

SUND OG BÆLT

ANALYSE AF FREMSKUDT FÆRGEHAVN VED TÅRS

ELFÆRGER

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00

FAX +45 56 40 99 99

WWW cowi.dk

INDHOLD

1	Indledning	2
2	Elektriske færger (batteridrevne) versus konventionelle diesel drevne færger	3
3	Batteridrevne færger i Danmark	3
4	Batteridrevne færger udenfor Danmark	6
5	Batterier og batteriteknologi	7
5.1	Erfaringer	7
5.2	Udvikling	8
6	Opladning af batterifærger	8
7	Overfartsanalyse for Spodsbjerg-Tårs ruten	10
7.1	Fart og accelerationsforhold	12
7.2	Opladning i en eller begge havne	13
7.3	Ladeeffekt (enkelt tur)	14
7.4	7 minutters ladetid (dobbelt tur)	18
7.5	Længere sejlafrstand	19
7.6	Mindre færger	21

BILAG

Bilag A Accelerationsberegninger for nuværende færger

PROJEKTNR.

A258774

DOKUMENTNR.

A258774-HAV-TEK-01

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

4 april 2025

BESKRIVELSE

Elfærger

UDARBEJDET

HOHKX

KONTROLLERET

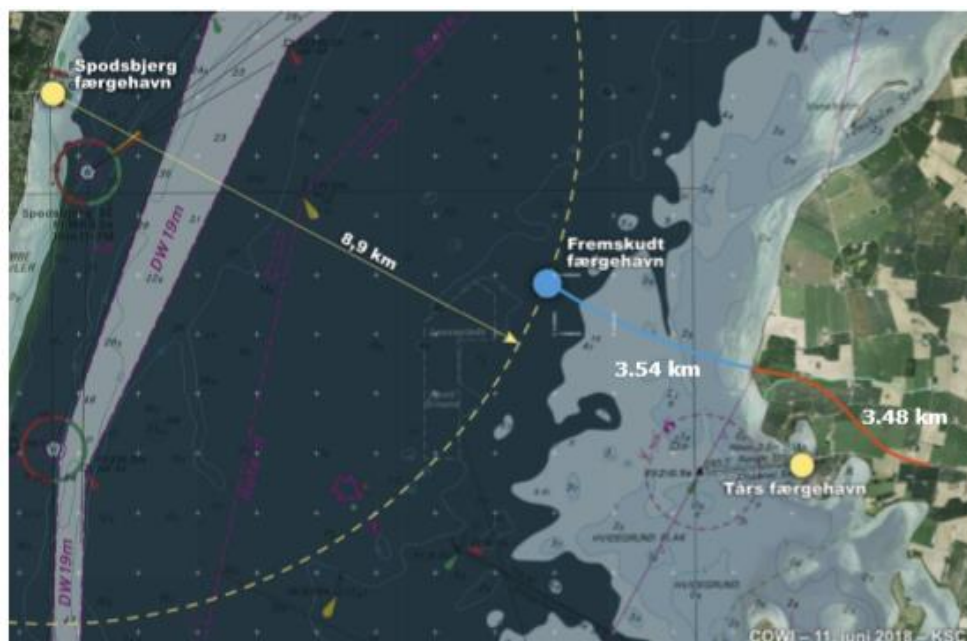
JJU

GODKENDT

JJU

1 Indledning

Den fremskudte færgeshavns formål er at skabe rammerne for at opnå en kortere overfartstid året rundt på overfarten Spodsbjerg-Tårs ved at etablere en fremskudt havn på en kunstig ø ca. 3,5 km ude i Langelandsbælt, se Figur 1. Havnen forbindes til Lolland med lavbro(er) og/eller dæmning(er). Den fremskudte havn vil bidrage til en forbedret infrastruktur på tværs af det sydlige Danmark, og være et alternativ til den faste forbindelse over Storebælt.



Figur 1 Kort med placering af den fremskudte havn.
 Blå cirkel: Indikativ placering af fremskudt færgeshavn.
 Blå linje: Indikativ linjeføring af dæmning/bro.

Forudsætningerne for at kunne opnå halvtimesdrift var i forundersøgelserne foretaget i 2018 følgende:

- > Afstand på 8,9 km mellem rampe til rampe i de to færgeløjer
- > Sejltid på 22 minutter, dvs. en gennemsnitshastighed på 13,1 knob svarende til 24,3 km/t
- > Havnetid på 8 minutter

Dette notat redegør på et overordnet niveau for business casen for en VE-drevet færgeforbindelse herunder overordnet idébeskrivelse, målsætninger og kravspecifikationer (f.eks. til elforsyning).

I et separat notat redegøres der på et overordnet niveau for mulighederne for at etablere vindmøller ved eller på den fremskudte havn, herunder hvordan dette vil påvirke udformningen af den fremskudte havn og den dertil hørende påvirkning af vandgennemstrømningen, og hvordan den producerede strøm kan anvendes til VE-færger. I forbindelse med elforsyning til VE-færger undersøges det, hvor der kan forbindes til det eksisterende 10 kV elnet og hvilken kapacitet dette har.

2 Elektriske færger (batteridrevne) versus konventionelle diesel drevne færger

Der er principielt ingen overordnede forskelle mellem de to færgetyper, da energiforsyningen teknisk set ikke har nogen anden indflydelse på færgen end på fremdrivningsmaskineriet (elmotor versus dieselmotor) samt den måde energien opbevares ombord på færgen, dvs. batterier versus tanke til dieselolie.

En elfærge fremdrives af elmotorer, der er hurtigere at manøvrere med, da reaktionstiderne for at opnå maksimal propeller effekt er kortere, ligesom det kendes for elbiler versus almindelige biler, der fremdrives af benzin eller diesel. Den hurtige reaktionstid betyder, at den maksimale fart hurtigere opnås, hvilket principielt giver en kortere accelerations- og decelerations tid, som dog i praksis er marginal, da det er den overordnede sejladsikkerhed under ind- og udsejling, som er bestemmende for, hvor hurtigt skibet sejler. Den væsentligste fordel er, at i nødsituationer hvor der kræves hurtige fartændringer, kan der reageres hurtigere med en elfærge, hvilket indirekte kan være med til at øge sejladsikkerheden.

Som følge af ensartetheden er der som regel ikke forskelle i skibenes hastighed, da den bestemmes af kravene til overfartstid samt diverse ønsker til fartreserver, som kan benyttes til indhentning af sejladsforsinkelser, hvor en elfærge vil have en marginal fordel på grund af bedre accelerationsegenskaber.

Elfærger udleder i modsætning til færger med dieselmotor ikke CO₂ i driftsfasen, hvis elforsyningen udelukkende er baseret på vedvarende energikilder, mens produktionen af batterier til elfærger har en relativ stor CO₂ udledning.

3 Batteridrevne færger i Danmark

I farvandene i og omkring Danmark sejler nu 4 bilfærger som er 100 % batteridrevne færger, dvs. al nødvendig energi ombord til skibets drift lagres i batterier, så færgerne kan sejle uden brug af dieselmotorer. De nuværende fuldt elektriske færger i Danmark er følgende:

- > TYCHO BRAHE på Helsingør – Helsingborg ruten
- > AURORA på Helsingør – Helsingborg ruten (søsterskib til TYCHO BRAHE og oprindeligt fremdrevet med diesel-elektrisk maskineri. Begge færger overgik i 2018 til fuld elektrisk drift
- > ELLEN på Søby – Fynshav ruten, sat i drift i 2019, som 100 % batteri drevet færge helt fra starten
- > GROTTTE på Esbjerg – Fanø ruten, sat i drift i 2021 som 100 % batteri drevet færge helt fra starten

Data om batterivægt og kapacitet for de fire elfærger er angivet i Tabel 1.

Tabel 1 Batteridata for elfærger i Danmark (juni 2024)

Færge	Batterifabrikat	Batterivægt	Kapacitet	Energi densitet
		tons	kWh	kg/kWh
TYCHO BRAHE (1. generation batterier)	SPBES (SHIFT)	57.0	4160	13.7
TYCHO BRAHE (2. generation batterier)	Corvus Dolphin	52.0	6345	8.2
AURORA (1. generation batterier)	SPBES (SHIFT)	57.0	4160	13.7
AURORA (2. generation batterier)	SPBES (SHIFT)	69.7	4800	14.5
ELLEN	Leclanché	54.3	4401	12.3
GROTTE	Corvus Orca	15.23	1107	13.8
Gennemsnit				12.7

Ruten Rødby-Puttgarden har siden 1997 været besejlet med 4 søsterfærger, der alle oprindeligt er konstrueret som diesel-elektriske færger, men som gradvist har fået installeret flere og flere batterier, så de i dag sejler som hybridfærger og indenfor et års tid kommer til at fungere 100 % som batterifærger. Scandlines forventer i øvrigt i løbet af 2024 at indsætte en ny elfærge, FUTURA, på Rødby-Puttgarden ruten. Den vil fra starten udelukkende kunne fremdrives af batterier med en samlet kapacitet på 10.000 kWh, jvf. Tabel 2.

Tabel 2 Data for seneste elfærger i Norge, Danmark og Island
(ikke alle data er tilgængelige for alle elfærger)

Ferry name		Lpp m	Breadth m	Draught m	GT GT	DWT tons	Passenger capacity	Car capacity -	Speed knots	Propulsion power kW	Genset power kW	Battery capacity kWh	Battery weight kg/kWh
Norwegian double-enders													
Bastø Electric	2021	139.20	20.70	5.00	7878	1500	600	200	15.0	4500	4400	4300	
Festøya	2020	114.00	17.40	4.30	2596	665	296	120		2260	880	1582	
Suløy	2019	104.40	17.00		2641	450			12.0		2204	2938	
Giskeøy	2019	104.40	17.00		2641	450			12.0		2204	2938	
Hadarøy	2018	104.40	17.00		2641	450			12.0		2204	2938	
Skopphorn	2019	104.40	17.00		2641	450			12.0		2204	2938	
Ampere	2015	78.60	20.80				360	120	14.0	900		260	
Fedjebjørn	2020	63.00	14.80	3.75	2409	722	149	50					
Møringen	2020	63.00	14.80	3.75	2409	722	149	50					
Smøla	2020	63.00	14.80	3.75	2409	722	149	50					
Fløy	2020	81.60	17.00	5.50	2899	870	299	83	12.0	2400			
Hillefjord		81.60	17.00	5.50	2899	870	299	83	12.0	2400			
Sildafjord		81.60	17.00	5.50	2899	870	299	83	12.0	2400			
Tustna	2020	74.40		5.50	2828	525	399	80		2000			
Grip	2020	74.40		5.50	2828	525	399	80		2000			
Utnefjord	2020	66.68	14.20		1989		199	50					
Matre		66.68	14.20		1989		199	50					
Vestrått	2018	62.40	14.20		2159								
Kinsarvik	2018	43.20	11.35		453	130		45		500		750	
Danish electrical ferries													
Tycho Brahe	1991/2017	106.00	27.6	5.5	11434	2500	1250	238	14.9	2500	9760	6345	8.2
Aurora	1992/2018	106.00	27.6	5.5	11046	2500	1250	238	14.9	2500	9760	4800	14.5
Hamlet	1997/2025	106.36	27.6	5.3	10067	3253	1000	238	14.9	6120		4160	
Grotte	2021	48.00	13.8	2.4	925	265	300	35	12.0	750	450	1107	13.8
Ellen	2019	59.40	12.8	2.5	996	187	196	31	14.2	1500	0	4401	12.3
Kalundborg - Samsøe ferry. TYRFING	2025	116.80	18.2	3.2	4356	820	600	188	17.0	3600			
Boesiden - Fynshav ferry. NERTHUS	2025	116.80	18.2	3.2	4356	820	600	188	17.0	3600			
Futura	2024	147.40	25.4	5.3			140	250	16.0			10000	
Islandic electrical ferry													
Herjólfur		65.6	15.1	2.85	3270	520	540	75	15.6	3400		3000	

4 Batteridrevne færger udenfor Danmark

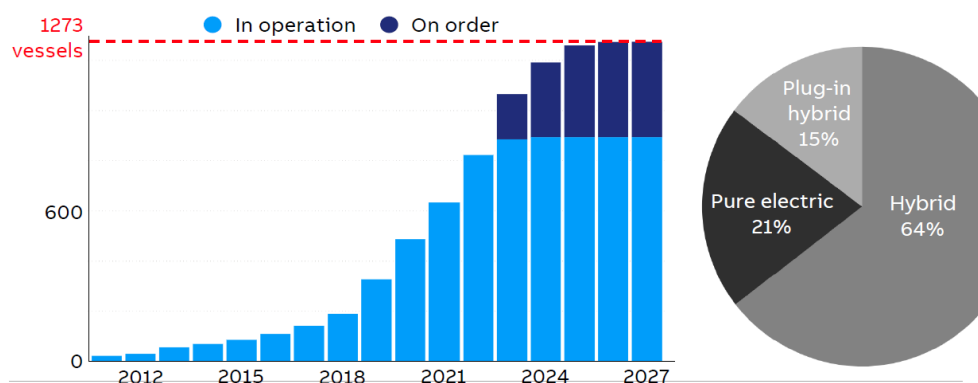
I Norge findes efterhånden en del elfærger, se Tabel 2. Norge har altid haft meget stor fokus på deres indlandsfærger, da de udgør en meget væsentlig andel af den norske infrastruktur på grund af landets geografi, med mange øer og fjorde, hvor der foregår meget transport af rullegods og personer.

For godt 50 år siden iværksatte Norge derfor en meget stor standardiseringsindsats for at opnå en god teknisk funderet færgefart i hele landet. Den tradition er gennem årene fulgt op. Landets gode økonomi har tilladt løbende udskiftning af ældre færger med teknologisk topmoderne færger. Denne udvikling kulminerer i disse år, med store krav til decarbonisering af skibsfarten fra både international og national side. Resultatet heraf afspejles i antallet af idriftsatte elfærger gennem de seneste knap 5 år, hvor udviklingen for alvor er gået i gang.

Også i Sverige er der mange vejvæsensfærger, som de officielt kaldes. Også her er der blevet indsat en del elfærger. Disse er ikke nødvendigvis batterifærger, da en del af færgerne sejler på meget korte overfarter, der har gjort det muligt at forsyne færgens drivmotorer via et elkabel, der ved hjælp af en speciel teknisk udformning (kabeltromle) på færgen gør det muligt at rulle elkablet op på tromlen som en automatisk kontinuerlig proces under sejladsen.

De sidste 10 år er der sket en voldsom udvikling indenfor skibe, som drives ved hjælp af batterier, hvilket fremgår af Figur 2. I dag er der knap 900 batteridrevne skibe i drift, hvoraf ca. 21 % er 100 % batterifærger, dvs. knap 200 rene batterifærger i juni 2024. Formodentlig opererer mindst 10 % af dem i norsk farvand, da Tabel 2 kun dækker norske færger bygget frem til 2021.

The number of battery powered ships is increasing



Figur 2 Batteridrevne færger iflg. DNV (Transforming through Uncertainty, Energy Insights maj 2024).

5 Batterier og batteriteknologi

Der er mange parametre, der skal tages hensyn til ved dimensionering af batterikapacitet, som eksempelvis:

- > Antal opladninger per dag
- > Batteriernes forventede levetid
- > Specifikke forhold vedr. den anvendte batteritype
- > Ladetid
- > Ladeeffekt

Ovennævnte er årsag til individuelle forhold vedr. batteripakkerne for de i Tabel 1 nævnte danske elfærger. Gennemsnittet af batterivægt divideret med kapacitet for de 4 færger er 12.7 kg/kWh, med en variation fra 8 til 14 kg/kWh.

5.1 Erfaringer

Færgen GROTE, der sejler mellem Esbjerg og Fanø, har siden indsættelsen sejlet uden tekniske problemer relateret til batteriteknologien. De øvrige nævnte færger og ladeanlæg, har været berørt af en række børnesygdomme. Eksempelvis har de to færger på Helsingør – Helsingborg ruten i flere omgange – i længere perioder - ikke været i stand til at sejle ved brug af batterier – bl.a. på grund af problemer med robotterne med automatisk opladning, der har voldt problemer. I disse kritiske perioder har skibenes oprindelige diesel-elektriske maskineri med 4 dieselgenerator anlæg på i alt 9560 kW været anvendt, og dermed er driftsstop undgået.

TYCHO BRAHE har fået skiftet det oprindelige batterisystem, fabrikat SPBES (SHIFT), og er i den anledning blevet opgraderet, så batterikapaciteten er blevet øget ca. 50 % ved anvendelse af Corvus Dolphin batterier, dog med en næsten uændret vægt, så batterierne med 50 % større kapacitet faktisk er lidt lettere end de første batterier på de to færger. Dette indikerer den øgede batterieffektivitet på blot 4 år for Corvus' s vedkommende, hvilket ses af Tabel 1 med en oversigt over batteridata for de 4 nævnte batterifærger. AURORA er klar til en ny opgradering om 2 år, og vil i modsætning til TYCHO BRAHE kun skulle have skiftet battericellerne (cell Swap), og ikke en komplet udskiftning af SPBES-systemet. AURORAs vægt er steget fra 1. generation til 2. generation, med en forventet levetid på 10 år. AURORAs SPBES system har i de seneste år haft en effektivitet på 98 %, dvs. den procentdel af den totale driftstid, hvor der kun er sejlet på batterier. Dette betyder, at kun i 2 % af tiden har det diesel-elektriske maskineri været benyttet.

Færgen ELLEN har også været ramt af forskellige tekniske vanskeligheder siden indsættelsen, og der er blevet udskiftet batterier løbende.

Overordnet kan det siges, at alle 4 danske elfærger i dag fungerer tilfredsstillende efter en række mere eller mindre alvorlige "børnesygdomme", som indtil videre stort set må betegnes som et overstået kapitel.

5.2 Udvikling

Alle batterileverandører er enige om, at batterivægten de kommende år vil falde stille og roligt. Forudsigelser for batteriteknologien og ydelse er forbundet med usikkerheder, og ingen fabrikanter tør i dag love konkrete tal for fremtiden, andet end at batterivægten vil falde. Nogle fabrikanter hævder, at vægten for tiden falder med 10 % om året.

Efter en række sonderinger hos leverandører, i faglitteraturen samt efter kontakt til DTU, Sektion Power-to-X og Lagring, Division for Power og Energisystemer, Institut for Vind og Energisystemer, ser det ud til, at der i perioden 2025 – 2030 i bedste fald vil kunne opnås en specifik vægt på ca. 6 -7 kg/kWh. I det efterfølgende årti vil der ses endnu lavere batterivægte, men det er pt. ikke muligt at angive mere nøjagtige data, hvilket også skyldes, at helt nye batterityper med stor sandsynlighed vil se dagens lys.

Først når den specifikke batterivægt nærmer sig 2 - 3 kg/kWh kan batterifremdrivning betragtes som en teknisk mulighed for hurtigfærger set ud fra et vægtmæssigt synspunkt. Det må således ses i øjnene, at batteridrevne hurtigfærger tidligst vil være teknologisk mulige om godt 10 år.

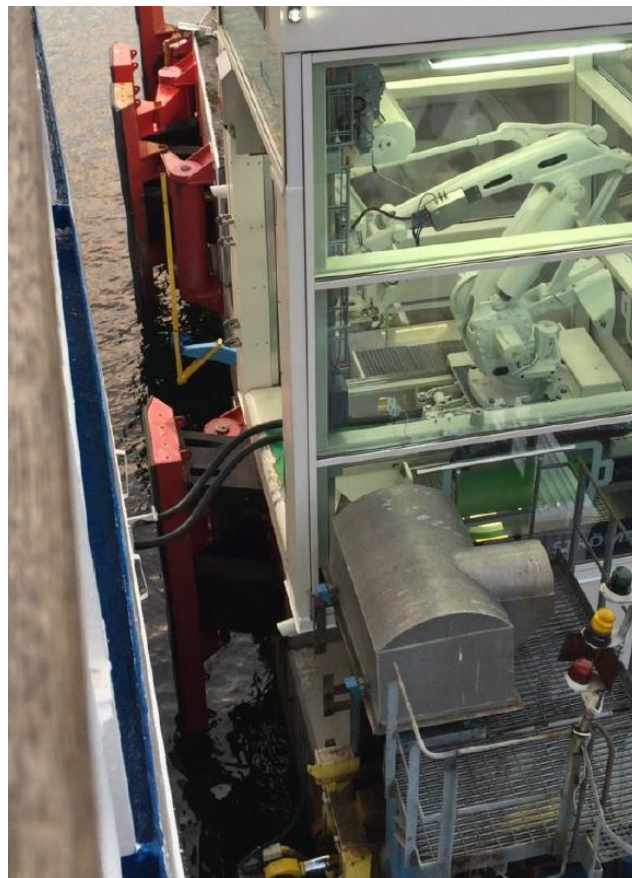
6 Opladning af batterifærger

Opladningen af en batterifærge er et meget vigtigt element i operationen og planlægningen af elfærge drift. Som regel bruges der ret store energimængder til fremdrivning af et skib, specielt, hvis skibet er stort og sejler relativt hurtigt og specielt, hvis den ønskede sejl distance er relativ lang. Det vil således aldrig være relevant, at containerskibe, der skal kunne sejle 10 – 25 knob over en periode svarende til omkring en uges sejlads, vil blive bygget med eldrift for øje, da vægten af batterierne i sig selv vil være i størrelsesordenen af skibets maksimale lasteevne.

Det udelukker dog ikke brugen af eldrift til dette flådesegment, både i havn og ved ind- og udsejling vil de kunne sejle ved hjælp af eldrift, så de skadelige røggasemissioner i havneområder undgås – noget der gradvis vinder indpas indenfor de konventionelle lastskibe men også indenfor krydstogtskibssejlads, der i disse år er kommet meget i fokus på grund af deres store udslip af røggasser, mens de er i havn og sejler ind og ud af havnene, hvor der ofte er boliger tæt på krydstogtterminalerne.

Elfærgedrift er derimod meget oplagt til korte sejlruiter (en længde svarende til maksimalt 2 – 3 timers varighed) med en moderat servicefart. Specielt korte indlandsruiter er helt oplagte, da sejl distancen typisk er af størrelsesordenen 10 sømil og farten er typisk 10 – 15 knob. Dette betyder, at den elektriske energimængde batterierne skal oplades med, vil kunne ske via en opladning på 10 – 15 minutter – nævnt i meget grove termer.

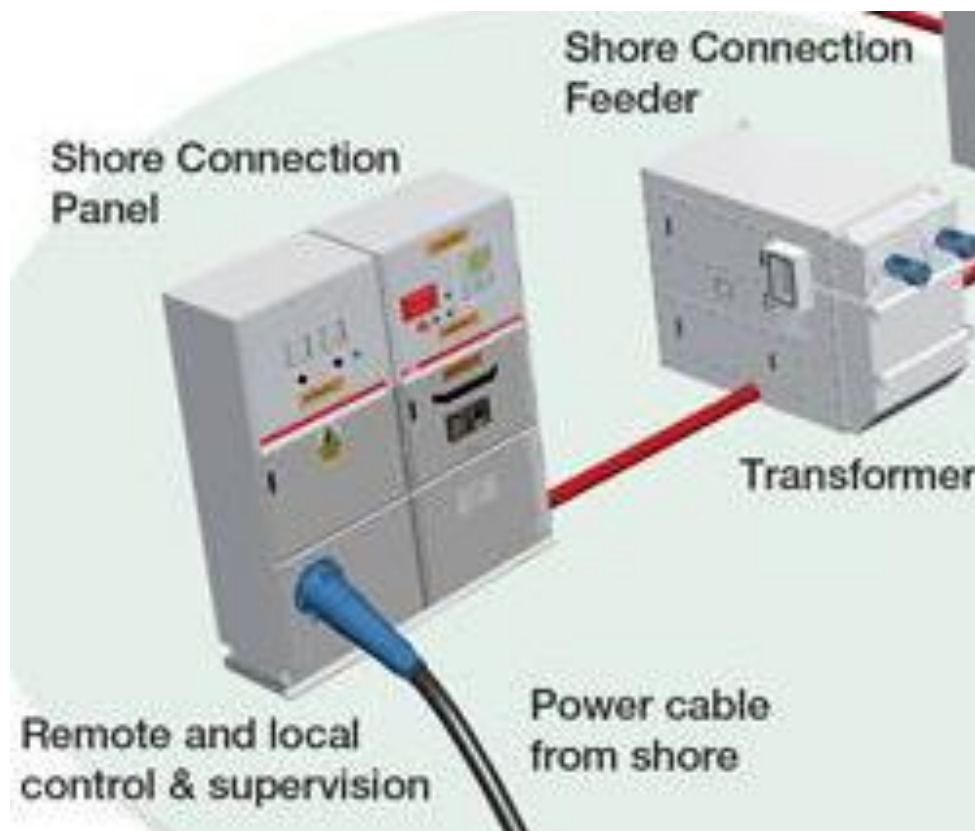
Netop opladning af en elfærge kræver en omhyggelig planlægning, for det første skal det eksisterende transmissionsnet i form af 10 kV ledninger eller mere identificeres, da dette ikke altid er ført frem til havnene. Der skal i givet fald etableres en ledning fra havnen til nærmeste 10 kV ledning, ja sågar nærmeste 50 kV ledning, hvis en sådan er tilgængelig indenfor en rimelig afstand. Der vil ofte være en kort havnetid til opladning – typisk omkring 10 – 15 minutter. Der skal på havnen placeres en transformer og ladestik til færgen, så en hurtig opladning sikres. Med den erfaring, der efterhånden er opbygget herhjemme og i udlandet, eksisterer der flere pålidelige ladesystemer, hvor tilkoblingen af elkabel fra land-siden til skibet kan ske på mindre end 1 minut, så det meste af færgens liggetid i havnen kan bruges til opladning. Foto af automatisk tilkoblingssystem er vist i Figur 3.



Figur 3 Foto af automatisk tilkoblingssystem

Et eksempel på det landbaserede udstyr er vist i Figur 4, det inkluderer selve forbindelsespanelet samt transformerstationen, der omformer højspændingsforsyningen på 10 kV eller 50 kV, så det passer til skibets interne batteri lavspændingssystem.

Som nævnt er ladetiden for skibets batterier meget vigtig og en lav ladetid opnås ved at vælge en høj ladeeffekt. Som eksempel vil en forøgelse af ladeeffekten fra eksempelvis knap 7 MW til godt 10 MW mindske ladetiden fra 12 til 8 minutter, så der skal ret betragtelige øgede effekter til for at opnå selv en mindre reduktion af ladetiden.



Figur 4 Landbaseret udstyr for opladning af skibets batterisystem (ABB Marine & Ports/Global Service)

7 Overfartsanalyse for Spodsbjerg-Tårs ruten

I dette afsnit er der set på dels muligheden for at foretage turen mellem Spodsbjerg og Tårs på 22 min og på muligheden for en havnetid på 8 minutter set i lyset af elfærgernes ladetid i havn. Analysen er foretaget under antagelse af anvendelse af en helt elektrisk udgave af de nuværende færger på ruten, dvs. søsterskibene M/F Lolland bygget i 2011 og M/F Langeland bygget i 2012. Foto af M/F Lolland ved fæргеlejet i Tårs havn er vist i Figur 5 og Tabel 3 viser data for MF Lolland.



Figur 5 M/F Lolland ved færgelejet i Tårs havn (2 juni 2024)

Tabel 3 Hoveddata for "Lolland" (HANSA, Nr. 6, 2012)

Hauptdaten Fähre »Lolland«	
Länge ü. a.	99,90 m
Länge z. d. L.	86,15 m
Breite a. Spt.	18,20 m
Höhe bis Hauptdeck	5,40 m
Höhe bis Passagierdeck	11,20 m
Tiefgang (Entwurf)	3,00 m
Tiefgang (Freibord)	3,30 m
Tragfähigkeit	650 dwt
Vermessung (brutto)	4.500 BRZ
Vermessung (netto)	1.350 NRZ
Auto-Staulänge	624 m
Auto-Staufähigkeit	122
Passagiere insgesamt	600
Passagiere im Deckshaus	450
Besatzung + Catering	4 + 4
Diesel-elektrischer Antrieb auf 4 Ruderpropeller	
Hauptmotoren	5 x CAT C 32
Leistung	5 x 850 kW
Ruderpropeller	4 x Schottel STP550
Geschwindigkeit	16,0 kn

Oplysningerne i Tabel 3 er brugt til beregninger af fart og accelerationsforhold for de eksisterende færger under forudsætning af halvtimes drift, se nedenstående tabel med diverse inputparametre til beregningerne. De røde tal er den nødvendige servicefart (hastighed udenfor havnene) for at opnå en sejltd på 22 minutter.

Main data

Length in waterline	m	97.59
Max. breadth of ferry	m	18.20
Breadth in waterline	m	18.20
Midship cross section coefficient	-	0.88
Draught	m	3.00
Bulbous bow? (0 = NO, 1 = YES)		0
Diesel machinery = 1, Hybrid machinery = 2, Pure electric = 3		3
Displacement	tons	2794
Number of propellers at each end if double ender	-	2
Propeller diameter	m	1.60
One prop.ship: 1, Norm. 2 prop. ship: 2, Twin skeg ship: 3, Double-ender: 4		4
Propeller type: 1 = conv. - 2 = ducted - 3 = WJ - 4 = STP		1
Azimuth propellers (0 = NO, 1 = YES)		1
Fore propeller (0 = NO, 1 = featherable, 2 = wind milling)		0
Allowance correction coefficient	-	-0.3
Design service speed in deep water for power calculation	knots	15.4
Maximum service speed at actual water depth	knots	15.4
Service allowance on resistance	pct.	15
Beaufort No. (wind condition)	-	3.5
Front area for wind resistance calculation	m ²	230
Average water depth	m	14
Transmission efficiency from engine to propeller	pct.	95
Engine loading in service condition	pct.	85
Total propulsion power at design speed (deep water)	kW	3079
Total propulsion power at service speed (at actual water depth)	kW	3498
<u>Power distribution:</u>		
Aft propeller resistance part	pct.	75

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

7.1 Fart og accelerationsforhold

Accelerationstiden for at opnå en hastighed på 15,4 knob er 240 sekunder med en udsejlet distance på 0,81 sømil (1500 m), kurven for denne acceleration er vist i Figur 6. Grundlaget og beregningerne er vist i Bilag A.

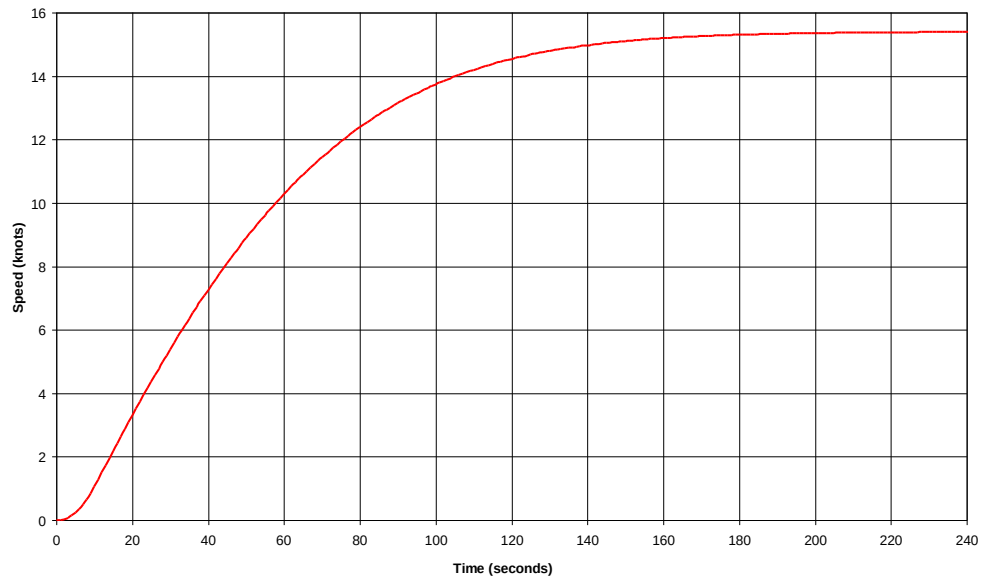
Deceleration sker med 3 til 4 knob per minut, hvilket giver ca. 4 min. til deceleration og en udsejlet distance på ca. 0,4 sømil (750 m).

Dette medfører, at distancen mellem acceleration og deceleration er ca. 3,6 sømil (6.650 m). For at tilbagelægge denne distance på 14 minutter skal der sejles med en gennemsnitshastighed på 15,4 knob på denne strækning.

Hvis en servicefart på 15.4 knob skal opretholdes kontinuerligt, viser foreløbige beregninger, at de 5 dieselgeneratorer på i alt 4250 kW (se Tabel 3) skal driftes med en gennemsnitlig motorbelastning på 95 %, hvilket er højere end accepta-

belt ved kontinuerlig sejlads, hvor motorbelastningen bør tilstræbes at ligge på 85 – 90 %.

Der er ikke problemer ved at sejle med en service fart på 15.4 knob, som elfærgen, da færgens eksisterende elmotorer forventes at kunne levere den nødvendige motoreffekt til thrusterne på ca. 3500 kW.



Figur 6 Kurve for acceleration fra 0 til 15,4 knob

7.2 Opladning i en eller begge havne

Det er normalt, at elfærgen oplades i begge havne. Et eksempel på dette er Helsingør – Helsingborg ruten, hvor sejltid og havnetid er tilsvarende de ønskede for Spodsbjerg – Tårs ruten.

Der er to fordele ved at lade op i begge havne: 1) batterivægten kan halveres og 2) det samme kan ladeeffekten, som kan blive en kritisk faktor, ved kun at foretage opladning i en havn.

For dette projekt er batterivægten ikke vurderet til at være en kritisk faktor, da der i nødvendigt omfang vil kunne fjernes en eller to af færgens fem dieselgeneratorsæt, som vægtemæssigt vil kunne kompensere for den tilføjede batterivægt. Fjernes to generatorsæt vil der stadig være 2550 kW generator kapacitet, som vil kunne fungere som backup løsning, hvis batterisystemet havarerer totalt, så selve grundelementet i elfærgeløsningen forsvinder i kortere eller længere tid.

Denne backup mulighed har eksempelvis hele tiden været til stede på Helsingør-Helsingborg overfarten, som tidligere beskrevet. Dette har været en meget stor fordel i de længere perioder, hvor batterisystemet har været helt ude af drift.

Det ser ud til, at det er blevet almen praksis at installere backup diesel generatorer på moderne elfærger for at undgå totalt driftsstop, hvis der opstår problemer med batteriløsningen. Færgen Ellen har desværre ikke en sådan nødløsning, hvilket har skabt store driftsproblemer. Når batterierne har svigtet, har det ek-

sempelvis været nødvendigt at rekvirere slæbebådsassistance for at komme sikkert i havn.

7.3 Ladeeffekt (enkelt tur)

Den nødvendige ladeeffekt er beregnet for tre forskellige ladetider:

- > 12 minutter, svarende til en ladeeffekt på 6,8 MW uden hensyntagen til tid for tilkobling af elkabel fra landsiden til færgen
- > 8 minutter, svarende til en ladeeffekt på 10,1 MW uden hensyntagen til tid for tilkobling af elkabel fra landsiden til færgen
- > 7 minutter, hvilket tillader 1 minut til tilkobling af elkabel fra landsiden til færgen og giver en samlet havnetid på 8 minutter. Den nødvendige ladeeffekt er 11,6 MW.

Beregningerne er foretaget for et batteri med en kapacitet på 2.253 kWh, hvilket svarer til batterier med en vægt på 18 – 27 t afhængig af batterifabrikant og anses for en normal størrelse. En ladespænding på 10 kV er anvendt.

Til sammenligning bruges der på Helsingør–Helsingborg ruten følgende ladeeffekter:

- > Helsingør: 11,2 MW
- > Helsingborg: 10,4 MW

7.3.1 12 minutters ladetid

En ladetid på 12 minutter, hvilket er uden tid til tilkobling af elkabel fra landsiden til færgen, kan opnås med en ladeeffekt på 6,8 MW. Data for beregningerne er vist i nedenstående tabel.

Fuel consumption using diesel engine or hybrid solution

Average SFOC for diesel engines	g/kW hour	200
Average SFOC for diesel engines for diesel generator	g/kW hour	190
Fuel consumption for diesel engine inclusive auxiliary systems	kg/hour	733.2
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	33.7
Fuel consumption for diesel generator incl. aux. systems	kg/hour	758.3
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	32.0
Fuel consumption for a trip for diesel engine solution	kg	238.1
Fuel consumption for a trip for diesel generator solution	kg	233.1

Electricity and energy consumption analysis

Propulsion power	kW	3498
Auxiliary power	kW	154
Acceleration time	minutes	4.0
Power increase during acceleration	pct.	0
Sailing distance	naut. miles	4.8
Sailing distance during acceleration, deceleration og manœuvring	naut. miles	1.2
Harbor manœuvring and deceleration	minutes	4.0
Crossing time at constant speed	minutes	14.0
Total sailing time	minutes	22.0
Harbor time - only use of aux. systems	minutes	10
Maximum allowable C factor (charging parameter)	-	3.0
Actual calculated C factor (charging parameter)	-	3.0
Charging rate	kWh/minute	113
Electrical transm. losses (from battery/generator to propeller unit)	pct.	8.5
Electrical transmission losses (from charging unit to battery)	pct.	6.0
El-energy demand per trip	kW hour	1237
El-energy demand per trip corrected for all transm. losses	kW hour	1438
El-energy demand per trip incl. transm. losses on the ship	kW hour	1352
Charging time in harbor for batteries	minutes	12.0
Charging power	kW	6759
Voltage	volt	10000
Electrical power	A	390
Discharge in percent before recharging	pct.	60
Electrical consumption af total battery capacity	pct.	60
Necessary battery capacity	kW hour	2253

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

7.3.2 8 minutters ladetid

En ladetid på 8 minutter, hvilket er uden tid til tilkobling af elkabel fra landsiden til færgen, kan opnås med en ladeeffekt på 10,1 MW. Data for beregningerne er vist i nedenstående tabel.

Fuel consumption using diesel engine or hybrid solution

Average SFOC for diesel engines	g/kW hour	200
Average SFOC for diesel engines for diesel generator	g/kW hour	190
Fuel consumption for diesel engine inclusive auxliary systems	kg/hour	733.2
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	33.7
Fuel consumption for diesel generator incl. aux. systems	kg/hour	758.3
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	32.0
Fuel consumption for a trip for diesel engine solution	kg	238.1
Fuel consumption for a trip for diesel generator solution	kg	233.1

Electricity and energy consumption analysis

Propulsion power	kW	3498
Auxiliary power	kW	154
Acceleration time	minutes	4.0
Power increase during acceleration	pct.	0
Sailing distance	naut. miles	4.8
Sailing distance during acceleration, deceleration og manœuvring	naut. miles	1.2
Harbor manœuvring and deceleration	minutes	4.0
Crossing time at constant speed	minutes	14.0
Total sailing time	minutes	22.0
Harbor time - only use of aux. systems	minutes	10
Maximum allowale C factor (charging parameter)	-	4.5
Actual calculated C factor (charging parameter)	-	4.5
Charging rate	kWh/minute	169
Electrical transm. losses (from battery/generator to propeller unit)	pct.	8.5
Electrical transmission losses (from charging unit to battery)	pct.	6.0
El-energy demand per trip	kW hour	1237
El-energy demand per trip corrected for all transm. losses	kW hour	1438
El-energy demand per trip incl. transm. losses on the ship	kW hour	1352
Charging time in harbor for batteries	minutes	8.0
Charging power	kW	10138
Voltage	volt	10000
Electrical power	A	585
Discharge in percent before recharging	pct.	60
Electal consumption af total battery capacity	pct.	60
Necessary battery capacity	kW hour	2253

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

7.3.3 7 minutters ladetid

En ladetid på 7 minutter, hvilket med 1 minut til tilkoblingen af elkabel fra land-siden til færgen giver en havnetid på 8 minutter, kan opnås med en ladeeffekt på 11,6 MW. Data for beregningerne er vist i nedenstående tabel.

Fuel consumption using diesel engine or hybrid solution

Average SFOC for diesel engines	g/kW hour	200
Average SFOC for diesel engines for diesel generator	g/kW hour	190
Fuel consumption for diesel engine inclusive auxiliary systems	kg/hour	733.2
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	33.7
Fuel consumption for diesel generator incl. aux. systems	kg/hour	758.3
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	32.0
Fuel consumption for a trip for diesel engine solution	kg	238.1
Fuel consumption for a trip for diesel generator solution	kg	233.1

Electricity and energy consumption analysis

Propulsion power	kW	3498
Auxiliary power	kW	154
Acceleration time	minutes	4.0
Power increase during acceleration	pct.	0
Sailing distance	naut. miles	4.8
Sailing distance during acceleration, deceleration og manœuvring	naut. miles	1.2
Harbor manœuvring and deceleration	minutes	4.0
Crossing time at constant speed	minutes	14.0
Total sailing time	minutes	22.0
Harbor time - only use of aux. systems	minutes	10
Maximum allowable C factor (charging parameter)	-	5.2
Actual calculated C factor (charging parameter)	-	5.2
Charging rate	kWh/minute	193
Electrical transm. losses (from battery/generator to propeller unit)	pct.	8.5
Electrical transmission losses (from charging unit to battery)	pct.	6.0
El-energy demand per trip	kW hour	1237
El-energy demand per trip corrected for all transm. losses	kW hour	1438
El-energy demand per trip incl. transm. losses on the ship	kW hour	1352
Charging time in harbor for batteries	minutes	7.0
Charging power	kW	11602
Voltage	volt	10000
Electrical power	A	670
Discharge in percent before recharging	pct.	60
Electral consumption af total battery capacity	pct.	60
Necessary battery capacity	kW hour	2253

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

7.4 7 minutters ladetid (dobbel tur)

Denne situation beskriver situationen hvor færgerne kun lades op i den ene havn, dvs. de skal kunne sejle en dobbelttur inden de skal lades op. Batterikapaciteten skal i dette tilfælde være dobbelt så stor som for tilfældet med enkelt tur, dvs. 4506 kWh.

En ladetid på 7 minutter, hvilket med 1 minut til tilkoblingen af elkabel fra land-siden til færgen giver en havnetid på 8 minutter, kan i denne situation opnås med en ladeeffekt på 23,2 MW (det dobbelte af ladeeffekten for en enkelt tur). Data for beregningerne er vist i nedenstående tabel.

Fuel consumption using diesel engine or hybrid solution

Average SFOC for disel engines	g/kW hour	200
Average SFOC for disel engines for diesel generator	g/kW hour	190
Fuel consumption for diesel engine inclusive auxliary systems	kg/hour	733.2
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	33.7
Fuel consumption for diesel generator incl. aux. systems	kg/hour	758.3
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	32.0
Fuel consumption for a trip for diesel engine solution	kg	238.1
Fuel consumption for a trip for diesel generator solution	kg	233.1

Electricity and energy consumption analysis

Propulsion power	kW	3498
Auxiliary power	kW	154
Acceleration time	minutes	4.0
Power increase during acceleration	pct.	0
Sailing distance	naut. miles	4.8
Sailing distance during acceleration, deceleration og manœuvring	naut. miles	1.2
Harbor manœuvring and deceleration	minutes	4.0
Crossing time at constant speed	minutes	14.0
Total sailing time	minutes	22.0
Harbor time - only use of aux. systems	minutes	10
Maximum allowale C factor (charging parameter)	-	5.2
Actual calculated C factor (charging parameter)	-	5.2
Charging rate	kWh/minute	387
Electrical transm. losses (from battery/generator to propeller unit)	pct.	8.5
Electrical transmission losses (from charging unit to battery)	pct.	6.0
El-energy demand per trip	kW hour	2474
El-energy demand per trip corrected for all transm. losses	kW hour	2876
El-energy demand per trip incl. transm. losses on the ship	kW hour	2703
Charging time in harbor for batteries	minutes	7.0
Charging power	kW	23204
Voltage	volt	10000
Electrical power	A	1340
Discharge in percent before recharging	pct.	60
Electral consumption af total battery capacity	pct.	60
Necessary battery capacity	kW hour	4506

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

7.5 Længere sejlafstand

I 2018 studiet er der også set på et alternativt forslag hvor afstanden mellem de to færgelejer øges fra 4,8 sømil (8,9 km) til 5.4 sømil (10,0 km). Forudsætningerne for at kunne opnå halvtimesdrift for dette forslag er:

- > Afstand på 10,0 km mellem rampe til rampe i de to færgelejer
- > Sejltilid på 22 minutter, dvs. en gennemsnitshastighed på 27,2 km/t svarende til 14,7 knob
- > Havnetid på 8 minutter

Beregninger af den nødvendige fart og dertil hørende fremdrivningseffekt for at kunne klare en længere overfart på 10 km på i alt 22 minutter er vist i de efterfølgende tabeller.

Det er fundet, at servicefarten skal øges til 18.0 knob, hvilket vil kræve en samlet fremdrivningseffekt på 6641 kW, hvilket er 90 procent højere i forhold til situationen med kun 8.9 km sejldistance. Effekten overskrider den installerede dieselgenerator motor effekt på i alt $5 \cdot 850 \text{ kW} = 4250 \text{ kW}$ som angivet i Tabel 3, så det er ikke muligt at opfylde de ændrede krav med den nuværende dieselmotor installation. Det vil blive nødvendigt at installere større dieselmotorer og større elmotorer koblet til Schottel thruster enhederne.

Det vides imidlertid ikke, hvor stor maksimal effekt selve Schottel thrusterne mekaniske konstruktion er designet til. Ud fra Schottels seneste katalog, Tabel 4, må det formodes, at én STP 550 propellerenhed vil kunne optage ca. 2000 kW, dvs. de nuværende thruster vil formentlig kunne levere den nødvendige høje effekt på i alt 6641 kW (1660 kW per thruster). Det vil dog være nødvendigt at installere større elmotorer til Schottel thrusterne, der i alt skønnes at have en effekt på ca. 4250 kW. Den nødvendige teoretiske batteripakke for en elfærge bliver på 4264 kWh, hvis opladning sker i hver havn. Den teoretiske ladeeffekten vil øges fra 11.6 MW til 22.0 MW. Med den nuværende teknologi kan elfærger ikke opnå en servicefart på 18 knob.

Tabel 4 Uddrag af Schottel katalog for STP thrustere

Type	Input power [kW]			
	A	B	C	D
STP 100	–	190	200	225
STP 150	–	330	360	400
STP 210	–	490	560	630
STP 260	–	770	820	920
STP 340	1090	1170	1250	1400
STP 460	1830	1960	2100	2350
STP 560	2200	2350	2500	3200

S = Standard, O = Option

Main data

Length in waterline	m	97.59
Max. breadth of ferry	m	18.20
Breadth in waterline	m	18.20
Midship cross section coefficient	-	0.88
Draught	m	3.00
Bulbous bow? (0 = NO, 1 = YES)		0
Diesel machinery = 1, Hybrid machinery = 2, Pure electric = 3		3
Displacement	tons	2794
Number of propellers at each end if double ender	-	2
Propeller diameter	m	1.60
One prop.ship: 1, Norm. 2 prop. ship: 2, Twin skeg ship: 3, Double-ender: 4		4
Propeller type: 1 = conv. - 2 = ducted - 3 = WJ - 4 = STP		1
Azimuth propellers (0 = NO, 1 = YES)		1
Fore propeller (0 = NO, 1 = featherable, 2 = wind milling)		0
Allowance correction coefficient	-	-0.3
Design service speed in deep water for power calculation	knots	18.0
Maximum service speed at actual water depth	knots	18.0
Service allowance on resistance	pct.	15
Beaufort No. (wind condition)	-	3.5
Front area for wind resistance calculation	m ²	230
Average water depth	m	14
Transmission efficiency from engine to propeller	pct.	95
Engine loading in service condition	pct.	85
Total propulsion power at design speed (deep water)	kW	5677
Total propulsion power at service speed (at actual water depth)	kW	6641
<u>Power distribution:</u>		
Aft propeller resistance part	pct.	75

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

Fuel consumption using diesel engine or hybrid solution

Average SFOC for diesel engines	g/kW hour	200
Average SFOC for diesel engines for diesel generator	g/kW hour	190
Fuel consumption for diesel engine inclusive auxiliary systems	kg/hour	1390.2
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	62.0
Fuel consumption for diesel generator incl. aux. systems	kg/hour	1437.9
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	58.9
Fuel consumption for a trip for diesel engine solution	kg	450.5
Fuel consumption for a trip for diesel generator solution	kg	882.3

Electricity and energy consumption analysis

Propulsion power	kW	6641
Auxiliary power	kW	284
Acceleration time	minutes	4.0
Power increase during acceleration	pct.	0
Sailing distance	naut. miles	5.4
Sailing distance during acceleration, deceleration og manœuvring	naut. miles	1.2
Harbor manœuvring and deceleration	minutes	4.0
Crossing time at constant speed	minutes	14.0
Total sailing time	minutes	22.0
Harbor time - only use of aux. systems	minutes	10
Maximum allowable C factor (charging parameter)	-	5.2
Actual calculated C factor (charging parameter)	-	5.2
Charging rate	kWh/minute	366
Electrical transm. losses (from battery/generator to propeller unit)	pct.	8.5
Electrical transmission losses (from charging unit to battery)	pct.	6.0
El-energy demand per trip	kW hour	2341
El-energy demand per trip corrected for all transm. losses	kW hour	2722
El-energy demand per trip incl. transm. losses on the ship	kW hour	2559
Charging time in harbor for batteries	minutes	7.0
Charging power	kW	21961
Voltage	volt	10000
Electrical power	A	1268
Discharge in percent before recharging	pct.	60
Electrical consumption af total battery capacity	pct.	60
Necessary battery capacity	kW hour	4264

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

7.6 Mindre færger

Komplet fart/effekt beregning og batterianalyse er vist i de efterfølgende tabeller, hvor der er foretaget beregning for en færge, hvor bilkapaciteten er ændret fra 122 personbiler til kun 82 personbiler (33 % reduktion). Den reducerede kapacitet opnås ved at reducere færgens bredde med en hel vognbane med i alt 19 personbiler (3 m smallere færge). Endvidere reduceres med 3 billængder (med en længde på i alt 15 meter) over i alt 7 rækker biler tværskibs, dvs. 21 personbiler. Færgens dødvægt er også reduceret med 33 % fra 650 tons til 440 tons.

Sejltiden påvirkes ikke ved indsættelse af en mindre færge, men det gør effektbehovet. Effektberegninger viser, at den samlede fremdrivningseffekt for den mindre færge bliver reduceret fra 3498 kW til 2604 kW svarende til 26 %.

For en elfærge med en ladetid på 7 min. vil batteristørrelsen blive reduceret fra 2253 kWh til 1678 kWh ved at gå fra den nuværende størrelse af færge til en mindre færge. Ladeeffekten ændres fra 11,6 MW til 8.6 MW.

Main data

Length in waterline	m	82.59
Max. breadth of ferry	m	15.20
Breadth in waterline	m	15.20
Midship cross section coefficient	-	0.88
Draught	m	3.00
Bulbous bow? (0 = NO, 1 = YES)		0
Diesel machinery = 1, Hybrid machinery = 2, Pure electric = 3		3
Displacement	tons	1915
Number of propellers at each end if double ender	-	2
Propeller diameter	m	1.60
One prop.ship: 1, Norm. 2 prop. ship: 2, Twin skeg ship: 3, Double-ender: 4		4
Propeller type: 1 = conv. - 2 = ducted - 3 = WJ - 4 = STP		1
Azimuth propellers (0 = NO, 1 = YES)		1
Fore propeller (0 = NO, 1 = featherable, 2 = wind milling)		0
Allowance correction coefficient	-	-0.3
Design service speed in deep water for power calculation	knots	15.4
Maximum service speed at actual water depth	knots	15.4
Service allowance on resistance	pct.	15
Beaufort No. (wind condition)	-	3.5
Front area for wind resistance calculation	m ²	230
Average water depth	m	14
Transmission efficiency from engine to propeller	pct.	95
Engine loading in service condition	pct.	85
Total propulsion power at design speed (deep water)	kW	2324
Total propulsion power at service speed (at actual water depth)	kW	2604
<u>Power distribution:</u>		
Aft propeller resistance part	pct.	75

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

Fuel consumption using diesel engine or hybrid solution

Average SFOC for diesel engines	g/kW hour	200
Average SFOC for diesel engines for diesel generator	g/kW hour	190
Fuel consumption for diesel engine inclusive auxliary systems	kg/hour	546.2
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	25.4
Fuel consumption for diesel generator incl. aux. systems	kg/hour	564.8
Fuel consumption for diesel generator for aux. systems	kg/hour	24.1
Fuel consumption for a trip for diesel engine solution	kg	177.4
Fuel consumption for a trip for diesel generator solution	kg	173.7

Electricity and energy consumption analysis

Propulsion power	kW	2604
Auxiliary power	kW	116
Acceleration time	minutes	4.0
Power increase during acceleration	pct.	0
Sailing distance	naut. miles	4.8
Sailing distance during acceleration, deceleration og manœuvring	naut. miles	1.2
Harbor manœuvring and deceleration	minutes	4.0
Crossing time at constant speed	minutes	14.0
Total sailing time	minutes	22.0
Harbor time - only use of aux. systems	minutes	10
Maximum allowable C factor (charging parameter)	-	5.2
Actual calculated C factor (charging parameter)	-	5.2
Charging rate	kWh/minute	144
Electrical transm. losses (from battery/generator to propeller unit)	pct.	8.5
Electrical transmission losses (from charging unit to battery)	pct.	6.0
El-energy demand per trip	kW hour	921
El-energy demand per trip corrected for all transm. losses	kW hour	1071
El-energy demand per trip incl. transm. losses on the ship	kW hour	1007
Charging time in harbor for batteries	minutes	7.0
Charging power	kW	8643
Voltage	volt	10000
Electrical power	A	499
Discharge in percent before recharging	pct.	60
Electral consumption af total battery capacity	pct.	60
Necessary battery capacity	kW hour	1678

Note: De gule felter er parametre, der kan ændres.

Bilag A Accelerationsberegninger for nuværende færger

Linearly reduced thrust from 0 kW to max.power after first 10 seconds					
Water depth (m)	14				
Ship particulars					
		Basis speed (knots)	Basis resistance (kN)	Basis thrust speed (knots)	Basis thrust at max. propulsion power (kN)
Waterline length (m)	97.59	0.00	0	0.0	369
Breadth (m)	18.20	7.84	57	1.7	361
Draught (m)	3.00	8.88	71	3.3	351
Displacement (tons)	2794	9.90	87	5.0	339
Max. propulsion power (kW)	3079	10.92	106	6.6	326
Max. obtainable speed at max. power (knots)	14.92	11.92	127	8.3	312
Average thrust deduction (-)	0.125	12.91	151	9.9	297
Scaling factor for power (-)	1.14	13.88	179	11.6	281
Scaled power (kW)	3498	14.82	212	13.3	264
Scaling factor for resistance (-)	1.00	15.08	222	14.92	246
Propeller type (open = 1, ducted = 2)	1	Resistance at max. speed with wind			215.5
Specific thrust in bollard pull condition (kN/kW)	0.120	Time step (seconds)			1
Obtainable shallow water speed at actual power	15.41	Obtainable thrust at actual power (kN)			269.7

Actual power condition			3498	kW
T/P	Thrust auxiliary factors	Actual thrust speed	Actual thrust	T/P
(kN/kW)	(kN/knots)	(knots)	(kN)	(kN/kW)
0.120	-5.51	0.00	404.5	0.116
0.117	-6.30	1.71	395.1	0.113
0.114	-7.88	3.42	384.3	0.110
0.110	-7.88	5.14	370.8	0.106
0.106	-9.45	6.85	357.3	0.102
0.101	-9.45	8.56	341.2	0.098
0.096	-10.24	10.27	325.0	0.093
0.091	-11.03	11.98	307.5	0.088
0.086	-11.03	13.69	288.6	0.083
0.080		15.41	269.7	0.077
		Max. obtainable speed at actual power		

Time	Speed	Distance	Distance	Acc. force	Acceleration	Thrust	Resistance
(seconds)	(knots)	(nautical miles)	(metres)	(kN)	(m/s^2)	(kN)	(kN)
0	0	0	0	0	0	0.0	0
1	0.00	0.00000	0.0	35.4	0.012	40.5	0.0
2	0.02	0.00000	0.0	70.8	0.024	80.9	0.0
3	0.07	0.00002	0.0	106.1	0.036	121.2	0.0
4	0.14	0.00005	0.1	141.3	0.048	161.5	0.0
5	0.23	0.00010	0.2	176.4	0.060	201.6	0.0
6	0.35	0.00018	0.3	211.3	0.072	241.6	0.0
7	0.49	0.00030	0.5	246.0	0.084	281.3	0.1
8	0.65	0.00046	0.8	280.4	0.096	320.7	0.2
9	0.84	0.00066	1.2	314.5	0.107	359.9	0.4
10	1.05	0.00093	1.7	348.2	0.119	398.8	0.7
11	1.28	0.00125	2.3	346.6	0.118	397.5	1.2
12	1.51	0.00164	3.0	345.0	0.118	396.2	1.7
13	1.74	0.00209	3.9	343.3	0.117	394.9	2.3
14	1.97	0.00260	4.8	341.3	0.116	393.5	3.0
15	2.19	0.00318	5.9	339.2	0.116	392.1	3.8
16	2.42	0.00382	7.1	337.1	0.115	390.7	4.7
17	2.64	0.00452	8.4	334.9	0.114	389.3	5.7
18	2.86	0.00528	9.8	332.6	0.113	387.9	6.8
19	3.08	0.00611	11.3	330.3	0.113	386.5	7.9
20	3.30	0.00700	13.0	327.8	0.112	385.1	9.1
21	3.52	0.00794	14.7	325.2	0.111	383.6	10.4
22	3.73	0.00895	16.6	322.3	0.110	381.9	11.8
23	3.95	0.01002	18.6	319.4	0.109	380.2	13.2
24	4.16	0.01114	20.6	316.5	0.108	378.5	14.8
25	4.37	0.01233	22.8	313.4	0.107	376.9	16.3
26	4.58	0.01357	25.1	310.3	0.106	375.2	18.0
27	4.78	0.01487	27.5	307.2	0.105	373.6	19.7
28	4.99	0.01623	30.0	304.0	0.104	372.0	21.5
29	5.19	0.01764	32.7	300.8	0.103	370.4	23.3
30	5.39	0.01911	35.4	297.6	0.101	368.9	25.2
31	5.58	0.02063	38.2	294.3	0.100	367.3	27.1
32	5.78	0.02221	41.1	291.0	0.099	365.8	29.1
33	5.97	0.02384	44.2	287.6	0.098	364.2	31.1
34	6.16	0.02552	47.3	284.2	0.097	362.7	33.2
35	6.35	0.02726	50.5	280.8	0.096	361.3	35.3
36	6.54	0.02905	53.8	277.4	0.095	359.8	37.4
37	6.72	0.03089	57.2	273.9	0.093	358.3	39.6
38	6.90	0.03279	60.7	270.4	0.092	356.8	41.8
39	7.08	0.03473	64.3	266.7	0.091	355.1	44.1
40	7.26	0.03672	68.0	262.9	0.090	353.5	46.4
41	7.43	0.03876	71.8	259.2	0.088	351.8	48.7
42	7.60	0.04085	75.6	255.4	0.087	350.2	51.0
43	7.77	0.04298	79.6	251.7	0.086	348.6	53.3
44	7.94	0.04516	83.6	248.0	0.085	347.0	55.7
45	8.10	0.04739	87.8	244.2	0.083	345.5	58.0
46	8.27	0.04967	92.0	240.5	0.082	343.9	60.4
47	8.42	0.05198	96.3	236.8	0.081	342.4	62.8
48	8.58	0.05435	100.6	233.1	0.079	340.9	65.2
49	8.74	0.05675	105.1	229.4	0.078	339.5	67.6
50	8.89	0.05920	109.6	225.7	0.077	338.0	70.1
51	9.04	0.06169	114.2	222.1	0.076	336.6	72.5
52	9.19	0.06422	118.9	218.5	0.074	335.2	74.9
53	9.33	0.06679	123.7	214.8	0.073	333.9	77.3
54	9.47	0.06940	128.5	211.2	0.072	332.5	79.7
55	9.61	0.07205	133.4	207.7	0.071	331.2	82.1
56	9.75	0.07474	138.4	204.1	0.070	329.9	84.5
57	9.89	0.07747	143.5	200.6	0.068	328.6	86.9
58	10.02	0.08023	148.6	197.1	0.067	327.4	89.3
59	10.15	0.08304	153.8	193.7	0.066	326.1	91.7
60	10.28	0.08587	159.0	190.2	0.065	324.9	94.1

61	10.40	0.08874	164.4	186.7	0.064	323.6	96.4
62	10.53	0.09165	169.7	183.3	0.062	322.4	98.8
63	10.65	0.09459	175.2	179.9	0.061	321.1	101.1
64	10.77	0.09757	180.7	176.5	0.060	319.9	103.4
65	10.88	0.10057	186.3	173.2	0.059	318.7	105.7
66	11.00	0.10361	191.9	169.9	0.058	317.5	108.0
67	11.11	0.10668	197.6	166.6	0.057	316.4	110.2
68	11.22	0.10979	203.3	163.4	0.056	315.2	112.4
69	11.33	0.11292	209.1	160.2	0.055	314.1	114.6
70	11.44	0.11608	215.0	157.1	0.054	313.0	116.8
71	11.54	0.11927	220.9	154.0	0.052	312.0	119.0
72	11.64	0.12249	226.9	150.9	0.051	310.9	121.1
73	11.74	0.12574	232.9	147.9	0.050	309.9	123.3
74	11.84	0.12901	238.9	144.9	0.049	308.9	125.3
75	11.94	0.13232	245.1	142.0	0.048	307.9	127.4
76	12.03	0.13565	251.2	139.0	0.047	306.9	129.6
77	12.12	0.13900	257.4	136.0	0.046	305.9	131.7
78	12.21	0.14238	263.7	133.0	0.045	304.9	133.8
79	12.30	0.14579	270.0	130.0	0.044	303.9	135.9
80	12.39	0.14921	276.3	127.1	0.043	303.0	138.0
81	12.47	0.15267	282.7	124.3	0.042	302.1	140.0
82	12.55	0.15614	289.2	121.4	0.041	301.1	142.1
83	12.63	0.15964	295.7	118.6	0.040	300.3	144.1
84	12.71	0.16316	302.2	115.8	0.039	299.4	146.1
85	12.79	0.16670	308.7	113.1	0.039	298.5	148.1
86	12.86	0.170	315.3	110.4	0.038	297.7	150.1
87	12.94	0.174	322.0	107.8	0.037	296.9	152.0
88	13.01	0.177	328.6	105.2	0.036	296.1	153.9
89	13.08	0.181	335.4	102.6	0.035	295.4	155.8
90	13.15	0.185	342.1	100.1	0.034	294.6	157.7
91	13.21	0.188	348.9	97.6	0.033	293.9	159.5
92	13.28	0.192	355.7	95.2	0.032	293.2	161.3
93	13.34	0.196	362.5	92.8	0.032	292.5	163.1
94	13.40	0.199	369.4	90.5	0.031	291.8	164.8
95	13.46	0.203	376.3	88.2	0.030	291.1	166.6
96	13.52	0.207	383.3	85.9	0.029	290.5	168.2
97	13.58	0.211	390.2	83.7	0.029	289.9	169.9
98	13.63	0.214	397.2	81.6	0.028	289.2	171.5
99	13.69	0.218	404.3	79.4	0.027	288.6	173.1
100	13.74	0.222	411.3	77.4	0.026	288.1	174.7
101	13.79	0.226	418.4	75.3	0.026	287.5	176.2
102	13.84	0.230	425.5	73.3	0.025	286.9	177.8
103	13.89	0.234	432.6	71.4	0.024	286.4	179.2
104	13.94	0.237	439.8	69.5	0.024	285.9	180.6
105	13.98	0.241	447.0	67.7	0.023	285.4	182.0
106	14.03	0.245	454.2	65.9	0.022	284.9	183.4
107	14.07	0.249	461.4	64.1	0.022	284.4	184.8
108	14.11	0.253	468.7	62.3	0.021	283.9	186.1
109	14.16	0.257	475.9	60.6	0.021	283.5	187.5
110	14.20	0.261	483.2	58.9	0.020	283.0	188.8
111	14.23	0.265	490.5	57.2	0.020	282.6	190.1
112	14.27	0.269	497.9	55.6	0.019	282.2	191.3
113	14.31	0.273	505.2	54.0	0.018	281.8	192.6
114	14.35	0.277	512.6	52.4	0.018	281.4	193.8
115	14.38	0.281	520.0	50.9	0.017	281.0	195.0
116	14.41	0.285	527.4	49.4	0.017	280.6	196.2
117	14.45	0.289	534.8	47.9	0.016	280.3	197.3
118	14.48	0.293	542.3	46.5	0.016	279.9	198.5
119	14.51	0.297	549.7	45.1	0.015	279.6	199.6
120	14.54	0.301	557.2	43.7	0.015	279.3	200.6

121	14.57	0.305	564.7	42.4	0.014	278.9	201.7
122	14.60	0.309	572.2	41.1	0.014	278.6	202.7
123	14.62	0.313	579.7	39.8	0.014	278.3	203.8
124	14.65	0.317	587.2	38.5	0.013	278.0	204.7
125	14.67	0.321	594.8	37.3	0.013	277.8	205.7
126	14.70	0.325	602.3	36.2	0.012	277.5	206.6
127	14.72	0.329	609.9	35.0	0.012	277.2	207.6
128	14.75	0.333	617.5	33.9	0.012	277.0	208.5
129	14.77	0.338	625.1	32.8	0.011	276.7	209.3
130	14.79	0.342	632.7	31.7	0.011	276.5	210.2
131	14.81	0.346	640.3	30.7	0.010	276.2	211.0
132	14.83	0.350	647.9	29.7	0.010	276.0	211.8
133	14.85	0.354	655.5	28.8	0.010	275.8	212.6
134	14.87	0.358	663.2	27.8	0.009	275.6	213.3
135	14.89	0.362	670.8	26.9	0.009	275.4	214.1
136	14.91	0.366	678.5	26.0	0.009	275.2	214.8
137	14.92	0.371	686.2	25.1	0.009	275.0	215.5
138	14.94	0.375	693.9	24.3	0.008	274.8	216.2
139	14.96	0.379	701.6	23.5	0.008	274.6	216.8
140	14.97	0.383	709.3	22.7	0.008	274.5	217.5
141	14.99	0.387	717.0	21.9	0.007	274.3	218.1
142	15.00	0.391	724.7	21.2	0.007	274.1	218.7
143	15.02	0.395	732.4	20.5	0.007	274.0	219.3
144	15.03	0.400	740.1	19.8	0.007	273.8	219.8
145	15.04	0.404	747.9	19.1	0.007	273.7	220.4
146	15.06	0.408	755.6	18.5	0.006	273.6	220.9
147	15.07	0.412	763.3	17.8	0.006	273.4	221.4
148	15.08	0.416	771.1	17.2	0.006	273.3	221.9
149	15.09	0.421	778.9	16.6	0.006	273.2	222.4
150	15.10	0.425	786.6	16.1	0.005	273.0	222.8
151	15.11	0.429	794.4	15.5	0.005	272.9	223.3
152	15.12	0.433	802.2	15.0	0.005	272.8	223.7
153	15.13	0.437	810.0	14.5	0.005	272.7	224.2
154	15.14	0.442	817.8	13.9	0.005	272.6	224.6
155	15.15	0.446	825.5	13.5	0.005	272.5	225.0
156	15.16	0.450	833.3	13.0	0.004	272.4	225.3
157	15.17	0.454	841.1	12.5	0.004	272.3	225.7
158	15.18	0.458	848.9	12.1	0.004	272.2	226.1
159	15.19	0.463	856.8	11.7	0.004	272.1	226.4
160	15.19	0.467	864.6	11.3	0.004	272.0	226.8
161	15.20	0.471	872.4	10.9	0.004	272.0	227.1
162	15.21	0.475	880.2	10.5	0.004	271.9	227.4
163	15.22	0.480	888.0	10.1	0.003	271.8	227.7
164	15.22	0.484	895.9	9.8	0.003	271.7	228.0
165	15.23	0.488	903.7	9.4	0.003	271.6	228.3
166	15.23	0.492	911.5	9.1	0.003	271.6	228.5
167	15.24	0.496	919.4	8.8	0.003	271.5	228.8
168	15.25	0.501	927.2	8.5	0.003	271.4	229.1
169	15.25	0.505	935.1	8.2	0.003	271.4	229.3
170	15.26	0.509	942.9	7.9	0.003	271.3	229.5
171	15.26	0.513	950.8	7.6	0.003	271.3	229.8
172	15.27	0.518	958.6	7.3	0.002	271.2	230.0
173	15.27	0.522	966.5	7.1	0.002	271.2	230.2
174	15.28	0.526	974.3	6.8	0.002	271.1	230.4
175	15.28	0.530	982.2	6.6	0.002	271.1	230.6
176	15.29	0.535	990.1	6.3	0.002	271.0	230.8
177	15.29	0.539	997.9	6.1	0.002	271.0	231.0
178	15.29	0.543	1005.8	5.9	0.002	270.9	231.2
179	15.30	0.547	1013.7	5.7	0.002	270.9	231.3
180	15.30	0.552	1021.5	5.5	0.002	270.8	231.5

181	15.31	0.556	1029.4	5.3	0.002	270.8	231.7
182	15.31	0.560	1037.3	5.1	0.002	270.8	231.8
183	15.31	0.564	1045.1	4.9	0.002	270.7	232.0
184	15.32	0.569	1053.0	4.7	0.002	270.7	232.1
185	15.32	0.573	1060.9	4.6	0.002	270.7	232.3
186	15.32	0.577	1068.8	4.4	0.001	270.6	232.4
187	15.32	0.581	1076.7	4.2	0.001	270.6	232.5
188	15.33	0.586	1084.6	4.1	0.001	270.6	232.7
189	15.33	0.590	1092.4	3.9	0.001	270.5	232.8
190	15.33	0.594	1100.3	3.8	0.001	270.5	232.9
191	15.34	0.598	1108.2	3.7	0.001	270.5	233.0
192	15.34	0.603	1116.1	3.5	0.001	270.4	233.1
193	15.34	0.607	1124.0	3.4	0.001	270.4	233.2
194	15.34	0.611	1131.9	3.3	0.001	270.4	233.3
195	15.34	0.615	1139.8	3.2	0.001	270.4	233.4
196	15.35	0.620	1147.7	3.0	0.001	270.3	233.5
197	15.35	0.624	1155.6	2.9	0.001	270.3	233.6
198	15.35	0.628	1163.5	2.8	0.001	270.3	233.7
199	15.35	0.632	1171.4	2.7	0.001	270.3	233.8
200	15.35	0.637	1179.3	2.6	0.001	270.3	233.9
201	15.36	0.641	1187.2	2.5	0.001	270.2	233.9
202	15.36	0.645	1195.1	2.4	0.001	270.2	234.0
203	15.36	0.650	1203.0	2.3	0.001	270.2	234.1
204	15.36	0.654	1210.9	2.3	0.001	270.2	234.2
205	15.36	0.658	1218.8	2.2	0.001	270.2	234.2
206	15.36	0.662	1226.7	2.1	0.001	270.2	234.3
207	15.37	0.667	1234.6	2.0	0.001	270.1	234.3
208	15.37	0.671	1242.5	2.0	0.001	270.1	234.4
209	15.37	0.675	1250.4	1.9	0.001	270.1	234.5
210	15.37	0.679	1258.3	1.8	0.001	270.1	234.5
211	15.37	0.684	1266.2	1.7	0.001	270.1	234.6
212	15.37	0.688	1274.1	1.7	0.001	270.1	234.6
213	15.37	0.692	1282.0	1.6	0.001	270.1	234.7
214	15.37	0.697	1289.9	1.6	0.001	270.0	234.7
215	15.37	0.701	1297.8	1.5	0.001	270.0	234.8
216	15.38	0.705	1305.7	1.5	0.000	270.0	234.8
217	15.38	0.709	1313.7	1.4	0.000	270.0	234.9
218	15.38	0.714	1321.6	1.3	0.000	270.0	234.9
219	15.38	0.718	1329.5	1.3	0.000	270.0	234.9
220	15.38	0.722	1337.4	1.3	0.000	270.0	235.0
221	15.38	0.726	1345.3	1.2	0.000	270.0	235.0
222	15.38	0.731	1353.2	1.2	0.000	270.0	235.1
223	15.38	0.735	1361.1	1.1	0.000	270.0	235.1
224	15.38	0.739	1369.0	1.1	0.000	270.0	235.1
225	15.38	0.743	1377.0	1.0	0.000	269.9	235.2
226	15.38	0.748	1384.9	1.0	0.000	269.9	235.2
227	15.38	0.752	1392.8	1.0	0.000	269.9	235.2
228	15.39	0.756	1400.7	0.9	0.000	269.9	235.3
229	15.39	0.761	1408.6	0.9	0.000	269.9	235.3
230	15.39	0.765	1416.5	0.9	0.000	269.9	235.3
231	15.39	0.769	1424.4	0.8	0.000	269.9	235.3
232	15.39	0.773	1432.4	0.8	0.000	269.9	235.4
233	15.39	0.778	1440.3	0.8	0.000	269.9	235.4
234	15.39	0.782	1448.2	0.7	0.000	269.9	235.4
235	15.39	0.786	1456.1	0.7	0.000	269.9	235.4
236	15.39	0.791	1464.0	0.7	0.000	269.9	235.4
237	15.39	0.795	1471.9	0.7	0.000	269.9	235.5
238	15.39	0.799	1479.9	0.6	0.000	269.9	235.5
239	15.39	0.803	1487.8	0.6	0.000	269.9	235.5
240	15.39	0.808	1495.7	0.6	0.000	269.9	235.5