 621	33	33
	Övre tornsektion (4)	48	Rudköping-Esbjerg	193	11 389	11 389	30	30
	Följebilar Danmark	4.5	Alla ovan		37 161	37 161	97	97
SUMMA					135 083	135 083	354	354
Sjötransporter	Infästningsplatta	48	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	103 376	63 835	283	175
	Rotorblad	144	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	103 376	191 504	283	524
	Maskinhus	48	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	310 128	63 835	849	175
	Rotor	48	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	103 376	63 835	283	175
	Nedre tornsektion (1)	48	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	103 376	63 835	283	175
	Mellan tornsektion (2)	48	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	103 376	63 835	283	175
	Mellan tornsektion (3)	48	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	103 376	63 835	283	175
	Övre tornsektion (4)	48	Esbjerg-Köpmansholmen	1 902	103 376	63 835	283	175
SUMMA					1 033 759	638 346	2 830	1 747
Transporter i Sverige	Infästningsplatta	48	Köpmansholmen-Havsnäs	277	14 294	14 294	37	37
	Rotorblad	144	Köpmansholmen-Havsnäs	277	44 679	44 679	117	117
	Maskinhus	48	Köpmansholmen-Havsnäs	277	23 753	23 753	62	62
	Rotor	48	Köpmansholmen-Havsnäs	277	15 143	15 143	40	40
	Nedre tornsektion (1)	48	Köpmansholmen-Havsnäs	277	23 430	23 430	61	61
	Mellan tornsektion (2)	48	Köpmansholmen-Havsnäs	277	21 759	21 759	57	57
	Mellan tornsektion (3)	48	Köpmansholmen-Havsnäs	277	17 782	17 782	47	47
	Övre tornsektion (4)	48	Köpmansholmen-Havsnäs	277	16 038	16 038	42	42
	Följebilar Sverige	4.5	Alla ovan		69 379	69 379	182	182
	SUMMA					246 258	246 258	645
Summa per vindkraftverk					29481	21243	80	57

Tabell 14 Drivmedelsförbrukning och CO₂-utsläpp vid transporter av kranar enligt Logistikupplägg II.

Vindkraftpark Havsnäs – Transporter av lyftkranar från Danmark – Logistikalternativ II: bil och båt för lyftkranar								
	Transport-modul/ Fordon	Antal moduler Följebilar anget per kolonn exkl för motvikter!	Sträcka	Km en väg	Total drivmedelsförbrukning (kiloliter?)		Total CO2 ton	
					Utan returlast	Med returlast	Utan returlast	Med returlast
Transporter i Danmark	Lyftkransmodul I	8	Rudköping-Esbjerg	196	2 163	2 163	6	6
	Lyftkransmodul II	4	Rudköping-Esbjerg	196	984	984	3	3
	Motvikter, master	68	Rudköping-Esbjerg	196	14 637	14 637	38	38
	Följebilar Danmark	4.5	Rudköping-Esbjerg	196	1 253	1 253	3	3
	SUMMA BIL				19 037	19 037	50	50
Sjö- transporter	Lyftkransmodul I	8	Esbjerg-Köpmanholmen	1 902	17 229	10 639	47	29
	Lyftkransmodul II	4	Esbjerg-Köpmanholmen	1 902	8 615	5 320	24	15
	Motvikter, master	68	Esbjerg-Köpmanholmen	1 902	146 449	90 432	401	248
	SUMMA BÅT omräknat till full last				172 293	106 391	472	291
Transporter i Sverige	Lyftkransmodul I	8	Köpmanholmen-Havsnäs	277	3 014	3 014	8	8
	Lyftkransmodul II	4	Köpmanholmen-Havsnäs	277	1 368	1 368	4	4
	Motvikter, master	68	Köpmanholmen-Havsnäs	277	20 317	20 317	53	53
	Följebilar Sverige	4.5	Köpmanholmen-Havsnäs	277	1 734	1 734	5	5
	SUMMA BIL				26 433	26 433	69	69
	Summa per vindkraftverk				4537	3164	12	9

Tabell 15 Drivmedelsförbrukning och CO₂-utsläpp vid transporter av vindkraftverk enligt Logistikupplägg III.

Vindkraftpark Havsnäs – Logistikalterativ III: båt och bil exkl. lyftkranar							
	Transport-modul/ Fordon	Antal moduler Följebilar anget per kolonn!	Sträcka	Total drivmedels- förbrukning (liter)		Total CO2 ton	
				Utan returlast	Med returlast	Utan returlast	Med returlast
Transporter i Danmark	Infästningsplatta	48	Rudköping-Odense	3 716	3 716	10	10
	Rotorblad	144	Lem-Odense	26 879	26 879	70	70
	Maskinhus	48	Viborg-Odense	14 678	14 678	38	38
	Rotor	48	Ringköping-Odense	10 863	10 863	28	28
	Nedre tornsektion (1)	48	Rudköping-Odense	5 931	5 931	16	16
	Mellan tornsektion (2)	48	Rudköping-Odense	5 550	5 550	15	15
	Mellan tornsektion (3)	48	Rudköping-Odense	4 572	4 572	12	12
	Övre tornsektion (4)	48	Rudköping-Odense	4 138	4 138	11	11
	Följebilar Danmark	4.5	Alla ovan	31 007	31 007	81	81
SUMMA				107 334	107 334	281	281
Sjötransporter	Infästningsplatta	48	Esbjerg-Köpmanholmen	79 407	49 034	217	134
	Rotorblad	144	Esbjerg-Köpmanholmen	79 407	147 101	217	403
	Maskinhus	48	Esbjerg-Köpmanholmen	238 221	49 034	652	134
	Rotor	48	Esbjerg-Köpmanholmen	79 407	49 034	217	134
	Nedre tornsektion (1)	48	Esbjerg-Köpmanholmen	79 407	49 034	217	134
	Mellan tornsektion (2)	48	Esbjerg-Köpmanholmen	79 407	49 034	217	134
	Mellan tornsektion (3)	48	Esbjerg-Köpmanholmen	79 407	49 034	217	134
	Övre tornsektion (4)	48	Esbjerg-Köpmanholmen	79 407	49 034	217	134
SUMMA				794 069	490 338	2 173	1 342
Transporter i Sverige	Infästningsplatta	48	Köpmanholmen-Havsnäs	14 294	14 294	37	37
	Rotorblad	144	Köpmanholmen-Havsnäs	44 679	44 679	117	117
	Maskinhus	48	Köpmanholmen-Havsnäs	23 753	23 753	62	62
	Rotor	48	Köpmanholmen-Havsnäs	15 143	15 143	40	40
	Nedre tornsektion (1)	48	Köpmanholmen-Havsnäs	23 430	23 430	61	61
	Mellan tornsektion (2)	48	Köpmanholmen-Havsnäs	21 759	21 759	57	57
	Mellan tornsektion (3)	48	Köpmanholmen-Havsnäs	17 782	17 782	47	47
	Övre tornsektion (4)	48	Köpmanholmen-Havsnäs	16 038	16 038	42	42
	Följebilar Sverige	4.5	Alla ovan	69 379	69 379	182	182
SUMMA				246 258	246 258	645	645
Summa per vindkraftverk				23910	17582	65	47

Tabell 16 Drivmedelsförbrukning och CO₂-utsläpp vid transporter av kranar enligt Logistikupplägg II.

Vindkraftpark Havsnäs – Transporter av lyftkranar från Danmark – Logistikalternativ III: bil och båt för lyftkranar								
	Transport-modul/ Fordon	Antal moduler Följebilar anget per kolonn exkl för motvikter!	Sträcka	Km en våg	Total drivmedelsförbrukning (kiloliter?)		Total CO2 ton	
					Utan returlast	Med returlast	Utan returlast	Med returlast
Transporter i Danmark	Lyftkransmodul I	8	Rudköping-Odense	62	756	756	2	2
	Lyftkransmodul II	4	Rudköping-Odense	62	347	347	1	1
	Motvikter, master	68	Rudköping-Odense	62	5 240	5 240	14	14
	Följebilar Danmark	4.5	Rudköping-Odense	62	457	457	1	1
	SUMMA BIL					6 801	6 801	18
Sjö- transporter	Lyftkransmodul I	8	Odense-Köpmansholmen	1 461	13 234	8 172	36	22
	Lyftkransmodul II	4	Odense-Köpmansholmen	1 461	6 617	4 086	18	11
	Motvikter, master	68	Odense-Köpmansholmen	1 461	112 493	69 464	308	190
	SUMMA BÅT omräknat till full last					132 345	81 723	362
Transporter i Sverige	Lyftkransmodul I	8	Köpmansholmen-Havsnäs	277	3 014	3 014	8	8
	Lyftkransmodul II	4	Köpmansholmen-Havsnäs	277	1 368	1 368	4	4
	Motvikter, master	68	Köpmansholmen-Havsnäs	277	20 317	20 317	53	53
	Följebilar Sverige	4.5	Köpmansholmen-Havsnäs	277	1 734	1 734	5	5
	SUMMA BIL					26 433	26 433	69
	Summa per vindkraftverk				3450	2395	9	5