



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Maskin

ING3039

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2018 20:20	Termin:	2018 VÅR
Sluttdato:	09-05-2018 12:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3039 1 PRO-1 2018 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Navn:	Camilla Worre
Kandidatnr.:	19
HVL-id:	137643@hvl.no

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Utfordringer med ballasting av skip med hensyn på pumpe og systemutforming, samt vurdering av nye løsnings tiltak		
Tro- og loverklæring *:	Ja	Inneholder besvarelsen konfidensiell materiale?:	Ja
Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på utnemålet mitt *:	Ja		

Gruppe

Gruppenavn:	19 og 21
Gruppenummer:	11
Andre medlemmer i gruppen:	Mariell Knarvik

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Utfordringer ved ballastering av skip med hensyn på pumpe og systemutforming, samt vurdering av nye løsningstiltak

KBAL[®]

The only ballast water treatment system using neither filters nor chemicals



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Maskin Prosess- og energiteknikk

Av: Camilla Worre
Mariell Knarvik

Kand.nr. 19
Kand.nr. 21



BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn:

Camilla Worre og
Mariell Knarvik

Linje & studieretning

Maskin, retning prosess-
og energiteknikk

Oppgavens tittel:

Utfordringer ved ballastering av skip med hensyn på pumpe og systemutforming,
samt vurdering av nye løsningstiltak.

Oppgavetekst:

Det skal vurderes pumpe og systemutformings begrensninger og reguleringsmuligheter slik at anleggets systemkrav ved anvendelse av Knutsen Ballast (KBAL) oppfylles. Utfordringer ved ballastvann håndtering skal belyses og nye løsningstiltak skal vurderes.

For KBAL anvendes pumper til å gi nødvendig trykk til anlegget, samt for å sørge for at vakuemet i fallrøret etter anlegget opprettholdes under ballastering og de-ballastering. Pumping er energikrevende og driftsområdet er derfor viktig å ta hensyn til. God forståelse av pumpekurver og hvordan de benyttes ved ballastering, gir et energieffektivt og godt resultat.

Endelig oppgave gitt:

Fredag 2. mars 2018

Innleveringsfrist:

Onsdag 9.mai 2018 kl. 12.00

Intern veileder

Ståle Bright Pettersen og Ingunn Hoell

Ekstern veileder

Per Lothe, Knutsen OAS Shipping AS
Smedasundet 40, Postbox 2017, N-5504 Haugesund

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

Jens Chr. Lund
18/4 - 18



Oppgavens tittel Utfordringer ved ballastering av skip med hensyn på pumpe og systemutforming, samt vurdering av nye løsningstiltak.		Rapportnummer <i>(Fylles ikke ut)</i>
Utført av Camilla Worre og Mariell Knarvik		
Linje Energi- og Prosessteknikk		Studieretning Ingeniør, Maskin
Gradering Konfidensiell	Innlevert dato 09.05.18	Veiledere Ståle Bright Pettersen, Per Lothe og Ingunn Hoell

Ekstrakt

Det har nå blitt påbudt for skip som frakter ballastvann å integrere et renseanlegg om bord som dreper de levende organismene før utslipp. Dette er for å unngå spredning av alger og organismer til andre deler av verden som kan være ødeleggende for det lokale miljøet. Knutsen OAS Shipping AS har utviklet sin egen renseteknologi som heter Knutsen Ballast (KBAL). Denne metoden går ut på å bruke UV-lys og vakuum for å drepe algene og organismene. For å kunne bruke renseteknologien optimalt om bord på skip har regulering av pumpekurver en stor rolle. Både teoretisk og praktisk erfaring er viktig for å kunne bruke pumpekurvene til å regulere optimalt og for å unngå energisløsing. Det vil beskrives ulike utfordringer og løsninger ballastering og de-ballastering har med og uten integrert renseanlegg med hensyn på ballastvannpumpen og rørsystemet i prosessen. Grunnet den økende mengden utfordringer ved integrering av nytt renseanlegg på skip samt en kostbar og tidkrevende prosess vil en god løsning være å ha et landbasert renseanlegg.



Forord

Rapporten representerer en bacheloroppgave som er skrevet i forbindelse med avslutningen på bachelorstudiet i Maskiningeniør, retning energi- og prosesseteknikk. Sammen med rapporten presenteres det en plakat og et produkt, og til sammen tilsvarer dette 20 studiepoeng. Utdanningen er gjennomført ved Høgskulen på Vestlandet og avsluttes våren 2018.

Etter ønske fra Knutsen OAS Shipping AS om å se nærmere på utfordringer ved ballastering og de-ballastering med fokus på pumper og rørsystem, fikk vi formet en utfordrende og interessant oppgave. Dette er en reell problemstilling og oppgaven gir svar på Knutsen rederiets nåværende utfordringer i forhold til deres ballastvann prosessanlegg. Denne oppgaven er noe Knutsen OAS Shipping AS kan ha stor nytte av, noe som har vært veldig motiverende for oss.

I oppgavens anledning har vi hatt stor nytte av tidligere tildelt kunnskap innenfor vår studieretning. Vi har lært utrolig mye i denne prosessen, og det har gitt oss god kunnskap om ukjente emner.

Vi vil gjerne takke vår eksterne veileder Per Lothe. En inspirerende, engasjert og kunnskapsrik mann som har gitt oss stor glede av denne rapporten. Takk for at du alltid tar deg god tid til oss, gir oss gode råd og for at alt du har lært oss i denne prosessen.

Vi vil også gjerne takke de to interne veilederne våre, Ståle Bright Pettersen og Ingunn Hoel. Takk for grundige tilbakemeldinger, utlån av nyttig fagteori og for gode tips til å gjennomføre rapporten best mulig.

Haugesund 2018

Mariell Knarvik

Camilla Worre



Innholdsfortegnelse

FORORD	I
FIGURLISTE	IV
SAMMENDRAG	V
1 INNLEDNING	1
1.1 FORMÅL	1
1.2 PROBLEMSTILLING	1
1.3 BEGRENSNINGER	1
1.4 TEMA OG BAKGRUNN	1
1.5 KNUITSEN OAS SHIPPING AS	2
2 TEORETISK BAKGRUNN	3
2.1 BALLASTVANN	3
2.2 BALLASTERING	3
2.3 DE-BALLASTERING	5
2.4 INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION	5
2.5 UNITED STATES COAST GUARD	6
2.6 BALLASTKONVENSIJONEN	6
2.7 ANDRE METODER FOR BALLASTVANNRENSING	7
3 PUMPE TEORI	8
3.1 PUMPE TYPER	8
3.2 SENTRIFUGALPUMPE	9
3.3 PUMPEKARAKTERISTIKK	9
3.3.1 Kapasitet og løftehøyde	9
3.3.2 Impeller.....	10
3.3.3 Effektbruk	10
3.3.4 Virkningsgrad.....	10
3.3.5 Spesifikk hastighet	11
3.3.6 Netto Positiv Sugehøyde (NPSH)	11
3.4 KAVITASJON	12
3.5 PUMPER I PARALLELL	13
3.6 PUMPER I SERIE	14
4 KBAL	15
4.1 KBAL – KNUITSEN OAS SHIPPING AS'S RENSEANLEGG	15
4.2 Plassering av KBAL	16
5 PUMPEKURVE	18
5.1 GENERELL PUMPEKURVE TEORI	18
5.2 TEORI OM REGULERING AV PUMPEKURVER	20
5.3 REGULERING MED PUMPEKURVER	20
5.3.1 Regulering av pumpekurve med turtall	21
5.3.2 Regulering av pumpekurve med struping	21
6 KNUITSENS PROESSANLEGG	23
6.1 BEND OG FRIKSJON I RØR	23
6.2 ULIKE TYPER VENTILER	23
6.2.1 utfordringer i rørsystem	23
6.3 LNG SKIP	25
6.3.1 De ulike komponentene på LNG-skip.....	26
6.3.2 Sjø til sjø for å varme opp KBAL	26



6.3.3 Ballastering på LNG skip.....	27
6.3.4 Varme opp systemet før de-ballastering	28
6.3.5 De-ballastering.....	28
6.3.6 Strippesystem.....	29
6.3.7 Rensing av strippetank	30
6.4 OLJETANKSKIP	31
6.4.1 De ulike komponentene på oljetankskip.....	31
6.4.2 Ballastering.....	33
6.4.3 De-ballastering.....	33
7 REGULERINGSMETODER AV PUMPER VED BALLASTERING	35
7.1 FORSKJELLIGE TYPER REGULERING	35
7.1.1 Turtallsregulering.....	35
7.1.2 Struperegulering	35
7.1.3 Bypassregulering.....	36
7.1.4 Endring av impellerdiameter.....	37
7.2 SAMMENLIGNING AV DE FORSKJELLIGE REGULERINGSMETODENE.....	37
8 GENERELLE UTFORDRING MED BALLASTERING OG DE-BALLASTERING	39
8.1 DE ULIKE UTFORDRINGENE.....	39
8.1.1 Utfordring 1 Vannrester i tankene	39
8.1.2 Utfordring 2 Overfylling.....	40
8.1.3 Utfordring 3 Stabilitet.....	40
8.1.4 Utfordring 4 Luft i systemet.....	41
8.1.5 Utfordring 5 Tett system.....	41
8.1.6 Utfordring 6 Renseteknologi med filter	42
8.1.7 Utfordring 7 Rense med kjemikalier	42
8.1.8 Utfordring 8 Sensitive UV-lys	43
8.1.9 Utfordring 9 Gravitasjon.....	43
8.1.10 Utfordring 10 Regulere kapasitet.....	43
8.1.11 Utfordring 11 Energitap ved struping.....	44
8.1.12 Utfordring 12 Plassering av KBAL.....	44
8.1.13 Utfordring 13 Plassering av andre renseteknologier	45
8.1.14 Utfordring 14 Mangel på kunnskap.....	45
8.1.15 Utfordring 15 Nivåendring.....	45
8.1.16 Utfordring 16 Uvær	46
8.1.17 Utfordring 17 Endring av eksisterende prosessanlegg	46
8.1.18 Utfordring 18 Integrere ny teknologi.....	47
8.1.19 Utfordring 19 Økt friksjon og bend.....	47
8.1.20 Utfordring 20 Plassering av pumper.....	48
8.1.21 Utfordring 21 Blanding av saltvann og ferskvann	48
8.1.22 Utfordring 22 Skittent vann	48
8.1.23 Utfordring 23 Ubrukte pumper	49
8.1.24 Utfordring 24 Dokumentasjon	49
9 AVSLUTTENDE DISKUSJON	51
10 KONKLUSJON	53
BIBLIOGRAFI.....	54



Figurliste

HVL logo http://www.hsh.no/imgs/HVL-logo/HVL-logo_trimmet_1200x304.png

Knutsen OAS Shipping AS logo http://knutsenoas.com/wp-content/uploads/2014/10/Knutsen-OAS-Shipping_CMYK-copy.jpg

Figur 1 Knutsens hovedkontor i Haugesund	2
Figur 2 Overvåkning av ballasteringsprosess på skip	4
Figur 3 Illustrasjon av hvordan ballastering og de-ballastering foregår i praksis på et skip	5
Figur 4 Forskjellen på hvordan fortrenningspumpe og sentrifugalpumpe opererer	8
Figur 5 Komponentene i en sentrifugalpumpe	9
Figur 6 Lukka impeller	10
Figur 7 Propell impeller	10
Figur 8 Mikset kapasitet impeller	10
Figur 9 Kurve som viser hvordan kavitasjon kan oppstå og unngås i sammenheng med trykk	11
Figur 10 Illustrasjon av hvordan kavitasjon oppstår i en sentrifugalpumpe	12
Figur 11 Hull og skade på impeller ved kavitasjon	12
Figur 12 To pumper parallellkoblet sammen i en prosess med ventiler	13
Figur 13 Forandringen til pumper koblet i parallell i forhold til en Pumpe alene	13
Figur 14 Figuren til venstre viser hvordan pumpekurven til seriekoblede pumper illustreres i forhold til en Pumpe alene og figuren til høyre viser pumpene koblet i serie	14
Figur 15 Hvordan renseanlegget KBAL ser ut på et skip	15
Figur 16 Spesifikk illustrasjon hvor og hva komponentene i KBAL er	15
Figur 17 Hvor KBAL eksempelvis er plassert på dekk på et skip	16
Figur 18 Mer detaljert av eksempelvis plassering av KBAL på skip	17
Figur 19 Illustrasjon av en pumpekurve som viser driftspunktet i sammenheng av løftehøyde og kapasitet	18
Figur 20 Eksempel på fremstilling av pumpekurve med flere kurveparametere	19
Figur 21 Hvordan turtallsregulering med pumpekurve utføres	21
Figur 22 Pumpekurve som illustrerer hvordan struperegulering utføres	22
Figur 23 Typisk løsning av prosessanlegg på LNG-skip	25
Figur 24 De ulike komponentene KBAL, tankene og pumpene på LNG-skip	26
Figur 25 Sjø til sjø prosessen med bruk av KBAL for å varme opp systemet før ballastering	27
Figur 26 Ballastering inn i tankene på LNG skip med rensing av KBAL	27
Figur 27 Prosessen for å varme opp KBAL før de-ballastering, vannet kjøres lokalt fra tank til tank	28
Figur 28 De-ballastering på LNG skip, ballastvannet pumpes fra tankene gjennom KBAL og ut i havet.	28
Figur 29 Ballastvann pumpes fra tanker til strippetank for å kunne benytte strippesystem	29
Figur 30 Bruk av strippesystem hvor siste vannrester fra tankene pumpes inn i strippetankene.	29
Figur 31 Bruk av KBAL av strippetankene på LNG-skip	30
Figur 32 Typisk løsning av prosessanlegg på oljetankskip	31
Figur 33 De ulike komponentene tanker, KBAL og pumper på oljetankskip	32
Figur 34 Ballasteringsprosessen på et typisk oljetankskip	33
Figur 35 Illustrasjon av hvordan de-ballastering prosessen er på et oljetankskip	34
Figur 36 Pumpekurve som illustrerer hvordan driftspunktene endres når man regulerer med ulike turtall	35
Figur 37 Strupeventil (Throttle valve) plassert etter Pumpe i et system for å kunne regulere kapasiteten	36
Figur 38 Bypassventil i prosessanlegg parallell med Pumpe for å regulere prosessen	36
Figur 39 Impellerdiameteren sine pumpekurver som illustrerer reduksjon av kapasitet og høyde ved reduksjon av diameter.	37
Figur 40 Bellmouth, som benyttes for å opprettholde sugetrykket når vannivået i ballastvanntankene synker	39
Figur 41 Skisse av et skip som fylles feil og det oppstår spenninger og brekk	41
Figur 43 Typisk løsning av nødkanal på oljetankskip	46
Figur 44 Illustrasjon av hvor sugehøyden er i en tank	48



Sammendrag

Shipping står for transport av nærmere 90 % av verdenshandelen. Ballastvann benyttes for å stabilisere skip. Det resulterer i en bruk av 3-12 milliarder tonn ballastvann. Ballastvann forflyttes store avstander hvor ulike arter og organismer flyttes til nye miljø og kan være ødeleggende for de beboende artene. Grunnet den store miljøtrusselen trer International Maritime Organization (IMO) og United States Coast Guard (USCG) sine nye regelverk i kraft og det med krav om rensesystem av ballastvann, hvor organismene skal ødelegges før utslipp. Knutsen OAS Shipping AS har utviklet sin egen renseteknologi Knutsen Ballast (KBAL), som skal integreres i de allerede eksisterende ballastvannanleggene og ved nye skip. Ved ballastering og de-ballastering benyttes ballastvannpumpe for å pumpe vann inn og ut fra ballasttankene, og det er behov for å kunne regulere vannmengden i ballastprosessen.

Alle pumper leveres med unike pumpekurver, som er en grafisk fremstilling av alle karakteristikkene til pumpen satt i sammenheng med hverandre for å utgjøre et optimalt driftsområde for pumpen. Ved ballastering og de-ballastering uten rensesystem benyttes pumpekurver lite og mannskapet på skip har generelt dårlig kunnskap om hvordan kurvene brukes. Når prosessen skal kjøres med renseteknologi med nye krav, vil det være nødvendig å ta i bruk pumpekurver for å kunne regulere prosessen for å få det optimale driftspunktet. Rapporten gir en innføring i hvordan kurvene kan benyttes til prosessregulering ved ballastering og de-ballastering.

Rapporten gir et innblikk i pumpeteori hvor kjennskap til pumpens funksjon i en prosess beskrives, og hvordan prosessen kan reguleres ved hjelp av pumpen. Ved ballastering og de-ballastering kan det oppstå ulike utfordringer, her utforskes allerede eksisterende løsninger samt nye forslag. Når KBAL skal integreres i ballastvannanlegget vil det by på enda flere utfordringer ved ballastering, de-ballastering og regulering. KBAL har egne krav som må opprettholdes for å kunne fungere optimalt og for å levere tilfredsstillende resultat i forhold til det nye regelverket. Grunnet den økende mengden utfordringer ved integrering av nytt rensesystem på skip samt en kostbar og krevende prosess vil en god løsning være å ha et landbasert rensesystem.



Summary

Shipping accounts for almost 90% of world trade. Ballast water is used to stabilize ships. This results in a use of 3-12 billion tons of ballast water. Ballast water travels wide distances where different species and organisms are moved to new environments and can be devastating to the local inhabitants. Due to the major environmental threat, the International Maritime Organization (IMO) and the United States Coast Guard (USCG) are implementing its new regulations in force, requiring ballast water treatment systems where the organisms must be destroyed prior to discharges. Knutsen OAS Shipping AS has developed its own ballast water management technology, Knutsen Ballast (KBAL), which will be integrated into existing ballast water systems and new ships. When ballasting and de-ballasting, ballast water pump is used to pump water in and out of the ballast tanks, and it is necessary to be able to adjust the amount of water in the ballast process.

All pumps are delivered with unique pump curves, which are a graphical representation of all the characteristics of the pump connected to each other to provide an optimal operating range for the pump. When ballasting and de-ballasting without a ballast water management system, pump curves are rarely used, and the ship crew generally have poor knowledge of how the curves can be used to regulate the process. When ballast water management system now will be integrated in the system it will be in the need of a better regulation. It will be necessary to use the pump curves to control the process to regulate within the optimal operating point. The report provides an introduction on how to regulate the process when ballasting and de-ballasting.

The report provides an insight into pump theory where knowledge of the pump's function in a process is described and how the process can be controlled by means of the pump. Ballasting and de-ballasting can cause different challenges, and the report will explore existing solutions as well as new proposals. When integrating KBAL to the ballast water system, there will be even more challenges in ballasting, de-ballasting and regulation. KBAL has its own requirements that must be maintained in order to function optimal and to deliver satisfactory results in relation to the new regulations. Due to the increasing number of challenges in integrating new wastewater treatment plants on ships and an expensive and demanding process, a good solution would be to have a land-based treatment plant.



1 Innledning

1.1 Formål

Formålet med rapporten er å gi Knutsen OAS Shipping AS en oversikt over utfordringer og eventuelle løsningstiltak ved ballastering og de-ballastering, med fokus på ballastvannpumpe og rørsystemet. Ved ballastering og de-ballastering vil prosessene by på ulike utfordringer. Ved å integrere renseteknologi i ballastvannanlegg, som er pålagt for alle nye skip som bygges (IMO, 2017), og som blir pålagt for eksisterende skip innen 2021 (DNV GL, 2016), vil kravene være større og utfordringene ved hele prosessen øker. Ved pumperegulering, god planlegging og et gjennomtenkt rørsystem vil ballastering og de-ballastering kunne utføres på en enklere, mer energivennlig, miljøvennlig og sikker måte.

1.2 Problemstilling

Nye krav om integrert renseteknologi på ballastvannanlegg gir nye krav til prosessanleggets pumper, ventiler og rørsystem. Ballastering og de-ballastering er knyttet til ulike utfordringer, i hovedsak i forhold til dens ballastvannpumpe og rørsystem. Problemstillingen blir da: Hvilke utfordringer har pumper og rørsystem ved ballastering og de-ballastering, og hvordan kan dette forbedres?

1.3 Begrensninger

Rapporten fokuserer kun på Knutsen Ballast (KBAL), og ikke andre rensesystemer for ballastvann. Det skal ikke beregnes på pumpe eller rørsystems dimensjoner eller kapasitet (vannmengde over tid, m³/h), men bruke eksisterende løsninger.

1.4 Tema og Bakgrunn

International Maritime Organization (IMO) utarbeidet ballastkonvensjonen som var klar for signering i 2004 (IMO, 2017). Norge tiltrådte Forente Nasjoner (FN)-konvensjonen i mars 2007 (Bærland, 2016). 35 % av verdensflåten hadde underskrevet avtalen i september 2016, og IMO konvensjonen tredde derfor i kraft 8. september 2017 (Sjøfartsdirektoratet, 2016). Det betyr at alle nye skip som leveres etter 24. November 2016 må ha et installert ballastvann rensesystem, og eksisterende skip har frist for å integrere renselanlegg innen 2021 (DNV GL, 2016).

Ballastvann er nødvendig for å opprettholde likevekt i et flytende fartøy (Transport Canada, 2010). Behovet for ballastvann vil variere i forhold til last og dens tyngde. Ballastering og de-ballastering vil da være nødvendig å utføre jevnlig ved behov. Urenset ballastvann kan utgjøre store miljøskader, shipping foregår verden over og sjøvannet og dets arter vil i stor grad variere i de forskjellige hav (Overvåkningsgruppen, 2017). Ved å ta opp ballastvann fra et hav, for å så slippe det ut i et annet hav kan det forekomme spredning av nye, uønskede og potensielt innvandrende arter som kan endre og/eller ødelegge det nåværende (EMSA, 2011). Ved å unngå slike hendelser har IMO satt krav om at alle skip som benytter ballastvann skal ha et integrert renselanlegg (IMO, 2017). Renselanlegget må også opprettholde krav for være godkjente av IMO og United States Coast Guard (USCG). IMO krever at organismene skal være ikke-reproduserbare, og USCG krever at organismene er ikke-levende (Faafeng, 2013).

Knutsen har utviklet sin egen renseteknologi KBAL, og det medfører endringer i prosessanlegget. For å integrere KBAL i ballastvannanlegget må det tilrettelegges og forbedres. I en slik prosess vil pumper være en avgjørende faktor på hvordan anlegget fungerer, i tillegg til rørsystemets utforming (Lothe, 2018). Det stilles store krav til betjeningen av pumpene, og det vil da også være flere utfordringer i forhold til prosessen og ved selve ballastering og de-ballasteringen.

1.5 Knutsen OAS Shipping AS

I 1896 ble Knutsen rederi etablert av Knut Knutsen O.A.S i Haugesund, Norge og på 1930-1970 tallet var selskapet det tredje største rederiet i Norge (Knutsen Shipping, 2018). Etter krisen innen skipsfart i starten av 1980 tallet ble det familieeide selskapet oppløst og Bergen Bank, Knutsen familien og Jens Ulltveit-Moe etablerte i 1984 det nye selskapet Knutsen OAS Shipping AS, med Trygve Seglem som teknisk direktør og deleier (Knutsen Shipping, 2018). Siden da ha selskapet hatt en betraktelig utvidelse (Knutsen OAS Shipping AS, 2018). Figur 1 viser Knutsens hovedkontor som ligger i Haugesund sentrum som er hentet fra assist.no



Figur 1 Knutsens hovedkontor i Haugesund

Dagens situasjon

Som verdensledende teknologileverandør innen marintransport, er teknologiutvikling i sterkt fokus.

De har utviklet sin egen teknologi innen flere områder (Knutsen OAS Shipping AS, 2018):

- Knutsen PNG[®]-teknologi, transport av komprimert naturgass (LNG).
- Knutsen KVOC[®] Technology, VOC-reduksjon under tankerlastning.
- KBAL[®] -teknologi, renseteknologi av ballastvann.

I dag har Knutsen mer enn 80 års lang erfaring som tankskips-operatør og har en av verdens mest avanserte flåter bestående av moderne shuttle tanker, LNG skip og produkt/kjemikalie tankere (Knutsen OAS Shipping AS, 2018). Flåten består i dag av 30 shuttle tankere, 11 LNG-skip og 5 produkt/kjemikalie tankere (Knutsen OAS Shipping AS, 2018).

2 Teoretisk bakgrunn

2.1 Ballastvann

Ballastvann er ubehandlet vann (ferskvann, sjøvann eller brakkvann) som brukes til stabilisering på et flytende fartøy (Transport Canada, 2010). Vann gjør det lettere å justere vekten om bord (IMO, 2017). Dersom skipet er lastet, vil det ha mindre/ingen behov for ballastvannet dersom lasten er riktig fordelt på skipet, da det bidrar til stabilitet (Transport Canada, 2010). Før ble det brukt stein og jern som ballast, men det er langt fra like effektivt som vann, i tillegg så vil det være tungvint å fremskaffe ved behov (Erikstad, 2009). En ballastvanntank er gjerne plassert nederst i et flytende fartøy, og det kan benyttes flere tanker fordelt på skipet ved behov, poenget er at det skal tilsvare likevekt på skipet. Bruken av vann som ballast reduserer stress på skroget, gir tverrstabilitet og forbedrer fremdrift (Carney, et al., 2017)

Ballastvann er en avgjørende faktor for en sikker shipping, men ved dumping av ballastvann kan det medføre alvorlige økologiske, økonomiske og helsefarlige problemer (IMO, 2017). Organismer er i stand til å overleve inne i ballastvanntankene, og ved dumping blir de utgitt i nye miljøer. Dersom de nye utgivelsesmiljøene har egnede forhold, vil artene kunne overleve og eventuelt reproducere i et fremmed miljø (Overvåkningsgruppen, 2017). Enkelte ganger kan de nye artene bli dominerende i miljøet, og det kan da resultere i: utryddelse av arter, påvirkning på lokal biologisk mangfold, påvirkning på kystnære næringer som benytter vannutvinning, påvirkning på folkehelse og påvirkninger på lokal økonomi basert på fiske (Carney, et al., 2017).

Shipping foregår globalt, og siden det vil være stor forskjell på havmiljøet i for eksempel Norge og i Asia, kan det ha en betraktelig skadelig betydning dersom det dumpes ballastvann fra Asia i Norge og omvendt. For å unngå en overføring av organismer, og for å redusere sannsynligheten for nye innovasjoner er det nå påbudt å ha en ballastvannhåndteringsplan (IMO, 2017). Ballastvannets organismer skal enten drepes (USCG) eller være ikke-reproduserbare (IMO) ved dumping (EMSA, 2011).

2.2 Ballastering

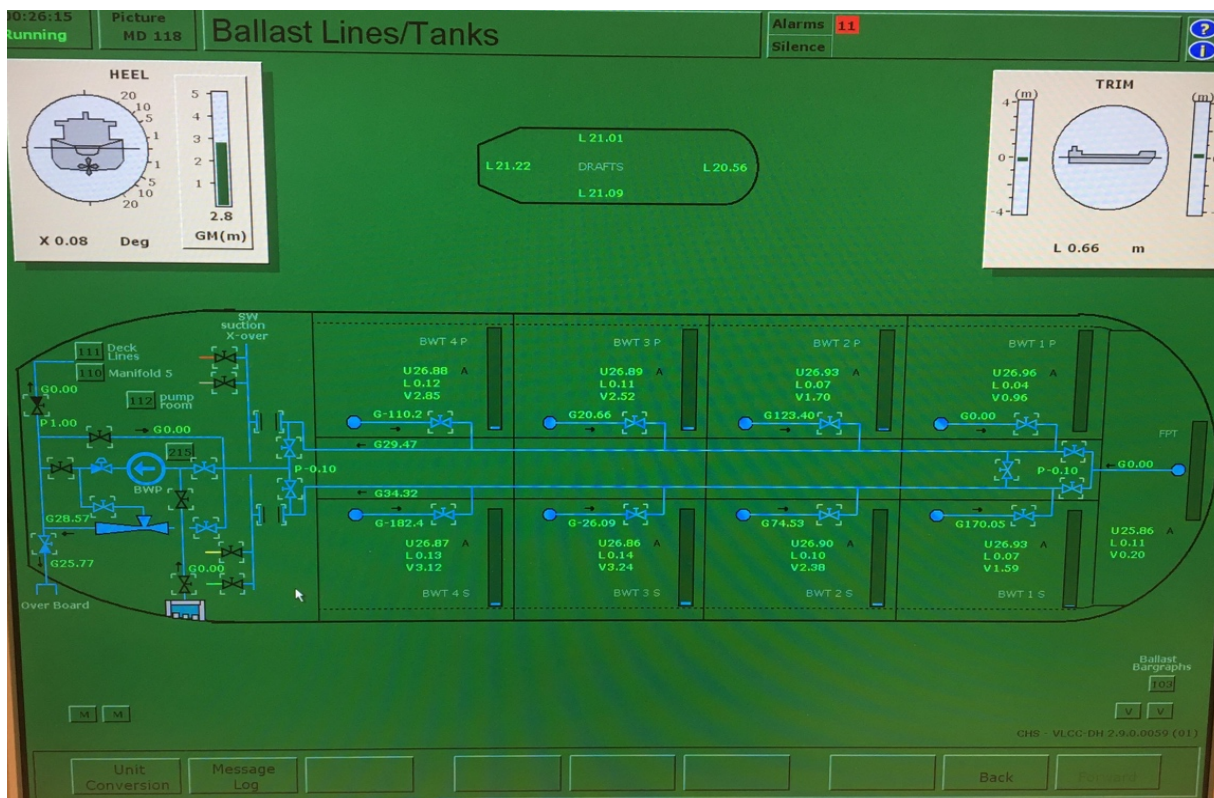
Proessen hvor det pumpes vann inn for å oppnå stabilitet på skipet, kalles ballastering (Wankhede, 2016). Det fungerer slik at pumpen benyttes i prosessanlegget for å pumpe inn vann i ballasttankene om bord (Transport Canada, 2010).

Før ballastering utføres planlegging av ballasteringen, det legges en strategisk plan for hvilke tanker som fylles og i hvilken rekkefølge (Fagerland, 2018). Planen vil vær ulik for de ulike losse situasjonene (frakte last fra skip til land) og det er ikke alltid det er nødvendig å fylle alle tankene opp til maks (Lothe, 2018). I teorien er dette en relativt enkel prosess, da motoren til pumpen startes slik at pumpen kan utføre arbeidet. I praksis kan ballastering være utfordrende.

Når skipet losses, starter ballastering samtidig. På grunn av lasten har skipet et dybdenivå og kan ved start ballastere kun ved hjelp av tyngdekraft (Fagerland, 2018). Det brukes datamaskiner i kontrollrommet på skipet for å overvåke prosessanlegget og hastigheten tankene fylles med (Fagerland, 2018). Når hastigheten synker til en kapasitet hvor pumpen

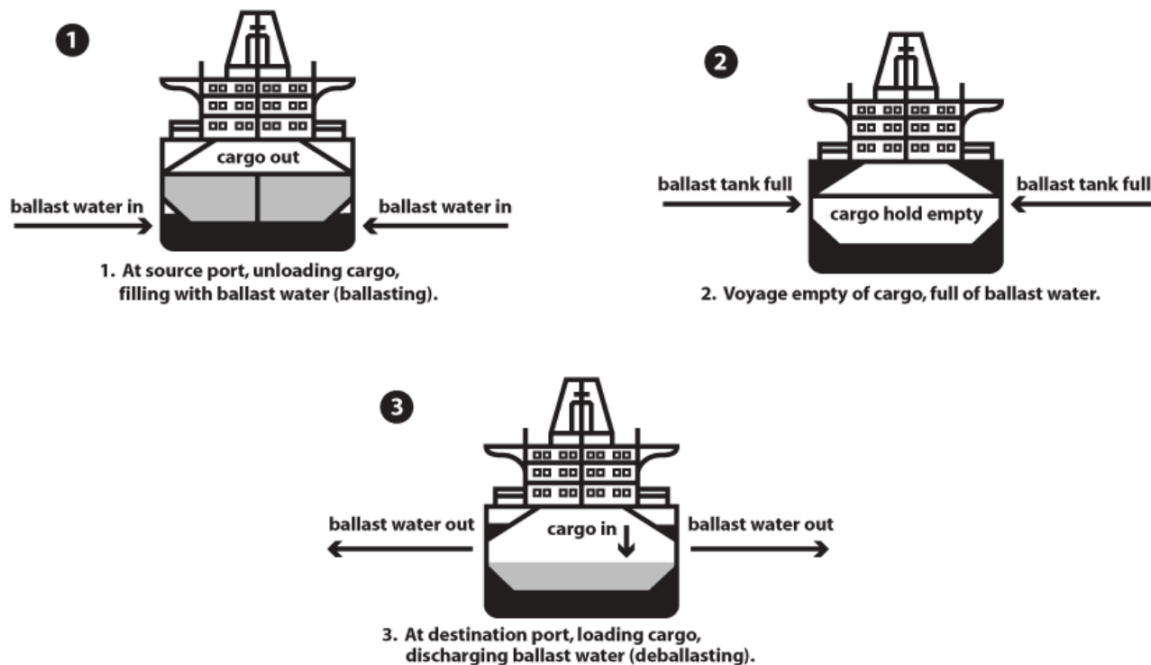
kan utføre ballasteringen hurtigere, startes pumpen. Videre fyller pumpen tankene på høyeste lovlige kapasitet opp til et gitt nivå, dette nivået avhenger av skipets konstruksjon og værforhold (Fagerland, 2018). Avslutningsvis må pumpen reguleres for å ha få bedre kontroll over vannmengden.

Figur 2 som er hentet fra Kongsberg Digital viser et fiktivt prosessanlegg med ballastvanntanker på et skip. Antall tanker og element i prosessen varierer på de ulike skipene ut fra størrelse og konstruksjon. Selv om anlegget kan variere fra skip til skip er prosessen fortsatt den samme. Ballastvann kan også benyttes ved ekstreme værforhold, da brukes det en nødkanal i anlegget (Fagerland, 2018). Nødkanalen er en ekstra røringsgang som kan kobles til for å fylle ballastvann inn sammen med lasten for å gjøre skipet tyngre og gir skipet et høyere dybdenivå (Fagerland, 2018).



Figur 2 Overvåkning av ballasteringsprosess på skip

På figur 3 som er hentet fra Transport Canada vises hvordan ballastering og de-ballastering foregår i praksis på skip. Da pumpes det inn ballastvann for å kompensere med det skipet lastes med. Når skipet får last blir ballastvannet pumpes ut i sjøen igjen. Når skipet har nok ballastvann blir det lite stabilitetsproblemer (Transport Canada, 2010).



Figur 3 Illustrasjon av hvordan ballastering og de-ballastering foregår i praksis på et skip

2.3 De-ballastering

De-ballastering er prosessen hvor skipet kvitter seg med ballastvannet (Wankhede, 2016). Når det skal lastes på skipet, startes de-ballasteringen samtidig slik at stabilitet opprettholdes underveis. I starten av de-ballasteringen kan uttømmingen utføres av tyngdekraften frem til et visst vannivå i tanken (Fagerland, 2018). På overvåknings skjermen i kontrollrommet vises hvilken kapasitet vannet tømmes på, og når kapasiteten minker startes pumpen slik at den utfører den gjenværende de-ballasteringen. Det er svært viktig å følge med på pumpen på slutten av de-ballasteringen, her kan pumpen suge inn luft dersom vannivået blir for lavt (Lothe, 2018). Dersom pumpen suger inn luft, kan det føre til at pumpen blir for varm og ikke klarer å produsere trykk på den ønskede måten for prosessen. Pumpen må derfor stoppes ved et visst vannivå for å unngå dette og da vil det være gjenstående vann i tankene. For store og mange tanker vil selv en liten vannhøyde utgjøre ganske mye vann. Det er svært vanskelig å tømme tankene skikkelig. Regulering av ballastvannpumpen er svært viktig for å utføre en sikker og energieffektiv prosess.

2.4 International maritime organization

IMO er FNs spesialiserte byrå med ansvar for sikkerhet for frakt og forebygging av marin forurensning fra skip (IMO, 2018). I shippingindustrien skal de skape standarder og et regelverk som er effektiv, sikkert, rettferdig, universelt implementert og vedtatt.

Shipping er en internasjonal industri og står for over 90 % av verdenshandelen (International Chamber of Shipping, 2017). Det er derfor svært viktig med et klart og tydelig regelverk samt standarder som gjelder internasjonalt. Helse, miljø og sikkerhet er sett på som de viktigste punktene når det gjelder shipping. For å sikre at shippingindustrien forblir energieffektiv, miljøvennlig, sikker og trygg sørger IMO-tiltak for at alle aspekt innen internasjonal frakt overholdes av deres regelverk. Dette inkluderer også skipsdesign, konstruksjon, drift, utstyr og bemanning.

2.5 United States Coast Guard

I den europeiske standarden er det nok å ødelegge DNAet til organismene slik at de ikke kan reproducere. USA har ikke signert IMO ballastvannkonveksjonen, men har sitt eget godkjenningssystem for ballastvann rensesystemer (Trojan Marinex, 2018). USCG krever ikke bare ikke-reproduserbare, men også at organismene skal være ikke-levende (Faafeng, 2013). Dette gjør at for å kunne ta i bruk KBAL når skipet skal inn i amerikansk farvann må KBAL være godkjent av USCG regelverket.

2.6 Ballastkonvensjonen

Den internasjonale konveksjonen for håndtering av ballastvann på skip, ble i 2004 vedtatt og trer i kraft september 2017 da 35% av landene signerte avtalen (Sjøfartsdirektoratet, 2016). Ballastkonveksjonen skal betydelig sikre og forbedre verdens havmiljø. Konveksjonen krever at alle skip som opererer med ballastvann nå skal ha en ballastvannhåndteringsplan for å forhindre spredning av potensielt skadelige organismer der ballastvann tømmes. Det er gitte standarder som skal følges, og det er pålagt at alle skip har loggføring på ballastvann om bord (IMO, 2017).

IMO standard D1 (IMO, 2018)

«Vannutvekslingsstandard – Skip som utfører ballast vannutveksling skal utføre dette med en effektivitet på 95 % volumetrisk utveksling av ballastvannet. For skip som bytter ballastvann ved pumping-metoden, skal pumping gjennom tre ganger volumet av hver ballastvanntank anses å oppfylle den beskrevne standarden. Pumping gjennom mindre enn tre ganger volumet kan aksepteres dersom skipet kan demonstrere at minst 95 prosent volumetrisk utveksling er oppfylt.»

IMO standard D2 (IMO, 2018):

«Ballastvannytelsesstandard - Skip som utfører ballastvannshåndtering skal utlede mindre enn 10 levedyktige organismer per kubikkmeter større enn eller lik 50 mikrometer i minimumsdimensjon og mindre enn 10 levedyktige organismer per milliliter mindre enn 50 mikrometer i minste dimensjon og større enn eller lik 10 mikrometer i minste dimensjon; og utslipp av indikatormikrobene må ikke overstige de angitte konsentrasjoner.»

Regelverk for rensing av ballastvann (Lovdata, 2017)

§ 2. Rensing av ballastvann

Ballastvannet skal renses ved hjelp av rensesystem for ballastvann om bord. Med ballastvann menes vann som tas om bord i ballasttanker for å regulere trim, krengeing, dyppgang, stabilitet eller spenninger.



Rensesystem for ballastvann skal være godkjent i henhold til MEPC.174 (58) (G8). For renesesystem som gjør bruk av aktive substanser gjelder i tillegg MEPC.169 (57) (G9). Rensesystem skal installeres i henhold til IACS Requirements concerning Machinery Installations M74.

Renset ballastvann som slippes ut, skal inneholde færre enn 10 levedyktige organismer pr. kubikkmeter større enn eller lik 50 mikrometer i minstemål, og færre enn 10 levedyktige organismer pr. milliliter mindre enn 50 mikrometer i minstemål og større enn eller lik 10 mikrometer i minstemål.

Utslippet av indikatorbakterier skal ikke overstige følgende konsentrasjoner:

Vibrio cholerae O1 og O139 (toksigene kolerabakterier): mindre enn 1 kolonidannende a) enhet (kde) pr. 100 milliliter eller mindre enn 1 kde pr. 1 gram (våtvekt)

dyreplanktonprøver

b) Escherichia coli (E. coli; tarmbakterie): mindre enn 250 kde pr. 100 milliliter

c) Intestinale enterokokker (tarmbakterier): mindre enn 100 kde pr. 100 milliliter.

For skip som renser ballastvannet ved landbasert eller mobilt renesesystem, gjelder ikke kravet i første ledd første punktum.

Kravene i annet og tredje ledd gjelder ikke for skip og flyttbare innretninger som deltar i et program for utprøving av ny ballastvannsteknologi de første fem årene etter at godkjent ballastvannsteknologi skulle vært installert. Programmet må være godkjent i henhold til MEPC.140 (54).

2.7 Andre metoder for ballastvannrensing

Det finnes flere metoder for å rense ballastvann og disse kan deles inn i to grupper som er G8 og G9 som er nevnt i kapittelet over. G8 er rensemeter som ikke benytter kjemikalier og G9 renser ved bruk av kjemikalier. KBAL benytter ikke kjemikalier og går da under kategorien G8 fordi det kun benyttes vakuum og UV-lys.

Andre metoder varierer i hovedsak mellom UV-belysning og filter. Noen metoder så tilsettes vannet som oftest klor eller UV-lys etter at organismene i vannet er fjernet med filtrering eller i en sentrifuge (Faafeng, 2013). Noen bruker teknologier med vakuum eller høyt trykk, elektrolyse, ozonering eller fjerning av oksygen ved å tilsette nitrogen til ballastvannet (Faafeng, 2013). Disse metodene kan brukes alene eller i forskjellige kombinasjoner. Utfordringene er å utvikle en renseteknologi som er effektiv, økonomisk, sikker og som kan møte alle krav og lovverk (Faafeng, 2013).

3 Pumpeteori

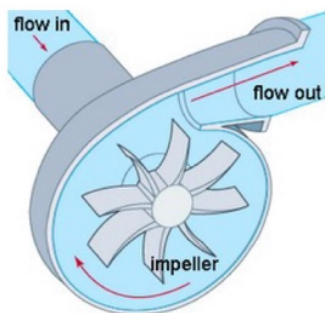
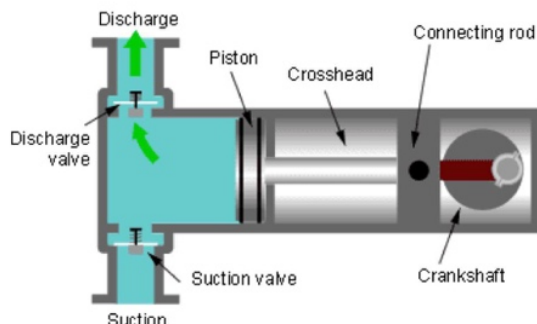
Definisjonen på en pumpe er et utstyr som flytter en væske ved å øke energien til væsken (Forsthoffer, 2005). Det finnes to hovedtyper av pumper; Den ene typen pumper væske ved hjelp av positiv forskyvning, da benyttes et konstant volum på et begrenset område for å øke trykket. Den andre typen pumper væske ved hjelp av dynamisk forskyvning, da øker hastigheten ved hjelp av roterende impeller (Forsthoffer, 2005).

3.1 Pumpetyper

Dynamiske pumper kan deles inn i to hovedgrupper (Forsthoffer, 2005):

- Sentrifugalpumpe
- Fortregningspumpe

Hovedforskjellen på de er at fortregningspumpen har konstant kapasitet uavhengig av ulike trykk, mens sentrifugalpumpen mister kapasitet ved økning av trykk. Sentrifugalpumpen kan regulere kapasiteten ved hjelp av strupeventiler eller turtall, mens fortregningspumper må reguleres ved turtalls-, slaglengderegulering eller ventil som regulerer i bypass tilbake til sugesiden (Forsthoffer, 2005). Fortregningspumper arbeider bedre ved høyere trykk, viskositet, tetthet og høyere løft enn sentrifugalpumpen (Forsthoffer, 2005). Knutsen bruker sentrifugalpumper fordi fortregningspumper er større, tyngre og dyrere.



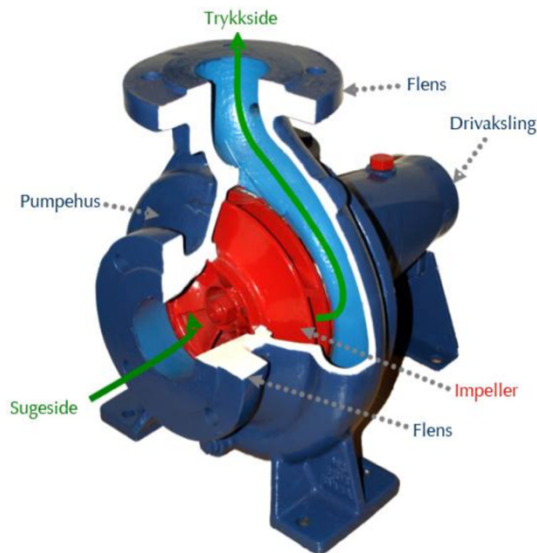
Figur 4 Forskjellen på hvordan fortregningspumpe og sentrifugalpumpe opererer

Øverst i figur 4 som er hentet fra Pinterest illustreres fortregningspumpen. Den fungerer med et stempelprinsipp, stempelet trekkes ut slik at volumet øker, det fører til at trykket på utsiden er høyere enn på innsiden og vann suges da inn i innløpet (suction valve). Herfra presses stempelet inn slik at volumet minsker og vannet presses videre ut på andre siden (discharge) (Mathisen, NDLA, 2013).

Nedenfor i figur 4 som er hentet fra Fuedump illustreres sentrifugalpumpen. Den fungerer ved at vann føres inn ved innløpet (flow in) og inn i pumpehuset ved impellerne. Impellerne roterer og slynger væsken ut til sidene og dette fører til økning av trykk i væsken. Den presses ut videre i systemet (flow out) (Mathisen, NDLA, 2013).

3.2 Sentrifugalpumpe

Den mest brukte pumpetypen i prosessindustrien er sentrifugalpumpen. Pumpen er meget driftssikker og holdbar, samt at den har stor kapasitet i forhold til dens størrelse (Mathisen, 2013).



Figur 5 Komponentene i en sentrifugalpumpe

Som vist i figur 5 (hentet fra NDLA) føres vann inn på innløpet (sugesiden) og inn i pumpehuset. Inne i pumpehuset er det flere skråstilte impellere som roterer vannet rundt (Mathisen, NDLA, 2013). Impellerne danner sentrifugalkraft som fører til at vannet slynges ut mot sidene, her minsker farten og omgjøres til trykk. Ved utløp (trykkside) føres vannet videre i prosessen. En pumpe er en viktig komponent i en prosess, og sørger for at prosessen kontinuerlig er trykkbelagt (Mathisen, NDLA, 2013).

Sentrifugalpumpens kapasitet (mengde og trykk) bestemmes av impellerbladens høyde og lengde, samt rotasjonshastigheten. Andre faktorer, som antall impellerblader og stigning på bladene, spiller mindre rolle.

Pumpens virkningsgrad er høyest ved store væskemengder til lav løftehøyde, men ved mindre væskemengder med høyere løftehøyde reduseres virkningsgraden betraktelig (Husø & Larsen, 1998). Pumpen må plasseres så lavt i prosessen som mulig for å unngå luft i systemet, slik at det blir optimal drift av pumpen (Husø & Larsen, 1998).

3.3 Pumpekarakteristikk

Pumpens karakteristikk er særegen datainformasjon spesialisert til hver enkelt pumpe (Lothe, Pumpekurver, 2018). Pumpeleverandørene beregner, lager datablad og pumpekurve som grafisk viser pumpens karakteristikk. Høyde, kapasitet, Netto Positiv Sugehøyde (NPSH), virkningsgrad, turtall og effekt er de viktigste elementene i pumpens karakteristikk. Dette er viktig for å finne et driftspunkt, altså det mest optimale arbeidsområdet for pumpen som tar hensyn til alle pumpens karakteristikk (Skovgaard & Nielsen, 2004).

3.3.1 Kapasitet og løftehøyde

De viktigste elementene i en pumpekurve er kapasiteten og løftehøyden. Kapasiteten (Q) i en pumpekurve presenteres som vannmengde per tidsenhet m^3/h og løftehøyden (H) er meter i væskesøyle. Disse to komponentene er uavhengige av hverandre, men det er viktig å samspille disse for å få det optimale driftspunktet.

3.3.2 Impeller

Impellere er de skråstilte bladene plassert i pumpehuset. Impellerbladene roterer og omgjør hastighet til trykk. Impellernes form, lengde og diameter er avgjørende for pumpens kapasitet og designes etter hva pumpen skal levere (Hydra-tech pumps, 2016).

Ulike typer impellere (bildene er hentet fra Hydra-tech pumps):



1. Lukka impeller – Benyttes for å pumpe vann ved høy løftehøyde.

Figur 6 Lukka impeller



2. Propell impeller – Benyttes for å pumpe vann ved stor vannmengde og lav løftehøyde.

Figur 7 Propell impeller



3. Mikset kapasitet impeller – Benyttes for å pumpe vann ved stor vannmengde og lav til medium løftehøyde.

Figur 8 Mikset kapasitet impeller

Det finnes mange flere impeller typer, men typene ovenfor er de mest brukte ved pumping av vann, og derfor de mest relevante her (Hydra-tech pumps, 2016).

3.3.3 Effektbruk

Effekt er en energiendring (Hofstad, 2014). Energi tilføres som utgjør en effekt på pumpen. Hvor god effekt en pumpe har, er viktig. Energi er dyrt, og en god økonomisk løsning ønskes, med høy effekt og høy virkningsgrad. Når energi brukes må det regnes med utslipp, noe som ikke er positivt miljømessig.

3.3.4 Virkningsgrad

Virkningsgraden til en pumpe avhenger av forholdet mellom den gitte effekten og den benyttede effekten (Grøn, 2009); P_{ut}/P_{inn} = virkningsgrad. Det er altså en prosentdel av benyttet effekt. Virkningsgraden vil være varierende i forhold til pumpens andre

karakteristikk og i pumpekurven vil det være et område for ideell virkningsgrad beregnet ut i sammenheng med alle pumpens karakteristikk.

3.3.5 Spesifikk hastighet

Spesifikk hastighet, også kalt turtall er omdreininger per minutt (Eriksen, 2009).

3.3.6 Netto Positiv Sugehøyde (NPSH)

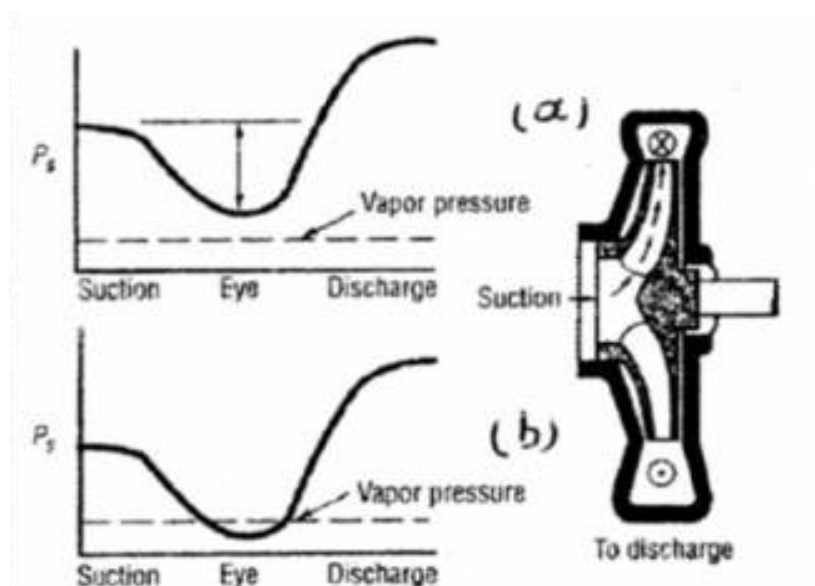
Netto positiv sugehøyde tilgjengelig (NPSHa);

NPSHa er det sugetrykket på pumpens innløp som er tilgjengelig i anlegget, dette er avhengig av hva anlegget kan levere til pumpen (Pumpschool, 2007). Som en funksjon av anlegget, må dette beregnes individuelt for de ulike anleggene. I beregningen av NPSHa tas det hensyn til hvilken væsketype anlegget skal håndtere samt temperatur og væskens hastighet (Pumpschool, 2007).

Netto positiv sugehøyde påkrevd (NPSHr);

NPSHr er det sugetrykket ved pumpens innløp som pumpen krever for å kunne fungere optimalt uten at det oppstår kavitasjon (Pumpschool, 2007). NPSHr leveres av pumpeprodusent. Anleggets tilgjengelige trykk må da være større enn pumpes påkrevde trykk for at prosessen skal kunne fungere optimalt (Inspection for industry, 2013).

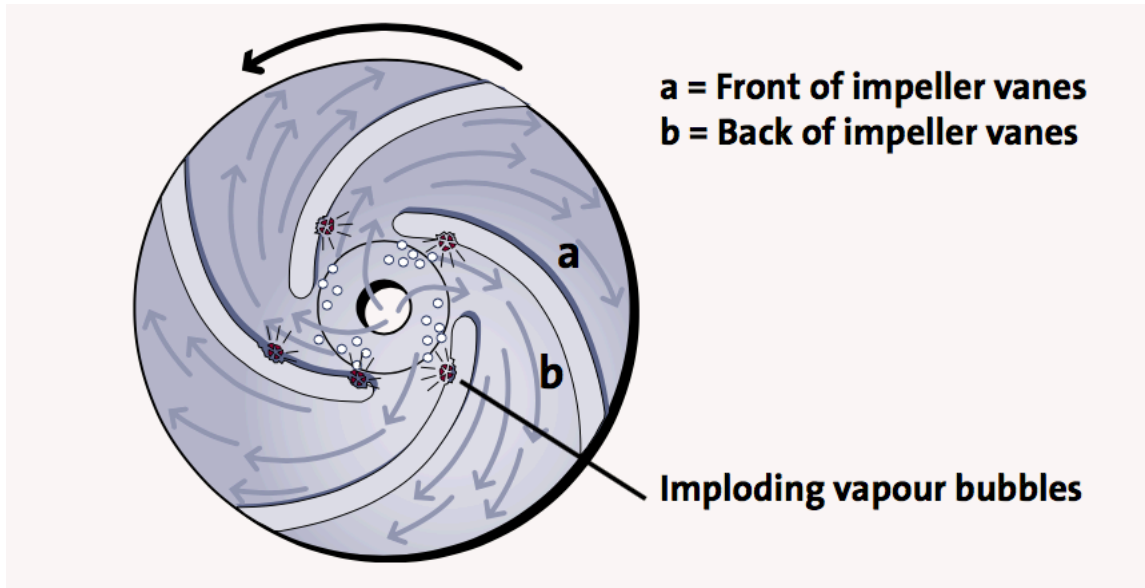
Figur 9 (hentet fra inspection-for-industry) viser hva som skjer ved forskjellig trykk: I (a) er sugetrykket (den tykke svarte linjen) høyere enn damptrykket. Da vil det ikke oppstå kavitasjon. I (b) på figur 9 er sugetrykket lavere enn damptrykket, og det vil dermed føre til at væsken kaviterer. Kavitasjon kan lettere oppstå ved unøyaktige NPSH beregninger, da trykket i anlegget ha stor betydning.



Figur 9 Kurve som viser hvordan kavitasjon kan oppstå og unngås i sammenheng med trykk

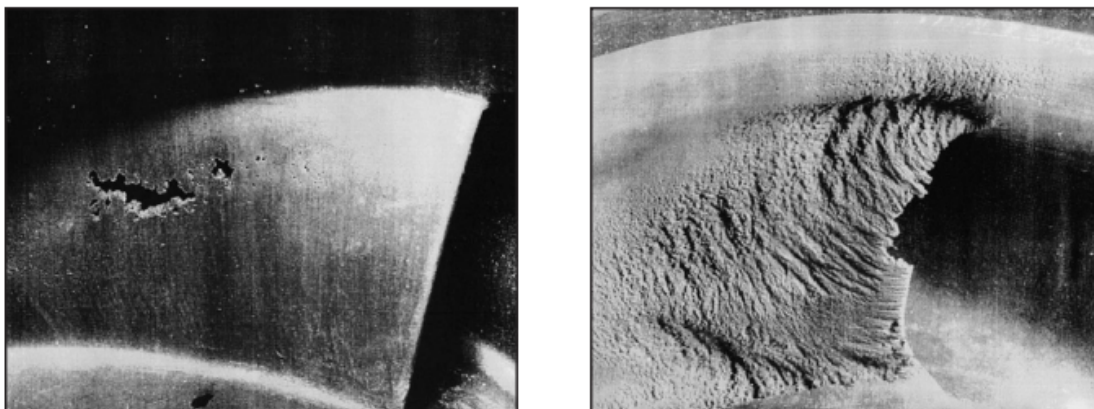
3.4 Kavitasjon

Kavitasjon kan oppstå ved trykkforskjeller i væsken (Pumpschool, 2007). Dersom væskens trykk blir lavere enn væskens damptrykk, vil væsken kavitere (Pumpschool, 2007). Ved kavitasjon går væsken over i dampform og danner gassbobler som vist i figur 10 (hentet fra Pump Handbook). Når trykket etter hvert endres tilbake igjen, går væsken over i væskeform og gassboblene imploderer (Xylem Applied Water Systems, 2015). Denne imploderingen kan forårsake skader på impellerne.



Figur 10 Illustrasjon av hvordan kavitasjon oppstår i en sentrifugalpumpe

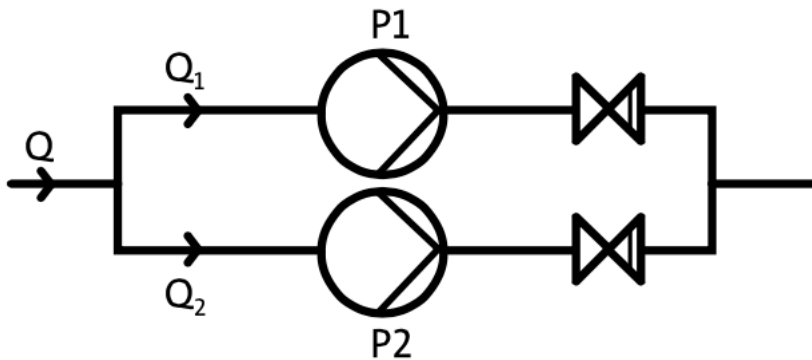
Kavitasjon oppstår vanligvis ved bruk av sentrifugalpumper fordi denne type pumpe er avhengig av endring av trykk for å skape et vakuum, og skyver væsken inn i motsetning til å trekke den inn (Klimes, 2017). For å unngå kavitasjon så er det beste å ordne en pumpe som passer best for applikasjonen (Klimes, 2017). På figur 11 som er hentet fra Xylem illustrerer skader kavitasjon kan forårsaker på impellere i sentrifugalpumpe.



Figur 11 Hull og skade på impeller ved kavitasjon

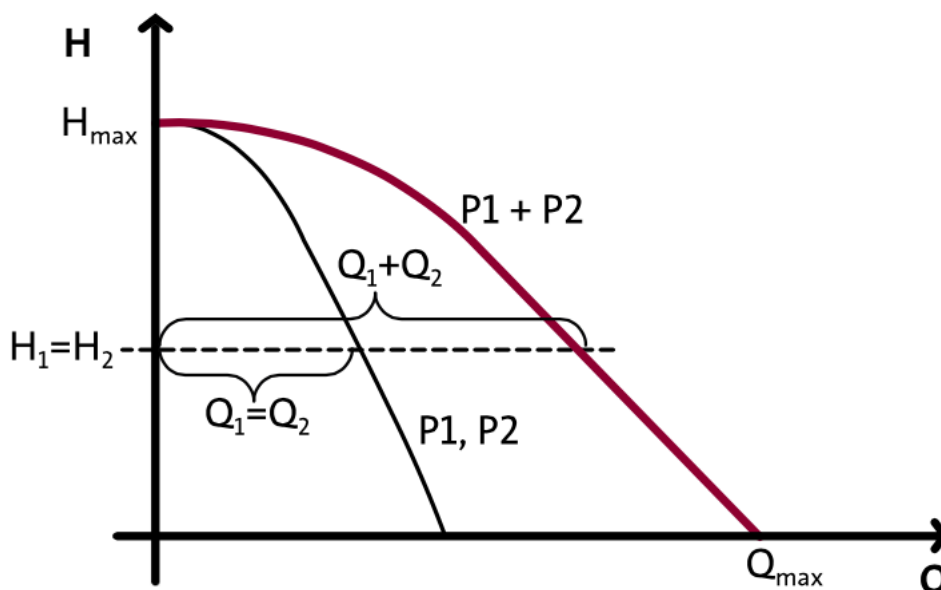
3.5 Pumper i parallell

Pumper koblet i parallell blir ofte brukt når kapasiteten som kreves er høyere enn det en pumpe alene kan levere. Etter pumpen plasseres en ventil slik som vist i figur 12 (hentet fra Grundfors litterature) slik at det ikke skal oppstå bypass sirkulasjon når kun en av pumpene opererer (Skovgaard & Nielsen, 2004). At pumper er koblet i parallell kan skje når en pumpe skal etter-installeres eller at prosessen har godkjent en spesifikk kapasitet som en pumpe ikke klarer å levere alene.



Figur 12 To pumper parallellkoblet sammen i en prosess med ventiler

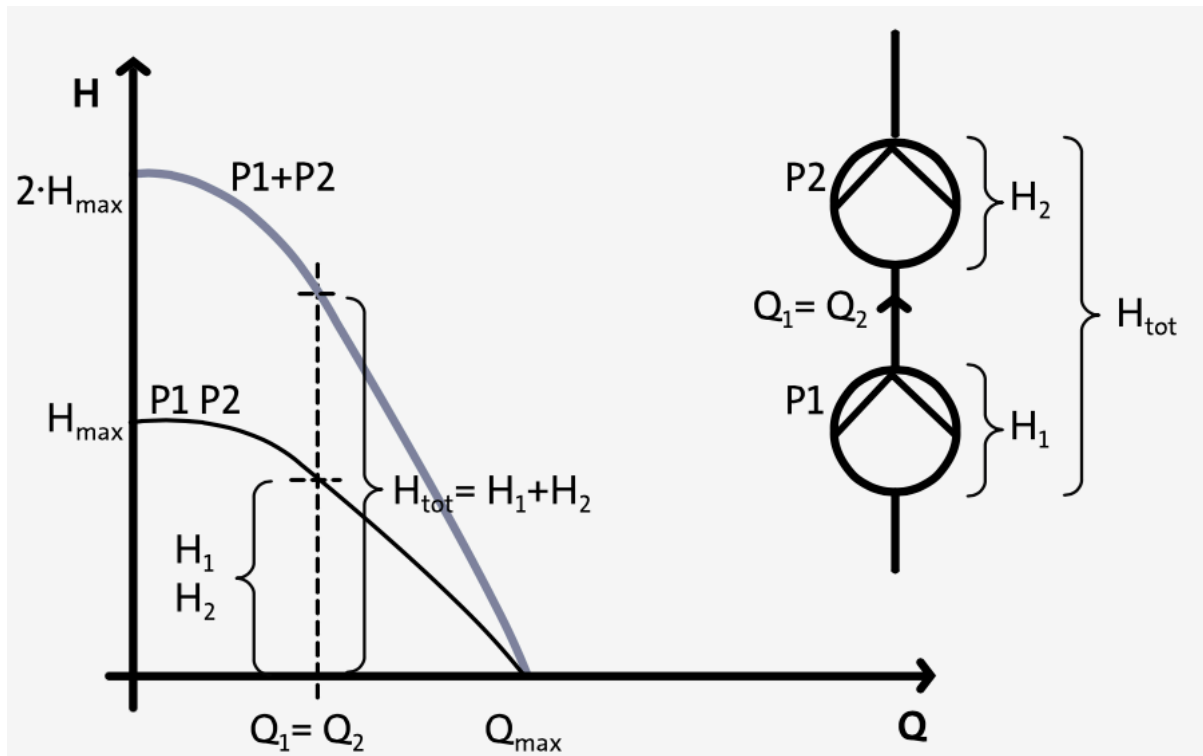
Figur 13 (hentet fra Grundfos litterature) viser en pumpekurve med to identiske pumper som er koblet i parallell. Den totale pumpekurven bestemmes ved å legge Q_1 og Q_2 sammen som gir Q_{max} siden pumpene er like. Når pumpene er identiske har den resulterende kurven samme maksimale løftehøyde fordi $H_1=H_2$, men strømmingen er dobbelt så stor (Skovgaard & Nielsen, 2004). P1 og P2 er de to pumpene som viser hvordan den nye pumpekurven ser ut.



Figur 13 Forandringen til pumper koblet i parallell i forhold til en pumpe alene

3.6 Pumper i serie

Pumper i serie brukes ofte når det kreves høyere løftehøyde enn det en pumpe alene kan levere. Når denne metoden brukes som vist i figur 14 (hentet fra Grundfos litterature) så er kapasiteten Q fortsatt den samme, men får dobbelt så stor løftehøyde, $H_{tot} = H_1 + H_2$. P1 og P2 er de to pumpene, og Q_1 og Q_2 er kapasiteten. Når pumpene kobles i serie blir pumpekurven (P1+P2) endret fordi løftehøyden blir større (Skovgaard & Nielsen, 2004).



Figur 14 Figuren til venstre viser hvordan pumpekurven til seriekoblede pumper illustreres i forhold til en pumpe alene og figuren til høyre viser pumpene koblet i serie

4 KBAL

4.1 KBAL – Knutsen OAS Shipping AS's renseanlegg

I forbindelse med ballastvannkonveksjonen og kravet om ballastvannhåndtering har Knutsen OAS Shipping AS utviklet sin egen renseteknologi KBAL.

KBAL er integrert i ballastvann prosessanlegget. Rensesystemet består først av en trykk-vakuump reaktor (P/V reaktor) og så UV-belysning (Lothe, 2018). P/V reaktoren vil i samarbeid med en vertikal dropplinje sørge for trykkreduksjon fra 2 bar til vakuump og trykkøkning tilbake til 2 bar.

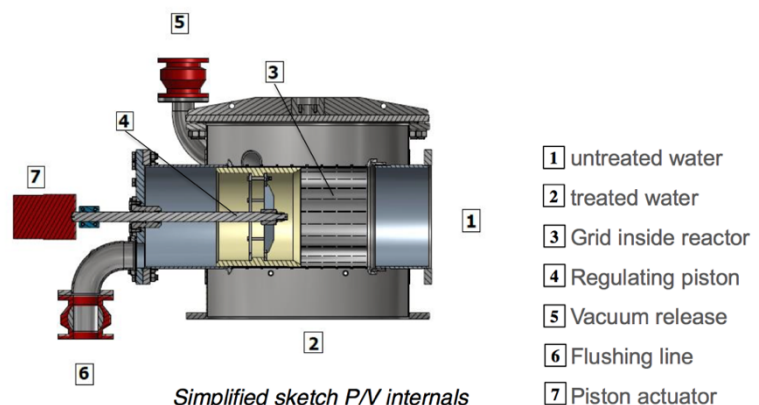
Trykkreduksjonen gjør at det koker i KBAL og dette river i stykker de største organismene. Videre blir vannet sendt ned i fallhøyden hvor det igjen oppstår trykk og her blir alger og bakterier som er for små til å rives i stykker ødelagt av UV-belysning. UV-strålene skader DNAet og dreper. Organismene i vannet drepes eller blir ikke-reproduserbare etter rensingen. Ved ballastering blir vannet pumpet inn i KBAL før det blir sendt ut i tankene. Vannet renses også av KBAL ved de-ballastering slik at pumpene kjøres flere ganger for å ikke stå i ro, og for å sikre optimal rensing, i henhold til regelverket av ballastvannet før utslipp.



Figur 15 Hvordan renseanlegget KBAL ser ut på et skip

Figur 15, en skisse hentet fra brukermanual fra Knutsen, viser hvordan KBAL ser ut fra siden.

Vannet kommer inn på (1) med 2 bar og går videre inn i (3) som gir vakuump og får vannet til å koke og river i stykker de største organismene. (4) presser vannet videre ved bruk av stempel og ned i fallhøyden (2). Trykket oppstår igjen i fallhøyden og vannet blir utsatt for UV-lys som dreper de siste organismene før vannet blir pumpet inn i tankene. (5) er hvor vakuumpet frigjøres, (7) er spaken som regulerer stempelet og (6) er spylelinje til rengjøring og ved behov.

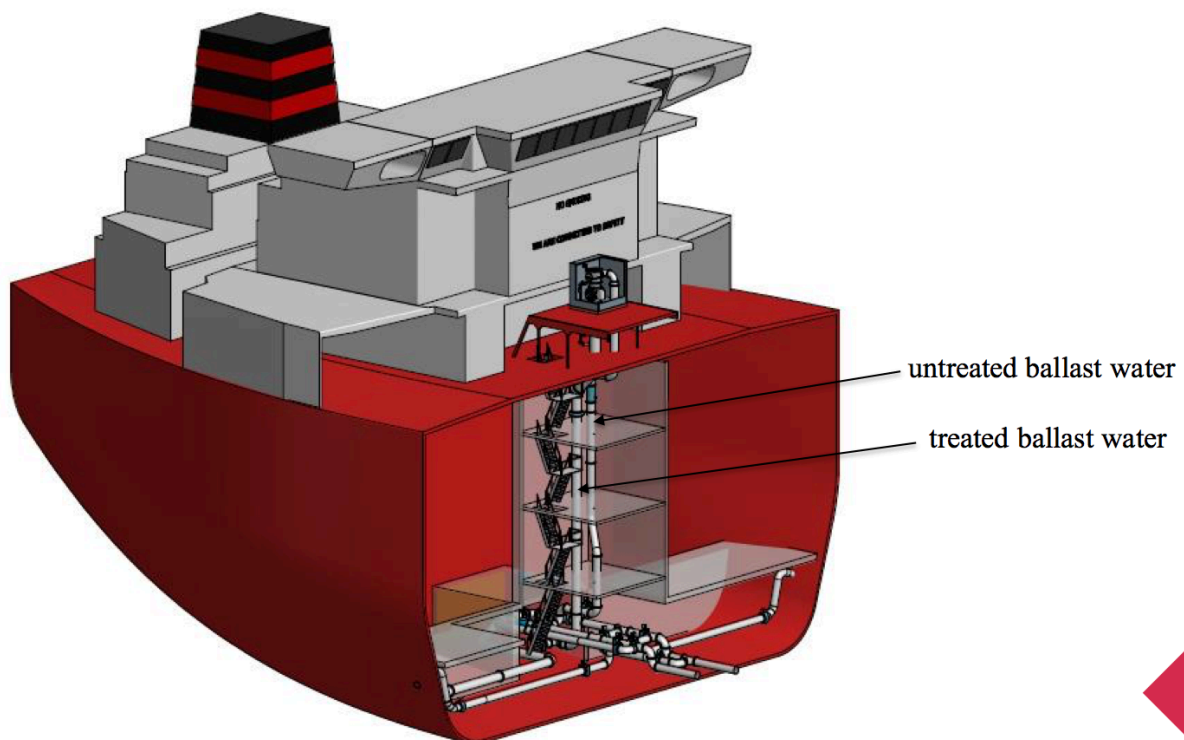


Figur 16 Spesifikk illustrasjon hvor og hva komponentene i KBAL er

4.2 Plassering av KBAL

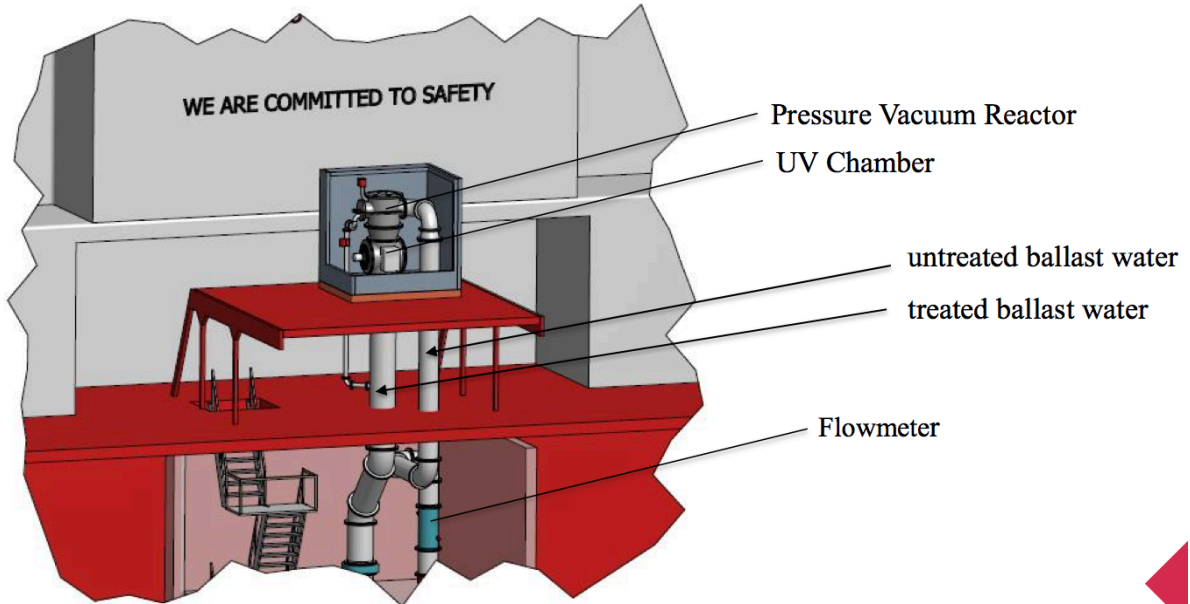
Når KBAL skal installeres på skip trengs det en viss høyde for å opprettholde kravet som omhandler vakuum til trykk. Da kan muligheten være å sette KBAL på dekk på skipet siden det som regel er plass der. Resten av anlegget er plassert på bunn slik at KBAL kan plasseres på dekk.

På LNG-skip kan KBAL plasseres i maskinrommet dersom det er plass og dersom det er en bedre løsning enn å plasseres på dekk. På oljetankskip må det være en skillevegg mellom oljetanker og maskinrom da det kan oppstå lekkasje fra oljetankene og hydrokarboner kan komme inn i maskinrommet (Lothe, 2018). Da er det en fordel at KBAL kan plasseres på dekk. På figur 17 (hentet fra Knutsens brukermanual) vises det hvordan eksempelvis KBAL er blitt plassert på et skip. Da kommer vann inn fra sjø og blir pumpet opp (untreated ballast water), inn i KBAL og ned i fallhøyden (treated ballast water) og blir pumpet videre inn i ballasttankene.



Figur 17 Hvor KBAL eksempelvis er plassert på dekk på et skip

På figur 18 (hentet fra Knutsens brukermanual) vises et nærmere bilde på hvordan KBAL er plassert på dekk. Vannet pumpes opp fra bunn av skipet, igjennom KBAL og videre ned til pumpene som pumper vannet videre til tankene.



Figur 18 Mer detaljert av eksempelvis plassering av KBAL på skip

5 Pumpekurve

5.1 Generell pumpekurve teori

En pumpekurve er en grafisk fremstilling som inneholder alle karakteristikkene til pumpen (Statoil/HSH, 2016). Siden karakteristikkene til hver enkel pumpe er unike, har alle pumper egne spesiellagede pumpekurver (Lothe, Pumpekurver, 2018). Kurven inneholder effekt, NPSH, turtall og eventuelt diameter satt i forhold til løftehøyde (head) og kapasitet (flow) (Statoil/HSH, 2016).

Pumpekurver er tilpasset hver enkelt pumpe som gjør dem ulike og inneholder ulik mengde informasjon om pumpen, figur 19 og 20 er eksempler på hvordan ulike pumpekurvene kan presenteres. Figur 19 viser lite informasjon, mens figur 20 inneholder mer informasjon som gjør det lettere å forstå hvordan pumpen kan levere optimalt.

I et system må det tas hensyn til statisk høyde og friksjonshøyde. Statisk høyde er den høyden væsken må løftes for å oppnå et nyttig resultat. Friksjonshøyde er avhengig av hvilket materiale pumpen og rørsystemet er laget av, samt størrelsen på rørene, og friksjonshøyden vil øke når strømmingen øker. Statisk høyde + friksjonshøyde = løftehøyden som gir utgangspunktet for systemkurven til pumpen (R.C. Worst & Co., 2017).

Figur 19 er hentet fra Pump Handbook og illustrerer en eksempelvis pumpekurve hvor blå linje representerer sammenhengen mellom løftehøyde H (m) og kapasitet Q (m^3/h) og rød linje representerer systemkurven. Punktet der disse to linjene møtes kalles driftspunkt, som er området pumpen opererer optimalt på. (Statoil/HSH, 2016). Driftspunktet er beregnet i sammenheng med alle karakteristikkene, og er avgjørende for pumpens drift. Ved å endre på karakteristikkene som for eksempel turtallet, endrer man også driftspunktet (Skovgaard & Nielsen, 2004).

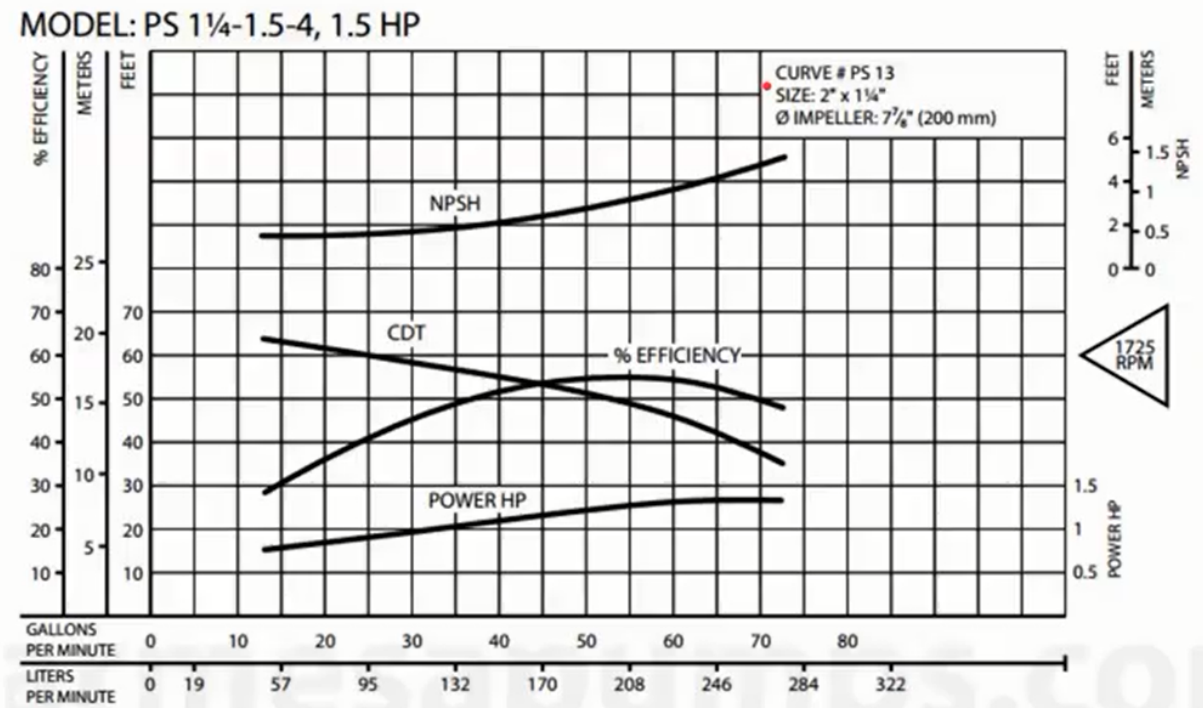


Figur 19 Illustrasjon av en pumpekurve som viser driftspunktet i sammenheng av løftehøyde og kapasitet

Figur 20 (hentet fra youtubevideo laget av R.C. Worst & Co) har flere kurveparametere enn figur 19, og denne pumpekurven gir mer informasjon om driftspunktet. I noen pumpekurver er det også vist impellerdiameter, som ved hjelp av driftspunktet viser hvilken diameter som er mest optimal. I figur 20 er det tatt utgangspunkt i en gitt impellerdiameter, men det finnes også pumpekurver som viser systemkurven ved flere ulike impellerdiametere som er gitt for å gi optimalt driftspunkt (R.C. Worst & Co., 2017).

- CDT (ytelseskurve) linjen representerer systemkurven, som viser hvordan pumpen arbeider og hvor mye pumpen kan levere i forhold til kapasitet (på x-aksen) og løftehøyden (på y-aksen).
- % EFFICIENCY representerer hvor god virkningsgrad pumpen leverer, og vil kunne levere best virkningsgrad på det høyeste punktet.
- POWER HP representerer hvor mye tilført effekt pumpen har behov for, og for å kunne levere ulikt resultat. I denne figuren står HP for hestekrefter, altså en enhet for tilført effekt til pumpen.
- NPSH representerer netto positiv sugehøyde, og viser hvor mange meter NPSH gir ved ulike punkt.

Punktet hvor systemkurven (CDT) og % efficiency kurven krysses er driftspunktet. Dette er punktet hvor pumpen arbeider optimalt. Vertikalt ned fra driftspunktet til POWER HP linjen og videre til høyre side viser hvor mye effekt (horsepower) som må tilføres pumpen for å kunne levere til det gitte driftspunktet. Vertikalt opp fra driftspunktet til kryssingen av NPSH, og videre til høyre side, vises hvor mange meter sugehøyde (NSPH) driftspunktet gir.



Figur 20 Eksempel på fremstilling av pumpekurve med flere kurveparametere

5.2 Teori om regulering av pumpekurver

Det er nødvendig å regulere pumpen i en ballasteringsprosess, og det er da viktig å bruke pumpens kurve for å regulere optimalt for både pumpen og prosessen (Lothe, Pumpekurver, 2018). Dersom pumpereguleringen utføres uten å ta hensyn til pumpekurven kan det risikeres å kjøre pumpen utenfor driftsområdet. Dette vil ikke øyeblikkelig ødelegge pumpen, men dette er ikke optimalt og kan ha ødeleggende langtidseffekt (Lothe, Pumpekurver, 2018).

Når pumperegulering skal utføres ved ballastering og de-ballastering er det viktig å regulere med hensyn på alle karakteristikkene. Det betyr altså at dersom det for eksempel ønskes et lavere turtall, vil driftsområdet endres og får gjerne lavere løftehøyde. Det kan være ulike utfordringer med å ikke ha tilpasset løftehøyde, altså høyden pumpen kan suge vann fra, i forhold til formålet:

- For høy løftehøyde i forhold til høyden på tanken gir en overbelastning, og det gir en større høyde enn det er behov for. Dette vil ikke være gunstig for verken tanken eller pumpen.
- Ved for lav løftehøyde i forhold til høyden på tanken vil ikke tanken kunne fylles helt opp. Det er ikke optimalt siden tankene skal ha muligheten til å fylles helt opp for at skipet skal få den stabiliteten den trenger.

Før ballastering utarbeides alltid en ballasteringsplan hvor det strategisk planlegges hvordan tankene skal fylles for at skipet hele tiden skal være jevnt lastet for å opprettholde likevekten i skipet (Fagerland, 2018). Når planen er klar kan ballasteringen startes, og vanligvis vil det ikke være noen store utfordringer ved dette, men siden det nå innføres integrert renseteknologi i ballastvannanleggene vil det være nødt til å ta hensyn til nye faktorer i prosessen (Lothe, 2018). For Knutsen OAS Shipping AS benyttes renseteknologien KBAL, og for å opprettholde KBAL sine krav for optimal drift må dette tas hensyn til under regulering i prosessen. Reguleringen er helt nødvendig, for ved ulike tidspunkt er det behov for ulik kapasitet inn i tankene. Da må strømmingen i prosessen reguleres uten at det går på bekostning av kravene til KBAL (Lothe, Pumpekurver, 2018). Det er her pumpekurver kan være til stor hjelp.

5.3 Regulering med pumpekurver

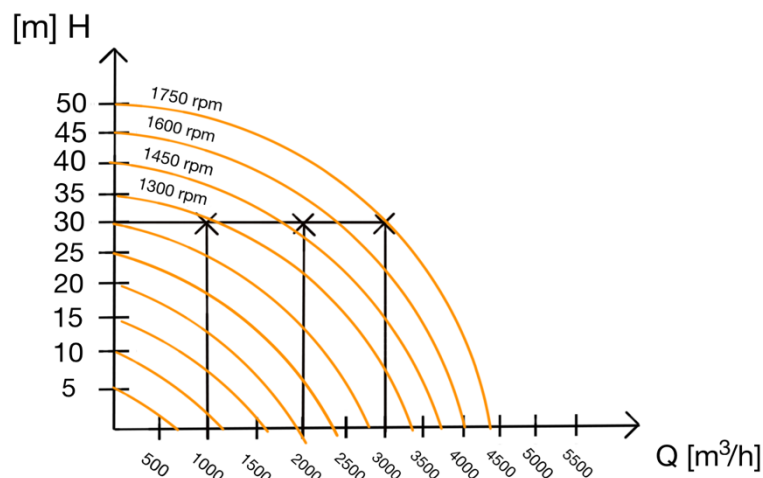
For å kunne regulere pumpene ved ballastering og de-ballastering vil det være svært nyttig å benytte pumpekurvene. Ved bruk av KBAL må alle operasjonelle behov ivaretas, og regulering ved hjelp av pumpekurvene er den beste måten å oppnå dette på. Å regulere med pumpekurver kan gjøres ved to metoder som er regulering med turtall og regulering med struping. En utfordring med å regulere kapasiteten i prosessen er at det kan forekomme for lite trykkehøyde slik at kravene til KBAL ikke oppfylles. Dette kan unngås ved å ha god forståelse for pumpekurver og hvordan disse skal brukes.

5.3.1 Regulering av pumpekurve med turtall

Figur 21 illustrerer en måte å gjennomføre reguleringen på. Horisontalt ligger x-aksen som representerer kapasitet (strømningshastigheten Q) og vertikalt ligger y-aksen som representerer løftehøyden (H). Turtallet kan justeres opp og ned ut i fra behov, og er en gunstig måte å regulere prosessen på. Turtallsregulering gir ikke energitapet som struperegulering gir, og det vil være en økonomisk god løsning. Det er heller ingen risiko for å slite ut ventiler det og KBAL får fungere optimalt (Lothe, 2018).

KBAL er godkjent for å operere på $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ (Lothe, 2018), og ballastering og deballastering vil da gjennomføres i punktet på $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ i kapasitet (på x-aksen) og ved dette eksempelet på figur 21 er løftehøyde 30 meter. De oransje linjene representerer de ulike turtallene pumpen kan kjøre med, og ved $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ med 30 meter kjører pumpen på 1750 rotasjoner per minutt (rpm). Turtallene i figuren er fiktive og skal kun gi en indikasjon på prinsippet med regulering.

Når ballastering nærmes slutten og det blir behov for lavere kapasitet, kan turtallet reduseres. I figuren er det vist en reduksjon ned til $2000 \text{ m}^3/\text{h}$, men selv om turtallet og kapasiteten reduseres kan likevel løftehøyden og KBALs krav om trykk opprettholdes. Når turtallet og kapasiteten skal reguleres er det viktig å holde løftehøyden på den horisontale linjen slik at trykk ivaretas. Regulering med turtall gjøres i kontrollrommet på skipet.



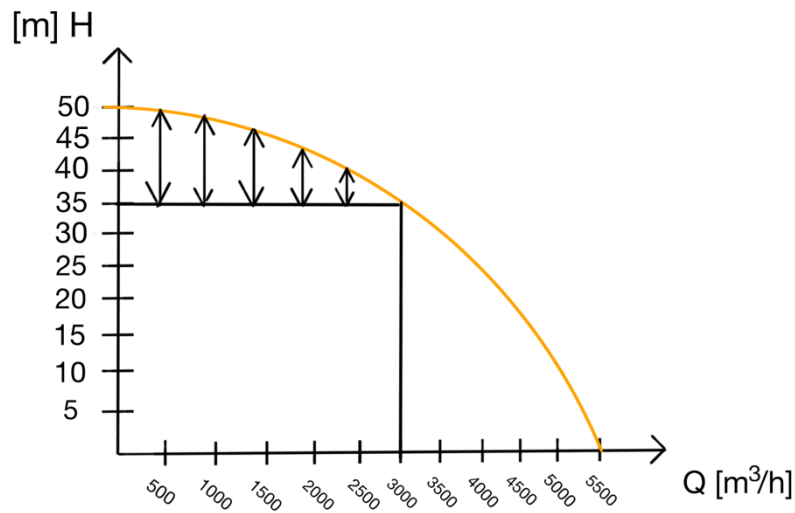
Figur 21 Hvordan turtallsregulering med pumpekurve utføres

5.3.2 Regulering av pumpekurve med struping

Figur 22 illustrerer en måte å regulere med struping på. Horisontal linje representerer kapasiteten Q og vertikal linje representerer løftehøyde H . Den oransje linjen er systemkurven. Likt som i figur 21 er kurven laget etter KBAL sitt krav om å operere på $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ og løftehøyden i figuren er fiktiv.

Hvis denne pumpekurven skal fungere i praksis vil kapasiteten på $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ og 35 meter i løftehøyde gi null energitap når tankene skal fylles. Når ballasteringen nærmes slutten vil det bli behov for å redusere kapasiteten inn i tankene og da benyttes strupereguleringen. Hvis

kapasiteten skal reduseres ned til 2000 m³/h vil løftehøyden i forhold til pumpekurven bli rundt 45 meter, som er for høyt og da må det strupes ned til 35 meter løftehøyde. Denne strupingen gir energitap som gjør at denne metoden er mindre økonomisk og miljøvennlig enn turtallsregulering. Jo lavere kapasiteten er jo høyere energitap vil det oppstå.



Figur 22 Pumpekurve som illustrerer hvordan struperegulering utføres

6 Knutsens prosessanlegg

Knutsens skip har ulike størrelser, og er bygget for å frakte ulikt innhold. Denne rapporten fokuserer på de to hovedtypene, som er oljetankskip og LNG-skip. Prosessanleggene fungerer med det samme prinsippet og har stort sett samme innhold av elementer i prosessen, men kan variere i størrelse og utforming.

Å finne den optimale ruten for skipsrør i en prosess er en komplisert og tidkrevende jobb (Kang, Myung, & Han, 2015). Når KBAL skal integreres i prosessanlegget, vil det kunne by på utfordringer i forhold til KBALs krav til høyden som trengs for å operere optimalt. Erfaring er hovedverktøyet når det gjelder å designe et rørsystem (Kang, Myung, & Han, 2015). Hvordan systemet skal utformes bestemmes i henhold til kravspesifikasjoner som kommer fra rederiet (Lothe, 2018).

6.1 Bend og friksjon i rør

Et prosessanlegg består av rørsystem hvor det strømmes væske og det kan være flere ting som kan gi uønsket trykktap. Trykktapet vil komme av friksjon mellom væske og rørvegg, også vil det være tap i ventiler, bend, innsnevninger eller utvidelsene av rør og i forgreininger (Husø & Larsen, 1998). Trykktapet som oppstår av friksjon, øker når rørene blir gamle og ru innvendig (Husø & Larsen, 1998). Bend i rør er ikke til å unngå i et prosessanlegg, og med implementering av ny teknologi vil det gi enda mer bend, som videre gir økt friksjon. Økt friksjon kan gi elementene i prosessen, som pumpen, mer å jobbe i mot. Før pumpen velges må det beregnes friksjon i anlegget slik at pumpen kan være designet for dette.

6.2 Ulike typer ventiler

Strupeventil:

I anlegget til Knutsen OAS Shipping AS brukes det en butterflyventil, som kan reguleres (strupes) for å justere kapasiteten i prosessen (Lothe, 2018). En metallskive i ventilens kropp er plassert vinkelrett på strømmen i lukket stilling, og roteres en fjerdedel av en sving for å være parallell med strømmen i fullåpnet stilling (Process Industry Forum, 2013). Fordelene med en butterflyventil er at de er små og åpner og lukker seg raskt. Ventilene er svært presise, noe som gjør dem fordelaktige i industrielle operasjoner. De er ganske pålitelige og krever svært lite vedlikehold (Husø & Larsen, 1998). I nyere tankskip styres ventilene hydraulisk, siden dette er mindre sårbart og sikrere enn å styre dem med ratt fra dekk slik det gjøres på eldre skip (Husø & Larsen, 1998).

Tilbakeslagsventil:

Denne ventilen fungerer slik at en gass eller væske kan bare strømme i en retning, men ikke den andre. En tilbakeslagsventil er montert for å sikre at fluidet kun strømmer i riktig retning der trykkforholdene ellers kan føre til reversert strømning (Grundfos, 2017)

6.2.1 Utfordringer i rørsystem

Når det skal lages et system med pumper og ventiler er det mye å ta i betraktning. Feil bruk av pumper og ventiler kan føre til skadelige trykkstøt i rørledningen (Husø & Larsen, 1998). Disse trykkstøtene kan komme dersom ventilene stenges for raskt og derfor må alltid



ventilene stenges sakte. Lange rørledninger med stor væskestrømning og tilkoblingspunktet mellom skip og land er de mest utsatte stedene for skader (Husø & Larsen, 1998).

Korrosjon:

I rørsystemer kan korrosjon oppstå når det blir utsatt for sjøvann over lengre tid. Korrosjon er tap av metall på en eksponert overflate (Skovgaard & Nielsen, 2004). Når korrosjon oppstår er det i mange tilfeller umulig eller ganske dyrt å fullstendig stoppe korrosjonsprosessen, det er i isteden vanligvis mulig å kontrollere prosessen til akseptable nivåer (Skovgaard & Nielsen, 2004).

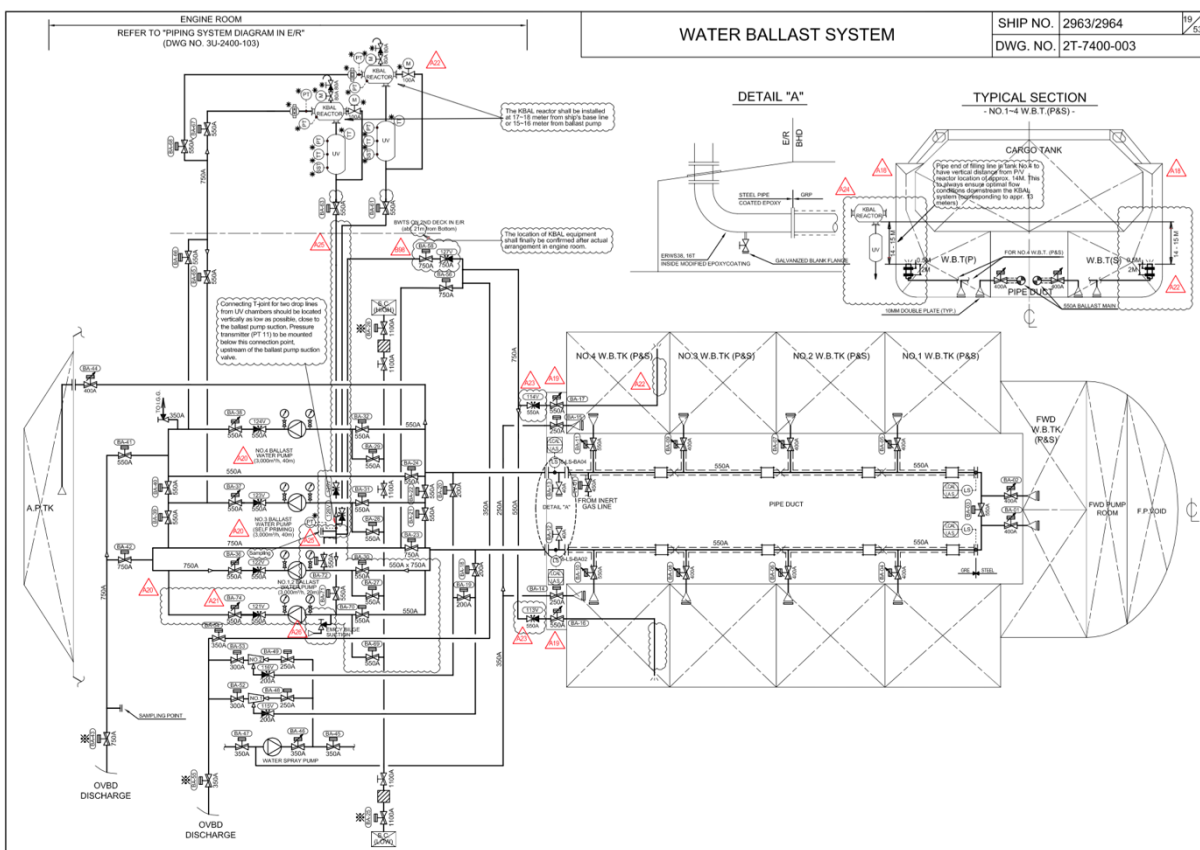
Erosjon:

Erosjon er slitasje på et materiale som resultat av væskestrøm med høy kapasitet (Sandvig, 2005). Vanligvis finnes erosjon i nærheten av forstyrrelser i strømmingen og bend, t-skjøter, pumper, ventiler og innløp og utløp i varmevekslere er steder som ofte angripes (Sandvig, 2005).

6.3 LNG skip

Figur 23, en skisse lånt av Knutsens rederi, er et ballastvann prosessanlegg plassert på et av Knutsens LNG-skip. På LNG-skip kan maskinrommets areal benyttes, det gir bedre plass og kan unngå unødvendig bend i rørutformingen (Lothe, 2018). Anlegget består av ballastvannpumper som benyttes for å pumpe vann inn i anlegget, gjennom KBAL som renser vannet ved å drepe organismene i vannet, og så videre inn i ballastvanntankene.

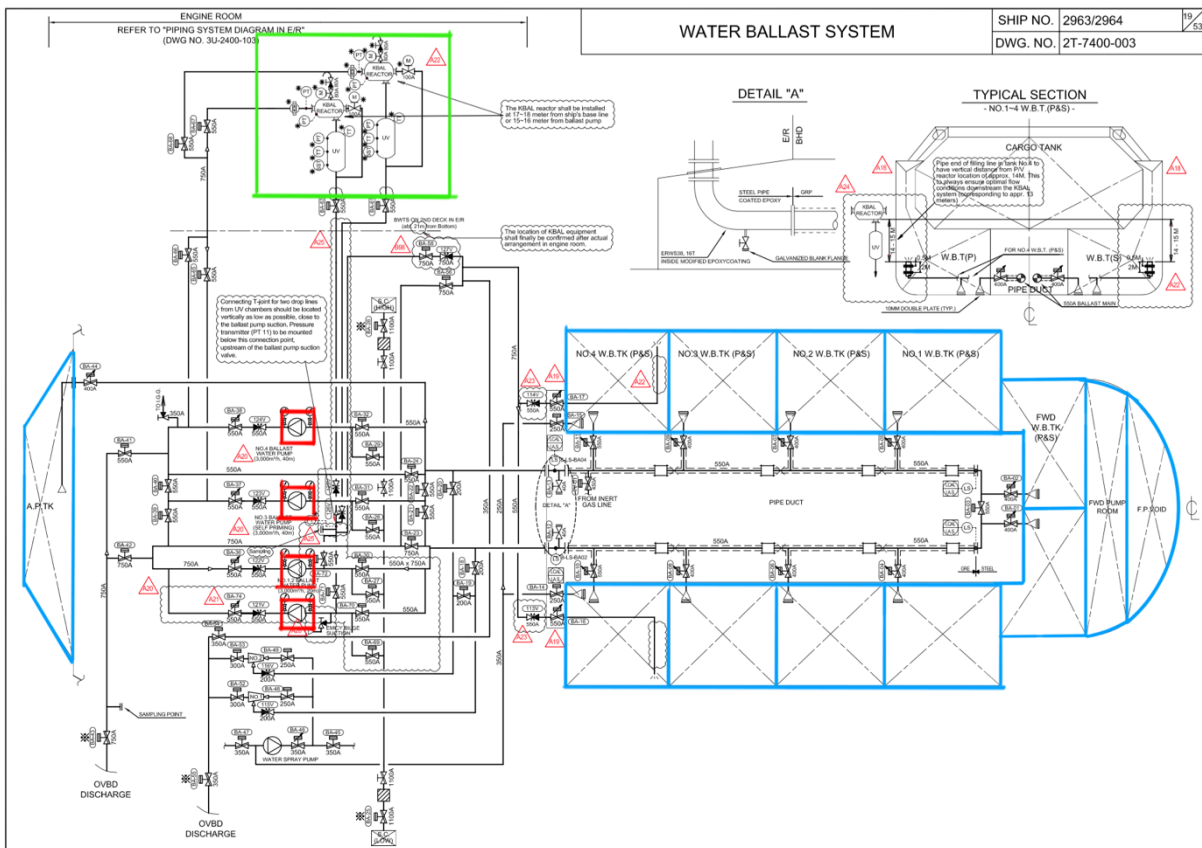
Ved de-ballastering benyttes pumpene til å pumpe vann ut av tankene, gjennom KBAL, og ut i sjøen. Pumpene kan ikke kjøres i anlegget til tankene er 100% tomme, da det er fare for at pumpene kan suge luft når vannmengden blir så liten, altså ved tømning av siste rest. Knutsen har da plassert et strippe-system i anlegget sitt, med en strippepumpe som suger ut siste rest fra tankene og inn i en strippetank. Når tankene er tomme benyttes ballastvannpumpen for å suge vannet ut fra strippetanken, gjennom KBAL og ut i sjøen.



Figur 23 Typisk løsning av prosessanlegg på LNG-skip

6.3.1 De ulike komponentene på LNG-skip

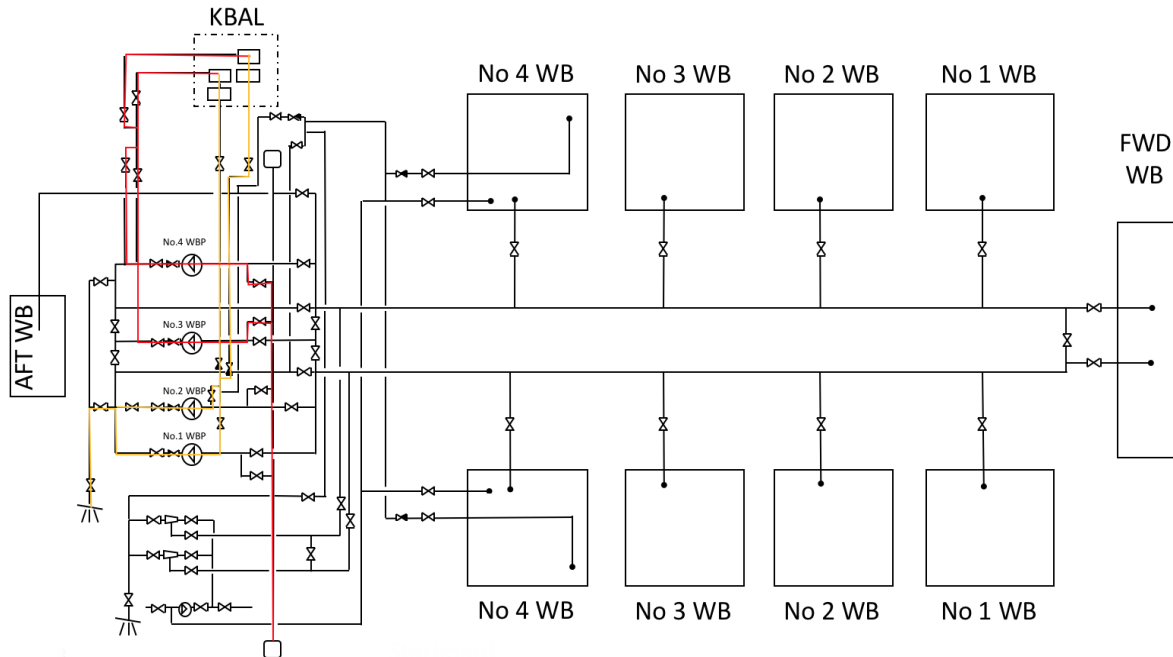
På figur 24 er de forskjellige komponentene på et LNG-skip rammet inn. Tankene har blå farge, pumpene har rød farge og KBAL har grønn farge. LNG-skip har fire pumper, to KBAL systemer og mange ballasttanker. Hvor mange ballasttanker det er på skip varierer med størrelsen på skipet. På LNG-skip er det ikke eksplosjonsfare ved å plassere KBAL i maskinrommet og da kan denne plassen benyttes hvis det er gunstig for utformingen av KBAL.



Figur 24 De ulike komponentene KBAL, tankene og pumpene på LNG-skip

6.3.2 Sjø til sjø for å varme opp KBAL

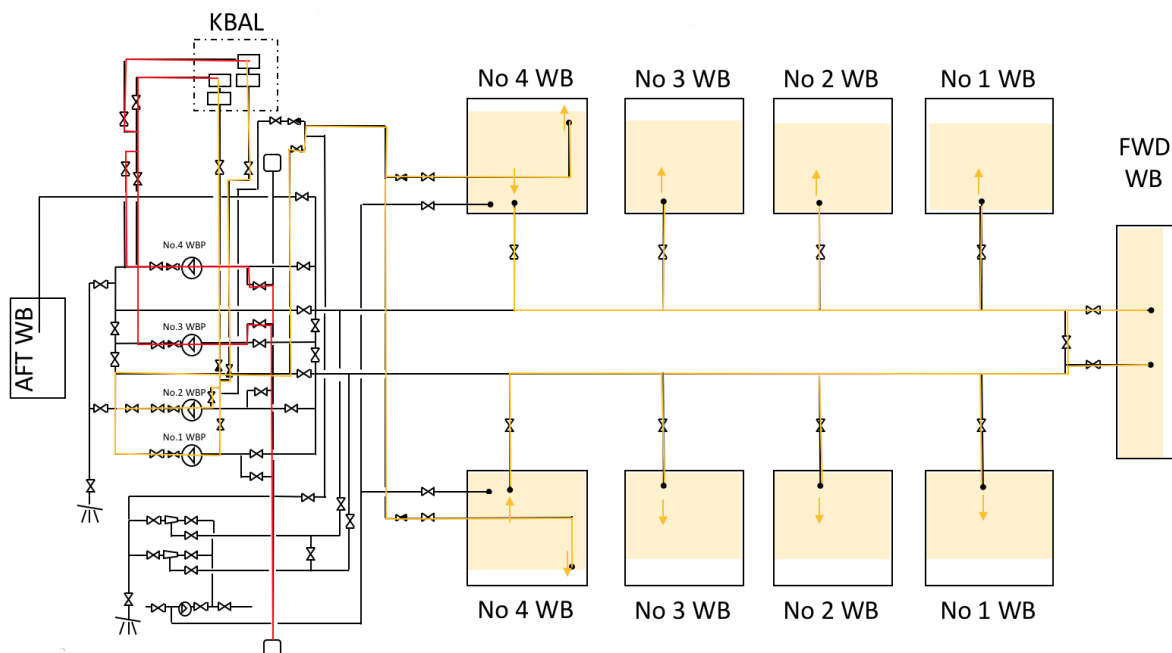
Videre i oppgaven vil et forenklet prosessanlegg laget av Knutsen OAS Shipping AS brukes for å gjøre det lettere for leseren å få en oversikt. Når det skal pumpes vann inn i tankene må det kjøres en gjennomgang av KBAL før ballasteringen. Da blir ballastvann pumpet inn fra sjø og tilbake til sjø gjennom KBAL, som vist på figur 25. Dette gjøres som en kvalitetssjekk for rensingen og for å varme opp UV-lysene. Den røde linjen viser vannet som er ubehandlet og den oransje linjen viser rensset ballastvann.



Figur 25 Sjø til sjø prosessen med bruk av KBAL for å varme opp systemet for ballastering

6.3.3 Ballastering på LNG skip

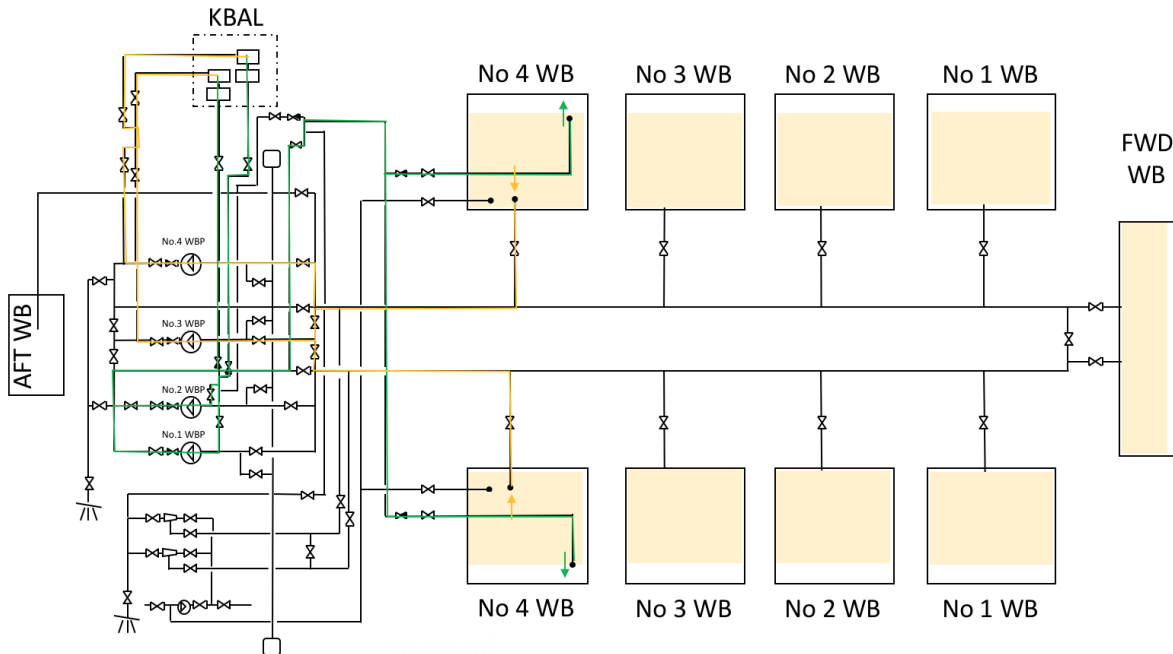
På figur 26 vises det at ved ballastering pumpes vannet fra sjøen (rød linje) med to pumper som heter No. 4 WBP og No. 3 WBP, gjennom KBAL (oransje linje) og pumpes av No. 2 WBP og No. 1 WBP og videre inn i de to No 4 WB tankene. Når ballastvannet har fylt opp de to første tankene, brukes ballasteringsplanen til å åpne ventilene for å pumpes videre til de andre tankene. Det brukes en ballasteringsplan slik at vekten av vannet blir fordelt for at det ikke skal forekommer spenninger i skroget og vannet skal kompensere med lasten til skipet.



Figur 26 Ballastering inn i tankene på LNG skip med rensing av KBAL

6.3.4 Varme opp systemet før de-ballastering

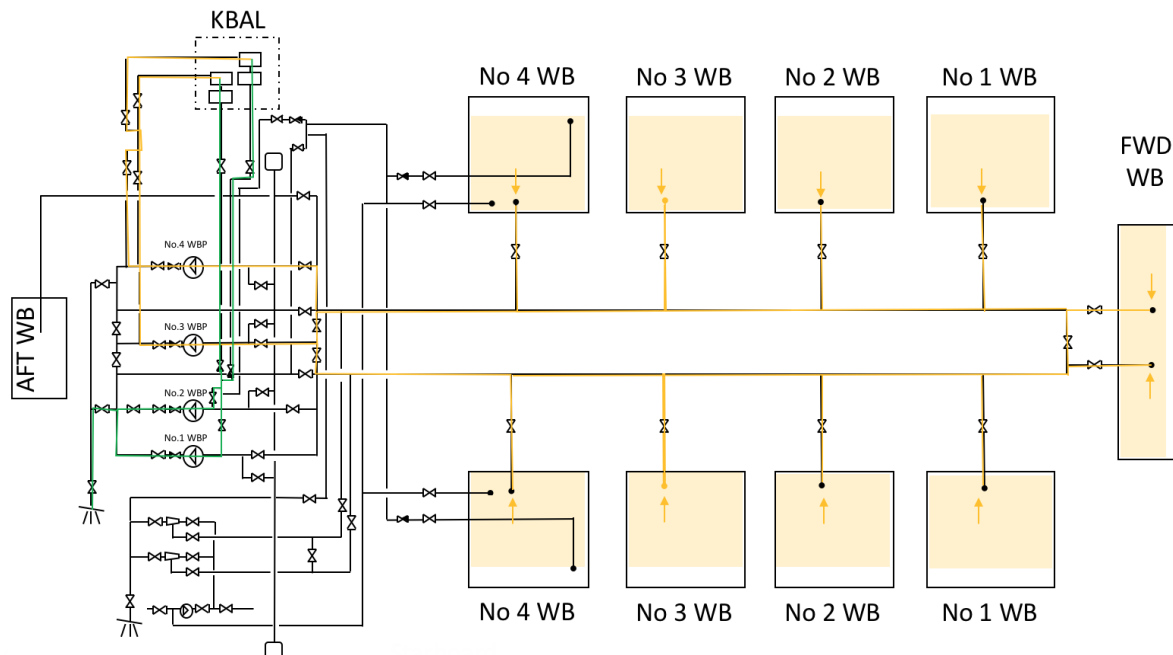
Før de-ballastering må systemet og UV-lampene oppvarmes, da kjøres vannet innad gjennom systemet. Det gjennomføres ved at ballastvannet som er oransje linje pumpes fra No 4 WB tankene og gjennom KBAL (grønn linje) og pumpes videre til samme tank. Vannet pumpes til og fra samme tank fordi det er unødvendig å ta opp nytt vann når det allerede er på skipet.



Figur 27 Prosessen for å varme opp KBAL før de-ballastering, vannet kjøres lokalt fra tank til tank

6.3.5 De-ballastering

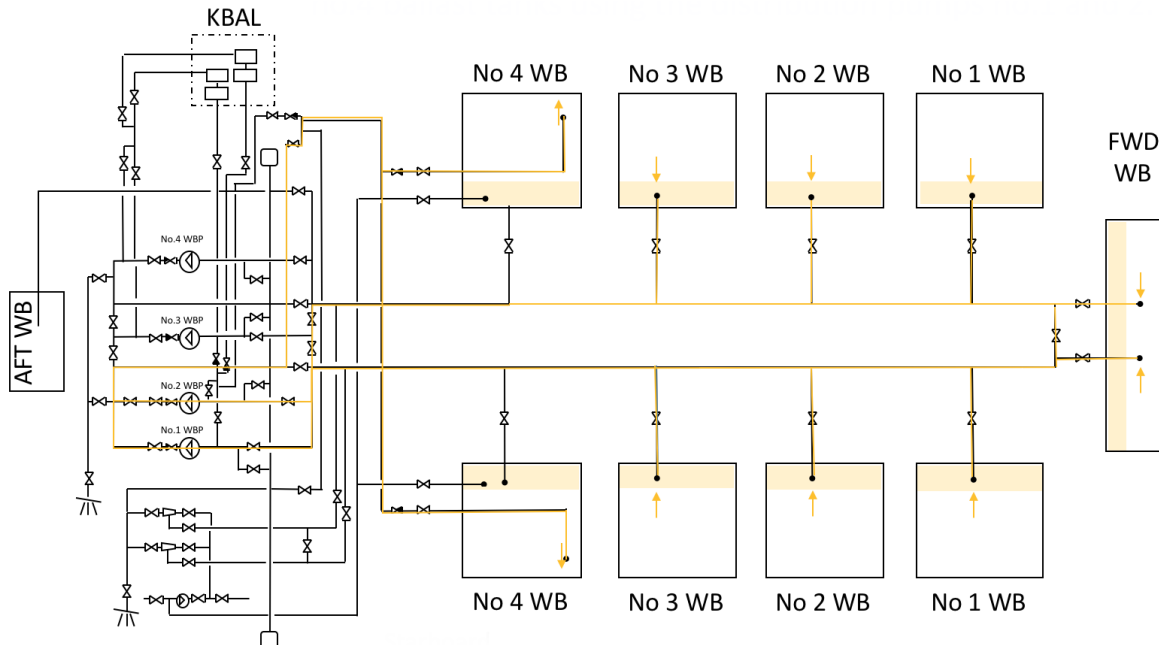
Når de-ballastering gjennomføres benyttes ballasteringsplanen. Ballastvannet fra tankene pumpes (gul linje) inn i KBAL (grønn linje), videre pumpes det rensede vannet ut i sjøen.



Figur 28 De-ballastering på LNG skip, ballastvannet pumpes fra tankene gjennom KBAL og ut i havet.

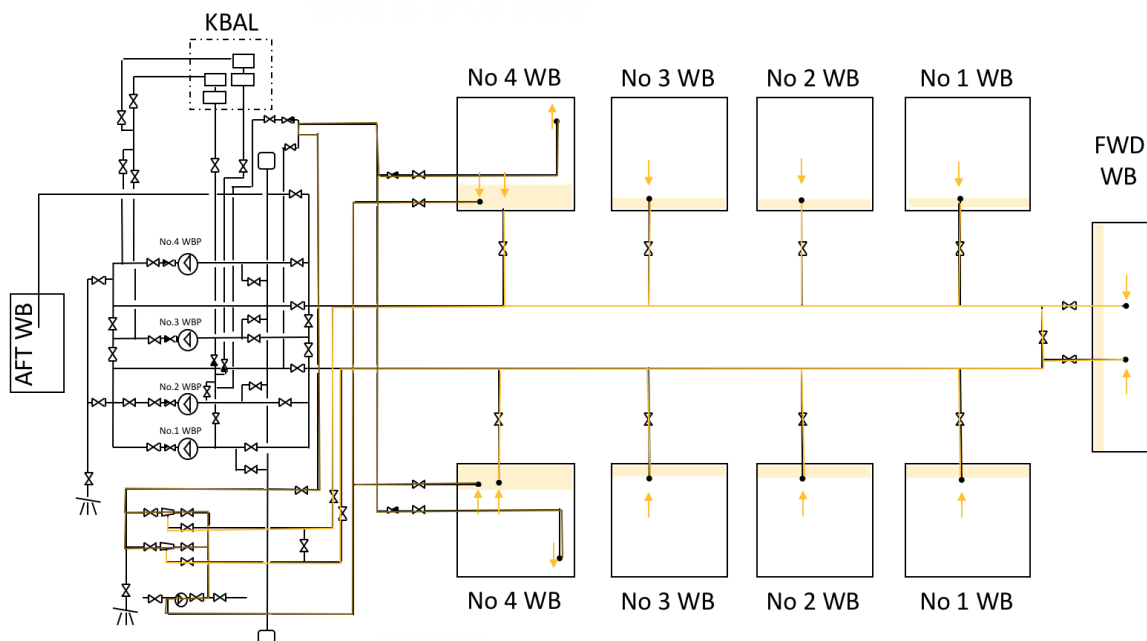
6.3.6 Strippesystem

Ved de-ballastering er det ikke mulig å tømme tankene helt, siden det er fare for å pumpe inn uønsket luft i systemet når vannivået synker. Det er da et strippesystem tas i bruk, men før strippesystemet tas i bruk må det gjenværende vannet pumpes fra de andre tankene og inn i en strippetank som vist i figur 29. I dette systemet så blir no 4 WB tankene brukt som strippetanker.



Figur 29 Ballastvann pumpes fra tanker til strippetank for å kunne benytte strippesystem

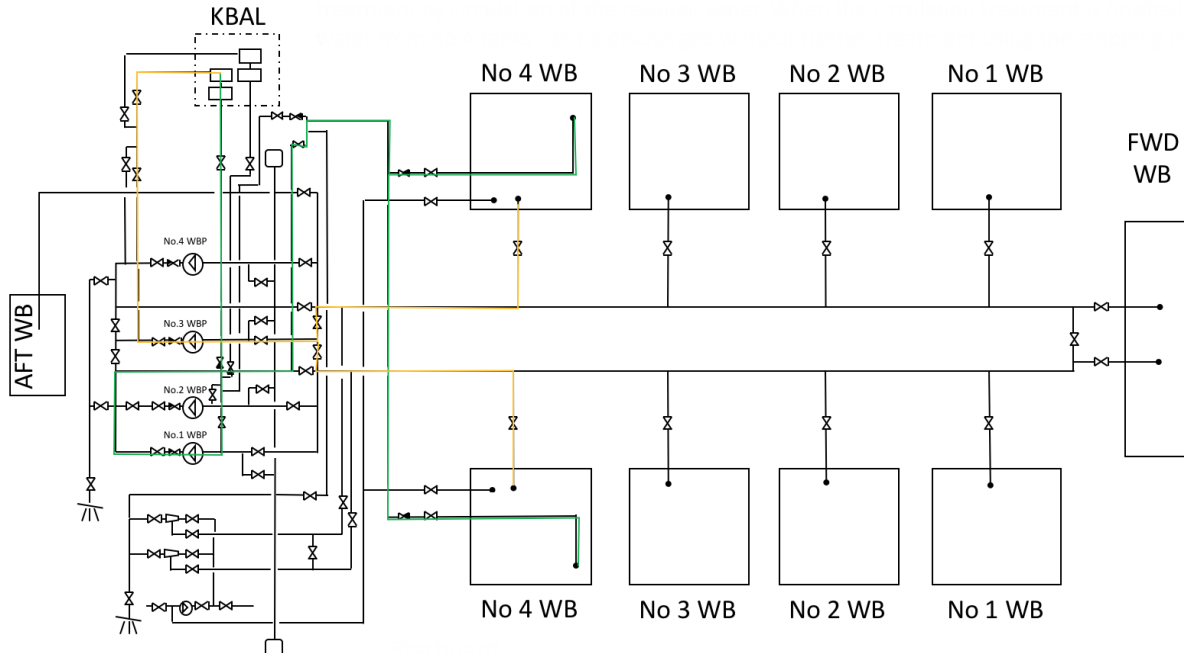
Ved stripping benyttes enten en strippepumpe med ejektor som vist i figur 30 eller en av ballastvannpumpene sammen med en ejektor. En ejektor plasseres før pumpen og har som hovedoppgave å skape vakuum for å fjerne eventuell luft i systemet. Videre kan vannet pumpes inn i strippetankene for å ha et mer definert volum.



Figur 30 Bruk av strippesystem hvor siste vannrester fra tankene pumpes inn i strippetankene.

6.3.7 Rensing av strippetank

Når rensing av strippetank gjennomføres er det normalt så lite vann igjen i tankene at det ikke er bruk for to pumper til å pumpe inn i KBAL og ut. Da pumpes det inn vann som er gul linje gjennom KBAL og går tilbake til tanken igjen som er grønn linje, når sirkulasjonen er ferdig kan vannet fra no 4 WB tankene slippes ut uten videre behandling ved hjelp av strippepumpen.

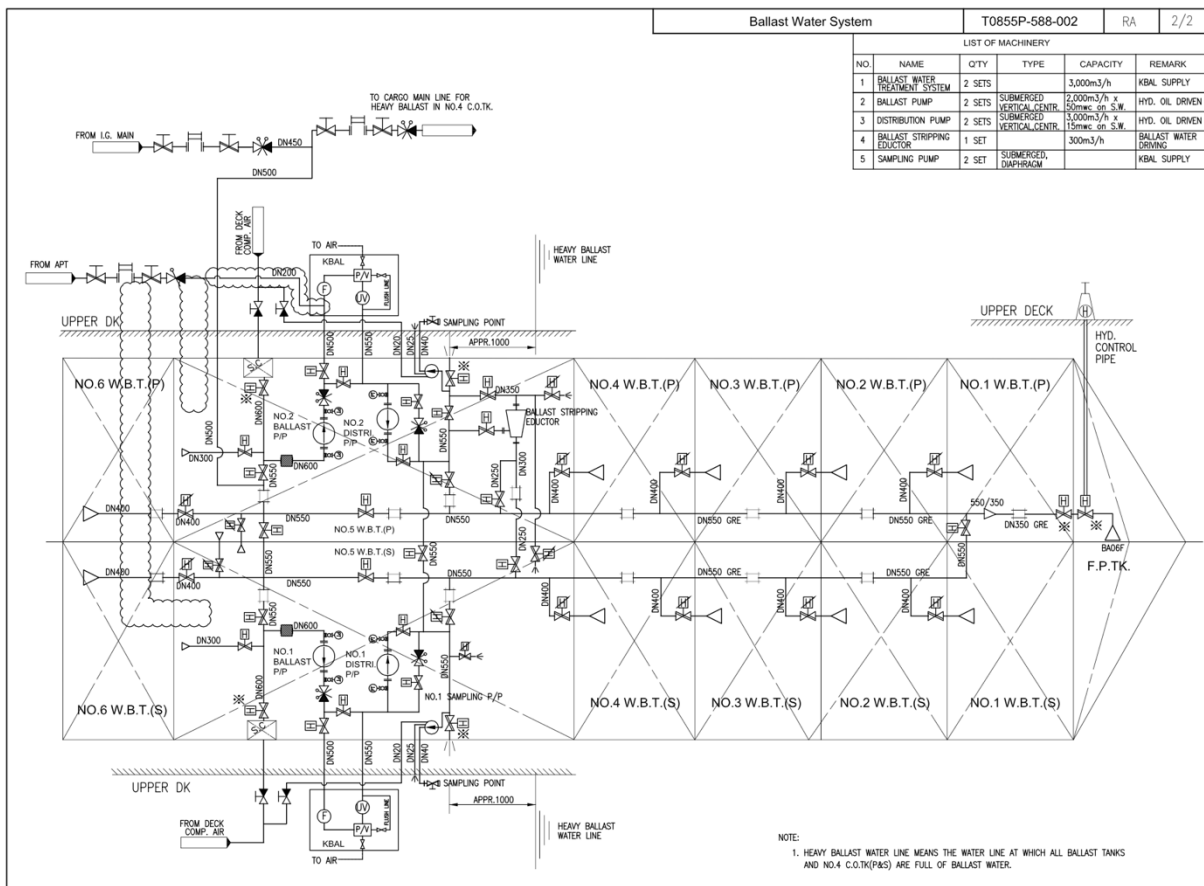


Figur 31 Bruk av KBAL av strippetankene på LNG-skip

6.4 Oljetankskip

Figur 32 er en skisse av et typisk ballastvann prosessanlegg på et av Knutsen OAS Shipping AS oljetankskip. Ved olje som last kan maskinrommets areal ikke benyttes, noe som fører til mindre plass for anlegget, dette fordi olje må isoleres for å unngå eksplosjonsfare. Grunnet mindre plass vil det være fare for mer rørbend og større friksjon, og dette må tas hensyn til ved beregninger i prosessen.

To KBAL system er integrert i prosessen og må plasseres på dekk, på grunn av behov for høyde og fordi det vil være tilgjengelig plass her. Anlegget består av to ballastvannpumper som benyttes for å pumpe vann inn i anlegget, gjennom KBAL som renser og dreper organismene i vannet og så videre inn i ballastvanntankene.

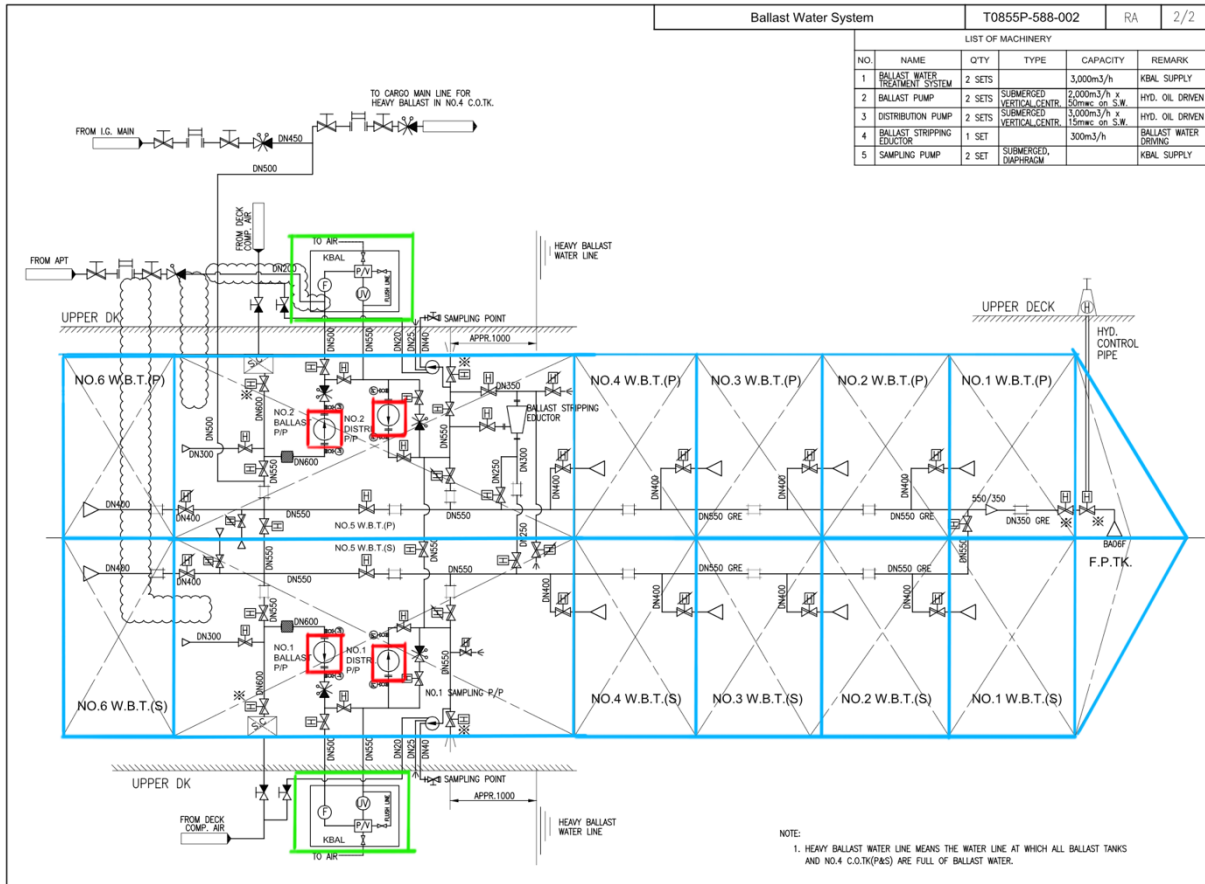


Figur 32 Typisk løsning av prosessanlegg på oljetankskip

6.4.1 De ulike komponentene på oljetankskip

På figur 33 er de viktigste komponentene rammet ut i forskjellige farger. Grønn farge viser KBAL, blå farge viser ballasttankene og rød farge viser pumpene. Størrelsen på skipet har noe å si for antall ballasttanker og hvor stor kapasitet de har. Det er fire ballastpumper på dette skipet fordi det er to KBAL systemer, det er to supply pumper som pumper ballastvannet inn i KBAL og to distribusjonspumper som pumper vannet inn i ballasttankene. KBAL er plassert på dekk fordi det trenger en viss høyde for at rensingen skal fungere optimalt. Vannet pumpes opp av to pumper og inn i KBAL og så pumpes ballastvannet inn i

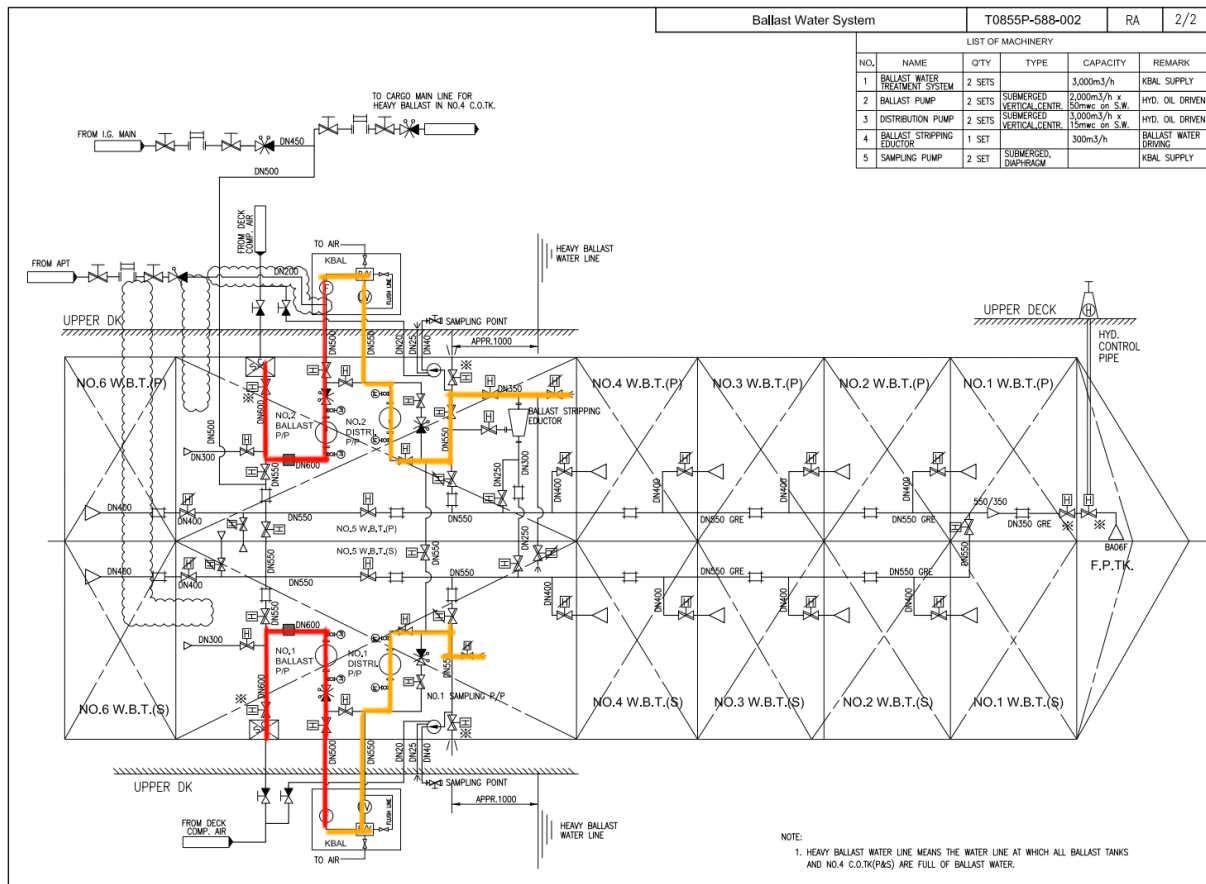
tankene. Når vannet skal ut av skipet må det igjen pumpes inn i KBAL før det slippes ut i sjøen.



Figur 33 De ulike komponentene tanker, KBAL og pumper på oljetankskip

6.4.2 Ballastering

På figur 34 illustreres ballastering i to farger slik at det skal være lettere å tyde skissen. Den røde linjen er ballastvannet før rensing av KBAL som går igjennom de to øverste pumpene. Den oransje linjen er rensert ballastvann som pumpes inn i en tank hver, deretter åpnes ventiler for å gjennomføre ballasteringsplanen på strategisk vis for å unngå spenninger i skroget.

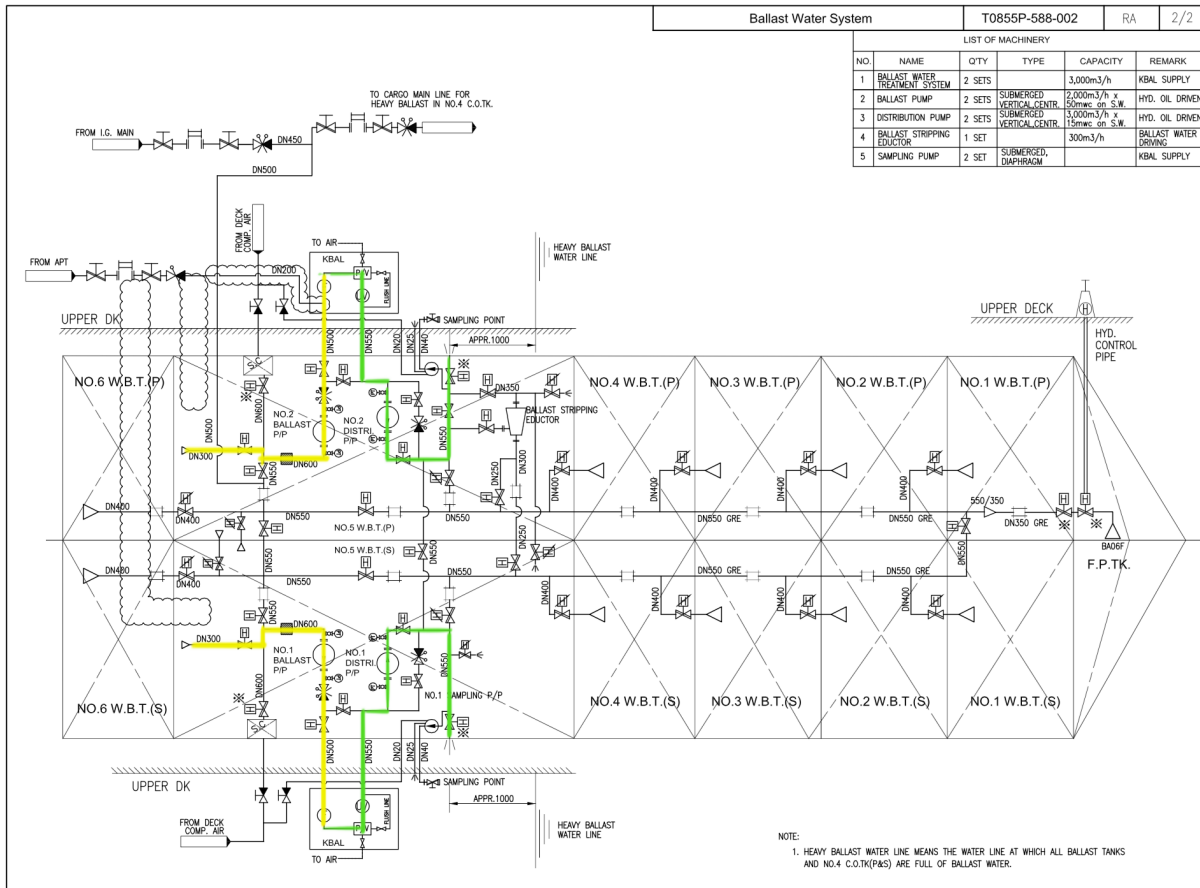


Figur 34 Ballasteringsprosessen på et typisk oljetankskip

6.4.3 De-ballastering

For å gjennomføre de-ballastering på et oljetankskip så blir vannet (gul linje) på figur 35 pumpes inn i KBAL på en strategisk metode for å opprettholde ballasteringsplanen. Det blir rensert i KBAL og pumpes (grønn linje) ut i havet. Slik som de-ballasteringen på et LNG-skip blir det også her pumpes ut vannet til et nivå før strippesystemet skal tas i bruk.

Pumpene kan ikke kjøres i anlegget til tankene er 100 % tomme, da det er fare for at pumpene kan suge luft når vannmengden blir så liten, altså ved tømning av siste rest. Knutsen har da plassert et strippesystem i dette anlegget også. Forskjellen på de to skipene som har blitt vist frem så brukes det her en ejektor sammen med ballastvannpumpen for å pumpe ut siste rest i strippetanken. En ejektor fungerer slik at det dannes vakuum og det fjerner eventuell luft. Likt som på LNG-skipet blir vannet pumpes inn i en tank og så blir ejektoren tatt i bruk slik at det siste vannet skal pumpes ut og inn i siste tank. Deretter blir dette vannet rensert av KBAL og så blir vannet pumpet ut i havet.



Figur 35 Illustrasjon av hvordan de-ballastering prosessen er på et oljetankskip

7 Reguleringsmetoder av pumper ved ballastering

Ved ballastering og de-ballastering vil det være nyttig og nødvendig å regulere kapasiteten (vannmengde over tid) til vannet ved de ulike tidspunktene. I starten av ballasteringen kan gjerne prosessen starte med full kapasitet, altså 3000 m³/h, mens ved slutt er det mer gunstig å ha en lavere kapasitet slik at prosessen kan avsluttes nøyaktig og sikkert. Det finnes forskjellige metoder å regulere kapasiteten på og alle de nevnte metodene under kan utføres under drift bortsett fra impellerdiametermetoden (Skovgaard & Nielsen, 2004).

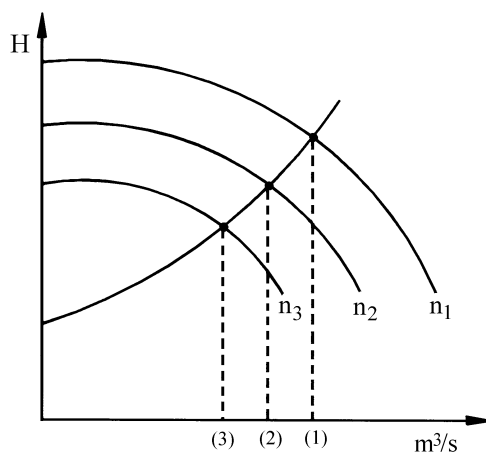
7.1 Forskjellige typer regulering

- Turtallsregulering
- Struperegulering
- Bypassregulering
- Endring av impellerdiameter

De to viktigste metodene som brukes til å regulere væskestrømmen gjennom en sentrifugalpumpe er å bruke struperegulering eller turtallsregulering. Å regulere turtallet er best økonomisk sett, men det er mer vanlig å bruke struperegulering (Skovgaard & Nielsen, 2004).

7.1.1 Turtallsregulering

Turtallsregulerte pumper blir stadig mer vanlig på skip, fordi dette er en energibesparende løsning på å regulere strømmingen i en prosess. Ved å justere pumpens turtall etter behov, vil prosessen kunne foregå uten energitap og uten å utgjøre slitasje på Pumpe eller ventiler (Husø & Larsen, 1998).



Figur 36 Pumpekurve som illustrerer hvordan driftspunktene endres når man regulerer med ulike turtall

Figur 36 viser at når turtallene (n_1 , n_2 og n_3) endres vil det forekomme nye driftspunkt på pumpekurven. Her vises det hvordan løftehøyde (H på vertikal akse) og kapasitet (m³/h på horisontal akse) endrer seg når turtallet endres. Velges det et lavere turtall vil løftehøyde og kapasitet synke, og motsatt vil skje når det velges et høyere turtall.

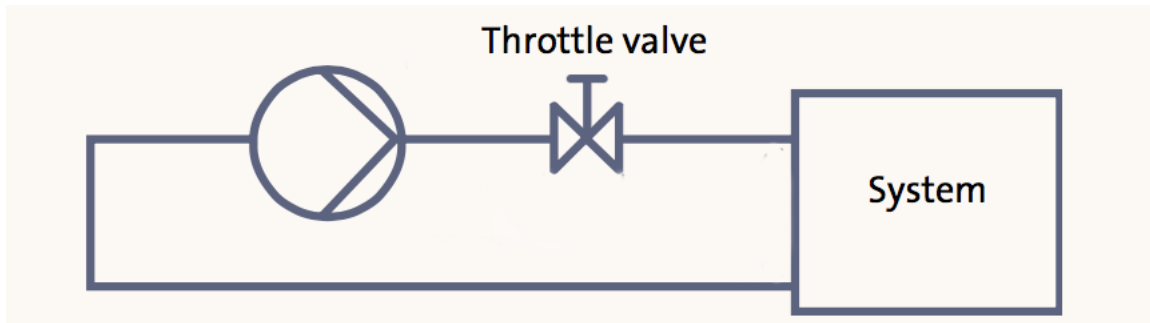
Utfordringer:

Denne metoden krever mye erfaring for å kunne utføres optimalt (Lothe, 2018) og er dyrere å installere.

7.1.2 Struperegulering

Den vanligste måten å regulere kapasiteten i en prosess på er å benytte en strupeventil (Husø & Larsen, 1998). Da kan kapasiteten reguleres manuelt ved å justere åpningen på

ventilen, full åpning gir full kapasitet og motsatt. Ved struping tapes det mye energi og det vil også kunne utgjøre slitasje på ventilen (Husø & Larsen, 1998). Dette er årsaken til at det er mer økonomisk å velge turtallsregulering enn struperegulering. Når struperegulering brukes så blir en strupeventil plassert i serie med pumpen som gjør det mulig å justere kapasiteten (Skovgaard & Nielsen, 2004).



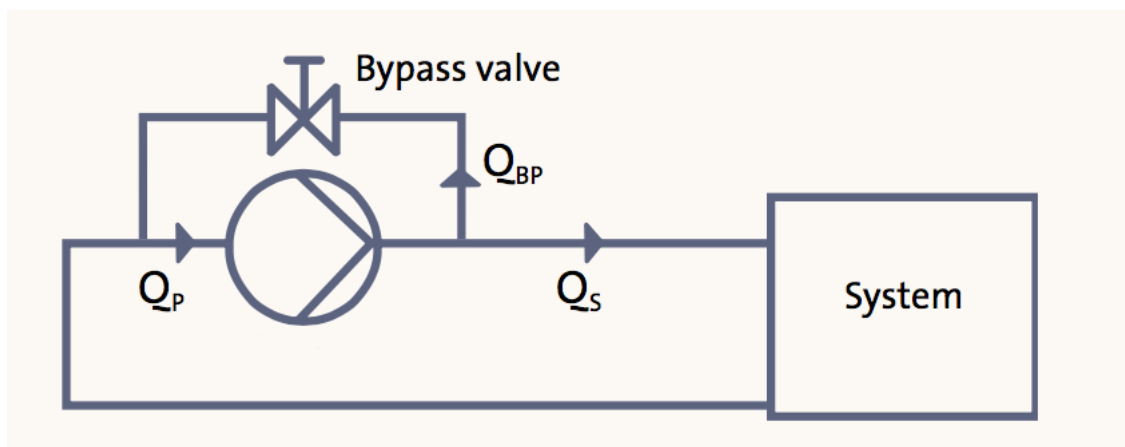
Figur 37 Strupeventil (Throttle valve) plassert etter pumpe i et system for å kunne regulere kapasiteten

Utfordringer:

Det som kan være utfordrende med å bruke struperegulering er at det kan føre til sløsing av energi. Denne metoden kan kun regulere kapasitet og ikke løftehøyde. Metoden kan også være en tungvint løsning dersom ventilene er manuelle, da må mannskapet fysisk justere ventilene. Manuell justering kan være tungt, tidkrevende, kan redusere kontroll på prosessen og det vil være utfordrende å justere riktig åpning på ventilen.

7.1.3 Bypassregulering

Denne metoden går ut på at en bypassventil er koplet i parallell med pumpen, og kan benyttes for å justere pumpens kapasitet eller løftehøyde. I figur 38 (hentet fra Grundfos litterature) er Q_s er systemets kapasitet og Q_{bp} er bypass ventilens kapasitet. $Q_s + Q_{bp} = Q_p$, som er summen av systemet og ventilens kapasitet. Bypass ventilens oppgave er å sikre en minimumsvannmengde til pumpen (IMI-Hydronic Engineering, 2018). Bypassregulering brukes for å for å sikre at pumpen ikke overopphetes eller blir skadet (Hunt Valve, 2018).



Figur 38 Bypassventil i prosessanlegg parallell med pumpe for å regulere prosessen

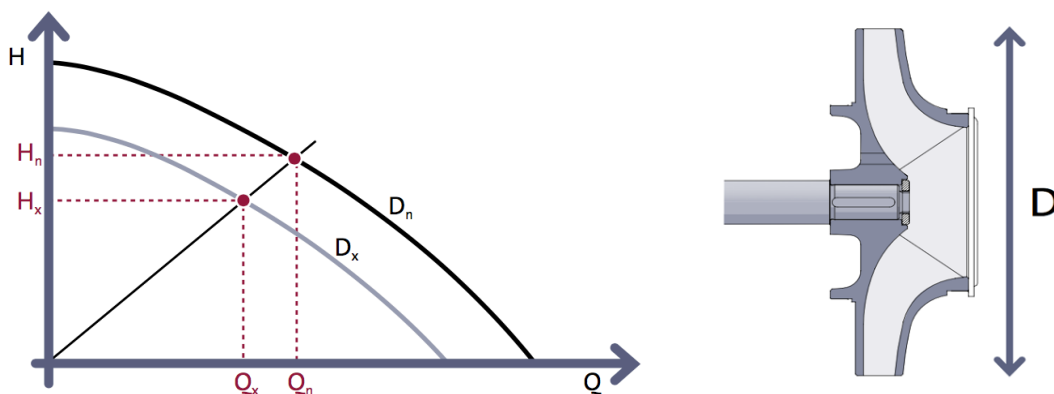
Utfordringer:

For å redusere kapasitet er denne metoden avhengig av å redusere løftehøyden samtidig. Dette vil være lite gunstig hvis løftehøyden skal være konstant, i tillegg er denne metoden også energiløsende.

7.1.4 Endring av impellerdiameter

En annen måte å regulere kapasiteten til en sentrifugalpumpe er ved å endre pumpens impellerdiameter. Dette kan selvfølgelig ikke gjøres mens pumpen er i drift og må gjøres på forhånd før pumpen installeres, eller ved midlertidig stopp i prosessen (Skovgaard & Nielsen, 2004). Når denne metoden benyttes i praksis vil pumpens effektivitet reduseres når impellerdiameteren reduseres. For mindre endringer på impelleren, vil effektiviteten bare reduseres med noen få prosent (Skovgaard & Nielsen, 2004).

Figur 39 (hentet fra Grundfos litterature) illustrerer pumpekurvene til to ulike impellerdiametere (D_n og D_x), hvor D_n har størst diameter og D_x har minst. Ved å endre diameteren blir løftehøyden og kapasiteten redusert, og det vil være mulig å regulere prosessen på en langsiktig måte for å oppnå en mer optimal kontrollert prosess og for å unngå energitap.



Figur 39 Impellerdiameteren sine pumpekurver som illustrerer reduksjon av kapasitet og høyde ved reduksjon av diameter.

Utfordringer:

Når impelleren er installert så er det ikke mulighet å regulere på pumpens løftehøyde eller kapasitet når anlegget er i gang, da må andre reguleringsmetoder benyttes eller midlertidig stoppe anlegget for å bytte impellerdiameteren.

7.2 Sammenligning av de forskjellige reguleringsmetodene

Nå som de forskjellige metodene en sentrifugalpumpe kan reguleres på er beskrevet, så skal hvordan de skiller seg fra hverandre bli beskrevet videre. Når reguleringsmetodene sammenlignes vurderes løftehøyde og kapasitet opp mot hverandre.

Turtallsregulering:

Når turtallsregulering benyttes resulterer det i et nytt driftspunkt på pumpekurven med en redusert kapasitet. Det vil være mulig å regulere kapasiteten uten tap av løftehøyde. Det vil her være mulig å regulere svært kontrollert og med lavt energitap.



Struperegulering:

Struperegulering er en justerbar ventil som er satt i serie med pumpen. Denne tilkoblingen gir uendret løftehøyde med redusert kapasitet. Struping gir energitap, noe som er unødvendig og svært kostbart.

Bypassregulering

Når bypassventilen er koplet i parallell med pumpen så gir denne metoden en minimumsstrøm til pumpen, men for å regulere denne metoden vil det være lite gunstig siden både løftehøyden og kapasiteten må reguleres avhengig av hverandre.

Endring av impeller diameter

Når metoden benyttes må impelleren byttes når anlegget ikke er i gang. Dette reduserer effektiviteten, men gir reduksjon av kapasitet og løftehøyde.

I forhold til å justere både løftehøyde og kapasitet så vil turtallsregulering og endring av impellerdiameter være de mest optimale reguleringsmetodene. Bypassregulering endrer både løftehøyden og kapasiteten, men det går ikke å kun endre en av disse uten at det skal utgjøre en forskjell på den andre. Endring av impellerdiameter er ikke mulig å utføre mens prosessen foregår, noe som gjør metoden tidskrevende og tungvinn. Turtallsregulering er klart en lettere metode å benytte når anlegget er i gang, noe som vil være nødvendig da prosessen reguleres jevnlig etter behov. Her kan kontrollert regulering og unødvendig energitap unngås.

8 Generelle utfordring med ballastering og de-ballastering

8.1 De ulike utfordringene

Utfordringene som er nevnes i dette kapittelet er generelle ved ballastering og de-ballastering med og uten renseteknologi. De som gjelder spesifikt for KBAL nevnes til hver utfordring.

8.1.1 Utfordring 1 Vannrester i tankene

Ved de-ballastering er det utfordrende å tømme ballasttankene tilstrekkelig. Pumpene må stoppes når vannivået i tankene er svært lavt, for å unngå at pumpen suger til seg luftbobler som kan forekomme i det lave nivået. Selv om vannivået er lavt, er det fortsatt mange m³ (1000 liter) vann igjen, og med mange ballasttanker utgjør dette mye vekt.

Løsning 1:

Før de-ballastering lages det en de-ballasteringsplan, hvor det strategisk planlegges hvilken rekkefølge tankene skal tømmes. En løsning for å tømme siste rest av vannet uten å benytte pumpen til å frakte vann fra en tank til en annen er å benytte helning på skipet. Da åpnes det luker mellom ballasttankene, slik at vannet kan renne igjennom. Dersom tankene fremst tømmes først, vil skipet få en helning bakover, noe som fører til at vannet naturlig heller bakover samtidig som det pumpes ut. Ved slutt vil det ikke være vannrester igjen i de fremste tankene, på grunn av helningen, og alt gjenværende vann samles i bak. Det vil herfra være et mer konsentrert areal for pumpene å tømme siden all vannet er i en tank.

Løsning 2:

For å få ut siste rest av vann på skip, så kan et strippesystem integreres. Strippesystemets oppgave er å tømme gjenværende vannrester i ballasttankene. Her benyttes enten en egen strippepumpe eller en ejektor sammen med vanlig ballastvannpumpe. En strippepumpe er en mer robust Pumpe som tåler mer enn ballastvannpumpen, og kan pumpe ut siste rest av vann selv om det inneholder luft. Dersom den vanlige ballastvannpumpen skal brukes til strippesystem så er en ejektor plassert i systemet som hjelper å pumpe vannet. Ejektor danner vakuum og fjerner eventuell luft i vannet før det ankommer pumpen.

Som vist i figur 40 (hentet fra hydraresearch commercial) brukes det en «bellmouth», som er en slags sugeskopp som er plassert nede i tanken når det skal strippes. Denne er designet for å opprettholde suging når tanken skal tømmes skikkelig (Hydraresearch commercial, 2017). «Bellmouthen» minimerer hydraulisk tap og forhindrer virvel (Hydraresearch commercial, 2017).



Figur 40 Bellmouth, som benyttes for å opprettholde sugetrykket når vannivået i ballastvanntankene synker

Løsning 3:

En annen løsning kan være å tilføre lufttrykk i tankene slik at vannet går inn i pumpen. Det kan også bli brukt vakuum i siste tank slik at vannet strømmes inn fra de andre tankene gjennom luker som åpnes. For å skape vakuum brukes det en ejetor (Rosvold, 2009). Ejektoren danner et undertrykk som drar med seg væske på sugesiden.

8.1.2 Utfordring 2 Overfylling

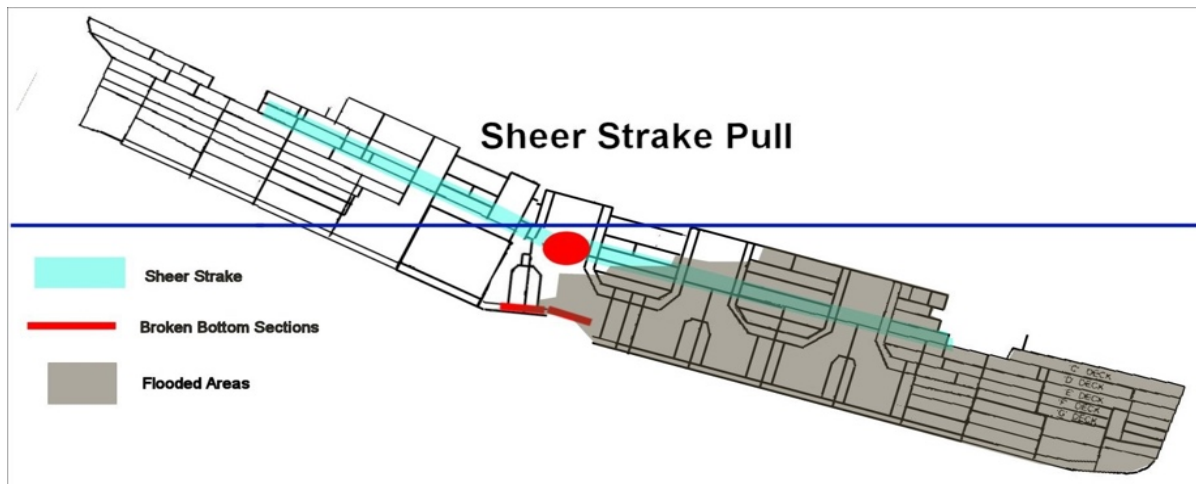
Ved ballastering fylles ballasttankene med vann etter behov. Mengdebehovet avgjøres ut fra hvor mye last skipet skal tilføres og hvor mye ballastvann som er nødvendig for å stabilisere skipet. Før ballastering lages en ballasteringsplan, hvor det strategisk planlegges oppfyllingens rekkefølge og vannmengden i tankene. Dersom det er behov for fulle tanker, kan det uansett ikke fylles 100%, da kan overfylling oppstå og det kan renne over på dekk (Lothe, 2018). Dette går under et strengt regelverk, og kan gi konsekvenser dersom de ikke følges, en lovlig full tank er da 85% av 100% areal (Lothe, 2018). Stoppes oppfyllingen for sent vil det være fare for brudd i regelverket, men dersom det stoppes for tidlig kan dette utgjøre mye «tapt» vann og det må kanskje fylle på mer på nytt for å oppnå full stabilitet. Utfordringen med dette er at oppfylling ved ballastering kan gå rimelig hurtig, og det må følge godt med for å overholde regelverket.

Løsning:

Ved å regulere hastigheten kan overfylling unngås. Ved å kunne regulere pumpens turtall, endrer det vannets kapasitet. Ved regulering er det bedre oversikt over vannmengden i tankene, og det kan fylles med god margin uten å måtte risikere å stoppe for tidlig eller for sent. Det er viktig med monitorering, som er et system som samler inn all informasjon om anlegget og alle element som benyttes ved ballastering og de-ballastering. Systemet er designet slik at det gir beskjed når verdier endres eller noe utenom det vanlige skjer. Dette gir full oversikt over anlegget og alle hensiktsmessige verdier.

8.1.3 Utfordring 3 Stabilitet

Ballastvann benyttes for å oppnå stabilitet på skipet, men det er også viktig at stabiliteten overholdes underveis ved ballastering og de-ballastering. Dersom tankene fylles uten en strategisk ballasteringsplan kan det risikeres at tyngdeforskjellen på skipet blir stor, noe som kan resultere i store uønskede spenninger i skroget, i aller verste fall kan det gi knekk i materielt. Skissert eksempel vist i figur 41 (hentet fra joecombs2nd.com) vises et skip fylles opp med vann på den ene siden, mens den andre siden ikke fylles i det hele tatt. Når tyngden på den fulle siden er stor nok, vil den siden som ikke er fylt siden stige opp og dette gir store uønskede spenninger og skade på skipet.



Figur 41 Skisse av et skip som fylles feil og det oppstår spenninger og brekk

Løsning:

For å sikre stabilitet både under og etter ballastering og de-ballastering er det viktig og lovpålagt å ha en ballasteringsplan. Da legges det en strategisk plan på hvordan tankene skal fylles, hvor mye de skal fylles og i hvilken rekkefølge. Rekkefølgen er svært viktig for å unngå store tyngdeforskjeller og for å unngå stress/spenning. Ballasteringsplanen legges i et eget dataprogram som regner ut ballastvannbehovet i forhold til lasten på skipet, samt rekkefølgen de skal fylles i. Ballasteringsplanen er unik og ulik for hver ballasteringsprosess da skipets last aldri er identisk.

8.1.4 Utfordring 4 Luft i systemet

Det er viktig å unngå luft i systemet, dersom luft kommer inn i pumpehuset vil det ha negativ påvirkning og pumpen vil ikke kunne fungere slik den skal. Luft i systemet kan føre til at vannet piskes rundt og da klarer ikke pumpen å pumpe vannet videre i systemet.

Løsning:

For å unngå luft i systemet sørges det for å alltid være vannfylte rør, slik at eventuelle luftbobler presses ut utløpet før start. Ved de-ballastering åpnes ventilene til ballastvann tankene og vannet fyller rørene, når de er fulle kan pumpen startes. Ved start kan innløpsventilene til systemet åpnes for å fylle rørene (inn til pumpen) med vann og så kan pumpen startes. På denne måten sørges det for å unngå luft og pumpen vil alltid være væskefylt.

8.1.5 Utfordring 5 Tett system

Ved ballastering tar prosessanlegget inn store mengder vann, overalt i verden. Vannet kan inneholde mye forskjellig, alt fra dyr til søppel og plast som er dumpet på sjøen. Størrelsen på de ulike tingene som finnes i sjøvannet varierer og kan gjøre store ødeleggelser for ballasteringen. Større partikler kan tette rørene og sette seg fast i ventiler og pumper. Dersom et tett system eller tette element i prosessen oppstår vil i verste fall hele ballasteringsprosessen stoppes. Ved å ikke kunne utføre ballastering eller de-ballastering ved behov, stopper det opp skipet og det kan være svært kostbart da «tid er penger» i shippingindustrien.

Løsning:

Ved å installere et filter ved innløpet til prosessen, kan det unngås store uønskede partikler og tett system. Hvor «fint» eller «grov» filter som kan benyttes må vurderes. For «fint» filter kan skades ved for høy kapasitet i prosessen, og kan dessuten være hemmende for kapasiteten til vannet. Et for «grov» filter kan slippe forbi partikler som kan være for store til å ødelegges i KBAL. En mellomstørrelse må prøves ut, og kan eventuelt ha flere filter på ulike sensitive steder i prosessen ved behov. For å unngå at det oppstår et tett filter over tid, er det viktig at filteret lett kan tas ut og renses eller byttes.

8.1.6 Utfordring 6 Renseteknologi med filter

Det er mange renseteknologier som renses ved bruk av filter. Filter er en god løsning for å fange uønskede organismer, men det vil kreve svært mye vedlikehold. Filter kan også være utsatt for slitasje over tid eller utsettes for at filteret går tett. KBAL renses uten bruk av filter, og har da ikke utfordringer innenfor dette.

Løsning:

En form for selvrensende filter kan være nyttig her, eller designe det slik at det vil være enkelt og effektivt å bytte filter før/etter eller under bruk. Kan kanskje til dels unngå slitasje, ved bruk at et slitesterkt og robust materiale.

8.1.7 Utfordring 7 Rense med kjemikalier

Noen renseteknologier benytter kjemikalier som en del av renseprosessen, og tatt den store mengden ballastvann i betraktning kreves det nok en del kjemikalier for å opprettholde regelverket for rensing av ballastvann. Siden alt ballastvannet er i kontakt med kjemikalier, vil det være fare for at dette spres til miljøet ved de-ballastering. Potensielt kan dette være en uforutsett trussel for miljøet over tid.

Løsning:

KBAL renses uten bruk at kjemikalier, og vil ikke ha potensielle utfordringer innenfor dette. Teknologier som benytter kjemikalier bør prøve å benytte minst mulig og innenfor forsiktighetens grenser. Dersom det over tid viser seg at kjemikalier kan utgjøre en potensiell trussel for miljøet, kan det komme nye krav som forbyr dette. Den beste løsningen her vil være å unngå bruk av kjemikalier.

8.1.8 Utfordring 8 Sensitive UV-lys

UV-lysene som benyttes i KBAL er sensitive og slår seg automatisk av dersom de registrerer noe unormalt i systemet. Luftbobler i vannet eller dogg/vanndråper på UV-rørene er eksempel på noe som er unormalt og kan føre til at prosessen ikke fungerer optimalt og/eller at prosessen stopper opp. UV-lysene kan noen ganger bare slukne, og instrumentet som måler UV-lysenes intensitet kan feile og vise feil verdier.

Løsning:

Ved å sørge for at rørsystemet alltid er vannfylt og ikke inneholder luftbobler, unngås det luft i systemet. Dette kan gjøres ved å åpne ventilene til tankene før de-ballastering slik at vannet inne i tankene fyller systemet før det startes. Små ventiler over rørene kan åpnes for å slippe ut eventuelle luftbobler. UV-lysene plasseres inne i kammer og der skal det være tørt. Dersom det likevel har blitt fuktig, må prosessen stoppes opp for å ta ut lysrørene og tørke de, samt tørke inne i kammeret slik at prosessen kan fortsette. Det er viktig å jevnlig ha en sjekk på UV-lysene for å kontrollere at de opprettholder intensitet og at de er i orden.



Figur 42 UV-lys

8.1.9 Utfordring 9 Gravitasjon

Før det ble et krav om integrert renseteknologi i ballastvannanleggene på skip, ble gravitasjon benyttet ved ballastering. Ventiler fra sjøen og inn i ballastvanntankene åpnes, og vannet fyller tankene kun ved hjelp av gravitasjon. Gravitasjonen gir vannet god kapasitet og gjør det derfor mer effektivt enn ved bruk av pumpene. Etter hvert i prosessen blir skipet tyngre og gravitasjonen vil ikke lenger gi like god kapasitet, så da overtar ballastvannpumpene ballasteringen og pumper tankene med vann.

For at KBAL skal fungere optimalt og overholde regelverket om rensing av organismene, må KBALs behov i prosessen tas i betraktning. For optimal funksjon kan kapasiteten ikke være for lav eller for høy, da det kan føre til avvik i regelverket eller en ikke-optimal rensing. KBAL har behov for en stabil og trofast kapasitet. Å ikke kunne bruke gravitasjon til å fylle tankene gjelder ikke bare KBAL, men også andre renseteknologier som må opprettholde egne krav.

Løsning:

Det vil være behov for regulerbare pumper slik at anlegget opprettholder tilstrekkelig kapasitet og kan reguleres etter behov. Ved å kunne turtallsregulere pumpene, vil dette gi god kontroll på prosessen og samtidig sørge for at alle behov ivaretas. For KBAL er det helt nødvendig å opprettholde riktig løftehøyde, trykk og kapasitet, og må da kunne reguleres uten tap av dette.

8.1.10 Utfordring 10 Regulere kapasitet

Å regulere kapasitet samtidig som kravene til KBAL skal opprettholdes kan være utfordrende. KBAL trenger høyden sin for å fungere optimalt og da blir utfordringen hvordan de andre faktorene skal kunne brukes for å regulere prosessen.

Løsning:

For å kunne regulere kapasiteten ved bruk av KBAL må det brukes en turtallsregulert pumpe. Det er behov for å beholde løftehøyden og for å ha 2 bar før innløp til KBAL, og da kan bare de andre faktorene reguleres som er kapasiteten og mottrykk.

8.1.11 Utfordring 11 Energitap ved struping

Ved ballasting og de-ballasting er det helt nødvendig å kunne regulere prosessen for at den skal forekomme på en sikker måte. Ved å regulere kapasiteten til vannet, kan en strupeventil benyttes. Det fungerer ved at ventilene delvis lukkes for å senke hastigheten. Jo mer ventilen lukkes, dess lavere kapasiteten får vannet og det kan enkelt variere hvor mye det er ønsket å lukke ventilen. Grunnet det store trykket ventilen utsettes for ved struping, da den må «holde igjen» for at kapasiteten skal minskes, utsettes ventilen for slitasje og ødeleggelser over tid. Den største ulempen med struperegulering er energitap, da struping fører til at sløsing av energien. Metoden vil kreve mer energi for å brukes og reguleringsmetoden er lite økonomisk og miljøvennlig.

Løsning:

Ved slitte ventildeler kan dette enkelt ordnes ved utbytting og vedlikehold, noe som er langt mer økonomisk enn å investere i andre dyrere element i prosessen. Miljømessig og økonomisk sett vil det være bedre å se på andre alternativer til regulering. Når det er helt nødvendig å kunne regulere prosessen, vil det i lengden gjerne være økonomisk «verdt det» å investere i turtallsregulerte pumper. Det må nødvendigvis ikke være turtallsregulering, da det finnes flere metoder, blant annet kan pumpens moment reguleres, og det vil utgjøre det samme som å regulere turtallet. Turtallsregulerte pumper er kostbare, men dersom alt energitapet ved struperegulering sammenlignes med turtallsregulerte pumper vil dette bli spart inn i lengden og det ikke er behov for å bytte ut deler underveis.

8.1.12 Utfordring 12 Plassering av KBAL

Når renseteknologi skal integreres på skip må det tas i betraktning hvor det skal plasseres. De ulike renseteknologiene vil ha ulike behov med tanke på høyde, plassering og størrelse. KBAL krever en høyde for å skape trykk fra vakuum og da må rørsystemet endres på, noe som kan være krevende da det eksisterende anlegget er spesielt designet for skipet.

Løsning:

På LNG skip kan anlegget benytte plass i maskinrommet, noe som gir ekstra areal. For oljetankskip vil det være eksplosjonsfare dersom maskinrommet benyttes, noe som gir mindre areal. KBAL har behov for en høyde for å fungere optimalt, og kan da plasseres på dekk hvor det alltid er god plass. Andre renseteknologier kan få nye utfordringer med en så stor høyde, og må derfor prøve å integrere renseteknologien på andre måter.

8.1.13 Utfordring 13 Plassering av andre renseteknologier

Det finnes renseteknologier som plasseres under vann og/eller inne i ballasttankene. Ved plassering i vann eller i et fuktig miljø over lang tid, kan det oppstå korrosjon, gro belegg eller gjøre en eventuell skade på teknologien.

Løsning:

Det er ikke alle utfordringer med ny teknologi det er mulig å forutse, men ved plassering i vann kan være sikker på at det trengs godt vedlikehold. Det krever jevnlig, grundig rengjøring for å unngå belegg og skitt. For å unngå korrosjon, må teknologien konstrueres med et korrosjonsbestandig materiale som tåler omstendighetene, dette kan være ekstra kostbart. KBAL plasseres på dekk eller i en høyde over vann, og vil ikke ha slike utfordringer.

8.1.14 Utfordring 14 Mangel på kunnskap

Når ny teknologi integreres kan det være utfordrende for fagpersonell å ta det i bruk på en sikker og riktig måte. Mangel på kunnskap om teknologiens virkemåte og konsekvenser ved feil bruk kan gi dårlige resultat, sløsing av energi og kan føre til at prosessen ikke utføres på riktig måte.

Kultur og språkforskjeller kan også være en utfordring ved opplæring. Det kan bli ansett som negativt å gi beskjed om en ikke forstår, enten om det er på grunn av opplæringen, kulturen eller språket, noe som kan føre til at personell ikke har forstått opplæringen/beskjeden som ble gitt.

Løsning:

Ved bruk av ny teknologi er det svært viktig at fagpersonell, både nye og gamle ansatte blir gitt en tilstrekkelig opplæring. Opplæring i forhold til KBAL vil være nødvendig for å sørge for at prosessen utføres uten feil og at rensing blir optimal i forhold til regelverket. Hvordan KBAL fungerer og hvilke operasjonelle behov i forhold til kapasitet, trykk og løftehøyde den har må forklares og det vil være nyttig med skriftlig informasjon angående teknologien. For å kunne regulere prosessens kapasitet vil det være nødvendig å kunne benytte pumpekurver for å utføre dette optimalt, et kurs i regulering av pumpekurver vil da være viktig. I tillegg til opplæring gitt praktisk og teoretisk vil det være nyttig å ha skriftlig informasjon om regulering og KBAL slik at det alltid vil være tilgjengelig for fagpersonell dersom det skulle oppstå usikkerhet om drift.

Være observante på kultur og språkforskjeller ved opplæring, kan være nyttig å måtte gjenfortelle det som har blitt lært, eller benytte visuell opplæring i tillegg til teoretisk.

8.1.15 Utfordring 15 Nivåendring

Ved ballastering og de-ballastering vil det forekomme store forskjeller i vannivået. Nivået kan endres ved flo og fjære i sjøen, ved bølger og ved varierende last på skipet. Dess lavere vannivå, dess mer krevende vil det være for pumpen å pumpe vann inn i anlegget. Blir nivået for lavt, kan det være utfordrende å utføre ballastering hvor det samtidig skal overholdes krav til anlegget og/eller til renseteknologien.

Løsning:

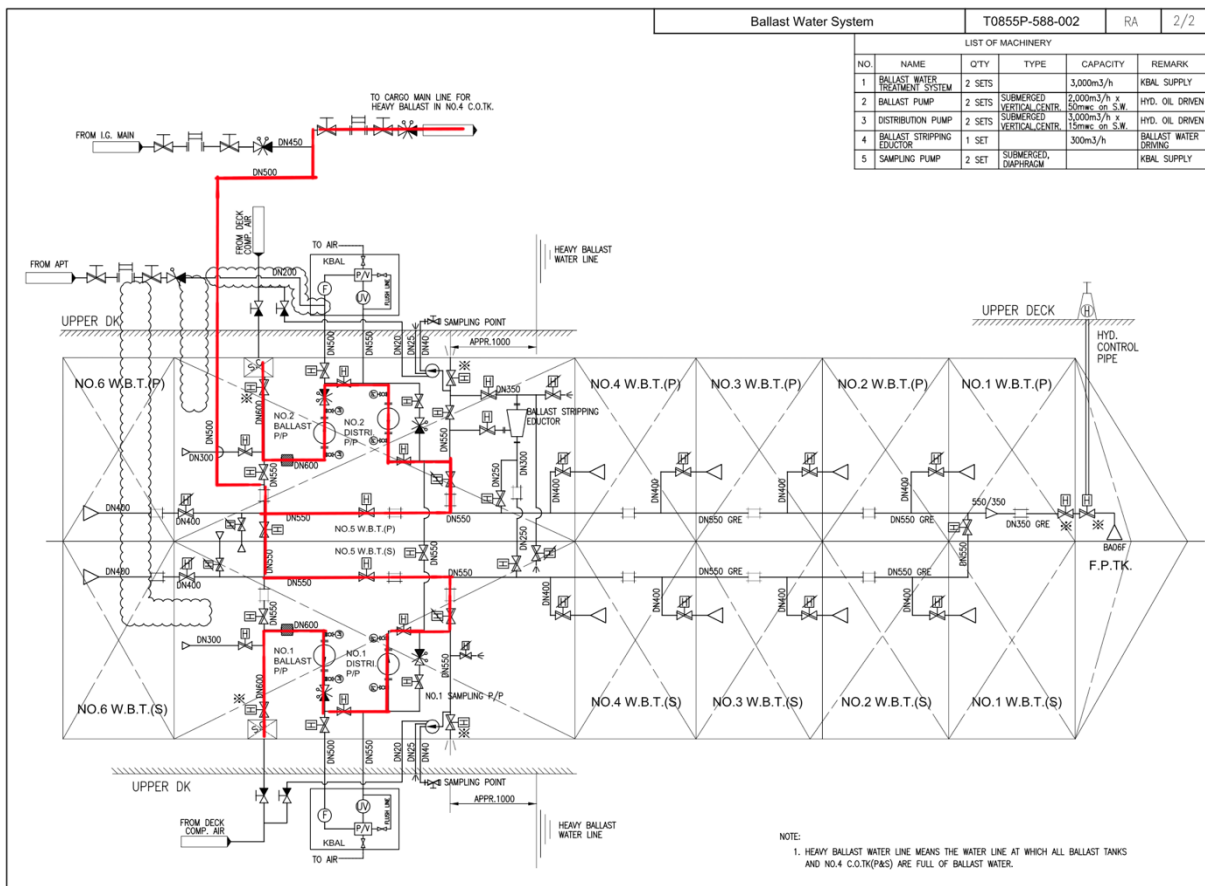
For design av pumpen, er det nødvendig å beregne eventuelle høyder for å sikre at prosessen utføres optimalt.

8.1.16 Utfordring 16 Uvær

Det kan oppstå en nødsituasjon ved ekstremt uvær og/eller ved andre tilfeller hvor ballastvannet ikke lengre er fullstendig optimalt for å stabilisere skipet.

Løsning:

Ved en nødsituasjon kan en nødkanal kobles inn til lastetankene, og fylle lastetankene med ballastvann i tillegg til ballastvanntankene. Dette skjer svært sjeldent, men det er en mulighet i slike faresituasjoner. Da blir ballastvann pumpet opp av pumpene og inn i egen nødkanal til oljetankene som vist i figur 43.



Figur 42 Typisk løsning av nødkanal på oljetankskip

8.1.17 Utfordring 17 Endring av eksisterende prosessanlegg

Når renseteknologi skal integreres i prosessanlegget, er det mange faktorer man må ta hensyn til, det gjelder også for KBAL. Med ny teknologi kommer det også nye ventiler og ekstra rørsystem som er nødvendig for integreringen. Det fører til et større plassbehov, noe det sjeldent har mye til overs av. Ofte benyttes manuelle ventiler, noe som gjør prosessen svært utfordrende å regulere i forhold til regelverk knyttet til ny teknologi.

Løsning:

For å integrere teknologien må design av anlegget planlegges på nytt. For å få nok plass, må man legge opp anlegget på en annen måte enn tidligere, dette er en utfordrende kabal å få opp. Ved eldre anlegg med flere manuelle ventiler og eldre utstyr, vil det være enklere og mer økonomisk å bytte ut hele anlegget. Da er anlegget også designet i forhold til teknologien og unngår unødvendige eldre element i tillegg til at alle ventiler styres hydraulisk. Dersom anlegget er av nyere tid, men har behov for en oppgradering eller ekstra kapasitet, kan ekstra pumpe eller ventiler byttes ut eller tilsettes.

8.1.18 Utfordring 18 Integrere ny teknologi

Når det skal integreres ny teknologi, som renseteknologi av ballastvann på skip, er det en svært kostbar og tidkrevende prosess. Alle skip og deres anlegg er ulike, og det er mange utfordringer knyttet til å få plass til og for å få integrert ny nødvendig teknologi.

Løsning:

Dersom renselanlegg plasseres på land, ved havner og på plattform kan færre anlegg installeres og det vil være en god økonomisk løsning. Flere skip kan ta nytte av et anlegg, da det må designes slik at skipet kan kobles på anlegget, ved hjelp av en enkel innstallering, og herfra foreta ballasting og de-ballasting ved havnen/på plattformen. Ved en travel havn, kan det installeres flere. Det vil også være positivt for ballastpumpen og renseteknologien, da det er designet for å være i kontinuerlig drift. Plasseres det i havn/på plattform vil det benyttes av flere skip og brukes da jevnlig.

8.1.19 Utfordring 19 Økt friksjon og bend

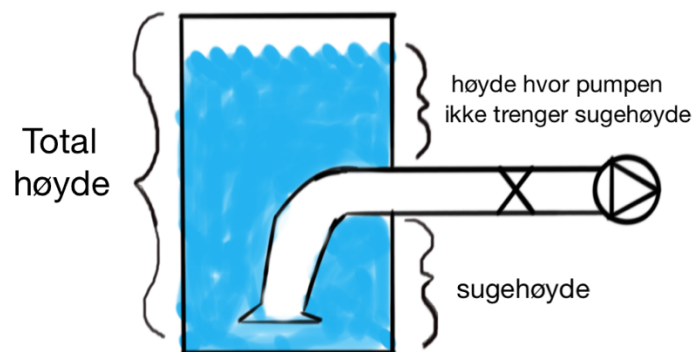
Ved implementering av ny teknologi, kan det gi utfordringer ved plassering i det allerede eksisterende anlegget. Renseteknologien og nødvendig rørsystem tar plass og dette kan gi store økninger i rørbend, som videre gir ytterligere friksjon. Dersom det er et eldre anlegg med flere manuelle ventiler, går det mye plass for at personell skal kunne bevege seg innenfor i anlegget og ha tilgang til å regulere ventilene. Ikke bare skal det gjøres plass til teknologi og rørsystem, men for å overholde alt regelverk er det ofte krav til mye ekstra sikkerhetsventiler og sikkerhetssystem, noe som opptar mye plass og gir økt friksjon.

Løsning:

Å implementere teknologi til allerede eksisterende anlegg kan være en svært stor utfordring. Dersom anlegget har manuelle ventiler og har behov for bevegelsesplass til personell, må det vurderes å bytte det ut med hydraulisk styrte ventiler. I noen tilfeller vil det være nødvendig med et helt nytt rørsystem for å kunne integrere teknologien. Ved bruk av KBAL vil det være helt nødvendig å ha hydraulisk styrte ventiler da det vil være svært lite gunstig å utføre prosessen med manuelle ventiler. Det kan være kostbart, men kan likevel være en bedre løsning da mer plass blir benyttet og unngår mer friksjon enn ønskelig. Jo mer friksjon, jo mer energi har anlegget behov for å bruke for å kjøre prosessen optimalt, og jo mer energi anlegget bruker, jo dyrere blir det.

8.1.20 Utfordring 20 Plassering av pumper

Pumpens plassering i anlegget kan gi ulike utfordringer i forhold til høyden den plasseres på. Jo høyere pumpen plasseres fra tankene som skal suges ut fra, jo mer energi må tilføres for å kunne utføre arbeidet. Figur 44 illustrerer en ballastvanntank som skal tømmes ved hjelp av en pumpe. Høyden over utløpet til pumpen har ikke behov for hjelp da den på naturlig vis synker. Høyden under innløpet er den utfordrende høyden, jo høyere denne er jo mer energi må pumpen bruke for å pumpe vannet opp fra tanken.



Figur 43 Illustrasjon av hvor sugehøyden er i en tank

Løsning:

Ved implementering av teknologi i anlegget, må det tas hensyn til slike høyder. Når anlegget er ferdig planlagt, leveres det videre til pumpeleverandøren, som igjen beregner løftehøyden pumpen må kunne levere. Det vil være ønskelig å unngå større høyder, da det benyttes ekstra energi på dette.

8.1.21 Utfordring 21 Blanding av saltvann og ferskvann

Selv om kravene til ikke-levende og ikke-reproduserbare organismer opprettholdes, kan det likevel gjøre endringer i miljøet. Dersom det benyttes sjøvann til ballasting og deballasteres i ferskvann, vil det ikke ha like vannkvaliteter. Med tanke på det store omfanget vann, kan saltvann i ferskvann og omvendt ha en påvirkning på det omliggende miljøet. Selv om det ikke foreløpig er kommet noen krav om dette, kan det være en uforutsett utfordring i fremtiden.

Løsning:

Det er ikke alltid selvvalgt hvor vannet tas opp og dumpes, men det vil likevel være nyttig å prøve å unngå blanding av ferskvann og saltvann. Løsningen vil være å gjøre skip oppmerksom på eventuell forstyrrelse av miljøet, for å prøve å unngå blanding.

8.1.22 Utfordring 22 Skittent vann

Ikke alt ballastvann er like rent og naturlig, ofte kan vannet være brunt, skittent og/eller forurenset. Renhetsgraden på vannet varierer en stor del, alt i fra hvor i verden vannet tas opp fra. Selv om vannet renses for å drepe organismer før det dumpes ut i sjøen igjen, vil vannet fortsatt kunne være skittent. Dersom skittent vann dumpes i rent vann, kan det forurense det rene vannet.

Løsning:

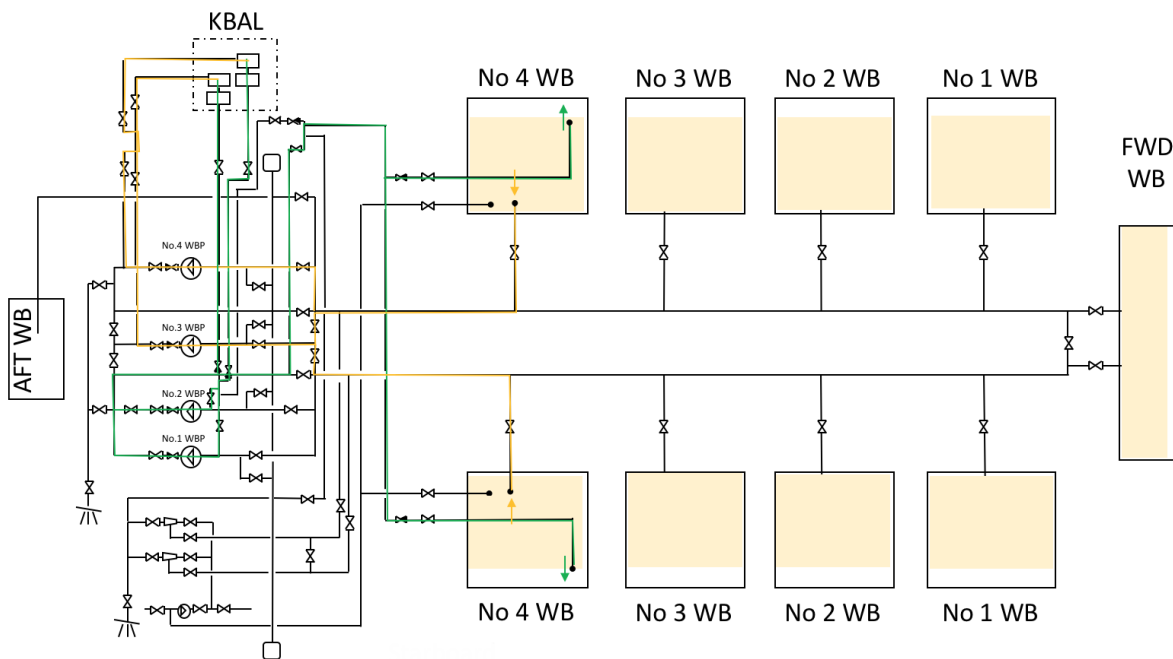
For å unngå forurensing, bør skittent vann skiftes ut før skipet kommer i havn. Da de-ballasterer man det skitne vannet og tar inn nytt rent ballastvann. Ulempen med dette er at det er tidkrevende. Anlegget vil da være oftere i bruk, noe som er positivt for prosessen, da pumper er designet for å være i jevnlig bruk.

8.1.23 Utfordring 23 Ubrukte pumper

Tiden mellom ballastering og de-ballastering varierer, men det kan forekomme flere måneder mellom prosessene når skipet går fra en verdensdel til en annen. Anlegget vil altså stå ubrukt i denne tiden, noe som kan føre til at det kan oppstå utfordringer ved oppstart etter så lang pause. Pumper er laget og fungerer best ved kontinuerlig drift.

Løsning:

For å unngå at pumpene står ubrukte i for lang tid mellom prosessene, kan anlegget kjøres jevnlig lokalt i skipet. Dette vedlikeholder anlegget og unngår eventuell stopp når ballastering eller de-ballastering skal utføres, men dette er også dyrt. Som vist i figur 45 så blir vannet pumpet gjennom KBAL og tilbake til tankene for å bruke systemet jevnlig.



Figur 45 Lokalkjøring av KBAL for å kjøre anlegget regelmessig

8.1.24 Utfordring 24 Dokumentasjon

Det er krav om å dokumentere alt som skjer innenfor ballastering og de-ballastering. All informasjon, alt i fra hvor mye vann som tas inn, hvordan anlegget har vært i bruk til hvilket klokkeslett det utføres på skal dokumenteres. Alt skal loggføres og lagres, slik at det kan sjekkes ved kontroll at alle regelverk er overholdt. Dersom ikke all loggføring og dokumentasjon er i 100% orden ved sjekk, må skipet stoppet til alt er i orden. En eventuell uforutsett stopp vil være meget kostbart og er ikke ønskelig.



Løsning:

Det er viktig å ha gode robuste datasystem, som loggfører og lagrer alt som forekommer om bord. Ha alltid et backsystem og/eller loggfør informasjon flere steder i tilfelle noe skulle gå galt. Viktig med gode muligheter innenfor regulering av prosessen, som turtallsregulering, slik at det garantert ikke kjøres utenfor ulovlige kapasiteter og lignende.

9 Avsluttende diskusjon

Utfordringene knyttet til ballastering og de-ballastering er mange og vil være varierende i forhold til hvilket prosessanlegg som anvendes og de ulike situasjonene prosessen skal foregå i. En stor utfordring vil være å tømme tankene tilstrekkelig for å unngå å gjøre skade på pumpene ved å suge inn luft. Et strippesystem er en god løsning for å unngå dette og denne metoden er et effektivt hjelpemiddel for å tømme skipet tilstrekkelig for vann. Det vil forekomme ekstra ventiler, ejektor, rør og kanskje en ny strippepumpe, men vil være rimeligere enn å ødelegge pumpen og erstatte denne kanskje opptil flere ganger. En annen utfordring ved ballastering og de-ballasting er å ta opp skittent vann fra et sted, så kan det være forurensende å slippe det ut andre steder der vannet er rent. Et alternativ kan da være å skifte ut vannet på veien til havn. Det vil være mer kostbart å ballastere flere ganger på veien til lastestedet, men prosessanlegget vil bli brukt flere ganger slik at pumpene er i jevnlig drift og unngår å ødelegges, og da forhindres også forurensing.

En optimal prosess er avhengig av gode reguleringsmetoder. Mange skip bruker struperegulering fordi dette er en billig og enkel løsning. Å installere struperegulering er billigere enn turtallsregulering, men i et langtids perspektiv vil turtallsregulering gi bedre resultat og det store energitapet unngås. Med KBALs operasjonelle behov, som å opprettholde trykk, må skipet ha turtallsregulering av pumpene. Dette er for å opprettholde trykket og løftehøyden når kapasiteten reguleres. Det kreves god erfaring og teoretisk bakgrunn når prosessen skal reguleres optimalt.

Å integrere ny renseteknologi i allerede eksisterende prosessanlegg på skip er en tidskrevende og kostbar prosess. Når den eksisterende systemutformingen allerede har blitt løst på den beste måten, så skal den nå endres når rensesanlegg skal integreres på skipet. Når et rensesanlegg skal installeres trenger det mer plass og manuelle ventiler bør fjernes for å sette inn hydrauliske. Det vil være svært tungvint og uoversiktlig å styre ventilene manuelt i en slik prosess, i tillegg er det behov for den ekstra plassen til rensesanlegget og for å regulere prosessen på best mulig måte. Når hele prosessanlegget skal legges om er det en fordel at KBAL kan plasseres på dekk da det kan bli plassmangel i prosessanlegget under dekk med flere rør og ventiler. KBAL er også en effektiv og miljøvennlig metode for ballastvannrensing, da det kun benyttes vakuum og UV-lys. Andre rensemetoder kan tilsette og benytte kjemikalier som kan være forurensende, eller filter som kan bli tett og som ikke vil være like effektive eller miljøvennlige.

Når alle skip nå må installere rensesanlegg, vil dette være en svært kostbar prosess for shipping firmaene. En løsning for å kunne spare tid og penger vil være å sette renseteknologien på land og på plattform. Da vil skipene kobles til de landbaserte rensesanleggene når de legges til havn og losses. Dette vil være bedre økonomisk slik at skipene ikke trenger å endre hele prosessanlegget, det er mer driftssikkert for prosessanleggene og mer miljøvennlig. Når rensesanlegget er på land og brukes regelmessig blir utfordringen om ubrukte pumper løst, da vil anlegget kjøres jevnlig og det vil ikke forekomme skader av at pumpene står i ro i potensielt flere måneder av gangen når skipet går fra en verdensdel til en annen. Det som kan være utfordrende med å sette rensesanlegget på land er at hvis det ankommer flere skip til samme havn så kan det oppstå ventetid på å ta i bruk rensesanlegget, og sløsing av tid er kostbart. En eventuell løsning på dette vil være å



installere flere renseanlegg dersom det skulle være plass til det. For å få en slik løsning gjennomført, må man få godkjenning fra havner og plattformer og danne en avtale. Dette kan gjøres på mange måter, da det er utviklet flere typer teknologier i tillegg til KBAL. Eventuelt kan KBAL og andre typer renseteknologier plasseres i samme havn, hvor shipping firma kan kjøpe brukstillatelse.

10 Konklusjon

Ved å integrere renseanlegg på skip vil det gi flere utfordringer med ballastering og de-ballastering. Med tanke på at prosessanlegget må byttes og at skipene skal ha et velfungerende og godkjent renseanlegg vil dette bli kostbart og tidskrevende. En løsning for at alle skip som frakter last skal unngå å installere eget renseanlegg så kan alternativet være å sette renseanlegget på land og på plattform. Med et landbasert renseanlegg, hvor alle skip kan kobles på og utføre ballastering og de-ballastering, mistes mange av de overnevnte utfordringene. Da vil det ikke lengre være behov for utbytting av prosessanlegget, og den store kostnaden med integreringen av renseteknologien slippes. En utfordring til den landbaserte løsningen er at hvert skip må utforme en påkobling fra ballasttankene og til renseanlegget på land, men dette blir en enklere og mye rimeligere prosess enn å skifte ut hele prosessanlegget. Prosessanlegget vil være i jevnlig drift, i motsetning til sjelden drift dersom renseteknologien plasseres på skipet, og det unngås skader og ødeleggelser. Et landbasert prosessanlegg med KBAL, hvor skip kan kobles på, er en driftssikker og økonomisk god løsning.

Bibliografi

- Bærland, A. (2016, September 14). *Skipsrevyen*. Hentet fra FN-konvensjonen om ballastvann ratifisert: <https://www.skipsrevyen.no/article/fn-konvensjon-om-ballastvann-ratifisert/>
- Carney, K. J., Minton, M. S., Holzer, K. K., Whitman Miller, A., McCann, L. D., & Ruiz, G. M. (2017, Mars 20). *Evaluating the combined effects of ballast water management and trade dynamics on transfers of marine organisms by ships*. Hentet fra PLOS one: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172468>
- DNV GL. (2016, September 9). *dnvgl*. Hentet fra Ballast Water Management Convention enters into force on 8 September 2017: <https://www.dnvgl.com/news/ballast-water-management-convention-enters-into-force-on-8-september-2017-74901>
- DNV GL. (2018). *dnvgl*. Hentet fra Ballast Water Management: <https://www.dnvgl.com/maritime/ballast-water-management/uscg.html>
- EMSA. (2011, Januar). *European Maritime Safety Agency*. Hentet fra <http://www.emsa.europa.eu/implementation-tasks/environment/ballast-water.html>
- Eriksen, L. H. (2009, Februar 14). *snl*. Hentet fra Omdreiningstall: <https://snl.no/omdreiningstall>
- Erikstad, S. O. (2009, Februar 14). *Store norske leksikon*. Hentet fra ballast - skipsfart: https://snl.no/ballast_-_skipsfart
- Faafeng, B. (2013, Mai 15). *Forskning.no*. Hentet fra Tester renseteknologi for ballastvann: <https://forskning.no/havforskning-forurensning-biologi-marin-teknologi/2013/05/tester-renseteknologi-ballastvann>
- Fagerland, S. O. (2018, Februar 7). Intervju med fagpersonell.
- Forsthoffer, W. (2005, Desember 16). Forsthoffer's Rotating Equipment Handbooks. *Elsevier Science & Technology Books*, s. 198.
- Grøn, Ø. (2009, Februar 15). *snl*. Hentet fra Virkningsgrad: <https://snl.no/virkningsgrad>
- Grundfos. (2017). *Grundfos*. Hentet fra Non-return valve: <https://www.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/non-return-valve.html>
- Hofstad, K. (2014, Oktober 30). *snl*. Hentet fra effekt - energi: https://snl.no/effekt_-_energi
- Hunt Valve. (2018). *huntvalve*. Hentet fra Pump bypass control: <https://www.huntvalve.com/products-2/pump-bypass-control/>
- Husø, Ø., & Larsen, L. S. (1998). *Lasting, lossing og stuing*. Yrkesforlaget AS.
- Hydraresearch commercial. (2017). *hydraresearchcommercial*. Hentet fra Item # 4-SBM-O-W, Suction Bellmouth 4" : <https://catalog.hydraresearchcommercial.com/item/all-categories/suction-bellmouths/sb-4>
- Hydra-tech pumps. (2016). *Hydra-tech pumps*. Hentet fra 9 Different impeller types: <http://hydra-tech.com/9-different-impeller-types/>
- IMI-Hydraulic Engineering. (2018). *imi-hydraulic*. Hentet fra BPV: <https://www.imi-hydraulic.com/sites/EN/nb-no/produkter/balansering-regulering-og-aktuatorer/differansetrykkregulatorer/bypassventiler/BPV/7a23f824-e19a-4d45-9bec-0ee7ab0d3af2>
- IMO. (2017, September 8). *International Maritime Organization*. Hentet fra <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Pages/Default.aspx>
- IMO. (2018). *imo*. Hentet fra Introduction to IMO: <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>
- IMO. (2018). *imo*. Hentet fra International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM): <http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International->

- Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships'-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx
- Inspection for industry. (2013). Hentet fra Pump Net Positive Suction Head Test (NPSH Test): <http://www.inspection-for-industry.com/pump-net-positive-suction-head-test.html>
- International Chamber of Shipping. (2017). *ics-shipping*. Hentet fra Shipping and World trade: <http://www.ics-shipping.org/shipping-facts/shipping-and-world-trade>
- Kang, S.-S., Myung, S., & Han, S.-H. (2015). *A Design expert system for auto-routing of ship pipes*. Research Gate.
- Klimes, M. (2017, Mai 2). *Flow Control*. Hentet fra Understanding and avoiding pump cavitation: <https://www.flowcontrolnetwork.com/understanding-avoiding-pump-cavitation/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (2018). *knutsenoas*. Hentet fra Technology: <https://knutsenoas.com/knutsen-technology/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (2018). *knutsenoas*. Hentet fra Shipping: <https://knutsenoas.com/shipping/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (2018). *Knutsenoas*. Hentet fra About knutsen: <https://knutsenoas.com/about-knutsen-offshore-tankers/>
- Knutsen Shipping. (2018). *knutsenoas*. Hentet fra History: <https://knutsenoas.com/about-knutsen-offshore-tankers/history/>
- Knutsen, O. (2017, November 15). Test Plan. Haugesund, Rogaland, Norge.
- Lothe, P. (2018, Januar).
- Lothe, P. (2018, April). Pumpekurver.
- Lovdata. (2017, September 21). *Lovdata*. Hentet fra Forskrift om ballastvannbehandling på skip og flyttbare innretninger: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-09-08-1368>
- Mathisen, R. (2013, Juni 23). *NDLA*. Hentet fra Fortrengningspumpe: <https://ndla.no/nb/node/123159?fag=35>
- Mathisen, R. (2013, Juni 12). *NDLA*. Hentet fra Sentrifugalpumpe: <https://ndla.no/nb/node/123160?fag=35>
- Overvåkningsgruppen. (2017, Juni 26). *Miljøstatus*. Hentet fra Fremmede artser i Barentshavet: <http://www.miljostatus.no/fremmede-arter-barentshavet/>
- Process Industry Forum. (2013, April 8). *Process Industry Forum*. Hentet fra The Advantages of Using Butterfly Valves: <http://www.processindustryforum.com/article/advantages-using-butterfly-valves>
- Pumpschool. (2007). *Pumpschool*. Hentet fra Understanding Net Positive Suction Head : <http://www.pumpschool.com/applications/NPSH.pdf>
- R.C. Worst & Co., I. (Regissør). (2017). *How to Read a Pump Curve: Simple Explanation [Film]*.
- Rosvold, K. A. (2009, 14 Februar). *snl*. Hentet fra Ejektor: <https://snl.no/ejektor>
- Sandvig, E. (2005). *Kavitasjon og erosjon på rørsiden i varmeveksler*. Haugesund: Høgskolen Stord/Haugesund.
- Sjøfartsdirektoratet. (2016, September 13). *sdir*. Hentet fra Ballastvannkonvensjonen i kraft fra september 2017: <https://www.sdir.no/aktuelt/nyheter/ballastvannkonvensjonen-i-kraft-fra-september-2017/>
- Skovgaard, A., & Nielsen, C. B. (2004). *Pump Handbook*. GRUNDFOS Management A/S.
- Statoil/HSB. (2016, Oktober). *Pumper i prosessanlegg*. Haugesund, Rogaland, Norge.
- Transport Canada. (2010, Januar 21). *Transport Canada*. Hentet fra Ballast water defined: <https://www.tc.gc.ca/eng/marinesafety/oep-environment-ballastwater-defined-249.htm>



- Trojan Marinex. (2018). *trojanmarinex*. Hentet fra USCG:
<https://www.trojanmarinex.com/regulations/united-states/>
- Val Matic. (2009). Hentet fra Cavitation in valves:
http://www.valmatic.com/pdfs/Cavitation_in_Valves_7-22-08.pdf
- Wankhede, A. (2016, Juli 21). *marineinsight*. Hentet fra What is Ballasting and De-Ballasting?: <https://www.marineinsight.com/guidelines/what-is-ballasting-and-de-ballasting/>
- Xylem Applied Water Systems. (2015, August). *Xylem*. Hentet fra Pump cavitation and how to avoid it: http://buildings.xylem.com/files/2015/09/Cavitation-White-Paper_FINAL-2.pdf

