

ENERGIBRUK OG CO2-UTSLIPP VED BYGGING AV SKIP FOR GODSTRANSPORT

Morten Simonsen

Vestlandsforskning

1/6/2009

Innhold

| | |
|---|----|
| Innledning | 4 |
| Volumbasert estimat..... | 5 |
| Regresjonstilnærmings | 10 |
| Regresjonstilnærming med faktor-estimering | 14 |
| Blokk-koeffisient tilnærming..... | 17 |
| Oppsummering av estimat for Berge Atlantic..... | 19 |
| Energibruk og CO ₂ -utslipp ved bygging av skip | 20 |
| Beregninger av energibruk og CO ₂ -utslipp fra verdens skipsflåte..... | 25 |
| Til sammen var 8 containerskip registrert for Norge i 2006. Disse er ikke inkludert i analysen..... | 27 |
| Vedlegg..... | 28 |

Tabeller

| | |
|--|----|
| Tabell 1 Relativ forhold mellom dybde og dybdegang for ulike typer skip | 6 |
| Tabell 2 Blokk-koeffisient for ulike typer skip | 7 |
| Tabell 3 Dimensjoner for Berge Atlantic. Alle tall i meter. | 8 |
| Tabell 4 Dimensjoner for Berge Atlantic fra Vesseltracker.com | 8 |
| Tabell 5 Bulk skip etter dødvekt-tonn. Antall i ulike grupper. | 9 |
| Tabell 6 Skip med egenvekt fordelt på skipstype og skrog-type | 10 |
| Tabell 7 Prosentvis avvik faktisk-predikert vekt | 12 |
| Tabell 8 Prosentvis avvik faktisk-predikert vekt med dødvekt og skrog-type som predikator..... | 13 |
| Tabell 9 Faktor-modell: Prosentvis avvik faktisk-predikert vekt med dødvekt som predikator | 17 |
| Tabell 10 Vekt estimat for Berge Atlantic..... | 19 |
| Tabell 11 Skipsproduksjon etter land 2008..... | 20 |
| Tabell 12 Energibruk for produksjon av 1 tonn stål i Nord-Amerika | 22 |
| Tabell 13 Energibruk ved framstilling av 1 tonn stål Tyskland 2005 og Kina 1995 | 22 |
| Tabell 14 Energibruk og utslipp av CO ₂ for global stålproduksjon..... | 24 |

| | |
|--|----|
| Tabell 15 Global energibruk og utslipp av CO2 ved produksjon av 1 tonn varmevalset stål..... | 24 |
| Tabell 16 Energibruk og utslipp av CO2 for produksjon av Berge Atlantic..... | 25 |
| Tabell 17 Energibruk og CO2-utslipp fra samlet skipsflåte | 25 |
| Tabell 18 Energiforbruk og CO2-utslipp for produksjon av den norske flåten i 2006 | 27 |
| Tabell 19 Registrerte skip med egenvekt..... | 28 |

Figurer

| | |
|---|----|
| Figur 1 Prosentvis andel av total dybde nedsenket under vann | 7 |
| Figur 2 Blokk-koeffisient for ulike typer skip..... | 8 |
| Figur 3 Sammenheng mellom dødvekt-tonn og egenvekt | 11 |
| Figur 4 Trender for sammenheng mellom dødvekt og andel egenvekt..... | 15 |
| Figur 5 Berge Atlantic's tilpassing til trend-basert regresjonsmodell | 16 |
| Figur 6 Blokk-koeffisient for ulike typer skip..... | 17 |
| Figur 7 Sammenheng dødvekt-blokk-koeffisient..... | 18 |
| Figur 8 Elektrisitetsmiks Tyskland 2006 og Sør-Korea 2006 | 23 |
| Figur 9 Elektrisitetsmiks Kina 2006 | 23 |

Innledning

Vi skal i dette dokumentet se nærmere på produksjon av gods-skip i ulike kategorier. Vi starter med å se på ulike vektdefinisjoner for skip. Disse definisjonene av vekt vil ligge til grunn for estimering av energibruk og utslipp ved produksjon av skip. For å beregne energibruk og utslipp ved produksjon av skip må vi kjenne skipets egenvekt og materialsammensetningen av skipet.

Det finnes mange ulike vektbegrep i forbindelse med skip. De fleste av vektene måler hvor mye last skipet kan frakte. Dette har sin historiske bakgrunn i at skip betaler havne-avgifter og avgifter til Suez-kanalen og Panama-kanalen etter hvor mye last de kan frakte. Jo mer last, jo mer profitabel er frakten og jo høyere er avgiftene¹. Skipets lastekapasitet måles med *dødvekten* på skipet. Dødvekten er den totale vekt et skip kan frakte medregnet motor-rom, oppholdsrom for mannskap, drivstoff, utrustning og ballast-tanker. Dødvekten er differensen mellom vekten på vannet som skipet fortrenger med full last og utrustning og vekten som vannet fortrenger bare med sin egen vekt². Den siste vekten kalles *lettvekt* ("lightweight") og er altså skipets egenvekt fullstendig uten last, utrustning og drivstoff. Summen av dødvekt og lettvekt kalles *fortrengnings-vekten* ("displacement weight").

Ethvert skip har en *vannlinje* ("waterline"). Denne linjen markerer den delen av skipet som er over vannflaten når det har full last. Avstanden fra vannlinjen til laveste punkt på det øverste, sammenhengende dekket kalles *freeboard*³. Skip er pålagt å ha en viss størrelse på freeboard for å hindre overlast og sikre en viss oppdrift. Vannlinjen skal derfor markeres synlig på alle skip for å markere hvor langt ned i vannet skipet kan ligge. Denne linjen kalles også Plimsoll line. Avstanden fra skipets bunn til vannlinjen kalles skipets *dybdegang* "(draft)". Dette må skilles fra skipets dybde som er dybdegangen pluss freeboard. Dybden er således avstanden fra skipets bunn til laveste punkt på øverste sammenhengende dekk.

Fra 1720 ble skipets dødvekt beregnet etter skipets lengde og bredde. I 1954 ble dette systemet erstattet av Moorsom-systemet som beregnet skipets lastekapasitet etter dets indre volum som kan brukes til å frakte gods eller passasjerer⁴. Dette systemet ble nedfelt i britisk lov og ble etter hvert en internasjonal standard. Vekten på skipet ble antatt å være proporsjonal med lastekapasitet målt i volum. I 1969 ble det utarbeidet en internasjonal konvensjon for beregning av skipsvekter av IMO, International Maritime Organization, som er en spesial-organisasjon under FN. Denne konvensjonen gjelder for alle skip fra og med juli 1994 med følgende unntak:

- Krigsskip
- Skip som er kortere enn 24 meter
- Skip som bare navigerer
 - ✓ De store sjøer i Nord-Amerika
 - ✓ River Plate, Argentina
 - ✓ Parana og Uruguay-elvene i Sør-Amerika

¹ <http://en.wikipedia.org/wiki/Tonnage>

² <http://www.gjenvick.com/SteamshipArticles/1932-06-28-ShipTonnageExplained.html>

³ http://en.wikipedia.org/wiki/Plimsoll_line#Load_line

⁴ <http://www.simsl.com/articles/tonnage.asp>

De følgende definisjoner gjelder i konvensjonen:

- Brutto-tonnasje ("Gross tonne") er et totalmål for alle innelukkede rom på skipet
- Netto-tonnasje ("Net tonnage") er et mål på den delen av skipets innelukkede rom som kan brukes til last.

Hverken brutto-tonnasje eller netto-tonnasje er mål på vekt. Både brutto-tonnasje og netto-tonnasje er indekser som brukes til å bestemme krav til skipets bemanning, sikkerhetstiltak, havneavgift og registreringsavgift i skipsregister. Disse målene er indekser i den forstand at de er enhets-nøytrale, de uttrykker ikke vekt eller volum selv om volum inngår i beregningene av indeksene. I denne sammenheng er det viktig at ingen av målene uttrykker skipets vekt, hverken den vekt skipet kan frakte eller skipets egenvekt.

Vi har dermed følgende definisjoner som angår skipets vekt:

- Fortregningsvekten ("displacement weight") som et mål på vekten av den totale mengde vann som skipet fortrenger med full last, inkludert skipets egenvekt eller lettvekt.
- Lettvekt er skipets egenvekt.
- Dødvekt, et mål på den totale mengde innhold som skipet har, inklusive frakt, drivstoff, mannskap og ballast-tanker. Dette er vekten av vannet som skipet fortrenger minus skipets egenvekt.

Vi skal i det følgende presentere ulike måter å estimere et skips egenvekt på. Poenget med å bruke flere tilnærminger er å oppnå triangulering. Dette er en metode som går ut på å betrakte et fenomen på flere mulige alternative måter for dermed å prøve å oppdage trekk ved fenomenet som er vanskelig å oppdage med bare en tilnærming. Vi starter med en volum-basert tilnærming. Deretter skal vi se på noen tilnærminger som bruker regresjonsanalyse med ulike avhengige og uavhengige variabler.

Volumbasert estimat

For å beregne skipets egenvekt må vi først beregne fortregnings-vekten og dødvekten. Lettvekta eller skipets egenvekt er differansen mellom disse.

Et skips fortregningsvekt beregner vi på denne måten ⁵:

$$d = l * b * dr * bc * swd$$

hvor

- l er skipets lengde,
- b er skipets bredde,
- dr er skipets dybdegang, den delen av skipets dybde som er under vannlinjen,
- bc er en "block coefficient"
- swd er tettheten til sjøvann som er 1,025 tonn pr m³ ved vanlig gravitasjonskraft.

⁵ Se <http://www.answers.com/topic/tonnage> og <http://en.wikipedia.org/wiki/Tonnage>

En "block coefficient" måler følgende ⁶: Om skipet kan settes inn i en stor boks, vil koeffisienten måle hvor godt skipet fyller ut denne boksen ⁷. Containeren utgjør et rektangel med dimensjoner lik skipets lengde, bredde og dybde. Jo mer av boksen som fylles ut av skipets form, jo større er koeffisienten. Jo større verdi koeffisienten har, jo saktere vil skipet gå alt annet likt ⁸. Motstanden blir større siden skipet må fortrenge en større mengde vann. Blokk-koeffisienten måler volumet på vannet som båten fortrenger relativt til volumet på rektangelet som er definert med skipets lengde, bredde og dybdegang. Koeffisienten kan derfor aldri bli større enn 1. Volumet på vannet som skipet fortrenger er identisk med skipets volum. Dette volumet vil variere med formen på skroget siden bredden på skroget ikke er lik over hele skipets lengde. To skip kan ha forskjellig volum selv om de har samme bredde, høyde og dybdegang fordi formen på skroget for de to skipene er ulike. Disse skipene vil også ha ulike verdier på blokk-koeffisienten.

For å beregne formelen ovenfor må vi kjenne blokk-koeffisienten for ulike typer skip samt skipets dybdegang, den delen av skipets dybde som vil befinne seg under vann når skipet frakter last.

Norsk Internasjonalt Skipsregister inneholder informasjon om lengde, bredde og dybde for alle skip som er registrert i registeret. I tillegg inneholder registeret informasjon om hovedmaterialet som er brukt i skipet ⁹. Registeret inneholder ingen informasjon om skipets dybdegang eller blokk-koeffisienter for skipet.

I følge boka "Ship Design" ¹⁰ kan vi skille mellom dybdegang og dybde ("draft" og "depth") for følgende typer skip:

Tabell 1 Relativ forhold mellom dybde og dybdegang for ulike typer skip

| Skipstype | Prosentdel av total dybde som er under vann |
|--|---|
| Oljetankere | 80% |
| Generelle bulkskip ("general cargo ships") | 75% |
| LNG/LPG-tankere | 50% |

Ved hjelp av tabellen kan vi konstruere dybdegang for flere typer skip. Om skipet ikke er en oljetanker eller en LPG/LNG tanker vil vi bruke prosentdelen for generelle frakteskip.

⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Block_coefficient

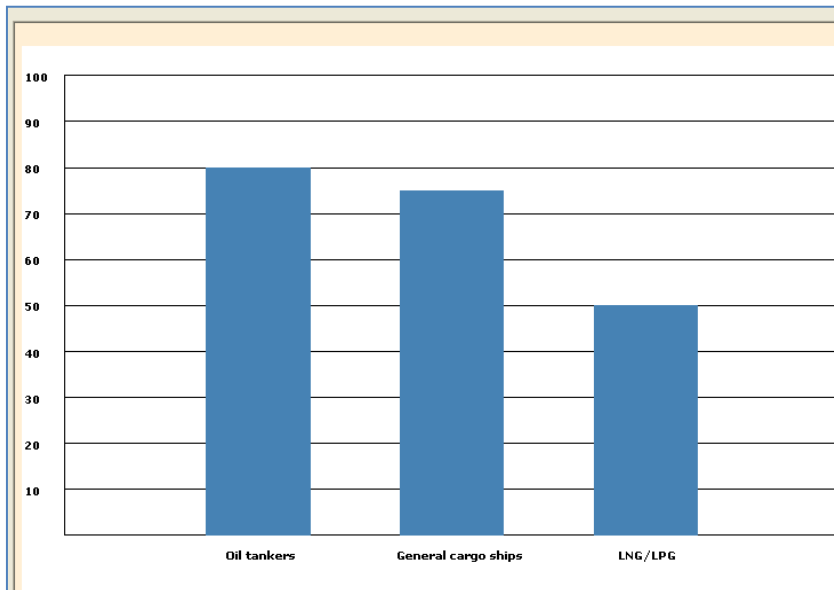
⁷ <http://www.solarnavigator.net/hullform.htm>

⁸ <http://charlesroring.blogspot.com/2009/05/propeller-and-ships-hull.html>

⁹ Se <http://www.nis-nor.no/S%C3%B8k/SkipAktuelleData.aspx>

¹⁰ Barrass, C.B.: *Ship design and performance for masters and mates*, Butterworth-Heinemann, ISBN: 978-0-7506-6000-6, side 15.

Figur 1 Prosentvis andel av total dybde nedsenket under vann



Figur 1 er en reproduksjon av Tabell 1.

Samme sted finnes en oversikt over blokk-koeffisient for ulike typer skip:

Tabell 2 Blokk-koeffisient for ulike typer skip¹¹

| Type skip | Block coefficient |
|---|-------------------|
| Supertankere | 0,825 |
| Oljetankere | 0,8 |
| Store bulkskip | 0,825 |
| Små bulkskip | 0,775 |
| Generelle frakteskip ("general cargo ship") | 0,7 |
| Passasjerskip | 0,625 |
| Containerskip | 0,575 |

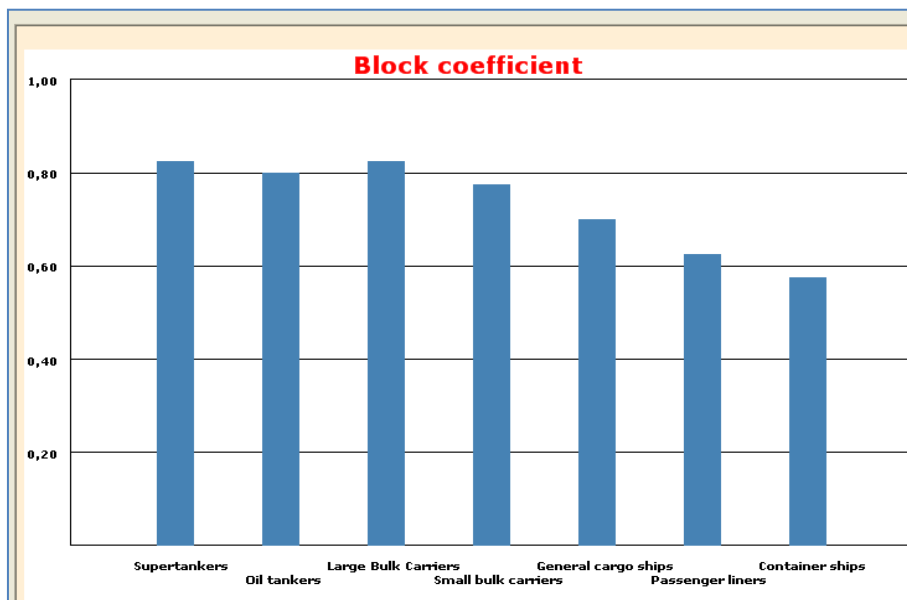
Ved hjelp av disse tabellene kan vi konstruere fortrengningsvekten med utgangspunkt i informasjon tilgjengelig i Norsk Internasjonalt skipsregister. For alle skip finnes informasjon om dødvekten for skipet. Hverken Norsk Internasjonalt Skipsregister eller rederiene oppgir skipets egenvekt. Denne må følgelig beregnes. Vi kan finne egenvekten for skipene som differensen mellom foretrengningsvekt og dødvekt. Vi skal bruke Bergesen-skipet *Berge Atlantic* som eksempel på utregning. I følge Norsk

¹¹ *ibid.*, side 64.

Internasjonalt Skipsregister er skipet et "vanlig bulkskip". I følge rederiet har skipet en dødvekt på 172 704 tonn¹². For å finne egenvekten gjenstår å beregne fortrennings-vekten for skipet.

Figur 2 viser blokk-koeffisienter for ulike typer skip. Figuren er en reproduksjon av Tabell 2.

Figur 2 Blokk-koeffisient for ulike typer skip



Berge Atlantic er bygd i 1998 ved verftet Hyundai Heavy Industries Co. Ltd. i Ulsan, Sør-Korea. Skipet tilhører BW-gruppen. I Norsk Internasjonalt Skipsregister står skipet oppført med disse målene:

Tabell 3 Dimensjoner for Berge Atlantic. Alle tall i meter.

| | |
|--------|--------|
| Lengde | 291,76 |
| Bredde | 48 |
| Dybde | 23,7 |

Det tyske nettstedet vesseltracker.com inneholder informasjon om ulike skip som nettstedet følger posisjonen til¹³. Informasjonen om Berge Atlantic i Tabell 4 er hentet fra dette nettstedet.

Tabell 4 Dimensjoner for Berge Atlantic fra Vesseltracker.com

| | |
|-----------|-------|
| Dybdegang | 17,11 |
| Freeboard | 6,59 |

For å beregne fortrenningsvekten må vi kjenne dybdegangen til skipet. La oss først forsøke å beregne denne ut fra tall i Tabell 1 og Tabell 3. Deretter kan vi sammenligne med de faktiske tall i

¹² <http://www.bwgas.com/wps/wcm/connect/bwgasinterlib/bwgasAintersite/BW+Gas/Fleet/BW+Group+fleet/>

¹³ Vesseltracker.com GmbH er et nettsted som tilbyr tjenester som gjør det mulig å følge skips bevegelser ved hjelp av AIS (se http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Identification_System). I tillegg inneholder nettstedet informasjon om de enkelte skip, bl a annet om lengde, bredde, dybde, dybdegang og fribord for mange skip. Se <http://www.vesseltracker.com/app>

Tabell 4. Den totale dybden inkluderer freeboard som er avstanden fra vannlinjen til laveste punkt på øverste sammenhengende dekk. I følge Tabell 1 vil vannlinjen være ved om lag 75% av den totale dybden for et vanlig bulk-skip dersom vi bruker verdien for skipskategorien "general cargo ship". Dette innebærer at tre fjerdedeler av skipets dybde er nedsenket i vann når skipet er i fart. Vi beregner således dybdegangen til å være $0.75 \cdot 23,7 = 17,775$ meter. Vi ser av Tabell 4 at den faktiske dybdegang for Berge Atlantic er 17,114 meter med et fribord på 6,59 meter.

Videre må vi estimere blokk-koeffisienten for Berge Atlantic for å finne fortrenningsvekten. Ifølge en IMO-rapport om utslipp av CO₂ fra skipsfart fantes 7392 bulk-skip i drift i 2007¹⁴. Disse bulk-skipene kan deles inn i kategorier etter deres dødvekt-tonn. Tabell 5 viser resultatet. Det største bulk-skipet i verden er Berge Stahl som tilhører BW-gruppen. Skipet har en dødvekt på 364,767 tonn. Middelverdien for vekten til de største skipene over 200 000 tonn dødvekt i Tabell 5 er derfor satt til 280000 tonn dødvekt.

Ut fra Tabell 5 kan vi konstruere en veid gjennomsnittlig dødvekt-tonn for alle bulkskip. Denne gjennomsnitts-vekten er på 52 876 dødvekt-tonn. Berge Atlantic har 172 704 dødvekt-tonn. Vi kan derfor slutte at Berge Atlantic er en stor bulkbåt.

Ut fra dette resonnementet velger vi derfor blokk-koeffisient faktoren fra Tabell 2 for store bulkskip. For Berge Atlantic blir dermed blokk-koeffisienten 0,825.

Tabell 5 Bulk skip etter dødvekt-tonn. Antall i ulike grupper.

| Dødvekt, midtpunkt | Antall | Veid midtpunkt |
|--------------------|--------|----------------|
| 280000 | 119 | 4 508 |
| 150000 | 686 | 13 920 |
| 75000 | 1513 | 15 351 |
| 47500 | 1864 | 11 978 |
| 22500 | 2090 | 6 362 |
| 5000 | 1120 | 758 |
| | | |
| Sum | 7 392 | 52 876 |

Vi kan nå beregne fortrenningsvekten for skipet slik:

$$d = l * b * dr * bc * swd$$

$$= 291,76 * 48 * 17,11 * 0,825 * 1,025 = 202 626$$

Denne fortrenningsvekten angis i tonn. Skipets egenvekt eller lettvekt kan nå regnes ut slik:

$$e = d - dwt$$

¹⁴ Buhaug, Ø.; Corbett, J. J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D. S.; Lee, D.; Lindstad, H.; Mjelde, A.; Pålsson, C.; Wanqing, W.; Winebrake, J. J.; Yoshida, K: *Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships: Phase I Report*; International Maritime Organization (IMO) London, http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D23703/INF-6.pdf , tabell 14, side 30

hvor

- e=egenvekt eller lettvekt,
- d=fortrengningsvekten ("displacement weight") og
- dwt er skipets dødvekt.

I følge rederiets egne opplysninger har Berge Atlantic en dødvekt på 172 704 tonn ¹⁵. Skipet er oppført som "Dry bulk vessel". Med denne dødvekta blir skipets egenvekt = $202\ 626 - 172\ 704 = 29\ 922$ tonn basert på volum-tilnærmingen.

Regresjonstilnærmings

Nettstedet vesseltracker.com bruker det såkalte AIS-systemet for å lokalisere og identifisere skip. AIS står for Automatic Identification System ¹⁶. Systemet baserer seg på en integrering av VHF radio system for mottak av signal sammen med et elektronisk navigeringssystem (f eks GPS eller LORAN-C). Systemet gjør det mulig å følge et skips bevegelser. Skipets lokalisering lagres i en database og gjøres tilgjengelig over Internet gjennom en vanlig nettleser. I tillegg til informasjon om et skips lokalisering inneholder nettstedet en del informasjon om hver av de ulike skip. For mange skip inneholder nettstedet også informasjon om "loadline" det vil si den linjen på båten som vannet når opp til når båten har full last. Dette er et mål på hvor mye vann skipet fortrenger. For enkelte skip registreres også "displacement lightship". Dette er den vekt med vann som et skip fortrenger kun med sin egen vekt. Denne vekten er identisk med skipets egenvekt.

I tillegg har enkelte rederier detaljert informasjon om sine egne skip. Frontline er et slikt rederi ¹⁷. Her er de fleste skip i flåten registrert med informasjon om "loadline" og egenvekt. Vi har samlet informasjon om 80 skip med registrert egenvekt. Vi vil forsøke å estimere egenvekten basert på dødvekten med å bruke regresjonsanalyse. Hensikten med analysen er å finne en enkel måte å estimere egenvekten på dersom dødvekten er kjent. Dødvekt for skip eller grupper av skip er lett å finne, f eks i Norsk Skipsregister, på nettstedet Vesseltracker.com eller i den nevnte rapporten fra IMO. Derfor vil det være lett å finne egenvekten om vi kan finne en omregningsformel fra dødvekt.

Vi har ikke funnet informasjon om egenvekt for fiskebåter, tau-båter og forsyningskip. Disse er derfor er ikke inkludert i analysen.

Tabell 6 viser skip inkludert i analysen fordelt på skipstype. Det er en klar overvekt av olje -tankere. I tillegg er skipene inndelt etter om de har enkelteller dobbelt skrog. Vi antar at skip med doble skrog har høyere egenvekt enn skip med enkelt-skrog selv om de har samme dødvekt-tonn. I vedlegget bak er alle skip som er med i analysen dokumentert.

Tabell 6 Skip med egenvekt fordelt på skipstype og skrog-type

| | Single hull | | Double hull | |
|-----------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| Skipstype | Antall | Gjennomsnittlig dødvekt | Antall | Gjennomsnittlig dødvekt |

¹⁵ <http://www.bwgas.com/wps/wcm/connect/bwgasinterlib/bwgasAintersite/BW+Gas/Fleet/BW+Group+fleet/>

¹⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Identification_System

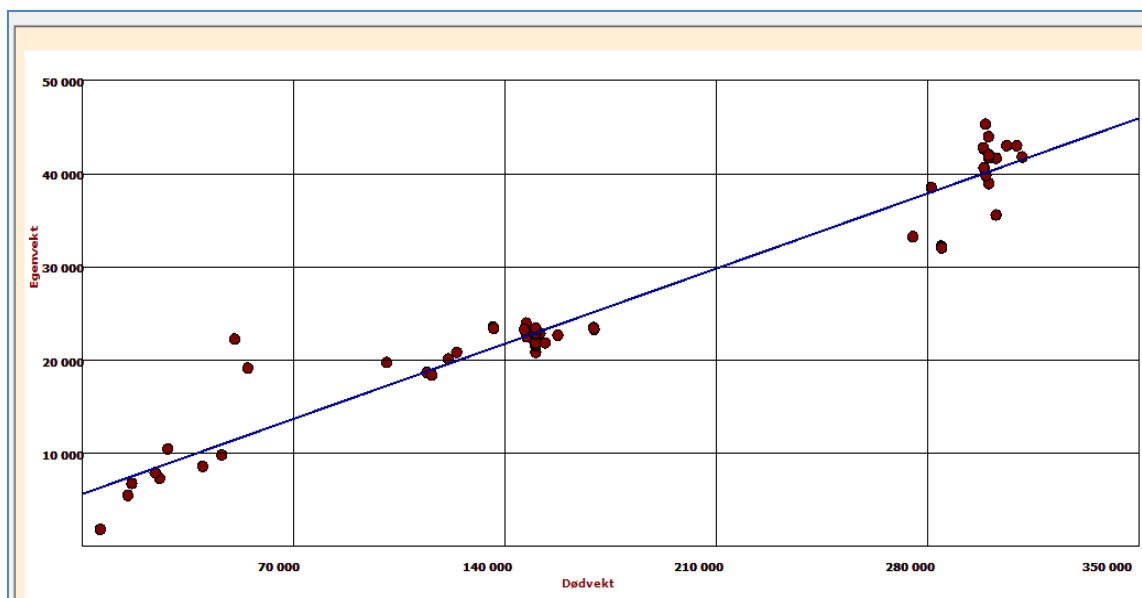
¹⁷ Se <http://www.frontline.bm/>

| | | | | |
|--------------------|----|---------|----|---------|
| Bulk-skip | 1 | 23 940 | 7 | 160 985 |
| Kjemikalie-tankere | | | 3 | 15 378 |
| LNG-tankere | 1 | 28 095 | 1 | 16 228 |
| LPG-tankere | | | 2 | 52 426 |
| Olje-tankere | 8 | 238 123 | 57 | 223 688 |
| Sum | 10 | 195 702 | 70 | 200 633 |

Olje-tankere inkluderer tankskip som transporterer alle typer olje-produkt, ikke bare råolje-tankere.

Figur 3 viser sammenhengen mellom dødvekt og egenvekt. Det er naturlig nok en klar sammenheng. Vårt poeng her er ikke å teste om denne sammenhengen eksisterer¹⁸, det er bestemt ut fra skipenes konstruksjon. Vi ønsker å finne et kvantitativt uttrykk for denne sammenhengen slik at vi kan bruke dødvekten som en predikator for egenvekten. Formelen for denne sammenhengen er representert med den rette linjen i figuren.

Figur 3 Sammenheng mellom dødvekt-tonn og egenvekt



Vi regner ut formelen for regresjonslinjen med OLS (minste kvadraters metode). Figuren viser at linjen en god indikator på egenvekten dersom vi kjenner dødvekten, punktene som representerer skip ligger ikke langt fra den rette linjen. I figuren er det ikke skilt mellom ulike skipstyper eller mellom ulikheter i skrog (dobbel- eller enkelt-skrog).

Vi formulerer følgende bivariate, lineære regresjonsmodell:

$$Y = b_0 + b_1X + e$$

hvor

Y = skipets egenvekt,

¹⁸ Derfor foretar vi ingen signifikantesting av regresjonskoeffisienter. Vårt mål er prediksjon, ikke årsaksforklaring.

X = skipets dødvekt

e = feilledd, avvik fra regresjonslinjen

og b_0 og b_1 er ukjente regresjonskoeffisienter som beregnes i regresjonsanalysen

En regresjonsanalyse med denne modellen gir følgende estimat for den lineære regresjonslinjen:

$$Y = 5676,776 + 0,115X$$

Denne formelen vil gi egenvekter som ligger på den rette linje i Figur 3. Regresjonskoeffisienten b_1 har en verdi på 0,115. Det betyr at for hvert tonn dødvekten øker, vil den estimerte egenvekt øke med 115 kilo.

Vi kjenner Berge Atlantic's dødvekt. Den er på 172 704 tonn. Ved å bruke denne formelen kan vi derfor anslå Berge Atlantic's egenvekt til å være:

$$Y = 5676,776 + 0,115 * 172704 = 25 560 \text{ tonn}$$

Den volumbaserte tilnærming ga et vektestimert for Berge Atlantic på 29 922 tonn. Det nye vektestimert for Berge Atlantic er 4 362 tonn lavere.

Front Climber er et Frontline bulk-skip med en dødvekt på 149 999 tonn. Skipet er med i figur 5 og er dermed brukt i utregningen av regresjonskoeffisientene ovenfor. Vi kjenner derfor dette skipets egenvekt. Følgelig kan vi bruke formelen fra regresjonsanalysen til å sjekke hvor godt vi treffer med estimering av skipets egenvekt. Setter vi inn Front Climber's dødvekt i formelen ovenfor får vi

$$Y = 5676,776 + 0,11513 * 149999 = 22 946 \text{ tonn}$$

Vedlegget bak viser at den faktiske egenvekten for Front Climber er 23 269 tonn, altså et avvik på 323 tonn eller 1,4% av skipets faktiske vekt. Front Guider er et skip med 169 142 tonn dødvekt som også er med i analysen. Gjør vi samme beregningen for dette skipet finner vi en estimert egenvekt på 25 150 tonn. Den faktiske egenvekten er på 23 509, altså et avvik på 1 641 tonn eller 7%.

Tabell 7 Prosentvis avvik faktisk-predikert vekt

| Prosentvis avvik | Antall | |
|------------------|--------|---------|
| 0-5 | 41 | 51,3 % |
| 5-10 | 21 | 77,5 % |
| 10-15 | 8 | 87,5 % |
| 15-25 | 6 | 95,0 % |
| 25-50 | 3 | 98,8 % |
| 50-100 | 0 | 98,8 % |
| 100-300 | 1 | 100,0 % |
| | | |
| SUM | 80 | |

Tabell 7 viser prosentvis avvik faktisk-predikert vekt for skipene som er med i analysen. Avvikene er målt som absolutte størrelser, det vil si at fortegnene er fjernet. Den første kolonnen skal leses slik at det er avvik i rekkevidden fra og med det første tallet og til, men ikke til og med, det andre tallet. Således er det 41 skip som har avvik fra 0 til, men ikke til og med, 5%.

Tabellen viser at 62 av 80 skip har mindre enn 10% avvik mellom faktisk og predikert vekt fra regresjonsmodellen. Dette tilsvarer 77,5% av alle skip som er med i analysen. Et skip har 240% avvik, det er kjemikalie-tankeren Kalia som har en faktisk egenvekt på 1 865 tonn og en predikert vekt på 6 341 tonn.

Dersom vi tar ut Kalia vil estimert vekt for Berge Atlantic endre seg med 94 tonn eller omlag en tredels prosent av estimert vekt på 25 560 tonn. Denne endringen er så marginal at vi har valgt å ta med alle observasjonene.

Tabell 7 viser at vår regresjons-tilnærming gir et rimelig bra estimat av skipenes egenvekt. Regresjonsmodellen viser at dødvekten alene forklarer 94,5% av variasjonen i egenvekten (Adjusted $R^2=0,945$).

Vi kan utvide analysen ved å inkludere skrog-type i modellen. Egenvekten blir nå predikert på grunnlag av to variable, dødvekt og skrogtype, og ikke bare dødvekt som tidligere. Vi får dermed en multivariat, lineær regresjonsmodell:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \varepsilon$$

hvor

Y =Skipets egenvekt

X_1 =Skipets dødvekt

X_2 =Skipets skrogtype (1 om skroget er dobbel, 0 ellers)

b_0, b_1 og b_2 er regresjonskoeffisienter, ukjente størrelser som modellen estimerer

ε er modellens feilledd (avvik fra regresjonslinjen)

En estimering av denne modellen gir følgende formel for regresjonslinja

$$Y=2041,9006+0,115 * X_1 + 4210,095 * X_2$$

Formelen forteller oss at dersom to skip har identisk dødvekt men ulik skrog vil det skipet med dobbelt skrog ha en forventet mer-vekt på 4210 tonn. Tabell 8 viser avviks-analyse med denne regresjonsmodellen. Avviket er målt som faktisk-predikert vekt i prosent av faktisk egenvekt.

Tabell 8 Prosentvis avvik faktisk-predikert vekt med dødvekt og skrog-type som predikator

| Prosentvis avvik | Antall | Kumulativ pst. |
|------------------|--------|----------------|
| 0-5 | 40 | 50,0 % |
| 5-10 | 28 | 85,0 % |

| | | |
|---------|----|---------|
| 10-15 | 2 | 87,5 % |
| 15-25 | 4 | 92,5 % |
| 25-50 | 5 | 98,8 % |
| 50-100 | 0 | 98,8 % |
| 100-300 | 1 | 100,0 % |
| | | |
| Sum | 80 | |

Tabellen viser at 68 av 80 skip har mindre enn 10% avvik mellom faktisk og predikert vekt fra regresjonsmodellen. Det tilsvarer 85% av alle skip som er med i analysen. Dette er 7,5% mer enn hva vi fant i avvikanalysen med modellen hvor bare dødvekt brukes som predikator. Modellen med skrogtype inkludert forklarer 95,6% av varians i egenvekt, altså bare marginalt mer enn modellen hvor bare dødvekten ble brukt som predikator.

Med denne modellen vil Berge Atlantic få en egenvekt på 21 882 tonn siden skipet har enkelt skrog. Front Climber vil få et avvik på -215 tonn (faktisk vekt er minst) som tilsvarer 0,09%, mens Front Guider vi få et avvik på -2 174 tonn eller 9,2%.

Vi velger å bruke resultatene fra den første regresjonsmodellen hvor bare dødvekt ble brukt som predikator. Det er to grunner til dette. For det første viser avvik-analysen at det ikke er store forskjeller mellom modellene. For det andre vil vi bruke resultatet fra regresjonsmodellen til å predikere vekten i ulike grupper av skip for å beregne energibruk og utslipp av CO₂ forbundet med produksjon av skipene. Når vi deler skip inn i grupper har vi ingen informasjon om hva slags skrog skipene har. Tabellen i vedlegget med skip som er brukt i regresjonsmodellen viser at variasjon i skrog-type ikke er entydig mellom grupper av skip. Dette betyr at enkle og doble skrog forekommer i alle grupper. Vi bruker derfor modellen med bare dødvekt-tonn som predikator siden dette vil lette beregningen av egenvekt, energibruk og utslipp av CO₂ for andre skip.

Regresjonstilnærming med faktor-estimering

En annen mulighet kan være å transformere eller omformulere den avhengige variabelen i regresjonsmodellen. Vi har hittil definert alle variablene i modellen på nivåform, det vil si at de er målt uten noen form for transformasjon. Siden variablene egenvekt og dødvekt er komplementære vil sammenhengen mellom dem være åpenbar, det er en *konstruert* sammenheng.

Et alternativ er å transformere egenvekten slik at vi analyserer egenvektens andel av dødvekten. Det er ikke åpenbart hvordan denne andelen endrer seg når dødvekta øker. Ved å omformulere den avhengige variabelen kan vi få fram *trender* i sammenhengen mellom dødvekt og egenvekt som er vanskelig å se når variablene er målt på nivåform. Dersom andelen går ned når dødvekta øker har vi en *effektivitetstrend*, skipene ta mer last pr tonn egenvekt jo større de er. Om andelen går opp har vi det motsatte, en *ineffektivitetstrend*, de større skipene trenger mer forsterkning, utrustning og utstyr og kan dermed frakte mindre vekt pr tonn egenvekt enn de mindre skipene.

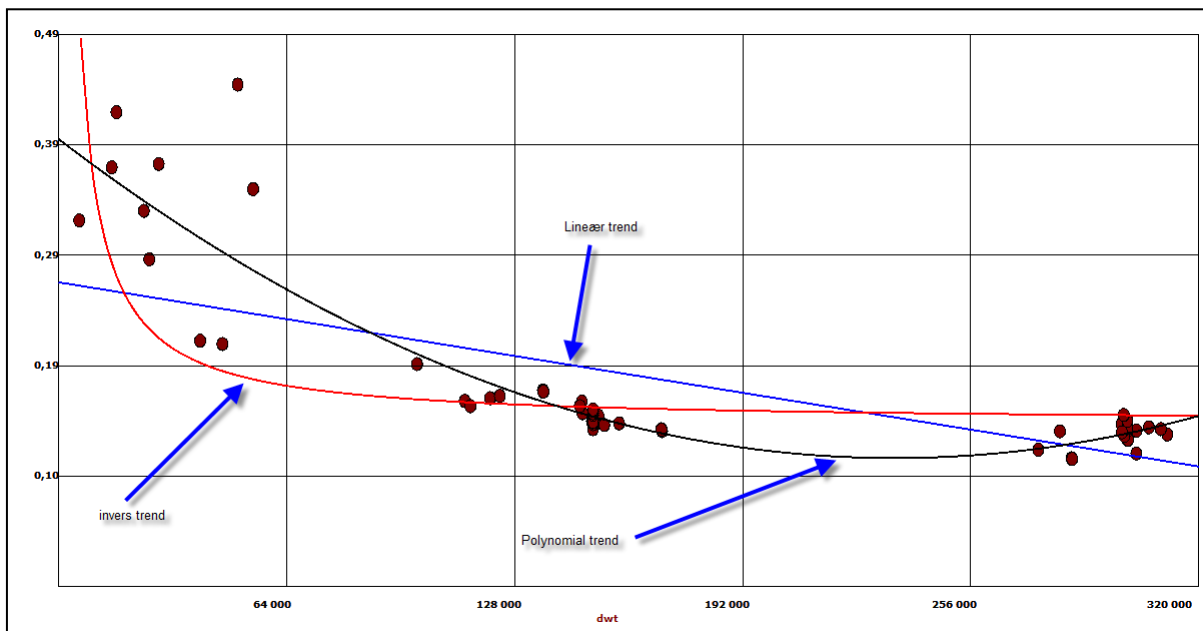
Andelen egenvekt av dødvekt kaller vi faktor. En faktor er en relasjon mellom to tall. I denne sammenhengen betyr faktor det relative forholdet mellom egenvekt og dødvekt. En fordel med

faktor-estimering er at egenvekten ikke kan bli større enn dødvekten. Med regresjon på nivåform vil det kunne skje.

Vi forventer en effektivitetstrend, de større skipene er mer effektive i form av lasteevne enn de små. Om ikke dette var tilfelle var det vanskelig å tenke seg grunnen til at det blir bygd så mange store skip. Men selv om andelen går ned og vi har en økning i effektivitet når dødvekten øker, kan vi tenke oss flere mulige varianter av denne trenden. Trenden kan være konstant, en økning i dødvekt utløser den samme reduksjon i andelen uavhengig av størrelsen på dødvekten. Dette er den lineære trenden. Eller trenden kan være asymptotisk, den kan nærme seg mer og mer en grenseverdi uten ikke overskride denne. Dette er den inverse trenden, det lønner seg å bygge stort, men økningen i effektivitet fra en dødvekt til en annen er avhengig av nivåene på disse dødvektene. Avstanden mellom to store skip er mindre enn avstanden mellom et stort og et lite skip. En økning i dødvekt vil alltid lønne seg, men gevinsten avtar med økende dødvekt.

Til slutt kan vi tenke oss at trenden er optimal. Dette er den polynome trenden, den innebærer at økningen i effektivitet gjelder til et visst punkt som er minimumspunktet for andelen som egenvekten utgjør av dødvekten. Dette minimumspunktet for andelen er maksimumspunktet for effektivitet. Ut over dette minimums-punktet vil effektiviteten avta. De største skipene er ikke mer effektive enn de store, men mer effektive enn de små. Grunnen kan være at de største skipene trenger forstrekninger av skrog og utrustning som gjør mindre effektive enn det optimale punktet. Det vil ikke alltid lønne seg å bygge stort, gevinsten opphører ved optimalpunktet.

Figur 4 Trender for sammenheng mellom dødvekt og andel egenvekt



Figur 4 viser de tre trendene for sammenhengen mellom dødvekt og egenvektens andel av dødvekten. Det er benyttet det samme datamaterialet som i modellen ovenfor. En lineær modell gir en R^2 på 0,504, tilsvarende verdi for den inverse modellen er 0,439 mens verdien for den polynomiale modellen er 0,842. Verdien for R^2 måler hvor stor del av variasjonen i egenvektens andel av dødvekten som vi greier å forklare med dødvekten. Målt på denne måten gir den polynomiale

modellen best tilpassing, den forklarer 1,7 ganger mer av variasjonen enn den lineære modellen og 1,9 ganger mer enn den inverse.

Vi har estimert følgende polynom-modell

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + e$$

hvor

Y = Andel egenvekt av dødvekt,

X1 = Dødvekt

b_0, b_1 og b_2 er regresjonskoeffisienter, ukjente størrelser som modellen estimerer

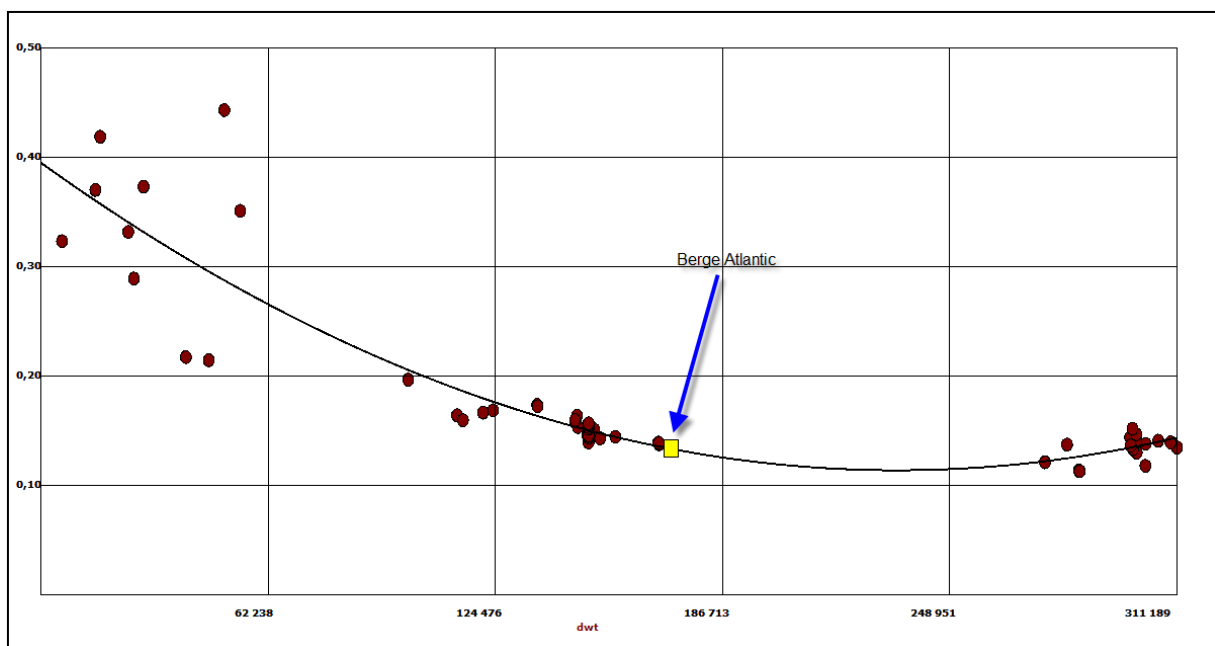
e er modellens feilledd (avvik fra regresjonslinjen)

En estimering av modellen gir følgende formel for regresjonslinja:

$$Y = 0,394878 + -0,0000024 * X + 0,0000000000051 * X^2$$

Setter vi inn Berge Atlantic's dødvekt på 172 704 tonn inn for X får vi en estimert andel for egenvekten på ,1331. For å finne estimert egenvekt multipliserer vi dette tallet med skipets dødvekt og får en estimert egenvekt på 22 990 tonn. Dette estimatet tar høyde for hvordan egenvektens *forhold* til dødvekten endrer seg marginalt når dødvekten endrer seg. Regresjonsmodellene på nivåform presentert ovenfor måler bare hvordan egenvektens nivå endrer seg, denne modellen viser hvordan egenvektens endring kan forstås relativt til dødvekten. Vi vil hevde at denne modellen gir en mer realistisk tilnærming til det faktiske forholdet mellom endring i dødvekt og egenvekt.

Figur 5 Berge Atlantic's tilpassing til trend-basert regresjonsmodell



Figur 5 viser Berge Atlantic's tilpassing til den trendbaserte regresjonsmodellen.

Tabell 9 viser avvikene fra denne modellen beregnet på samme måte som ovenfor. Det absolutte avviket mellom faktisk og predikert vekt er regnet i prosent av faktisk vekt. Tabellen viser at 80 prosent av skipene som er brukt til å beregne modellen har et avvik på mindre enn 10%. Det er omlag midt imellom de andre to modellene som er beregnet på nivåform ovenfor. Hele 90% av skipene som er med i modellen har et avvik på mindre enn 15%. Dette er 2,5 prosentpoeng mer enn for de to andre modellene. I denne modellen er det ingen avvik på mer enn 50% (største avvik er på 41,8%) , mens de to andre modellen ovenfor begge hadde ett skip i denne gruppen.

Tabell 9 Faktor-modell: Prosentvis avvik faktisk-predikert vekt med dødvekt som predikator

| Prosentvis avvik | Antall | Kumulativ pst. |
|------------------|--------|----------------|
| 0-5 | 50 | 62,5 % |
| 5-10 | 14 | 80,0 % |
| 10-15 | 8 | 90,0 % |
| 15-20 | 4 | 95,0 % |
| 20-25 | 1 | 96,3 % |
| 25-50 | 3 | 100,0 % |
| 100-300 | 0 | 100,0 % |

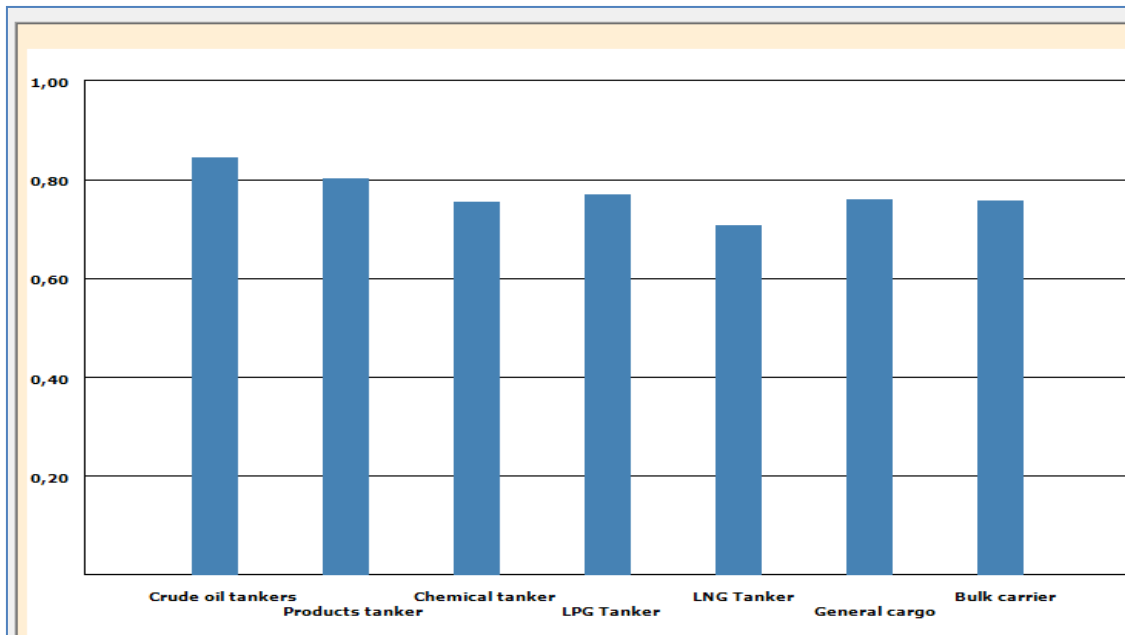
Blokk-koeffisient tilnærming

Problemet med regresjonstilnærmingen kan være at den ikke tar hensyn til at skip i ulike grupper har ulik utforming som kan gi ulike foretrengningsvekter. Et tankship og et bulkskip er bygd ut i fra ulike konsept, de er ment å dekke ulike transportbehov. Regresjonstilnærmingen antar en universal sammenheng mellom dødvekt og egenvekt for ulike typer skip. Dette innebærer at en økning i dødvekten vil gi den samme økning i egenvekt for alle typer skip. Dette kan være en urimelig tilnærming. For å sjekke dette vil vi bruke en tredje tilnærming. Vi vil estimere blokk-koeffisienten for de skip der vi kjenner foretrengningsvekten¹⁹. Denne estimeringen vil vi gjøre for ulike typer skip ved å beregne median blokk-koeffisient for ulike grupper. Deretter vil vi bruke denne blokk-koeffisienten til å beregne egenvekt for skip i ulike grupper.

Denne tilnærmingen har mye til felles med den volum-baserte tilnærming vi startet med. Forskjellen er at vi skal beregne blokk-koeffisienten med empiriske data i stedet for å bruke en typisk verdi hentet fra litteraturen slik vi gjorde i den første tilnærming.

Figur 6 Blokk-koeffisient for ulike typer skip

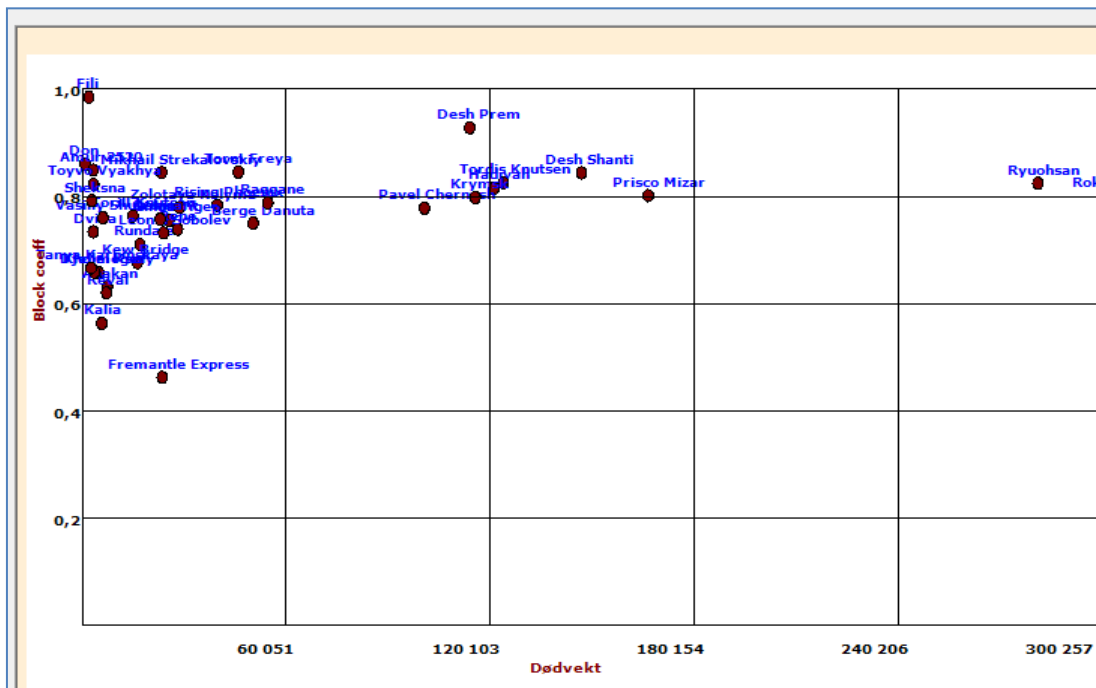
¹⁹ Det dreier seg om 35 skip. Ingen av skipene fra Frontline er registrert med lengde, bredde og dybde.



Figur 6 viser median blokk-koeffisient for ulike typer skip. Som figuren viser er median blokk-koeffisient noe høyere for olje-tankere og produkt-tankere enn for andre typer skip.

Berge Atlantic er et bulk-skip. I den volum-baserte tilnærming brukte vi en blokk-koeffisient på 0,82. Median for blokk-koeffisient for bulk-skip i Figur 7 er 0,76, altså lavere. Dette kan skyldes at de bulk-skip vi har registrert alle er mindre målt med dødvekt enn Berge Atlantic. Spørsmålet er derfor i hvilken grad blokk-koeffisienten varierer med størrelsen på skipet.

Figur 7 Sammenheng dødvekt-blokk-koeffisient



Figur 7 viser sammenhengen mellom skipets størrelse målt med dødvekt-tonn og skipets blokk-koeffisient. Figuren viser at det er en viss sammenheng. Følgende regresjonsmodell ble estimert:

$$Y = b_0 + b_1 X + e$$

hvor

Y=Blokk-koeffisienten for skipet,

X=Skipets dødvekt

b_0 og b_1 er regresjonskoeffisienter

Resultatet av estimering av regresjonsmodellen gir:

$$Y = 0,738731 + 0,00000042 * X$$

For Berge Atlantic vil dette gi en estimert blokk-koeffisient på 0,811 med en dødvekt på 172704 tonn. Dette er marginalt mindre enn 0,82 som vi brukte i den volum-baserte tilnærmingen. Med en blokk-koeffisient på 0,811 vil den estimerte egenvekt for Berge Atlantic bli på 26 544 tonn.

Regresjonsmodellen gir en Adjusted R^2 på 0,07, hvilket innebærer at dødvekta forklarer 7,2% av variasjon i blokk-koeffisienten. Dette er betraktelig mindre enn regresjonsmodellene vi brukte for å estimere egenvekten direkte fra dødvekten. Det er åpenbart at andre egenskaper enn dødvekten påvirker blokk-koeffisienten siden dødvekten er en funksjon av lengde, bredde og dybde på skipet. Vi bruker her imidlertid dødvekten som en *indikator* på tre andre egenskapene, som en måte å tilnærme oss blokk-koeffisienten på uten å kjenne lengde, bredde og høyde for skipet. Vår estimerte blokk-koeffisient stemmer også rimelig bra med den koeffisienten som er brukt i litteraturen. Regresjonslinjen i Figur 7 er beregnet bare med små bulk skip siden vi ikke har registrert fortrenningsvekt for bulk-skip større enn 28 645 dødvekt-tonn. Likevel stemmer våre estimat fra regresjonslinjen rimelig bra med de tall som er hentet fra litteraturen og som er presentert for større bulk-skip i Figur 2.

Oppsummering av estimat for Berge Atlantic

Tabell 10 viser de ulike estimat for egenvekten til Berge Atlantic. Vi ser at det første estimat med blokk-koeffisient hentet fra litteraturen gir det høyeste estimat. De andre estimatene skiller seg lite fra hverandre. Problemet med å bruke en blokk-koeffisient fra litteraturen er at vi ikke kan ta hensyn til hvordan egenvekten eller blokk-koeffisienten varierer med skipets størrelse målt med dødvekten. Vi kan ikke avdekke trender eller mønster i variasjon av egenvekt og blokk-koeffisient. Det er nettopp dette regresjonsmodellene avdekker. Vi vil derfor velge å bruke ett av regresjonsestimatenes for videre beregning av skips egenvekt. Det er ingen grunn til å gå veien om blokk-koeffisient når vi kan estimere egenvekten direkte. Den estimerte egenvekt tar indirekte hensyn til skipenes ulike lengde, bredde og dybde som vil gi ulik blokk-koeffisient. Dermed vil vi ta hensyn til ulik utforming av skip selv med en direkte estimering av egenvekt fra dødvekt.

Tabell 10 Vekt estimat for Berge Atlantic

| Modeller | Egenvekt i tonn |
|------------------------------------|-----------------|
| Blokk-koeffisient fra litteraturen | 29 922 |

| | |
|--|--------|
| Regresjon med dødvekt som predikator | 25 560 |
| Regresjon med dødvekt og skrog-type som predikatorer | 21 882 |
| Regresjon med trend (egenvektens andel av dødvekt som avhengig variabel) | 22 990 |
| Regresjon med dødvekt som predikator for blokk-koeffisient | 26 544 |

Vi vil i det følgende velge å bruke regresjonsmodellen med egenvektens andel som avhengig variabel. Denne modellen får fram trender i sammenhengen mellom dødvekt og egenvekt som de andre modellene skjuler. Estimert vekt for Berge Atlantic blir:

$$\text{Egenvekt} = 0,394878 - 0,0000024 * 172\,704 + 0,0000000000051 * 172\,704^2$$

hvor 172 704 er Berge Atlantic's dødvekt. Estimert egenvekt blir dermed 22 990 tonn.

Energibruk og CO₂-utslipp ved bygging av skip

Et skip består av flere materialer. Skroget utgjør det meste av skipets vekt. Vi skal derfor kun regne med skrogets materiale når vi beregner skipets vekt. Dette skyldes først og fremst at denne informasjonen er lett tilgjengelig. I tillegg vil et skip inneholde en del plastikk, blant annet i livbåter, møbler for mannskapet, sidelykter, tettningslister for vinduer, vannrør, elektriske kabler og ankerfortøyning²⁰.

I NIS-registeret er materialet for Berge Atlantic oppgitt til å være stål. Det tyske nettstedet vesseltracker.com oppgir skipets skrog til å være laget i stål²¹. Vi vil derfor regne stål som det dominerende materialet og se bort fra andre materialer som bare vil ha en marginal virkning på beregninger av energibruk og utslipp ved bygging av et skip.

Vi vil i det følgende konstruere gjennomsnittlig dødvekt-tonn for ulike kategorier skip ved å bruke rapporten fra IMO om utslipp av CO₂ ved framdrift av ulike typer skip. Ved å bruke resultat fra regresjonsanalysen presentert tidligere kan vi estimere egenvekt for disse kategorier skip.

La oss først se på energibruk og CO₂-utslipp for konstruksjon av et bulk-skip på størrelse med Berge Atlantic. Berge Atlantic er bygd i Sør-Korea. Tabell 11 viser skipsproduksjon etter land i 2008. Tabellen viser at Sør-Korea alene står for over 50% av verdens skipsproduksjon. I 2006 sto Sør-Korea for 36,5% av den totale skipsproduksjon som samtidig var 100% større i 2006 enn i 2008. Skipsproduksjon måles i brutto-tonnasje som altså ikke er et mål på skipets vekt, men på det totale indre volum skipet har.

Tabell 11 Skipsproduksjon etter land 2008

²⁰ Barrass, side 28.

²¹ Vesseltracker.com GmbH er et nettsted som tilbyr tjenester som gjør det mulig å følge skips bevegelser ved hjelp av AIS (se http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_Identification_System) . I tillegg inneholder nettstedet informasjon om de enkelte skip, bl a annet om lengde, bredde, dybde, dybdegang og fribord for mange skip. Se <http://www.vesseltracker.com/app>

| Land | 10,000 Brutto-tonn | % |
|------------------|-----------------------|------|
| Sør-Korea | 1240 | 50,6 |
| Kina | 840 | 34,3 |
| EU | 140 | 5,7 |
| Japan | 90 | 3,7 |
| Resten av verden | 140 | 5,7 |
| | | |
| Total | 2450 | 100 |

Vi kjenner ikke energibruk og CO₂-utslipp ved produksjon av stål i Sør-Korea. En rapport fra Berkeley National Laboratory²² om utslipp av CO₂ ved produksjon av stål i sentrale utviklingsland har ikke med Sør-Korea fordi det er vanskelig å skaffe data om energibruk ved stålproduksjonen i landet. Sør-Korea er ikke selvforsynt med stål. I 2006 importerte Sør-Korea 10,1 millioner tonn fra Kina. Japan eskorterte 7 millioner tonn til Sør-Korea mens Australia eksporterte 532 000 tonn.

Siden vi ikke har tilgang til data om energibruk og CO₂-utslipp fra produksjon av stål produsert i Sør-Korea kan det være rimelig å estimere disse data ved å se på den globale produksjonen.

Globalt sett er energibruken for ett tonn rå-stål 20,6 GJ/tonn²³. Dette er et veid gjennomsnitt for alle produksjonsmåter for stål. En nederlandsk studie rapporterer 22 GJ/tonne, dette inkluderer framstilling, prosessering og transport av primær-stål²⁴. En studie fra Berkeley University regner sluttenergi-bruken for ett tonn stål i Kina i 1996 til 30,74 GJ/tonn²⁵, med primærenergi-bruk anslått til 35,9 GJ/tonn.

Energibruken varierer selvsagt med produkt og kvalitet. En rapport fra The American Galvanizers Association anslår energibruken for galvanisering av stål til 3.4 – 5.3 GJ pr tonn stål, i tillegg til energibruken for framstilling av stålet før galvanisering²⁶. Utslipp av CO₂-ekvivalenter anslås samme sted til 0,1-0,33 tonn mer pr tonn galvanisert stål enn for vanlig stål. Varmevalset stål krever en primærenergi-bruk på mellom 2,3 og 5,4 GJ/tonn mer enn vanlig stål, for kaldvalset stål er merforbruket i forhold til varmevalset stål anslått til 1,6-28 GJ/tonn, i følge an rapport fra Berkeley Laboratories²⁷. Merforbruket for kaldvalset stål skyldes at dette stålet er tynnere enn varmevalset stål.

²² Se

http://proj.moeaidb.gov.tw/ghg/files/g035/30_%B6%7D%B5o%A4%A4%B0%EA%AEa%BF%FB%C5K%B7~%AF%E0%B7%BD%A8%CF%A5%CE%A4%CECO2%B1%C6%A9%F1.pdf

²³ http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/Sustainability%20Report%202008_English.pdf side 29

²⁴ <http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2005/s.m.lensink/thesis.pdf> side 35

²⁵ <http://ies.lbl.gov/iespubs/47205.pdf>, side 6-9

²⁶ http://www.galvanizeit.org/images/uploads/publicationPDFs/Alt_Energy_Low_Res_.pdf

²⁷ <http://ies.lbl.gov/iespubs/47205.pdf>, side 4

For sekundær-stål basert på stål-skrap anslås energibruken samme sted til 4-6,5 GJ/tonn. Dette inkluderer bare re-smelting av stålet. En nederlandsk studie anslår energibruken for sekundær-stål til 16 GJ/tonn, dette inkluderer framstilling, prosessering og transport²⁸.

Energibruk for stål varierer mye mellom land på grunn av ulike elektrisitetssmiks. Tabell 12 viser energibruken for produksjon av 1 tonn flytende stål i Nord-Amerika. Til sammen brukes 22,6 GJ for å produsere ett tonn med stål når hele produksjonskjeden tas i betraktning. Tabellen viser at tre-fjerdedeler av samlet energibruk kommer fra forbrenning av kull. Atomkraft står for 3,6% av samlet energibruk mens vannkraft har en helt ubetydelig del for stål produsert i Nord-Amerika.

Tabell 12 Energibruk for produksjon av 1 tonn stål i Nord-Amerika²⁹

| Energikilde | GJ/ tonn | tonn | GJ/ tonn stål | Prosent |
|------------------|-----------|-----------|---------------|---------|
| Kull | 26,4 | 0,089 | 2,4 | 10,4 |
| Kull fra bitumen | 24,8 | 0,589 | 14,6 | 64,7 |
| Vannkraft | | | 0,1 | 0,6 |
| Naturgass | 46,8 | 0,045 | 2,1 | 9,4 |
| Råolje | 42,0 | 0,061 | 2,6 | 11,3 |
| Atomkraft | 2291000,0 | 0,0000004 | 0,8 | 3,6 |
| | | | | |
| Sum | | | 22,6 | 100 |

Tabell 13 viser energibruk for framstilling av 1 tonn stål i Tyskland 2005 og Kina 1995. Den tyske produksjonen er basert på 80% fra EAF-produksjonsmåten basert på stålskrapp og 20% fra BOF-produksjonsmåten med framstilling av støpejern fra jemmalm. Vi kjenner ikke den samme sammensetningen av kinesisk stål fra 1995. Negative verdier i tabellen framkommer fordi en energikilde kan brukes både til framstilling av stålskrapp og til framstilling av primærstål. Om innsatsen av en energikilde er større for sekundærstål enn for primærstål vil fradraget for energikilden ved bruk av sekundærstål gi en negativ verdi ved framstilling av nytt stål.

Tabell 13 viser at energibruken er nesten 330% høyere i Kina enn i Tyskland for framstilling av et tonn stål. Dette skyldes hovedsakelig at det tyske stålet inneholder mer stålskrapp enn det kinesiske. I tillegg kommer forskjeller i elektrisitetssmiks og innsats av ulike energibærere direkte i produksjonen.

Tabell 13 Energibruk ved framstilling av 1 tonn stål Tyskland 2005 og Kina 1995³⁰

| Energikilde | Kina 1995 | | Tyskland 2005 | |
|-------------|-----------|---------|---------------|---------|
| | GJ/tonn | Prosent | GJ/tonn | Prosent |
| Atomkraft | 0,1 | 0,1 | -0,3 | -1,3 |
| Brunkull | 0,0 | 0,0 | -0,3 | -1,5 |

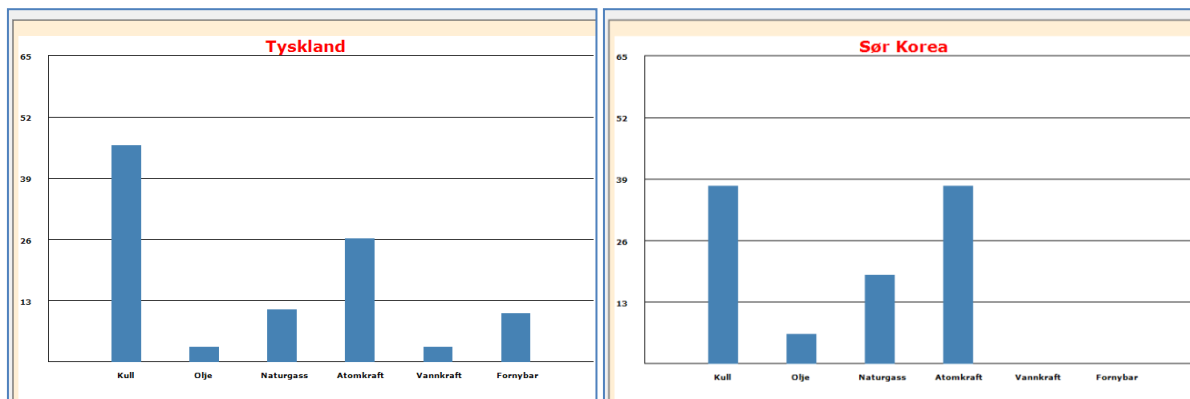
²⁸ <http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2005/s.m.lensink/thesis.pdf> , page 35

²⁹ <http://www.nrel.gov/lci/database/default.asp>

³⁰ fra <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php> , for Tyskland er betegnelsen Metall-Stahl-DE-mix-2005 valgt, for Kina Metall-Stahl-CN.

| | | | | |
|--------------|------|------|------|------|
| Steinkull | 16,4 | 19,2 | 15,2 | 76,2 |
| Naturgass | 0,0 | 0,0 | -0,6 | -3,1 |
| Råolje | 67,0 | 78,4 | 2,8 | 14,2 |
| Avfall | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -0,2 |
| Sekundærstål | 0,0 | 0,0 | 3,0 | 15,2 |
| Solenergi | | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Vannkraft | 2,0 | 2,3 | 0,1 | 0,6 |
| Vindkraft | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -0,1 |
| Total | 85,5 | | 19,9 | |

Figur 8 Elektrisitetsmiks Tyskland 2006 og Sør-Korea 2006 ³¹



Figur 8 viser elektrisitetsmiksen i Tyskland og Sør-Korea 2006, basert på statistikk fra det internasjonale energibyrået, IEA. Tyskland er valgt som et referanseland for å vurdere elektrisitetsmiksen i Sør-Korea. Figuren viser at Sør-Korea har en større andel atomkraft og en mindre andel kull enn Tyskland. Sør-Korea bruker også mer naturgass mens Tyskland bruker mer vannkraft og fornybar energi (vindkraft, solenergi, energi fra avfall).

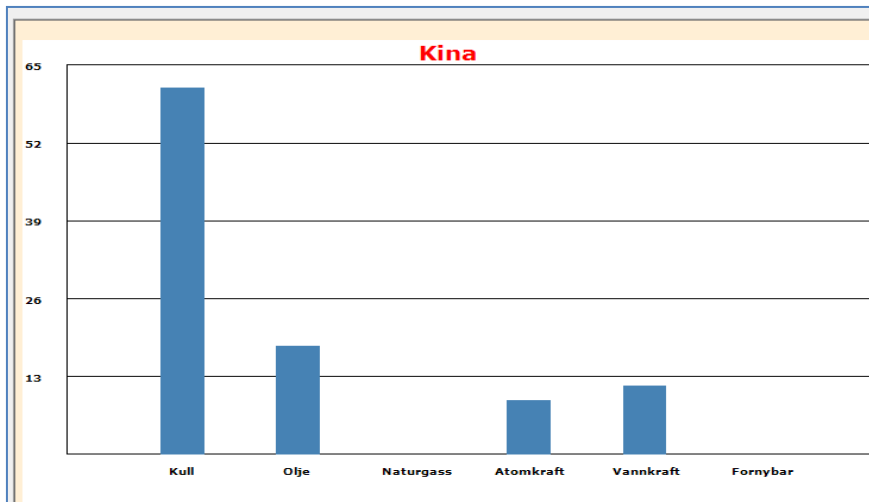
Figur 9 viser elektrisitetsmiksen i Kina i 2006. Kina har betydelig mer kull og olje og mindre atomkraft og naturgass enn Sør-Korea. Vi ser også at elektrisitetsmiksen i Kina ikke kan overføres direkte til produksjon av stål. Tabell 13 viser at Kina bruker betydelig mer olje til produksjon av stål enn det elektrisitetsmiksen skulle tilsi. Dette skyldes at olje brukes direkte i produksjonen og ikke bare til produksjon av elektrisitet.

Energibruken registrert i ProBas for kinesisk stålproduksjon fra 1995 synes å være høy. En studie fra Berkeley Laboratories om stålproduksjon i Kina anslår energibruken til 30,7 GJ/tonn, betydelig mindre enn de 85,5 GJ/tonn som er registrert i databasen ProBas.

Figur 9 Elektrisitetsmiks Kina 2006 ³²

³¹ http://www.iea.org/textbase/stats/pdf_graphs/DEELEC.pdf for Tyskland og http://www.iea.org/textbase/stats/pdf_graphs/KRELEC.pdf for Sør-Korea.

³² http://www.iea.org/textbase/stats/pdf_graphs/CNELEC.pdf



Ut fra denne diskusjonen velger vi å bruke et globalt gjennomsnitt for Sør-Koreas stålproduksjon. Målt med elektrisitmiks synes hverken Nord-Amerika, Tyskland eller Kina å være representative for Sør-Korea. Vi tar utgangspunkt i globale verdier for energibruk og CO₂-utslipp fra stålproduksjon og bruker disse for produksjon av skip i Sør-Korea. Siden Sør-Korea står for over halvparten av all skipsproduksjon i verden i 2006 benytter vi også disse data for skipsbygging generelt.

World Steel Organization gir i sin "Sustainability Report" for 2008 følgende estimat for global produksjon av stål:

Tabell 14 Energibruk og utslipp av CO₂ for global stålproduksjon

| | |
|-------------------------|--------------------|
| Energibruk | 20,6 GJ/tonn stål |
| Utslipp CO ₂ | 1,7 tonn/tonn stål |

Tabell 14 omfatter bare CO₂ og ikke CO₂-ekvivalenter. Estimater for energibruk fra ProBas for tysk stål-miks 2005 ligger veldig nære det globale estimat. I ProBas estimeres utslipp av CO₂-ekvivalenter i størrelsesorden 1,52 tonn/tonn stål, noe lavere enn det globale snittet. Gassen CO₂ står for 99,5% av utslipp av CO₂-ekvivalenter i estimatet fra ProBas, bare metan har i tillegg helt marginale utslipp av de gassene som er definert som drivhusgasser i Kyoto-protokollen³³. Vi bruker derfor estimat for CO₂-utslipp ensbetydende med utslipp av CO₂-ekvivalenter når det gjelder produksjon av stål.

Estimatet i Tabell 14 gjelder for stål. I skip brukes stålplater. Valsing av stål til stålplater krever mer energi. I rapporten fra Berkeley Laboratories anslås ekstra energibruk for produksjon av varmevalsete stålplater til mellom 2,3 og 5,4 GJ ekstra pr tonn varmevalset stål i forhold til vanlig stål. EUROFER, den europeiske organisasjonen for stålprodusenter, anslår utslipp av CO₂ til 2,036 tonn/tonn varmevalset stål³⁴. Vi vil derfor bruke følgende estimat i de videre beregninger for bygging av skip:

Tabell 15 Global energibruk og utslipp av CO₂ ved produksjon av 1 tonn varmevalset stål

| | |
|------------|--------------------|
| Energibruk | 24,45 GJ/tonn stål |
|------------|--------------------|

³³ http://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol

³⁴ <http://www.eurofer.org/index.php/eng/News-Publications/Publications> , page 42

| | |
|-------------------------|----------------------|
| Utslipp CO ₂ | 2,036 tonn/tonn stål |
|-------------------------|----------------------|

Med disse estimatene kan vi anslå energibruk og utslipp av CO₂ for produksjon av Berge Atlantic. Resultatet er i Tabell 15 Tabell 16. Alt i alt brukes det 562 TJ til produksjon av et skip av denne typen, med CO₂-utslipp på litt over 46 808 tonn. Energibruken svarer til nesten 156 GWh.

Tabell 16 Energibruk og utslipp av CO₂ for produksjon av Berge Atlantic

| | | |
|------------------------|--------|----------------------------|
| Egenvekt | 25 560 | tonn |
| Energi | 24,45 | GJ/tonn varmevalset stål |
| Energi totalt | 562 | TJ |
| CO ₂ | 2,036 | tonn/tonn varmevalset stål |
| CO ₂ totalt | 46 808 | tonn |

Beregninger av energibruk og CO₂-utslipp fra verdens skipsflåte

IMO har utarbeidet en rapport om reduksjon av CO₂-utslipp ved framdrift av ulike typer skip³⁵. I denne rapporten blir skip delt inn i hovedgrupper (oljetanker, produkt-tanker, bulk-skip etc). Innenfor hver hovedgruppe blir skipene gruppert etter dødvekt-tonn. For hver gruppe oppgis tallet på skip. Vi har beregnet egenvekt for et representativt skip i hver gruppe ved å beregne middelveiden for dødvekt-tonn i gruppen. Beregningen av egenvekt er gjort med regresjonskoeffisientene som er presentert i diskusjonen ovenfor og som ligger til grunn for estimatet av energibruk og CO₂-utslipp for produksjon av Berge Atlantic. Deretter er egenvekten multiplisert med energibruksfaktorer og faktorer for CO₂-utslipp som er presentert i Tabell 14. Tabell 17 viser resultatet av denne beregningen.

Tabell 17 Energibruk og CO₂-utslipp fra samlet skipsflåte

| Skipstype | Dødvekt | Egenvekt | Energi (TJ) | CO ₂ Tonn | Antall | Energi alle (TJ) | CO ₂ alle tonn |
|----------------------|---------|----------|-------------|----------------------|--------|------------------|---------------------------|
| Råolje-tankere | 300 000 | 40 606 | 993 | 82 674 | 494 | 490 452 | 40 840 891 |
| Råolje-tankere | 160 000 | 22 718 | 555 | 46 254 | 353 | 196 075 | 16 327 576 |
| Crude oil tankers | 100 000 | 20 616 | 504 | 41 974 | 353 | 177 931 | 14 816 707 |
| Råolje-tankere | 70 000 | 17 643 | 431 | 35 921 | 180 | 77 646 | 6 465 767 |
| Råolje-tankere | 35 000 | 11 102 | 271 | 22 604 | 245 | 66 504 | 5 537 883 |
| Råolje-tankere | 5 000 | 1 915 | 47 | 3 899 | 114 | 5 338 | 444 496 |
| Olje-produkt tankere | 60 000 | 16 163 | 395 | 32 907 | 198 | 78 246 | 6 515 681 |
| Olje-produkt tankere | 40 000 | 12 285 | 300 | 25 012 | 456 | 136 968 | 11 405 561 |
| Olje-produkt tankere | 15 000 | 5 401 | 132 | 10 996 | 193 | 25 486 | 2 122 236 |

³⁵ Buhaug, Ø.; Corbett, J. J.; Endresen, Ø.; Eyring, V.; Faber, J.; Hanayama, S.; Lee, D. S.; Lee, D.; Lindstad, H.; Mjelde, A.; Pålsson, C.; Wanqing, W.; Winebrake, J. J.; Yoshida, K: *Updated Study on Greenhouse Gas Emissions from Ships: Phase I Report*; International Maritime Organization IMO) London, tabell 14 side 30, http://www.imo.org/includes/blastDataOnly.asp/data_id%3D23703/NF-6.pdf

| | | | | | | | |
|----------------------|-----------|---------|-------|--------|---------|---------|-------------|
| Olje-produkt tankere | 7 500 | 2 829 | 69 | 5 760 | 466 | 32 231 | 2 683 932 |
| Olje-produkt tankere | 2 500 | 972 | 24 | 1 980 | 3 959 | 94 115 | 7 837 127 |
| Chemical tanker | 20 000 | 6 979 | 171 | 14 210 | 1 010 | 172 346 | 14 351 613 |
| Chemical tanker | 15 000 | 5 401 | 132 | 10 996 | 584 | 77 117 | 6 421 687 |
| Chemical tanker | 7 500 | 2 829 | 69 | 5 760 | 642 | 44 404 | 3 697 607 |
| Chemical tanker | 2 500 | 972 | 24 | 1 980 | 1 659 | 39 438 | 3 284 111 |
| LPG Tanker | 50 000 | 14 387 | 352 | 29 292 | 138 | 48 543 | 4 042 302 |
| LPG Tanker | 25 000 | 8 453 | 207 | 17 210 | 943 | 194 893 | 16 229 095 |
| LNG Tanker | 200 000 | 23 930 | 585 | 48 721 | 4 | 2 340 | 194 885 |
| LNG Tanker | 100 000 | 20 616 | 504 | 41 974 | 239 | 120 469 | 10 031 708 |
| Bulk | 200 000 | 23 930 | 585 | 48 721 | 119 | 69 625 | 5 797 828 |
| Bulk | 150 000 | 22 519 | 551 | 45 849 | 686 | 377 705 | 31 452 260 |
| Bulk | 80 000 | 18 858 | 461 | 38 395 | 1 513 | 697 610 | 58 091 369 |
| Bulk | 47 500 | 13 893 | 340 | 28 287 | 1 864 | 633 186 | 52 726 617 |
| Bulk | 22 500 | 7 729 | 189 | 15 736 | 2 090 | 394 948 | 32 888 077 |
| Bulk | 5 000 | 1 915 | 47 | 3 899 | 1 120 | 52 442 | 4 366 975 |
| Bulk | 10 000 | 3 714 | 91 | 7 562 | 674 | 61 205 | 5 096 673 |
| Bulk | 7 500 | 2 829 | 69 | 5 760 | 1 528 | 105 684 | 8 800 534 |
| Bulk | 2 500 | 972 | 24 | 1 980 | 11 006 | 261 639 | 21 787 174 |
| General cargo | 10 000 | 3 714 | 91 | 7 562 | 1 225 | 111 241 | 9 263 241 |
| General cargo | 7 500 | 2 829 | 69 | 5 760 | 1 089 | 75 321 | 6 272 108 |
| General cargo | 2 500 | 972 | 24 | 1 980 | 1 486 | 35 326 | 2 941 645 |
| | | | | | | | |
| Sum | 1 760 000 | 339 691 | 8 305 | 2 307 | 691 610 | 36 630 | 412 735 366 |

Container-skip og ro-ro skip er ikke inkludert. Likeledes er fiskebåter, forsyningskip og taubåter samt alle typer passasjerskip utelatt. For container-skip er den viktigste grunnen at skipene ikke måler lastekapasiteten i dødvekt men i teu³⁶.

De største olje-tankere er opp mot 550 000 dødvekt-tonn (Ultra-large crude carrier). Vi har derfor satt middelverdien for den største gruppa av oljetankere til 300 000 tonn. For de andre gruppene har vi ikke gjort noen korreksjoner for gruppa med den høyeste dødvekta. Det betyr f eks at middelverdien for de største bulk-skip er den nedre grensa for denne gruppa siden vi ikke kjenner de største skipene i gruppa.

Ut i fra Tabell 17 anslår vi energiforbruket for å lage de 36 277 skip som er inkludert i tabellen til 4,8 millioner TJ. Det samlede utslipp av CO₂ anslås til over 398 millioner tonn.

I følge det amerikanske byrået RITA³⁷ hadde Norge i 2006 den åttende største skipsflåten målt i dødvekt-tonn i verden³⁸. Byrået har fordelt dødvekten på ulike grupper skip. I tillegg har byrået

³⁶ teu= twenty-foot equivalent unit, se http://en.wikipedia.org/wiki/Twenty-foot_equivalent_unit

³⁷ Dette byrået koordinerer forskningen til det amerikanske transport-departementet, se <http://www.rita.dot.gov/>

³⁸ http://www.bts.gov/publications/maritime_trade_and_transportation/2007/html/table_07_04.html

oppgitt antall skip i hver gruppe. Ut fra denne informasjonen har vi konstruert et gjennomsnittlig skip i hver gruppe. Ved hjelp av regresjonskoeffisientene som er presentert ovenfor har vi beregnet egenvekten for alle gjennomsnittlige skip. Deretter er energiforbruket og utslipp av CO₂ beregnet som ovenfor for gjennomsnittsskipet. Til slutt er energiforbruket og CO₂-utslippet for gjennomsnittsskipet i hver gruppe multiplisert med antall i hver gruppe. Dermed kan vi beregne sum energibruk og CO₂-utslipp for hver gruppe og for alle grupper samlet. Omregningen via gjennomsnitt-skip er viktig for å bruke regresjonskoeffisientene innenfor deres gyldighetsområde. Hadde vi brukt regresjonskoeffisientene for sum dødvekt i gruppene ville vi ekstrapolert regresjonslinjen utover det empiriske grunnlaget for linjen. Ved å gå veien om gjennomsnittsskip holder vi oss innenfor det empiriske grunnlaget som er brukt for å beregne regresjonslinjen. Dermed unngår vi ekstrapolering av regresjonslinjen.

Til sammen var 8 containerskip registrert for Norge i 2006. Disse er ikke inkludert i analysen. Tabell 18 viser resultatet. Det samlede energiforbruket for å bygge den norske skipsflåten i 2006 anslås til nesten 220 292 TJ. Det samlede CO₂-utslipp anslås til 18,3 millioner tonn CO₂.

Tabell 18 Energiforbruk og CO₂-utslipp for produksjon av den norske flåten i 2006

| | Antall | Dødvekt-tonn | Gj.snitt dødvekt-tonn | Egenvekt (tonn) | Energi totalt (TJ) | CO ₂ totalt (tonn) |
|------------------|--------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| Tankere | 319 | 20 600 027 | 64 577 | 16 875 | 131 618 | 10 960 100 |
| Bulk-skip | 202 | 10 343 341 | 51 205 | 14 618 | 72 195 | 6 011 859 |
| Roll on-roll off | 72 | 1 486 793 | 20 650 | 7 177 | 12 634 | 1 052 025 |
| General cargo | 37 | 427 515 | 11 554 | 4 250 | 3 845 | 320 172 |
| Sum | 630 | 32 857 676 | | 42 920 | 220 292 | 18 344 157 |

Vedlegg

Tabell 19 Registrerte skip med egenvekt

| Type | Navn | Skrog | Dødvekt | Fortrengningsvekt | Egenvekt |
|------------|------------------|--------|---------|-------------------|----------|
| Oljetanker | Desh Shanti | Double | 146840 | 182027 | 23996 |
| Oljetanker | Hadiyah | Double | 121109 | 141256 | 20147 |
| Oljetanker | Torm Freya | Double | 45983 | 55829 | 9849 |
| Oljetanker | Pavel Chernysh | Double | 100600 | 120734 | 19763 |
| Oljetanker | Rising Phoenix | Single | 39717 | 48338 | 8621 |
| Oljetanker | Rokkosan | Double | 300257 | 342285 | 42028 |
| Oljetanker | Ryuohsan | Double | 281050 | 319581 | 38531 |
| Oljetanker | Desh Prem | Double | 113976 | 132663 | 18686 |
| Oljetanker | Tordis Knutsen | Double | 123848 | 144702 | 20854 |
| Oljetanker | Krymsk | Double | 115605 | 134046 | 18420 |
| Oljetanker | Front Highness | Single | 284317 | 316557 | 32240 |
| Oljetanker | Golden River | Single | 284497 | 316557 | 32060 |
| Oljetanker | Front Beta | Double | 135915 | 159478 | 23563 |
| Oljetanker | Front Voyager | Single | 149999 | 170857 | 20858 |
| Oljetanker | Front Delta | Double | 136055 | 159478 | 23423 |
| Oljetanker | Front Alfa | Double | 150038 | 171567 | 21529 |
| Oljetanker | Front Pride | Double | 149686 | 171567 | 21881 |
| Oljetanker | Front Fighter | Double | 147048 | 169568 | 22520 |
| Oljetanker | Front Splendour | Double | 149745 | 171627 | 21822 |
| Oljetanker | Front Glory | Double | 149834 | 171567 | 21733 |
| Oljetanker | Front Hunter | Double | 146286 | 169586 | 23318 |
| Oljetanker | Nordic Hunter | Double | 149999 | 172945,5 | 22948,5 |
| Oljetanker | Nordic Hawk | Double | 151475 | 152863,3 | 22873,8 |
| Oljetanker | Front Ardenne | Double | 149999 | 172028 | 22029 |
| Oljetanker | Nordic Fighter | Double | 149999 | 171852 | 21853 |
| Oljetanker | Mindanao | Double | 149999 | 173206,7 | 23208 |
| Oljetanker | Front Warrior | Double | 149999 | 171770 | 21771,7 |
| Oljetanker | Front Brabant | Double | 153152 | 175013 | 21861 |
| Oljetanker | Nordic Saturn | Double | 157332 | 180021 | 22689,13 |
| Oljetanker | Nordic Discovery | Double | 149999 | 171836 | 21836,8 |
| Oljetanker | Front Melody | Double | 149995 | 172746 | 22751 |
| Oljetanker | Front Symphony | Double | 149995 | 172746 | 22751 |
| Oljetanker | Nordic Apollo | Double | 149997 | 172974,3 | 22977,3 |
| Oljetanker | Edinburgh | Single | 302493 | 338079 | 35586 |
| Oljetanker | Front Duke | Single | 284480 | 316557 | 32137 |
| Oljetanker | Front Ace | Single | 274999 | 308244 | 33245 |

| | | | | | |
|-----------------|-----------------|--------|--------|--------|---------|
| Oljetanker | Front Duchess | Single | 284480 | 316557 | 32077 |
| Oljetanker | Mayfair | Double | 298405 | 341108 | 42703 |
| Oljetanker | Camden | Double | 298306 | 341108 | 42802 |
| Oljetanker | Kensington | Double | 298306 | 341108 | 42802 |
| Oljetanker | Songa Chelsea | Double | 298432 | 341108 | 42676 |
| Oljetanker | Hampstead | Double | 298306 | 341108 | 42802 |
| Oljetanker | Front Vanguard | Double | 299999 | 339049 | 39050 |
| Oljetanker | Front Century | Double | 311189 | 352992 | 41803 |
| Oljetanker | Front Vista | Double | 300149 | 339108 | 38959 |
| Oljetanker | Front Champion | Double | 299998 | 341704 | 41706 |
| Oljetanker | Front Crown | Double | 311176 | 352992 | 41816 |
| Oljetanker | Front Chief | Double | 299998 | 341766 | 41768 |
| Oljetanker | Front Circassia | Double | 306009 | 343022 | 43030 |
| Oljetanker | Front Commander | Double | 299998 | 341822 | 41823,8 |
| Oljetanker | Ocana | Double | 299999 | 338963 | 38964 |
| Oljetanker | Front Opalia | Double | 299997 | 342045 | 42048 |
| Oljetanker | Golden Victory | Double | 300155 | 339108 | 38953 |
| Oljetanker | Front Commodore | Double | 298620 | 339136 | 40516 |
| Oljetanker | Front Scilla | Double | 302561 | 344241 | 41680 |
| Oljetanker | Oliva | Double | 298530 | 339136 | 40671 |
| Oljetanker | Front Eagle | Double | 299983 | 341767 | 41784,4 |
| Oljetanker | Front Page | Double | 299164 | 338982 | 39818 |
| Oljetanker | Front Serenade | Double | 299152 | 338982 | 39830 |
| Oljetanker | Ondina | Double | 299157 | 338982 | 39825 |
| Oljetanker | Front Falcon | Double | 299984 | 341973 | 41974 |
| Oljetanker | Otina | Double | 298465 | 339136 | 40671 |
| Oljetanker | Front Energy | Double | 299998 | 343967 | 43969 |
| Oljetanker | Universal Queen | Double | 309373 | 352410 | 43036 |
| Oljetanker | Front Shanghai | Double | 298971 | 344300 | 45329 |
| Chemical tanker | Kalia | Double | 5771 | 5771 | 1865 |
| Chemical tanker | Ginga Tiger | Double | 25452 | 32807 | 7355 |
| Chemical tanker | Torill Knutsen | Double | 14910 | 20426 | 5516 |
| LPG Tanker | Berge Danuta | Double | 50260 | 79090 | 22266 |
| LPG Tanker | Raggane | Double | 54592 | 73459 | 19152 |
| LNG Tanker | Kew Bridge | Double | 16228 | 23021 | 6793 |
| LNG Tanker | Rene | Single | 28095 | 38576 | 10481 |
| Bulk | Leonid Sobolev | Single | 23940 | 31880 | 7940 |
| Bulk | FRONT GUIDER | Double | 169142 | 173243 | 23509 |
| Bulk | FRONT CLIMBER | Double | 149999 | 192650 | 23269 |
| Bulk | FRONT LEADER | Double | 169381 | 192650 | 23269 |

| | | | | | |
|------|---------------|--------|--------|--------|-------|
| Bulk | FRONT DRIVER | Double | 169177 | 173471 | 23473 |
| Bulk | FRONT VIEWER | Double | 149998 | 173268 | 23269 |
| Bulk | FRONT STRIVER | Double | 169204 | 192650 | 23446 |
| Bulk | FRONT RIDER | Double | 149997 | 173471 | 23473 |