

FREMTIDENS HURTIGBÅT: BATTERIDREVET SES I 40 KNOP



- Økonomifart på 40 knop
- Toppfart over 50 knop
- Høy fart gir kort reisetid og mer tid ved kai for lading av batterier
- Aktiv luftpute demper bevegelser og gir god passasjerkomfort, også i store bølger



Fremtidens Hurtigbåt

ESNA har for prosjektet «Fremtidens Hurtigbåt» optimalisert et design for Surface Effect Ship (SES) med servicefart på 40 knop. En SES er velegnet som batterielektrisk hurtigbåt fordi den har lavt energibruk ved høy fart, og fordi luftputen gjør det mulig å bære høy batterivekt.

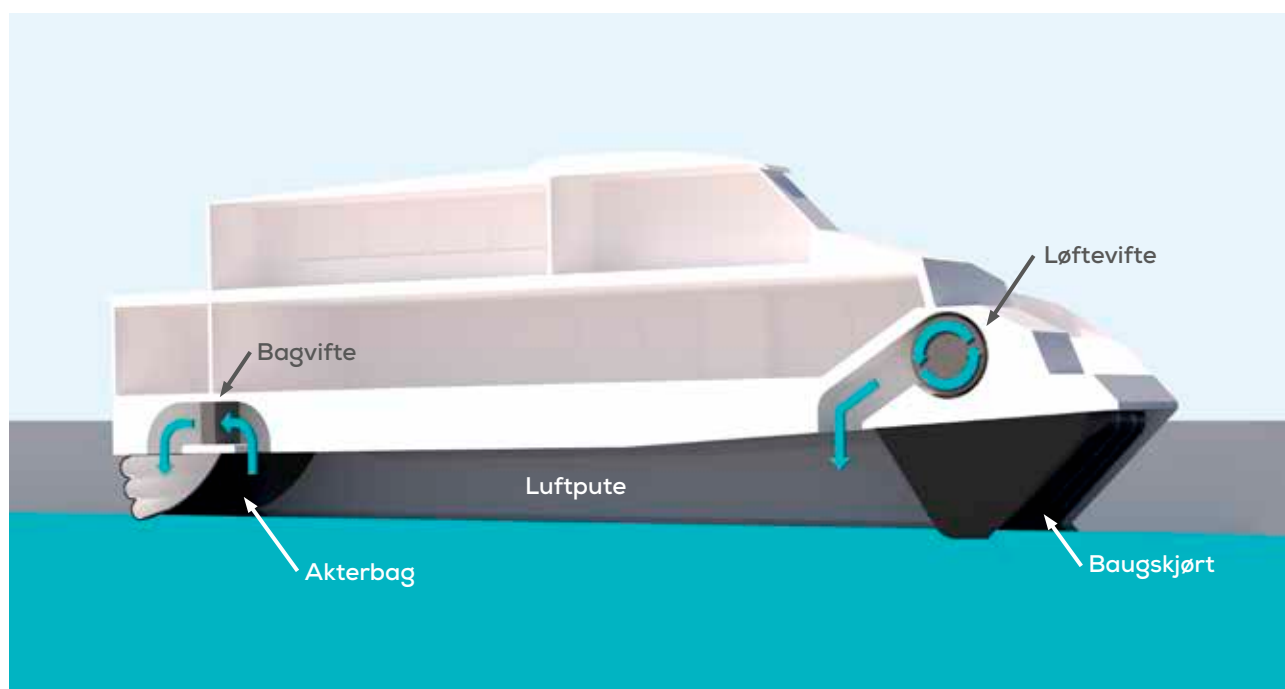
Dette dokumentet er en oppsummering av arbeidet i fase 2 av prosjektet. I fasen har vi verifisert designet, SES systemer og ytelsene med CFD, styrkeanalyser og modelltester. Elektriske løsninger, inkludert lading, er gjennomgått i detalj. Vi har utarbeidet rutestudier for flere aktuelle rutepakker, med energi- og tidsberegninger. Disse viser at skipsdesignet er velegnet for batterielektriske hurtigbåter på norske ruter.

SES: Surface Effect Ship

Fartøyet har to skrog, og mellom disse ligger en luftpute som løfter opptil 90% av båtens vekt. Luften tilføres med vifte, og et automatisk bevegelsesdempe-system styrer lufttrykket ved åpning og lukking av spjeld i forhold til bølgene. Dette sikrer en behagelig luftdempet reise. Under høy fart stikker skrogene kun en halv meter ned i vannet. Man får lav friksjonsmotstand, og optimal økonomifart ved 35-40 knop.

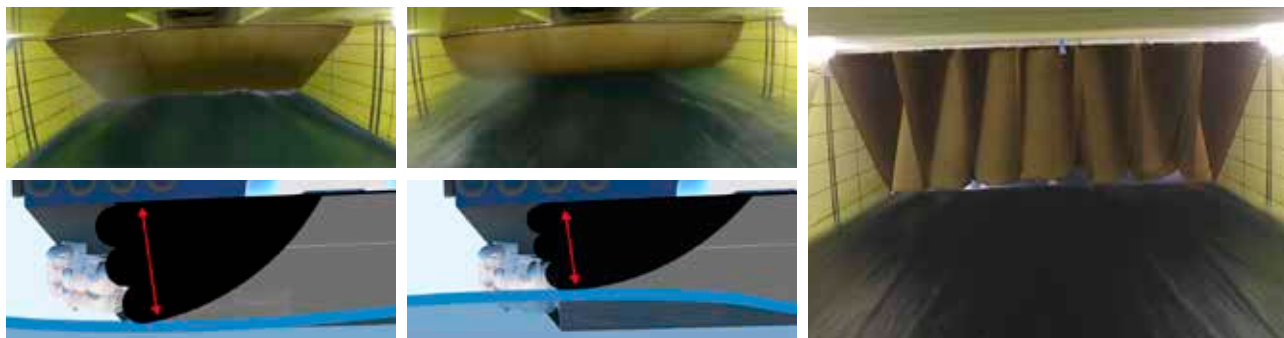
Luftputekatamaraner er kjent for høy fart i kombinasjon med lavt forbruk av drivstoff, samt for god passasjerkomfort i bølger. På verdensbasis er det bygget mer enn 200 SES, og teknologien benyttes blant annet av Sjøforsvaret.

Kravet om nullutslipp setter fokus på energiforbruk. Selv om luftputen øker kompleksiteten til fartøyet, vil det lave totale energiforbruket, og andre fordeler en SES gir, mer enn oppveie dette.



Illustrasjonene viser et langskipssnitt av fartøyet. Luft kommer inn til luftputen forut, via en sentrifugalvifte vi kaller løftevifte. Luftputen er åpen mot vannflaten. På de to sidene er sideskrogene. Forut henger det baugfingre i fiberforsterket gummi ned fra våtdekket, som utgjør baugskjørtet. Bakerst er det en akterbag i samme materiale som baugfingrene. Den strekker seg mellom sideskrogene og er trykksatt med en egen vifte. Selve bagen følger vannoverflaten ved fart i bølger. Dette er vist på illustrasjonene nedenfor.

Bildene er tatt inne i luftputen under modelltester. Bildet til venstre viser akterover mot akterbagen i en bølgedal, mens bildet i midten viser hvordan bagen følger en bølgetopp. Bildet til høyre er tatt forover, inne i luftputen og viser akterkanten av baugskjørtet ved 40 knops fart.



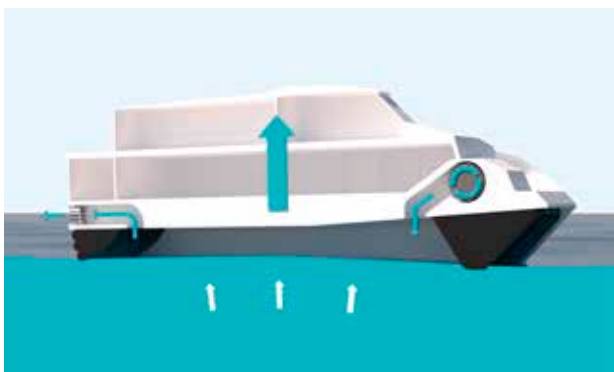


Bildet viser Sea Puffin 1, en SES daughter craft designet av ESNA. Forskjellen på dypgang når SES systemene er aktive og ikke, kan tydelig sees ved overgangen mellom den hvite skutesiden og det sorte bunnstoffet. Når båten ligger i ro med systemet deaktivert, er det sorte bunnstoffet under vann.

SES bevegelsesdemping

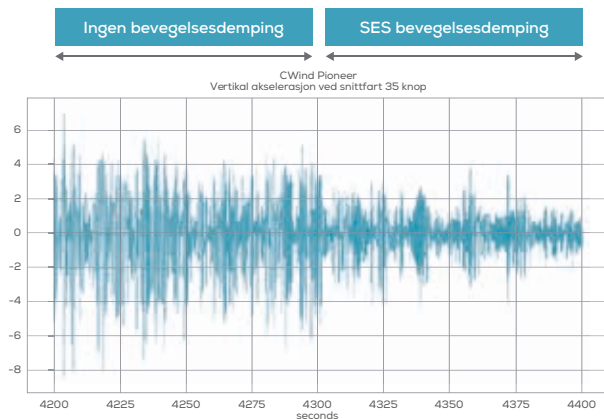
Med et automatisk system for SES bevegelsesdemping, kan Sea Puffin 1 overføre personer til og fra vindturbinene i offshore vindparker i større bølgehøyder enn det andre fartøy av samme størrelse klarer. I prosjektet «Fremtidens Hurtigbåt» har dette fartøyet blitt brukt som en testplattform for videreutvikling og forbedring av systemet for SES bevegelsesdemping.

Systemet virker slik at løfteviften går med jevnt turtall. Et spjeldkassett med en elektrisk aktuator sørger for hurtig lukking eller åpning, for å holde luften inne i luftputen eller slippe den ut. Når skipet passerer en bølgetopp, slik vist nedenfor til venstre, vil bølgen løfte fartøyet. Da motvirker dempesystemet dette ved å åpne spjeld og redusere lufttrykket. Tilsvarende i en bølgedal er vist til høyre nedenfor. Skipet passerer en bølgedal og vil normalt bevege seg nedover, på grunn av redusert oppdrift fra sjøen. Da lukkes spjeldet og bevegelsen motvirkes ved at lufttrykket i luftputen økes. Båten vil fortsatt bevege seg i bølger, men bevegelsene blir mindre enn de ellers ville vært.





Bildet ovenfor er av en spjeldkasset for SES bevegelsesdemping. På toppen inne i boksen er aktuator for å bevege spjeldene. Akturatoren er forbundet til de røde spjeldbladene med lenkearmer. Det er de røde spjeldbladene som enten holder luft inne i eller åpner seg og slipper luften ut fra luftputen.

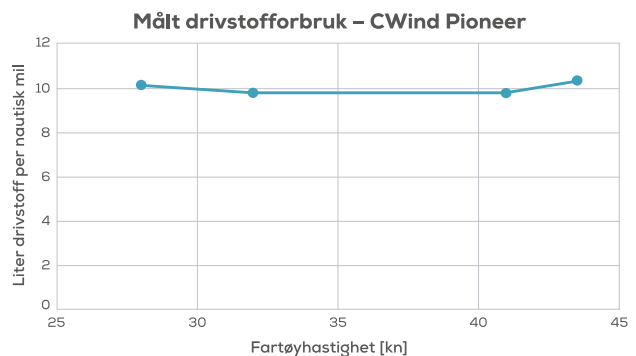
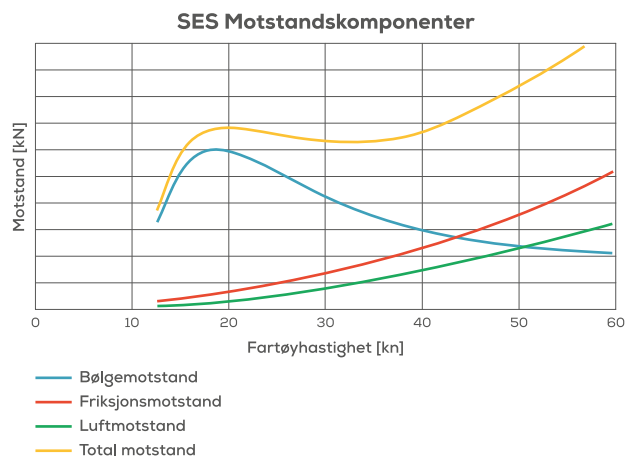


Figuren ovenfor viser en måleserie av vertikal akselerasjon fra SES-en CWind Pioneer. Målingene er gjort i 35 knop motsjø med 0.75 meter signifikant bølgehøyde. I venstre halvdel av grafen er ikke dempesystemet aktivt. Til høyre er det aktivt. I dette eksemplet reduseres akselerasjonsnivået med ca. 50%. (50% reduksjon av vertikal RMS akselerasjon).

Energieffektiv SES

Motstandskomponentene til en SES kan deles i tre: **1) Bølgemotstand** **2) Friksjonsmotstand** og **3) Luftmotstand**. Hvordan disse prinsipielt virker for en SES i forskjellige hastigheter, er skissert i figuren til høyre. Ved lavere hastighet, opptil 20 knop, dominerer bølgemotstand. Dette er bølger som blir laget av skroget og luftputen. Ved høyere hastigheter er bølgemotstand lavere, mens friksjon- og luftmotstand øker.

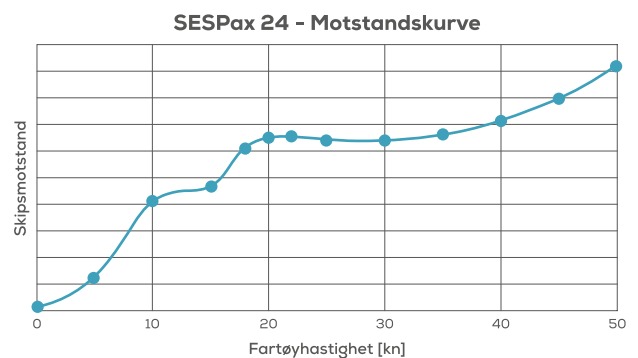
En SES er energieffektiv ved høy hastighet, fordi den delvis løftes ut av vannet. Det gjør at friksjonsmotstanden kan bli svært lav i forhold til andre fartøystyper. Dette gir den SES-karakteristiske fallende totalmotstandskurven (gul kurve) over 20 knop, hvor bølgemotstanden faller og friksjonsmotstanden begynner å dominere. Typisk er en SES mest energioptimal ved 30-45 knop. Kurven med målt drivstofforbruk til høyre viser dette tydelig. Dette er registrerte tall fra sjøprøver tatt med den ESNA-designede CWind Pioneer, som er en diesel-elektrisk SES arbeidsbåt for offshore vind.



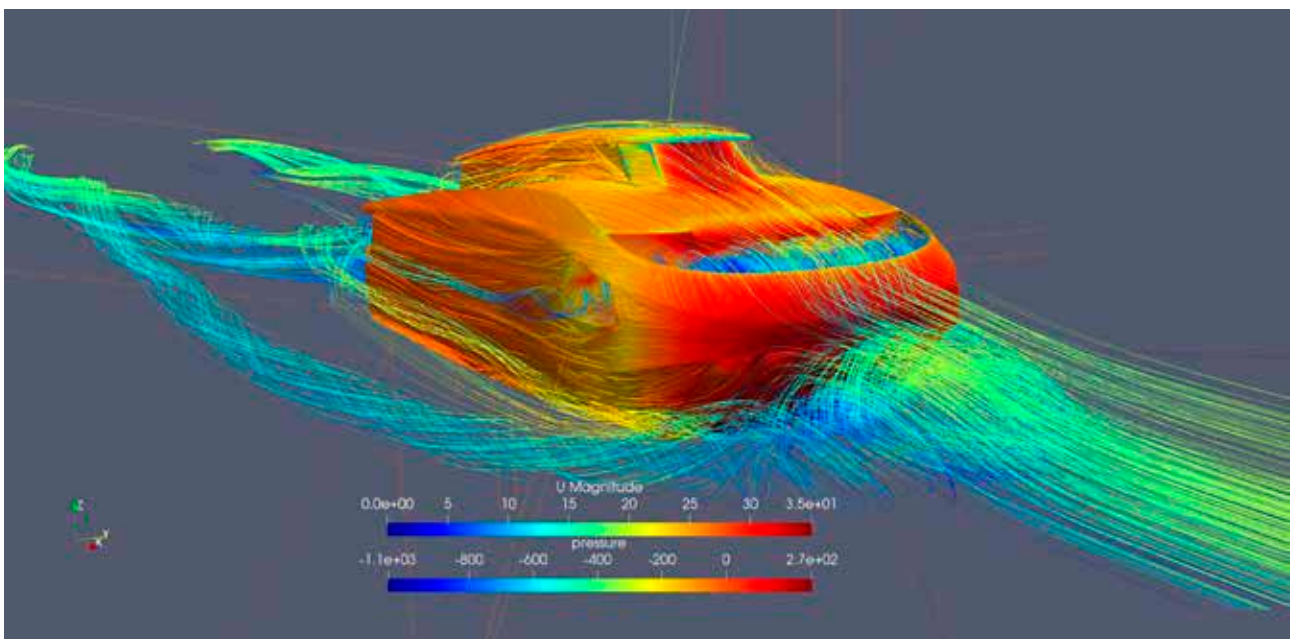


I dette prosjektet har ESNA optimalisert skipsdesignet for maksimal energieffektivitet ved 40 knop. Resultatet er en forholdsvis kort og bred båt med aerodynamisk utforming som gir lite luftmotstand.

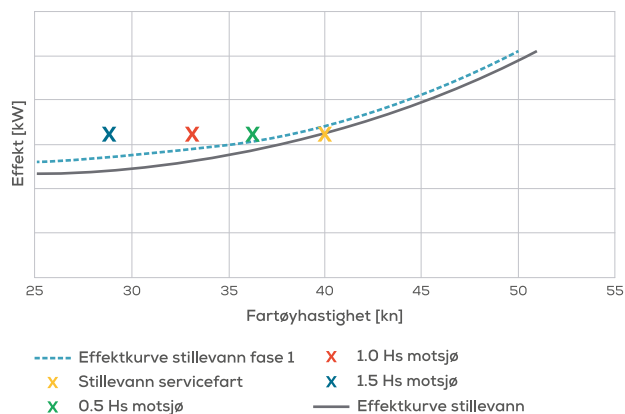
Fartøydesignet har gjennomgått grundig modelltesting ved både Stadt Towing Tank (stille vann) og ved SINTEF Ocean (selvpropellert modell i bølger). Resultat fra stille vannsforsøk er vist i grafen til høyre. Den har samme form som den typiske SES-kurven vist på forrige side, med fallende skipsmotstand fra ca 20 knop.



Motstandskurven brukes sammen med ytelseskurver for vannjet for å evaluere hvilken fart som oppnås ved forskjellige motoreffekter. Resultatet fra dette er vist i effektkurven på neste side. Kurven fra forrige fase er også tatt med, og denne viser at resultatet fra fase 2 er blitt litt bedre. Dette er primært fordi luftmotstanden ble lavere enn forventet og har blitt videre optimalisert. Illustrasjonen under viser et bilde fra CFD-analysene som ble benyttet for dette.

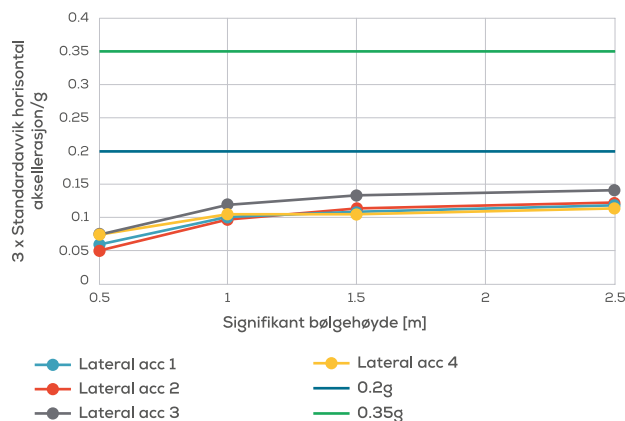


Prosjektspesifikt effektbehov per 2. desember 2022



Effektkurven til høyre viser resultater fra stille vann i fase 1 og nå. Det er også lagt inn noen punkter for fartstap i motsjø. Dette ble gjort med selvpropellert modell hvor samme vannjeteffekt som ga 40 knop i stille vann ble testet i forskjellige bølgehøyder. Eksempelvis oppnådde modellen cirka 33 knop i 1 m. Hs.

Horisontale aksellerasjoner. IMO HSC Safety levels



Til høyre vises resultatet for horisontale aksellerasjoner fra tester i motsjø som er sammenlignet med sikkerhetsnivåene i IMO HSC 2000 (International Code of Safety for High-Speed Craft (2000)). Disse resultatene er også validert med skalerte sammenligningstall fra to fullskala fartøy og et annet modelltest-program. Resultatene viser at akselerasjonsnivåene ligger under kravene ved svært høy hastighet helt opptil den maksimale designbølgehøyden på 2.5 meter signifikant bølgehøyde.

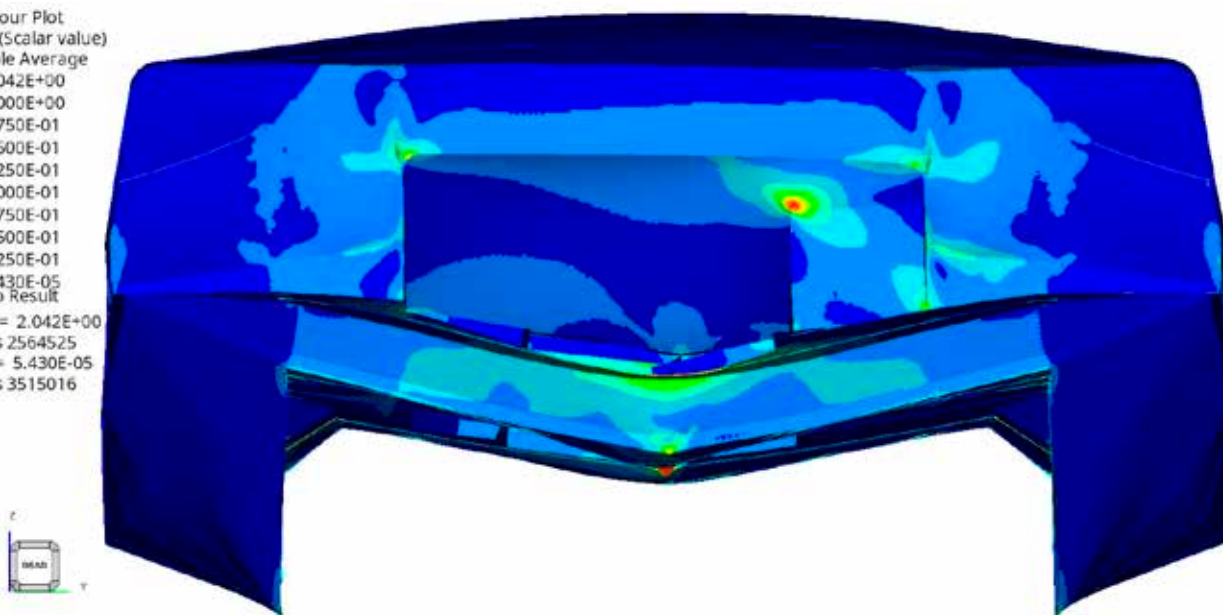
Strukturoppbygging og vekt i karbonfiber er blitt verifisert med FEM (Finite Element Method) strukturanalyser. Bildet under viser resultater fra en analyse med bøymoment mellom sideskrogene.

1: Model
 Subcase 2 (Split moment-): Static Analysis: Frame 25

Contour Plot
 Hoff(Scalar value)
 Simple Average

2.042E+00
 1.000E+00
 8.750E-01
 7.500E-01
 6.250E-01
 5.000E-01
 3.750E-01
 2.500E-01
 1.250E-01
 5.430E-05
 No Result

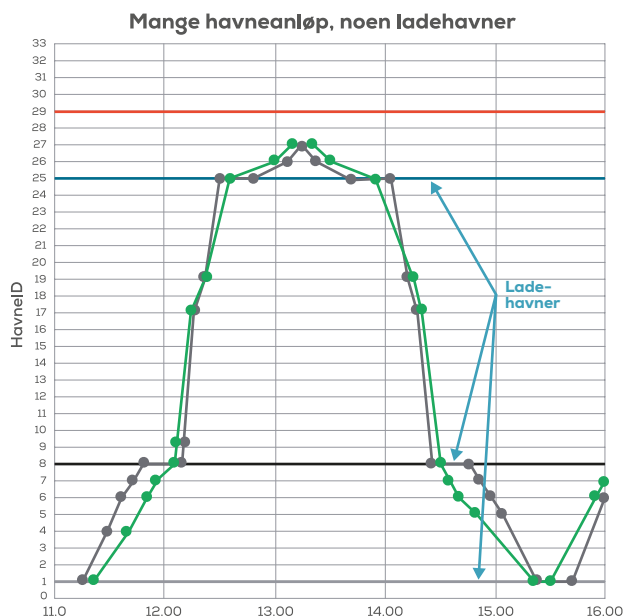
Max = 2.042E+00
 Grids 2564525
 Min = 5.430E-05
 Grids 3515016



SES som elektrisk hurtigbåt

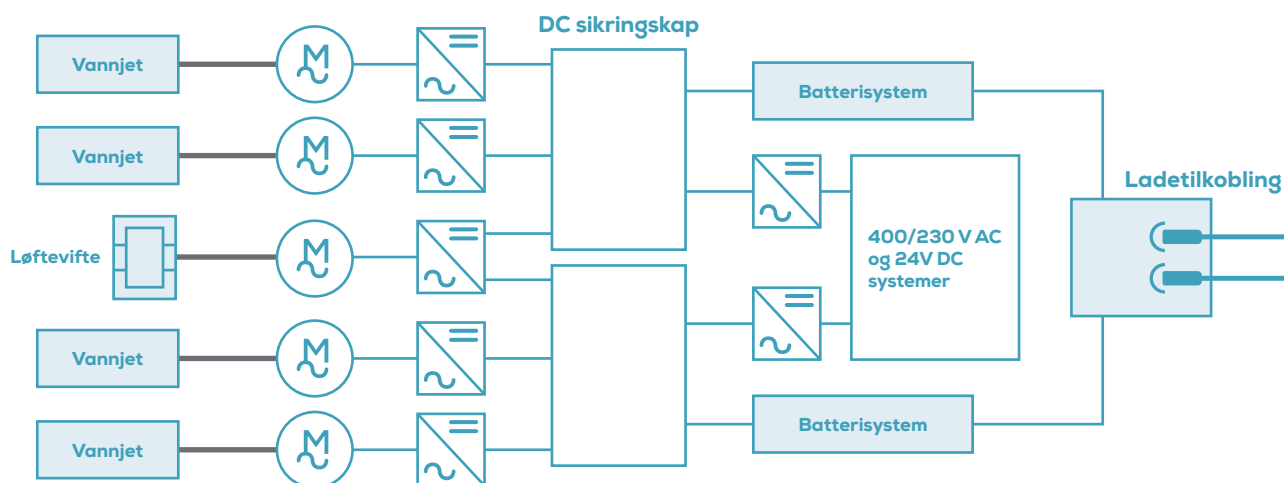
En SES er ideell som nullutslipps hurtigbåt, fordi den bruker lite energi og gir god passasjerkomfort i bølger. Siden luftputesystemene nå kan drives elektrisk, er en SES både enklere å bygge og operere enn tidligere.

Den økte SES hastigheten bringer passasjerene raskere frem. Kortere reisetid gir dessuten lengre liggetid ved kai. Båten rekker dermed å lade tilstrekkelig før neste avgang. Følgelig kan man opprettholde samme ruteplaner ved overgang til batteribåt. Det vil ikke være mulig med en konvensjonell hurtigbåt. En rekke forskjellige rutepakker for hurtigbåt i Norge er analysert for dette. Nedenfor til venstre vises et eksempel for en rutepakke med mange forskjellige havneanløp.



Grafen viser tidspunkt på horisontal akse og havneID på vertikal akse. Ved havneID 1, 8, 25 og 29 er det ladestasjon. Den grønne kurven er ruteplan med en dieseldrevet konvensjonel hurtigbåt, mens den grå kurven er en mulig ny ruteplan med høyere hastighet og batterielektrisk SES. På vist tur er avgang og ankomst tidspunkt på hele turen som i dag. Tid på ladestopp underveis oppveies med økt transitthastighet.

Hurtigbåten har fire vannjetter drevet av hver sin elektromotor. Fire mindre vannjetter, i forhold til to større, gir lavere vekt og høyere virkningsgrad. Den elektriske arkitekturen er basert på moderne kraftelektronikk og er optimalisert for fartøyet med minimal vekt og høy virkningsgrad. Design av propulsjon og elektroløsninger er gjort i nært samarbeid med anerkjente leverandører til skipsbyggingsindustrien. Alt utstyr er tilgjengelig med normale leverandørgarantier for skipsverft. En prinsippskisse over elektrosystemet og propulsjonslinjene er gitt nedenfor.





Hoveddata

Fartøysdesignet kan enkelt tilpasses spesifikke rutekrav som værutsatte områder, varierende rekkevidde og større eller mindre passasjerantall. Nedenfor viser et eksempel på hoveddata.

Lengde	23.5 m
Bredde	12 m
Dypgang	0.6 m på luftpute
Byggemateriale	Aluminium eller karbonfiber
Passasjerantall	180
Maksimal fart	50 knop (stille vann)
Servicefart	40 knop
Rekkevidde	51 nautiske mil ved servicefart og stille vann
Propulsjonssystem	4 x vannjet
Motorytelser vannjet	4 x 580 kW (Opsjon: 4 x 800 kW)
Batteribank	2 x 1110 kWh nyttbar energi, Litium-ion (NMC)
Rekkeviddeforlenger	1 dieselgeneratorsett. Effekt og antall velges iht rutekrav.
DC hurtiglading	2 x 2 MW



Prosjektet «Fremtidens Hurtigbåt»

Torghatten Midt og ESNA har siden våren 2021 samarbeidet om å utvikle nullutslipp SES hurtigbåter. De meldte inn et slikt design til designkonkurransen «Fremtidens Hurtigbåt - Energieffektivt Design» høsten 2021. Prosjektet Fremtidens Hurtigbåt eies og drives av fylkeskommunene Troms og Finnmark, Nordland, Trøndelag og Vestland i felleskap.

Målet med prosjektet er å realisere nullutslipps hurtigbåter i Norge med byggestart i 2024. Fartøyet skal tilby minst 30% energibesparelse i forhold til dagens hurtigbåter.

Torghatten Midt og ESNA har designet et robust SES design, basert på utprøvde fartøysløsninger og state-of-the-art elektriske løsninger som er tilgjengelige innen denne tidsrammen. Det er anvendt solide skipstekniske designverktøy, -metoder og -marginer, inkludert en parametrisk designmetodikk som gjør at designet enkelt og hurtig kan tilpasses alternative rutekrav. Resultatet er et svært effektiv design som gir mer enn 50% energibesparelse ved økonomifart 40 knop, målt mot oppdragsgivers referanseverdier.

Denne rapporten er en del av ESNAs leveranse til Fremtidens Hurtigbåt 2 fase 2.



Torghatten Midt

Torghatten Midt består av tidligere FosenNamsos Sjø AS og Torghatten Trafikkselskap. De driver sjøveis kollektivtrafikk og opererer i dag 13 ferjesamband og 10 hurtigbåtruter, inkludert to nye plug-in hybridferjer.

Moderselskapet er Torghatten, hvor også Torhgatten Nord og Bastø Fosen inngår. Selskapene har en rekke pågående initiativ for bærekraft og nullutslipp, blant annet har de kontrakt på to nye hydrogenferjer mellom Bodø og Lofoten fra 2025, og for førerløs elektrisk passasjerferje fra 2023 i Stockholm med Zeabuz.

ESNA

ESNA er et skipsdesignkontor med spisskompetanse på SES og løsninger for lav- og nullutslipp. Selskapet har utviklet meget energieffektive SES design for transport av personell til offshore vindparker og olje- og gassinstallasjoner.

ESNA har designet CWind Pioneer, som ble bygget i 2021, og er verdens første diesel-elektriske SES. Alle luftputesystemene er elektrisk drevet og levert av ESNA.