



CHALMERS

Tryckluftsläckage ombord på fartyg

Examensarbete inom Sjöingenjörsprogrammet

Tim Madsen

Tim Ståhl

RAPPORTNR. SI-15/161

Tryckluftsläckage ombord på fartyg

Tim Madsen

Tim Ståhl

Institutionen för sjöfart och marin teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2015

Tryckluftsläckage ombord på fartyg
Compressed air leakage onboard ships

Tim Madsen
Tim Ståhl

© Tim Madsen, 2015.

© Tim Ståhl, 2015.

Rapportnr. SI-15/161
Institutionen för sjöfart och marin teknik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Tryckt av Chalmers
Göteborg, Sverige, 2015

Tryckluftsläckage ombord på fartyg

Tim Madsen

Tim Ståhl

Institutionen för sjöfart och marin teknik

Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Tryckluftssystem ombord på fartyg är av vital karaktär för att ett fartyg skall kunna fungera men läckage i dessa tryckluftssystem är vanliga. En enkätundersökning genomfördes för att undersöka medvetenheten kring läckage i tryckluftssystem ombord på fartyg. Vidare gjordes en fallstudie för att se vilka undersökningsmetoder för att finna läckage i tryckluftssystem som är mest lämpliga ombord på fartyg med tanke på miljön som kan variera i både temperaturer och ljudnivå.

Resultatet från enkäten som utfördes visar att nästan ingen använder sig av ultraljudsmonitor eller infraröd värmekamera för läckagesökning, det är också 70 % som svarar att de inte har en underhållsrutin för att aktivt söka efter läckage i sitt tryckluftssystem ombord. Det är dock mer vanligt att man använder sig av det egna örat när det gäller att hitta läckage.

Referenstesterna som utfördes ombord visar att det är mycket enklare att hitta läckage med ultraljudsmonitorn och att det går mycket snabbare men att vid full drift går varken ultraljud eller det egna örat att använda sig av.

Fallstudien genomfördes på en begränsad del av tryckluftssystemen ombord på ett fartyg. Om man antar att läckagen som hittades ombord under fallstudien hade en diameter på 0,5mm så hade man potentiellt kunnat spara in en energiförbrukning på närmare 28MWh per år, motsvarande 22000kr vid ett elpris på 80 öre/kWh.

Nyckelord: Tryckluftssystem, läckage, underhållsrutin, ultraljud, infraröd värmekamera, fartyg.

Abstract

Compressed air systems on board ships are of vital character to a ship to operate, but leakages in the pneumatic system are common. A survey was conducted to investigate the awareness of leaks in compressed air systems on board ships. In addition, a case study to see which methods of investigation to find leaks in compressed air systems are most suitable on board ship, with an environment which can vary in both temperature and high noise.

The results of the survey that was conducted shows that almost no one uses ultrasound monitor or infrared thermal imaging for leak detection, it is also 70% of the responders that do not have a routine to actively search for leaks in the compressed air system on board. However, it is more usual to use their ears when it comes to finding leakage. Reference tests that was carried out on board shows that it is far easier to find leaks with a ultrasound-monitor, and it is much faster but when the machines is in operation, is not possibly to use ultrasound or the own ear.

The case study was conducted on a limited part of the compressed air systems on board. Assuming that the leaks that were found on board during the case study had a diameter of 0.5mm it had potentially been able to save energy consumption closer to 28MWh per year. Corresponding to 22000kr at an electricity price of 80 Swedish öre / kWh.

Keywords: Compressed air system, leakage, maintenance, ultrasound, infrared thermal camera.

Förord

Författarna skulle vilja tacka handledaren Morgan Osbeck som har varit till mycket stort stöd under arbetets gång. Har varit ett utomordentligt bra bollplank genom ett visat intresse och det stora stödet.

Även ett tack till följande företag Tamro AB, Stena Line, Wallenius Marine, Transatlantic, Destination Gotland och TT-line.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	1
1.1	SYFTE	1
1.2	FRÅGESTÄLLNING	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR	2
2	BAKGRUND	3
2.1	TRYCKLUFTSSYSTEM	3
2.1.1	<i>Startluft</i>	3
2.1.2	<i>Arbetsluft</i>	3
2.1.3	<i>Kontrolluft</i>	3
2.1.4	<i>Kompressorer</i>	3
2.2	MILJÖN OMBORD PÅ FARTYG	4
2.3	LÄCKAGE	5
2.4	UTRUSTNING FÖR DETEKTERING AV LUFTLÄCKAGE	6
2.4.1	<i>Ultraljudmonitor</i>	6
2.4.2	<i>Infraröd värmekamera</i>	7
2.5	KOSTNADER	8
2.6	REDOVISNING AV LITTERATURSTUDIE	9
3	METOD	10
3.1	LITTERATURSTUDIE	10
3.2	ENKÄT	10
3.2.1	<i>Undersökningsgrupp</i>	10
3.2.2	<i>Frågor</i>	10
3.3	FALLSTUDIE – TEST AV LÄCKAGESÖKNINGSUTRUSTNING	11
3.3.1	<i>Förfrågningar om lån av utrustning</i>	11
3.3.2	<i>Referenstest</i>	11
4	RESULTAT	12
4.1	REDOVISNING AV ENKÄT	12
4.2	REDOVISNING AV FALLSTUDIE	14
4.2.1	<i>Referenstest ultraljudsmonitor - Verkstad</i>	14
4.2.2	<i>Ultraljudsmonitor ombord på fartyg</i>	14
4.2.3	<i>Referenstest ultraljud ombord på fartyg</i>	18
4.2.4	<i>Infraröd värmekamera ombord på fartyg</i>	18
4.2.5	<i>Förfrågningar</i>	18
5	DISKUSSION	19
5.1	RELIABILITET OCH VALIDITET	19
5.2	ENKÄT	20
5.3	FALLSTUDIE OMBORD PÅ FARTYG	21
5.3.1	<i>Referenstest</i>	21
5.3.2	<i>Ultraljudsmonitor</i>	21

5.3.3	<i>Infraröd värmekamera</i>	22
5.3.4	<i>Övriga metoder</i>	23
5.4	EKONOMI	23
6	SLUTSATSER	24
6.1	FÖRSLAG FÖR FRAMTIDA ARBETEN	25
7	REFERENSER	26
8	BILAGOR	27
8.1	BILAGA A - MEJL.....	27
8.2	BILAGA B - ENKÄT FRÅGOR.....	28
8.3	BILAGA C - ENKÄT SVAR	30

Figurförteckning

Figur 1 Verkningsgrad (Atlas Copco, 2010).....	4
Figur 2. Hålstorlek, läckage och effektförlust (Atlas Copco, 1973)	6
Figur 3 Infraröd värmekamera (Wikipedia, 2015).....	7
Figur 4 Tryckluftkostnader (Atlas Copco, 2010).....	8
Figur 5. Läckage i koppling (Ståhl, 2015)	15

Tabellförteckning

Tabell 1. Utfall fråga 1.....	12
Tabell 2. Utfall fråga 2.....	12
Tabell 3. Utfall fråga 3.....	13
Tabell 4. Utfall fråga 4.....	13
Tabell 5. Utfall fråga 5.....	13
Tabell 6. Utfall fråga 6.....	13
Tabell 7. Utfall fråga 7	14
Tabell 8. Referenstest i referensmiljö	14
Tabell 9. Fallstudie ultraljudsmonitor ombord på fartyg	16
Tabell 10. Referenstest ultraljud ombord på fartyg.....	18

Ekvationsförteckning

Ekvation 1	5
------------------	---

Beteckningar

Bara	Absoluttryck
Bar	Övertryck
HM	Huvudmaskin

1 Inledning

Tryckluftssystemen ombord på fartyg är av central vikt för att ett fartyg skall kunna fungera men läckage i dessa tryckluftssystem är vanligt vilket drar med sig onödiga kostnader. Att luftläckage i tryckluftssystem kostar är allmänt känt. Dock är det svårt att veta exakt hur mycket det kostar (Atlas Copco, 1973). Ombord finns flera tryckluftssystem där de vanligaste är serviceluft och startluft. Underhållsarbetet med tätning av läckage i dessa system är ofta eftersatt av olika anledningar. Miljön ombord på fartyg gör ofta arbetet med tryckluftsläckagesökning och tätning svårt, på grund av kraftigt buller och höga temperaturer. Tryckluft är en kostsam energiform på grund av att den låga verkningsgraden hos tryckluftskompressorer. Genom att få bukt på luftläckage kan man potentiellt spara mycket pengar och samtidigt skona miljön.

1.1 Syfte

Syftet med detta arbete är att ge incitament för att arbeta aktivt med ett systematiskt underhållsarbete gällande läckage i tryckluftssystem ombord på fartyg samt att kartlägga och testa olika metoder för läckagesökning i tryckluftssystem ombord fartyg.

1.2 Frågeställning

Med detta arbete ämnas följande frågeställning besvaras:

- Arbetar man systematiskt med att söka och täta tryckluftsläckage ombord på fartyg idag?
- Vilka metoder används för att söka efter tryckluftsläckor ombord på fartyg?
- Hur fungerar de förekommande utrustningarna för tryckluftsläckagesökning i maskinutrymmen ombord på fartyg?
- Vilken typ av utrustning för tryckluftsläckagesökning lämpar sig bäst för systemen på ett fartyg med hänseende till miljön ombord där det förekommer stora ljud- och temperaturvariationer?
- Vilka potentiella kostnads och energibesparingar kan göras genom att arbeta systematiskt med att täta tryckluftsläckage ombord på fartyg?

1.3 Avgränsningar

Arbetet begränsas till svenskflaggade fartyg.

Arbetet kommer ta upp ekonomiska aspekterna men inte någon mer omfattande ekonomisk analys.

Undersökning av läcksökningsutrustning kommer att begränsas till ultraljudsmonitor och infraröd värmekamera där utrustningen kommer att begränsas till den man får tillgång till från olika företag.

2 Bakgrund

För att förstå grunderna till frågeställningen i denna rapport behandlas nedan bakgrundsinformation kring hur ett tryckluftssystem är uppbyggt och vilka olika system som finns ombord på fartyg. Vidare beskrivs miljön i maskinutrymmen ombord på fartyg. Även bakgrundsinformation om läckage i tryckluftssystem och utrustning för detektering av dessa beskrivs. Nedan ges även en ekonomisk överblick kring tryckluftssystem.

2.1 Tryckluftssystem

Tryckluft är en kraftkälla som kan användas i många syften t.ex. som startluft, arbetsluft och kontrolluft. Tryckluft är liksom elkraft och ångkraft ingen i naturen förekommande kraftkälla utan måste genereras av kompressorer med luft som medium. Att just luft är medium för kraften är ofta en av anledningarna till att tryckluft väljs som kraftkälla. Detta på grund av att det är det ofarligaste drivmedlet för människan och omgivning då det inte avger några miljöfarliga avgaser som fossila bränslen eller att man riskerar att bränna sig som med ånga (Atlas Copco, 1973).

Generellt så består ett tryckluftssystem ombord på fartyg av minst två kompressorer för att komprimera luften till ett tryck man vill ha i sitt system (Keuiken, 2008). Tryckluften lagras sedan i tryckluftsbehållare och distribueras sedan vidare ut till de olika konsumenterna i systemet genom olika filter så som vattenavfuktare och oljeavskiljare (Andersson, 2008).

2.1.1 Startluft

Ett startluftsystem för huvudmaskin och hjälpmaskinerna på fartyg består oftast av två startkompressorer och två startlufttankar. Man försöker hålla ett tryck på 30 bar i ett startluftsystem. I princip innebär detta att i startlufttankarna så finns det tillräckligt med luft för cirka sex till tolv starter (Keuiken, 2008).

2.1.2 Arbetsluft

Arbetsluftsystemet har ett tryck runt sju bar, denna tryckluft används för att driva redskap och verktyg. Ofta är startluftsystemet och arbetsluftsystemet sammankopplat med en reduceringsventil som reducerar startluftens cirka 30 bar till arbetsluftens cirka sju bar, detta för att skapa en viss redundans mellan systemen (Andersson, 2008).

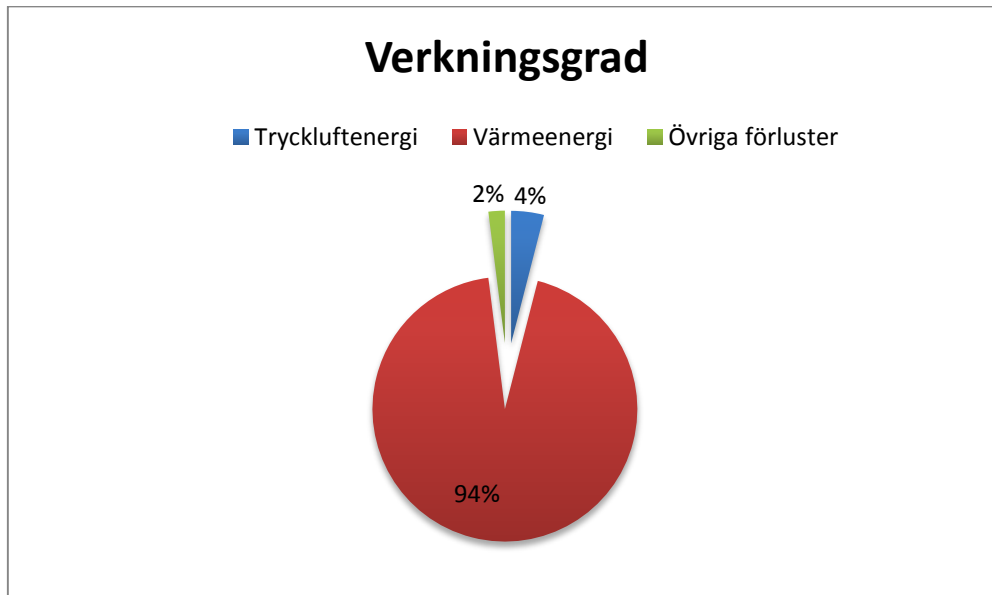
2.1.3 Kontrolluft

På fartygen finns också ett kontrolluftsystem även kallat instrumentluft. Det är viktigt att kontrolluften är extra ren och fri från vatten och olja. Detta görs med hjälp av extra filter, avfuktare och oljeavskiljare. Vid bristande torrhalt eller renhet kan instrumenten sluta fungera eller arbeta ojämnt (Andersson, 2008).

2.1.4 Kompressorer

Att skapa tryckluft är en process som har väldigt låg verkningsgrad då bara cirka fyra procent av den tillförda energin är kvar i tryckluften, största delen är värmeförluster om man inte tar

tillvara på det. På land är detta en energiform man flitigt återanvänder för till exempel uppvärmning av lokaler (Atlas Copco, 2010).



Figur 1 Verkningsgrad (Atlas Copco, 2010)

De mest vanligt förekommande typerna av kompressorer är:

- Kolvkompressor
- Skruvkompressor
- Centrifugalkompressor
- Vakuumpkompressor

Ombord så är kolvkompressorn den mest förekommande (Andersson, 2008). Beroende på vad kompressorn ska användas till så är tryck- och flödeskapacitetsbehoven olika. Man bör även ta med i beräkningen vid val av kompressor hur ofta anläggningen kommer användas och vilket tryck man behöver. Kompressorns uppgift är att se till att den täcker de olika luftflödesbehoven och att systemen håller rätt tryck. Trycket hålls med hjälp av pressostater för på och avlastning av kompressorn och med tryckreduceringsventiler för tryckanpassning mellan olika system (Atlas Copco, 2010).

Till exempel för ett startluftsystem så behöver man en kompressor som ger högre tryck än vad man behöver till ett arbetsluftssystem. Detta på grund av att ett startluftsystem drivs med ett mycket högre tryck jämfört med arbetsluftsystemet. På mindre fartyg kan man ha ett startluftsystem som driver arbetsluftsystemet med hjälp av en reduceringsventil (Andersson, 2008).

2.2 Miljön ombord på fartyg

Miljön i maskinutrymmen ombord på fartyg kan beskrivas som bullrig och högljudd. En stor del av ljuden som produceras ombord kommer från maskinerna (Keuiken, 2008). Ljuden

ombord transporteras också runt via luften och som stömljud (Keuiken, 2008). För mycket högt ljud under för lång tid är skadligt för hälsan och kan resultera i att man presterar sämre (Keuiken, 2008). När man jobbar ombord så bör man använda hörselskydd men även om hörselskydd används så kan ljudet upplevas som obehagligt. Man bör helst undvika att jobba allt för nära maskinerna när de går för fullt (Keuiken, 2008).

Förutom den höga ljudnivån i maskinutrymmen är dålig belysning och icke ergonomiska arbetsställningar vanligt förekommande. Ofta kan miljön vara varm och fuktig då maskinerna i dessa maskinutrymmen ofta strålar en stor mängd värme (Keuiken, 2008).

2.3 Läckage





Läckage i tryckluftssystem förekommer ofta. Detta leder till att det samlade luftläckaget med tiden blir högt. Även små hål i tryckluftssystem kan ge upphov till höga kostnader vid räknande på årsbasis. I extremfall kan kostnaderna för läckage uppgå till 30 % av totala driftkostnaderna för produktionen av tryckluft. Man kan genom måttliga kostnader för underhållsarbete komma ner till fem till 10 procent läckage. Detta är en fråga om resurser och utbildning av personal (Atlas Copco, 1973).

I de driftfall som motsvarar de tryck som finns i tryckluftssystemen ombord handlar det om överkritiska flöden vid läckage till atmosfärstryck. Teoretiskt kan det beräknas vad ett specifikt läckage kostar för en viss typ av kompressor för ett sådant scenario. Om man antar att ett tryckluftssystem har ett absoluttryck på 8 bar (tryckförhållande $p_1 = 8$ bara i systemet och $p_2 = 1$ bara atmosfärstryck) och i detta system finns en läcka formad som ett hål med diametern 1 mm ($A = 0,79 \text{ mm}^2$) blir det teoretiska utflödet utan förluster 1,24 l/s ($q_v =$ volymflöde genom hålet) (Atlas Copco, 1973) (Atlas Copco, 2010).

$$q_v = \frac{p_1}{p_2} * 0,197 \text{ l/s} * \text{mm}^2 \text{ utströmningsarea (Atlas Copco, 1973)}$$

Ekvation 1

Som referenskompressor antas en Atlas Copco GA 45+ med ett maximalt arbetstryck på 7,5 bar där den tekniska specifikationen anger en max-kapacitet på 149 l/s med en elektrisk motoreffekt på 45 kW (Copco, 2014). Detta ger det teoretiska volymflödet 3,31 l/s per kW. För ett teoretiskt läckage 1,238 l/s krävs alltså en effekt på 0,374 kW ((1,24 l/s) / (3,31 l/s/kW)). Vid kontinuerligdrift innebär detta en årsförbrukning på 3276 kWh. Vid ett elpris på 80 öre/kWh skulle detta läckage innebära en årskostnad kring 2600 kr.

Håldiameter		Teoretiskt utflöde vid $\frac{p_1}{p_2} = 8$ l/s	Effektbehov för kompr. kW
Naturlig storlek	mm		
	1	1,238	0,4
	3	11,14	4,0
	5	30,95	10,8
	10	123,8	43

Figur 2. Hålstorlek, läckage och effektförlust (Atlas Copco, 1973)

2.4 Utrustning för detektering av luftläckage

Det finns flera olika metoder för luftläcksökning där den mest vanligt förekommande metoden är att använda sig av det egna örat. Nackdelen med denna metod är att den är ineffektiv i bullriga miljöer då ljudet från en läcka lätt dränks i omgivningsbullret. Ombord på ett fartyg skulle detta innebära att man i princip bara kan utföra läckagesökningar när maskinerna står stilla. En annan metod är strykning med såpvatten där läckan indikeras med att såpvattnet bubblar. Två andra, mer utrustningskrävande metoder är läckagesökning med ultraljudsdetektering och infraröd värmekamera (Slobodan Dudić, 2012).

2.4.1 Ultraljudmonitor

Luftläckor genererar en frekvens mellan 20 kHz till 80 kHz det vill säga långt över den för människan hörbara nivån som ligger mellan 10Hz till i bästa fall 20 kHz (Slobodan Dudić, 2012). Ju högre frekvens läckaget har desto större läcka det vill säga mer energi går till spillo. Nackdelen med ultraljud är att de högre frekvenserna inom ultraljudsbandet inte kan färdas så långt. Därför opererar de flesta ultraljudbaserade läckagedetektorer med en frekvens på 40 kHz, då får man en optimal mätning med hänsyn till både utflödet och avståndet från läckan (cs-instruments, 2015).

För att kunna hitta luftläckor använder sig ultraljudmonitorn av en process som heter heterodyning (cs-instruments, 2015). Processen konverterar den med örat icke hörbara frekvensen som utsöndras från läckaget till en frekvens som användaren kan höra. Ljudet användaren lyssnar efter genereras av ultraljudsmonitorn i ljudisolerade och dämpande hörlurar (cs-instruments, 2015). Ju närmare man kommer läckan och ju större läckan är desto högre blir intensiteten av ljudet från ultraljudsmonitorn.

Priserna för en ultraljudsmonitor varierar. Ett vanligt prisintervall på marknaden ligger mellan 10000 och 20000 kr (Kimo, 2015) (Acandia, 2015).

Fördelar med en ultraljudbaserade läckagedetektorer är att man lätt kan:

- Lokalisera eventuella läckor på ett effektivare sätt än vad man kan göra med det egna örat.
- Kan användas i högljudda miljöer då ultraljudsmonitorn filtrerar bort bakgrundsbuller.

2.4.2 Infraröd värmekamera

Tekniken bakom infraröd värmekamera bygger på att kameran omvandlar värmeenergin som avges från föremål i det infraröda bandet av det elektromagnetiska spektrumet till en bild (Meola, 2004). Alla objekt avger en elektromagnetisk strålning och kan detekteras av en infraröd kamera, detta är inget man kan se med ögat. Varje temperaturnivå representeras antingen av en färg eller ett grått lager i bilden (Meola, 2004).



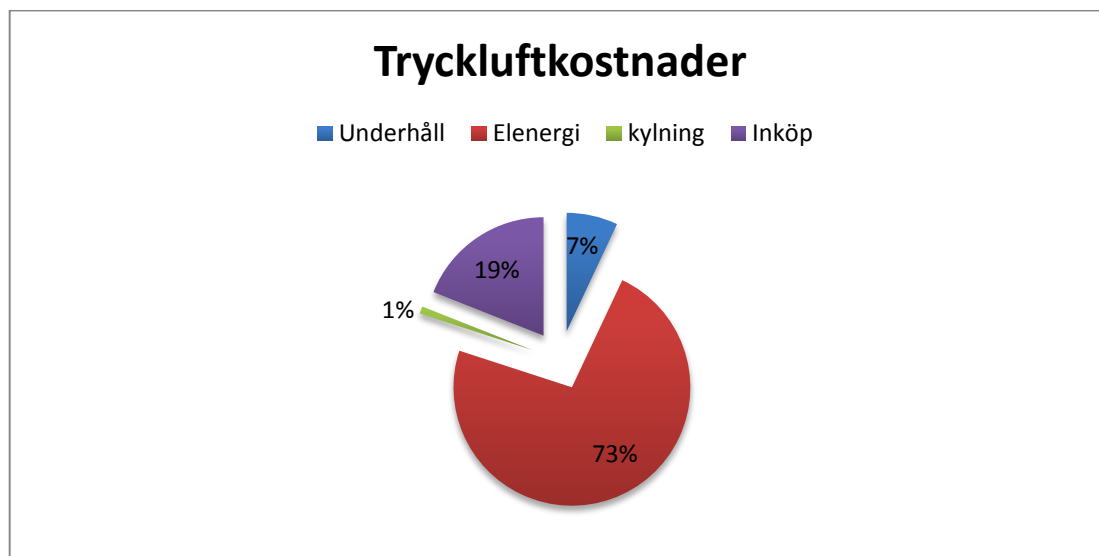
Figur 3 Infraröd värmekamera (Wikipedia, 2015)

Den infraröda värmekameran har många användnings områden. Ett av användningsområdena är att söka efter luftläckage. Genom att till exempel smyga ett tryckluftssystem så kommer man se på displayen vad eventuella luftläckage är. Det ser man genom att temperaturen vid läckaget är lägre än i omgivningen (Slobodan Dudić, 2012), i praktiken skulle detta innebära att luftläckaget har en mörkare färg än närliggande föremål (Slobodan Dudić, 2012).

Nyanserna kan skilja sig åt beroende på vilken infraröd värmekamera man använder sig av. Ett annat användningsområde skulle till exempel kunna vara att man använder den för att mäta olika temperaturer på pumpar, motorer och andra maskiner. På detta sätt kan man även avgöra om några delar eventuellt är på väg att haverera på grund av höga temperaturer (Meola, 2004).

2.5 Kostnader

Den största energikällan för tryckluft är elektrisk energi, den står för cirka 70 % av den totala kostnaden för tryckluftproduktion. Det finns många energibesparingar man kan göra så som att sänka trycket på sitt tryckluftssystem. Det finns dock begränsningar för hur mycket man kan sänka. Till exempel så måste ett kontrolluftssystem hålla cirka sju bar för att kunna fungera optimalt. Andra exempel på energibesparingar är att hitta läckage, energiåtervinning och genom att optimera sitt tryckluftssystem med hjälp av rätt reglersystem (Atlas Copco, 2010).



Figur 4 Tryckluftkostnader (Atlas Copco, 2010)

Den största kostnaden för tryckluft är energikostnader, därför blir det extra viktigt att hitta lösningar som uppfyller energikraven så att man på ett effektivt sätt utnyttjar så mycket energi som möjligt (Atlas Copco, 2010).

På land är det mer vanligt att man har delat upp tryckluftssystemet i olika sektioner där man stänger ner sektionerna man inte använder för att spara pengar, detta är också ett bra sätt att se om en viss sektion förbrukar mer tryckluft än normalt, därifrån kan man utvärdera eventuell orsak (Atlas Copco, 2010). Det kan även vara möjligt att reducera trycket under natten då man inte har lika stor användning för tryckluften, man kan till exempel reducera trycket med 0,3 bar, det reducerar även eventuella läckage med cirka fyra procent (Atlas Copco, 2010).

Förutom elenergi så är tryckluft en av de mest använda energiformerna i industrin. Tryckluft är också en av de dyraste energiformerna. I Tyskland så förbrukas 14TWh elenergi per år för produktion av tryckluft (cs-instruments, 2015). Detta är något som kan jämföras med Rindhals elproduktion för 2014 som låg på ungefär 24 TWh (Vattenfall, 2015). I EU står tryckluftsgenerering från tryckluftskompressorer för 10 procent av de totala kostnaderna av elenergiförbrukningen i industrin (Slobodan Dudić, 2012). Genom att utföra en läckagesökning så är det möjligt att spara 10 till 20 procent, i vissa extrema fall upp till 30 procent (Atlas Copco, 1973).

2.6 Redovisning av litteraturstudie

I litteraturstudien användes en litteratursökning (Bell, 1993). Resultatet av litteratursökningen ligger till grund för bakgrundskapitlet. Litteraturen valdes sedan utifrån hur användbar den bedömdes vara för att kunna sammanställa bakgrundsinformation och kunna besvara frågeställningarna.

Resultatet för teorin om systemens uppbyggnad och miljön ombord baseras på följande två böcker.

Maskinlära för sjöpersonal av Tommy Andersson (2008) och Diesel Engines av Kees Kuiken (2008).

Resultatet för läckageutrustningen baseras på följande två vetenskapliga artiklar och jämförs med den manualen som följde med den utrustning som användes.

Leakage quantification of compressed air using ultrasound (2012) av Slobodan Dudić
Vetenskaplig artikel där man jämför ultraljudsmonitorn och infraröd värmekamera. Beskriver hur teknikerna fungerar och hur man jämför de två teknikerna.

Recent advances in the use of infrared thermography (2004) av Meola, C.
Vetenskapligt artikel där man går ner på djupet på hur tekniken bakom infraröd värmekamera fungerar.

<http://www.cs-instruments.com/downloads/instruction-manuals/>
För att kontrollera tillförligheten med de två vetenskapliga artiklarna.

Teorin om läckage och kompressorer baserades på följande två böcker och två följande vetenskapliga artiklar.

Tryckluftshandboken(1973) av Atlas Copco
Vad tryckluft används till och hur man ska läckagesöka för att hålla ett så energieffektivt system som möjligt.

Compressed Air Manual(2010) av Atlas Copco
Tar upp hur man ska bygga ett tryckluftssystem vad man ska ha med och tänka på.

Energy savings with compressed air (1995) av Risi J.
Tips på energibesparingar.

Energy Efficiency of Compressed Air Systems (2014) av Smaeil Mousavi
Olika energibesparingar.

Som grund för vårt val av metod användes boken **Introduktion till forskningsmetodik (1993) av Bell.**

3 Metod

För att söka svar på de formulerade frågeställningarna valdes olika metoder.

Litteraturundersökning valdes för att få bakgrundsinformation och en fördjupad förståelse kring frågeställningarna. Med hjälp av litteraturundersökningen så vill författarna ta reda på vilka kostnadsbesparingar som kan göras. Enkätundersökning valdes för att undersöka hur man ombord på fartyg idag arbetar med att söka och täta tryckluftsläckage samt undersöka de underhållsrutiner gällande sökning och tätning av tryckluftsläckage ombord på fartyg. Syftet med den utförda fallstudien var att undersöka hur utrustningen för detektering av tryckluftsläckage fungerar med hänsyn till miljön ombord och därmed undersöka vilken typ av utrustning som lämpar sig bäst ombord med hänsyn till miljön.

3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie valdes för att bilda och sammanställa bakgrundsinformation till arbetet och för att få en fördjupad förståelse om tryckluftssystemets uppbyggnad samt för att få övergripande förståelse för hur mycket en viss typ av läckage kan kosta. Sökningen av litteraturen gjordes under ett seminarium om litteratursökning som höll på Chalmers Lindholmens bibliotek den 23:e januari 2015.

Litteratursökningen genomfördes på följande sökmotorer och databaser:

Google
Web of Science
ScienceDirect

med följande sökord:

Compressed Air System, Leakage in Compressed Air System, Tryckluftssystem, Infrared Thermal Camera, Läckage i Tryckluftssystem, Ultraljudsdetektor, Tryckluftsläckage.

3.2 Enkät

Syftet med enkäten är att undersöka medvetenhet kring luftläckor ombord på fartyg och dess kostnader. Författarna vill granska medvetenheten kring metoder med ultraljudsmonitorn och infraröd värmekamera för läckagesökning. Undersökningen görs genom en enkät som skickas ut till maskinbefäl ombord på svenskflaggade fartyg.

3.2.1 Undersökningsgrupp

Enkät skickades ut till personalavdelningar på rederier med svenskflaggade fartyg. Svar efterfrågas av maskinbefäl ombord på fartygen.

3.2.2 Frågor

Enkäten bestod av följande frågor:

1. Känner du till att man kan använda sig av ultraljud för att hitta läckage i tryckluftssystem?
2. Är det något som ni använder idag?
3. Känner du till att man kan använda sig av värmekamera för att hitta läckage i tryckluftssystem?
4. Är det något som ni idag använder?
5. Finns det i ert UH-system en rutin för arbete med detta?
6. Vad är din uppfattning av var läckage främst uppstår?
7. En uppskattad kostnad för ett 1mm hål i ett tryckluftssystem(7bar) är 3000kr/år vid kontinuerlig drift.
Stämmer denna kalkyl med din tidigare uppfattning av vad en läcka kan kosta?
8. Var god och uppge rederi och fartyg.

3.3 Fallstudie – test av läckagesökningsutrustning

Fallstudie gick till på följande sätt:

- En observation i maskinutrymmen ombord på ett fartyg för att bilda en uppfattning om vilken eller vilka metoder som lämpar sig bäst för läckagesökning i dessa utrymmen.
- En observation i maskinutrymmen för att samla in data för vart läckage främst uppstår.
- Undersöka och jämföra olika utrustningar och principer för tryckluftsläckagesökning i referensmiljö. Med referensmiljön menas en tyst miljö där ljudnivån kan likställas med kontorsmiljö, detta för att undvika störningar.
- Undersöka och jämföra olika utrustningar och principer för tryckluftsläckagesökning ombord på fartyg och genom detta bilda en uppfattning om vilken eller vilka metoder som lämpar sig bäst.

För att göra detta så kontaktades ett rederi där författarna bad om att få komma ombord och göra en observation och insamling av data.

3.3.1 Förfrågningar om lån av utrustning

Förfrågningar om lån av utrustning skickas till företag som kan tänkas ha tillgång till den typ av utrustning som skall undersökas och jämföras.

3.3.2 Referenstest

Ultraljudsmonitorn testades mot ett referensläckage. Referensläckaget är ett hål som är borrar i olika storlekar genom en ändplugg i en klämringsskoppling. Referensläckaget kan stängas av med en ventil. Referensläckaget kopplas till ett tryckluftssystem med ett tryck på cirka sju bar. Genom att öppna ventilen strömmar en given mängd luft ut ur referenshålet.

4 Resultat

Vad de valda metodernas resultat i redovisas nedan.

4.1 Redovisning av enkät

Enkätfrågor skickades ut till sex rederier och besvarades sedan av totalt 21 maskinbefäl ombord på 16 olika fartyg från fem olika rederier. Genom de första frågorna får man reda på hur väl de svarande känner till ultraljudsmonitorn och infraröd värmekamera och man ser att nästan 50 % av de tillfrågade känner till läckagesökningsmetoder som utnyttjar ultraljud och cirka 30 % känner till läckagesökningsmetoder som använder infraröd värmekamera. Mindre än 10 % svarade att de använder sig av infraröd värmekamera i detta syfte och ingen svarade att de använder sig av ultraljud för läckagedetektering. Många ställer sig frågande till om det är lämpligt att använda sig av denna utrustning i maskinutrymmen. Av de svarande fartygen har 30 % en rutin för läckagesökning av tryckluftssystem där maskinpersonalen till exempel sprider ut sig i maskinutrymmen vid en planerad black-out övning och lyssnar med örat efter tryckluftsläckor. De allra flesta som svarande har samma uppfattning om var läckage främst uppstår vilket var kopplingar, skarvar och klamrar. Det verkar vara blandat om vad maskinbefälen tror vad ett läckage kostar där vissa tar med i beräkningen att elproduktionen ombord på fartyg är dyrare än i land och en del inte. För en mer detaljerad redovisning av det kompletta utfallet från enkäten se bilaga C.

Data från enkät:

Följande blev svarsfördelningen:

1. Kan du till att man kan använda sig av ultraljud för att hitta läckage i tryckluftssystem?

Tabell 1. Utfall fråga 1

Svarsalternativ	Fördelning av 21 svarande	Procentuell fördelning
JA	9	43 %
NEJ	12	53 %

2. Är det något som ni använder idag?

Tabell 2. Utfall fråga 2

Svarsalternativ	Fördelning av 21 svarande	Procentuell fördelning
JA	0	0 %
NEJ	19	90 %
Egen kommentar	2	10 %

3. Känner du till att man kan använda sig av värmekamera för att hitta läckage i tryckluftssystem?

Tabell 3. Utfall fråga 3

Svarsalternativ	Fördelning av 21 svarande	Procentuell fördelning
JA	7	33 %
NEJ	14	67 %

4. Är det något som ni idag använder?

Tabell 4. Utfall fråga 4

Svarsalternativ	Fördelning av 22* svarande	Procentuell fördelning
JA	2	9 %
NEJ	20	91 %

*Kommentar: Troligt fel vid registrering av svar från de svarande. Möjligt att en svarande råkat få 2 röster. Analys av kommentarerna som de svarande lämnat indikerar på att den extra ja rösten hör till fråga 5.

5. Finns det i ert UH-system en rutin för arbete med detta?

Tabell 5. Utfall fråga 5

Svarsalternativ	Fördelning av 20* svarande	Procentuell fördelning
JA	6	30 %
NEJ	14	70 %

*Kommentar: Här saknas ett svar. Troligen har en av de svarande svarat JA på fråga 4 istället för fråga 5. Analys av de svarandes kommentarer indikerar detta.

6. Vad är din uppfattning av var läckage främst uppstår?

Tabell 6. Utfall fråga 6

Svarsalternativ	Fördelning av 21* svarande	Procentuell fördelning
Kopplingar	11	52 %
Skarvar	4	20 %
Ventiler (alla typer)	11	52 %
Regulatorer	1	5 %
Slangbrott	3	15 %
Övrigt	11	52 %

*Kommentar: Tabellen är sammanställd utifrån de kommentarer som de svarande lämnat. Många har lämnat flera svar.

7. En uppskattad kostnad för ett 1mm hål i ett tryckluftssystem(7bar) är 3000kr/år vid kontinuerlig drift. Stämmer denna kalkyl med din tidigare uppfattning av vad en läcka kan kosta?

Tabell 7. Utfall fråga 7

Svarsalternativ	Fördelning av 14* svarande	Procentuell fördelning
JA	4	29 %
NEJ	0	0 %
NEJ - Större	4	29 %
NEJ - Mindre	6	42 %

*Kommentar: Här svarade endast 14 stycken. Dock lämnade 13 stycken av de svarandes kommentarer. Kommentarererna var unisona där ingen hade räknat på kostnaderna.

8. Var god och uppge rederi och fartyg*

*Kommentar: Frågan ställdes för att kunna separera svarande från samma fartyg där förutsättningarna är lika. Totalt svarade 21 maskinbefäl ombord på 16 olika fartyg från 5 olika rederier.

4.2 Redovisning av fallstudie

Fallstudien gjordes ombord på ett svenskflaggat fartyg den 27:e mars 2015. Studien genomfördes av de båda författarna till detta arbete. Författarna har valt att inte namnge vilket fartyg studien genomfördes på.

4.2.1 Referenstest ultraljudsmonitor - Verkstad

Ett referenstest utfördes i en dämpad miljö iland i en verkstad. Genom att man gjorde hål i olika rör med en viss storlek och lyssnade på hur det lät så kunde man senare ta med röret ombord på ett fartyg för att jämföra det i en miljö som är högljudd och bullrig. Trycket som användes iland låg på sju bar och samma tryck används ombord på fartygets tryckluftssystem.

Tabell 8. Referenstest i referensmiljö

Typ av rör	Diameter på hål	Miljö	Avstånd för detektering utan/med hörselskydd	Avstånd för detektering med ultraljud	Egen kommentar
Koppar	0.55mm	Referensmiljö /Dämpad miljö	10m / 5m	10m	Klart hörbart med egna örat, troligsten svårare att höra i en mer högljudd miljö
Stål	1.0mm	Referensmiljö /Dämpad miljö	20m / 15m	20m	Klart hörbart med egna örat, mycket högljudt läckage

4.2.2 Ultraljudsmonitor ombord på fartyg

Observationen ombord på fartyget resulterade i 34 stycken funna tryckluftsläckor. De främst förekommande läckorna från observationen hittade man i kopplingar och ventiler.



Figur 5. Läckage i koppling (Ståhl, 2015)

Systemen som läckagesöktes var arbetsluftsytet och kontrolluftsytet. Den effektiva tiden för läckagesökning uppskattades till ca 2 timmar. I brist på tillgänglighet fokuserades observationen till ett begränsat antal utrymmen i maskinutrymmena ombord på fartyget.

Utrymmena som söktes igenom var:

- Luftkonditioneringsrum
- Bunkerrum
- Huvudmaskinrum
- Hjälpmaskinrum
- Oljedistribueringsrum
- Ångpannum
- Separatorrum
- Verkstad

Totalt detekterades 34 stycken luftläckor. Alla läckor noterades och fotograferades. Bilderna kommenterades och gavs till maskinpersonal ombord på fartyget.

För att kategorisera omgivningsmiljö användes Dämpad, Bullrig, Högljudd och Mycket Högljudd. Kategoriseringen gjordes utifrån författarnas egen uppfattning med hänseende till kringutrustning och driftläge på dessa samt den egna uppfattningen av ljudintensitet. Ingen decibelmätning utfördes.

Definition av kategori med hänseende till omgivningsmiljö:

- **Dämpad:**

Miljö när hörselskydd inte kändes nödvändig och samtal kunde genomföras utan problem. I dämpad miljö spelade saknaden av kringutrustning som till exempel pumpar och fläktar i drift stor roll.

- **Bullrig:**

Miljö när hörselskydd var att föredra och samtal endast kunde genomföras med förhöjd röst. I den bullriga miljön spelade kringutrustning som till exempel pumpar och fläktar i drift stor roll.

- **Högljudd:**

Miljön när hörselskydd krävdes för att inte skada hörsel och samtal endast kunde genomföras med mycket förhöjd röst. I den högljudda miljön spelade förbränningsmotorer på tomgång en stor roll. Kringutrustningens ljud hörs inte längre.

- **Mycket högljudd:**

Miljön när hörselskydd krävdes för att inte skada hörsel och samtal inte kunde genomföras. I den mycket högljudda miljön spelade förbränningsmotorer i fulldrift en stor roll. Kringutrustningens ljud hörs inte längre.

Tabell 9. Fallstudie ultraljudsmonitor ombord på fartyg

Position	Typ	Avstånd för detektering med örat	Avstånd för detektering med Ultraljud	Omgivningsmiljö	Kommentar
Luftkonditioneringsrum Styrbord skott 1	Koppling	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering
Luftkonditioneringsrum Styrbord skott 2	Koppling	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering
Luftkonditioneringsrum Styrbord skott 3	Koppling	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering
Bunkerrum Styrbord tanktak	Koppling	Ej hörbar	3-4 m	Bullrig	Ej hörbar med örat. Svårt att lokalisera exakt vilken koppling som läckte. Uppfattades som större läcka p.g.a intensitet
Bunkerrum Styrbord Ventilrack	Ventil	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.
Bunkerrum Styrbord Ventilrack 2	Koppling	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.

Bunkerrum Seprum Akter skott	Koppling	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering.
Bunkerrum Babord skjutfilter	Regulator	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat. Svårt att lokalisera exakt vilken koppling som läckte. Potentiellt fler läckor.
Bunkerrum Styrbord Skjutfilter	Koppling	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.
Bunkerrum Mitt under WT-dörr	Koppling	0,5 m	2-3 m	Bullrig	Ej hörbar med örat. Svårt att lokalisera exakt vilken koppling som läckte. Uppfattades som större läcka p.g.a intensitet
Bunkerrum Mitt Ventil	Inre - Ventil	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat. Svårt att lokalisera exakt vart läckaget var. Uppfattades som inre.
Bunkerrum Mitt För Ventil	Koppling	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat. Svårt att lokalisera exakt vart läckaget var. Troligtvis koppling.
Bunkerrum Mitt Ventilrack	Inre - Ventil	0,5 m	2-3 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering.
Bunkerrum Mitt Ventilrack 2	Inre - Ventil	0,5 m	2-3 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Svårt att lokalisera exakt. Ljudet "studsar".
HM-rum HM 1	Regulator	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.
HM-rum HM 2	Regulator	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.
HM-rum HM 3	Regulator	Ej hörbar	1-2 m / 1-2 m / Ej hörbar	Bullrig/Högljudd Mycket högljudd	Ej hörbar med örat. Gick att detektera vid HM i stopp och HM på Tomgång. Vid fullt pådrag på HM gick det ej att detektera läckaget.
HM-rum HM 3 Koppling	Koppling	0,5 m	1-2 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering
HM-rum HM 4	Regulator	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.
HM-rum Däck 2 Babord	Koppling	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Klokkopplingen.
HM-rum Däck 2 För Mitt	Koppling	0,5 - 1 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Svårt att lokalisera exakt. Ljudet "studsar".
HM-rum Styrbord växel	Koppling	Ej hörbar	2-3 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.
HM-rum Babord Ventilrack	Koppling	Ej hörbar	1-2 m	Bullrig	Ej hörbar med örat.
OD-boxrum Babord	Ventil	0,5 m	2-3 m	Dämpad	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med ultraljudsmonitor.
OD-boxrum Styrbord	Ventil	0,5 m	2-3 m	Dämpad	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med ultraljudsmonitor.
Pannrum Babord Akter	Koppling	Ej hörbar	1-2 m	Dämpad	Ej hörbar med örat.
Pannrum Babord Skott	Ventil	Ej hörbar	1-2 m	Dämpad	Ej hörbar med örat.
Pannrum Mitt För Ventilrack (2st)	Ventil	0,5 - 1 m	3-4 m	Dämpad	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med Ultraljud.
Sep-rum Mitt För Ventilrack	Ventil	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med ultraljudsmonitor.
Sep-rum Styrbord För Ventilrack nedre	Ventil	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med ultraljudsmonitor.

Sep-rum Styrbord För Ventilrack övre	Ventil	0,5 m	3-4 m	Bullrig	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med ultraljudsmonitor.
Verkstad Babord skott 1	Ventil	0,5 m	1-2 m	Dämpad	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering.
Verkstad Babord skott 2	Ventil	0,5 m	1-2 m	Dämpad	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering.

4.2.3 Referenstest ultraljud ombord på fartyg

Referenstestet togs med ombord på fartyget och trycksattes i olika miljöer för att försöka bilda en uppfattning om vilken storlek på läckage som är detekterbart i vilken miljö.

Tabell 10. Referenstest ultraljud ombord på fartyg

Typ av rör	Diameter på hål	Miljö	Avstånd för detektering med hörselskydd	Avstånd för detektering med ultraljud	Egen kommentar
Koppar	0.55mm	Dämpad	4-5m	10m	Enkelt att upptäcka med örat på avstånd
Koppar	0.55mm	Bullrig	1-3m	4-5m	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med ultraljudsmonitor.
Koppar	0.55mm	Högljudd	Ej hörbart	3-5m	Ej hörbart med örat.
Koppar	0.55mm	Mycket högljudd	Ej hörbart	Ej hörbart	Vid fullt pådrag på HM gick det ej att detektera läckaget.
Stål	1.0 mm	Dämpad	10m +	10m	Enkelt att upptäcka med örat på avstånd
Stål	1.0 mm	Bullrig	5m +	10m	Enkelt att upptäcka med örat på avstånd
Stål	1.0 mm	Högljudd	1-2m	10m	Möjlig att upptäcka med örat vid förbipassering. Mycket enkelt att detektera exakt vart läckaget var med ultraljudsmonitor.
Stål	1.0 mm	Mycket högljudd	Ej hörbart	Ej hörbart	Vid fullt pådrag på HM gick det ej att detektera läckaget.

4.2.4 Infraröd värmekamera ombord på fartyg

Uteblivna svar på låneförfrågningar resulterade i att denna utrustning inte testats.

4.2.5 Förfrågningar

Förfrågningar om lån av utrustning skickades ut till företag som kunde tänkas inneha den typ av utrustning som undersökningen syftade till.

Låneförfrågan om ultraljudsmonitor ställdes till Tamro AB som bistod med utlåning av deras CS Instrument LD 300.

Låneförfråga om infraröd värmekamera skickades till Ramirent. Svar uteblev. Se bilaga A

Låneförfråga om infraröd värmekamera och ultraljudsmonitor skickades till Fastighetskonsulterna. Svar uteblev. Se bilaga B.

5 Diskussion

Metodvalen bedömdes vara relevanta för att få ett objektiva förhållandesätt och för att kunna besvara frågeställningen. I litteraturstudien bildade en god grund om utrustning och fakta angående systemen ombord. Detta låg sedan till grund för enkätundersökningen där syftet var att få svar kring medvetenheten om var läckage uppstår främst, om det finns rutiner för ett aktivt läckageundersökningsarbete och uppfattningen hos sjöingenjörer om vad ett läckage kostar. Detta blev i sin tur grunden för fallstudien där författarna gick ombord på ett fartyg för att själva kunna bedöma om utrustningen fungerade ombord och se var läckagen främst förekom.

Största nackdelen med en litteraturstudie är att olika material inom området kan peka på olika siffror och data, detta gör att det blir svårare att säkerställa studiens tillförlighet. Även äldre böcker kan vara till nackdel då dess data inte är lika aktuell men detta kunde man bekräfta att det fortfarande var samma data med att jämföra med de nygjorda artiklarna och böckerna. En potentiell nackdel med enkätundersökningen är tillförligheten eftersom åsikterna kommer från personer som inte blivit granskad på samma sätt som till exempel vetenskapliga artiklar har blivit innan de publiceras. Detta var dock någon man kunde bekräfta i fallstudien ombord när det gällde vanliga förekomster av läckage och om utrustningen fungerade.

För att besvara frågeställningen skulle alternativa metoder möjligen kunna användas. För att besvara frågorna om medvetenheten och dagens rutiner ombord på fartyg skulle intervjuer med maskinpersonal kunna varit ett alternativ. Intervjuer skulle kunna få en mer nyanserad bild av hur uppfattningen kring tryckluftläckage är hos maskinpersonalen kontra den rena data som en enkät bidrar med. Intervjuer var något som bedömdes kräva för mycket tid och resurser men skulle med fördel kunna användas vid en annan mer omfattande eller alternativ rapport.

En mer omfattande fallstudie skulle kunna vara ett alternativ till den fallstudien som denna rapport grundar sig på. En fallstudie där man kontrollerar läckage i maskinutrymmen före och efter ett tättningsarbete med funna läckor med hörsel kontra t.ex. ultraljudsmonitor genomförts. Förslagsvis skulle fallstudien kunna genomföras på flera fartyg. En sådan omfattande fallstudie var något som bedömdes kräva för mycket tid och resurser men skulle med fördel kunna användas vid en annan mer omfattande eller alternativ rapport.

5.1 Reliabilitet och validitet

För att studiens resultat ska visas som trovärdiga har författarna arbetat med validitet och reliabilitet. Validitet innebär att studien mäter det som är uttalat att det ska mäta. När det gäller fallstudien så får man ut en god validitet däremot så blir enkätens validitet lägre då man inte har kontrollerat svaren med personerna som har besvarat enkäten för att kontrollera att båda parterna har förstått vad man vill få ut från frågorna (Bryman, 2009).

För att öka studiens reliabilitet så har författarna dokumenterat alla läckage som man fann samt att alla svar från enkäten finns redovisade som bilagor. Fallstudiens tillvägagångsätt har beskrivits till den mån så man kan hålla fartygets anonymitet intakt, hur man har gjort och planerat finns beskrivit i studien samt till viss del vilken taktik man ska använda sig av när man använder sig av en ultraljudsmonitor. Däremot så blir reliabiliteten låg med tanke på att författarna har valt att använda sig av en fallstudie som metod då man med stor sannolikhet inte kommer få samma resultat på andra fartyg, detta beror på att alla fartyg har olika förutsättningar. Om man hade gjort om litteraturstudien så skulle man kunna få ett annat resultat men med tanke på det som litteraturstudien låg i grund för så får man se det som att litteraturstudien har en god reliabilitet (Bryman, 2009).

5.2 Enkät

Författarna valde att använda sig av en enkätmetod (Bell, 1993) för att få reda på vad sjöingenjörer ombord på svenskflaggade fartyg hade för medvetenhet kring tryckluftsläckage, om det fanns rutiner kring ett systematiskt arbete med att söka och täta tryckluftsläckage och uppfattningen om vad läckage kostar. Detta låg sedan som underlag för fallstudien som utfördes då det genom enkäten bildades en uppfattning om var de mest förekommande läckorna uppstod. Enkäten refererade till främst kopplingar, skarvar, klamrar, ventiler, slangar och rör där det gick att tolka att de olika fartygen har en gemensam generell uppfattning om var läckage uppstod och detta bekräftades också genom fallstudien.

Enkäten gav en bra respons från 21 svarande ombord på 16 olika fartyg från fem olika rederier. Detta var över förväntan då det förväntade svarsandelen inte troddes överstiga tio svar. En stor nackdel med att utföra en enkät är trovärdigheten då de svarande kanske undviker att ge ett svar som kan uppfattas som negativt för företaget ur ett miljöperspektiv och det är något man ska ha i beaktande när man ser analyserar svaren.

Man kan tolka svaren på frågorna angående om ultraljudsmonitor och infraröda värmekameran används ombord på fartygen samt bristen på underhållsrutiner som en prioriteringsfråga, om läckagesökning är något som man tycker är nödvändigt att utföra ombord. Svaren utifrån de här frågorna kan då tolkas som att det i dagsläget inte finns någon prioritet att arbeta systematiskt med att detektera och täta luftläckage.

Utifrån kommentarer i enkäten indikeras det att när man utför planerade blackout så lyssnar man också efter läckage. Men detta i sig är ingen ren rutin för att hitta läckage men man tar tillfället i akt att utföra olika arbeten när det är en tyst miljö. Det framkommer också att ingen av de svarande har räknat på vad läckage kostar. Och att det verkar finnas olika uppfattningar om vad läckagen kostar. För mer specifika uppgifter så kan man se bilaga C.

5.3 Fallstudie ombord på fartyg

I många fall kan läckage upptäckas rätt så enkelt, antingen genom ett tryckfall i systemet, drifttimmarna på kompressorn ökar eller helt enkelt att läckaget är tillräckligt högljutt. Men när det kommer till mindre läckor så är de generellt mycket svårare att upptäcka. I vissa fall så räcker det inte med att bara använda sig av en metod för att hitta läckaget utan det kan behövas flera metoder.

Ombord på fartyget hade personalen redan börjat med en läckageundersökning med hjälp av det egna örat och såpvatten för att lokalisera läckaget. På det här sättet hade man sparat in 30 % på kompressorernas drifttimmar. De eventuella nackdelarna är att man måste spendera mycket mer tid när man väljer att lyssna med det egna örat och det ska helst vara en tyst miljö. Här kan man spara mycket tid med hjälp av ultraljudsutrustning.

Värt att notera är att fallstudien utfördes med mycket begränsade resurser. Den effektiva läckagesökningstiden med ultraljudsmonitorn uppskattades till cirka 2 timmar. En uppskattning av hur stor del av tryckluftssystemen som söktes av med utrustningen kan inte ges.

5.3.1 Referenstest

Rören som hade blivit testade iland i en tyst miljö togs ombord för att man skulle jämföra läckageljuden ombord. Detta gjordes för att få en uppfattning om hur svårt alternativt lätt det var att höra ett läckage ombord.

Värt att notera är att referensläckaget består av borrade hål i ett metallrör där tryckluften tillåts att expandera i atmosfären snabbt. Vid inre läckage i ventiler eller läckage i gängor på kopplingar kan arean för läckaget uppgå till motsvarande referenstestet men formen kan vara helt olik. Detta kan medföra en annan ljudbild på ett verkligt läckage. Detta medförde att ett likställande av en viss storlek på läckage mellan referens och verkligt inte kunde uppfattas vid något av läckagen.

5.3.2 Ultraljudsmonitor

Ultraljudsmonitorn kan höra frekvensljud vi inte kan med våra öron samt att den filtrerar bort bakgrundsljud och andra störningar som kan finnas i olika miljöer. I hörlurarna man har på sig så blir ljudet intensivare ju närmare läckaget man kommer.

Att använda sig av ultraljudsmonitorn fungerade smidigt och var en enkel utrustning att använda. Tidsmässigt så fungerade det väldigt bra att använda sig av den. Det gick att från cirka en till två meter avstånd rikta utrustningen mot ett ventilpaket och göra en preliminär bedömning om det eventuellt fanns ett läckage. Om inget brus uppstod så kunde man gå vidare i rummet för att höra efter andra brus. När man väl hittade ett brus så behövde man bara röra sig närmare bruset, till exempel mot ett ventilpaket och rikta utrustningen mot bruset för att närmare kunna avgöra var läckan var någonstans. Vid mindre läckage var man tvungen

att använda sig av handen för att kunna lokalisera mer exakt, detta kan vara något som man kanske kan lära sig med mer erfarenhet av utrustning.

Det var dock svårt att avgöra hur stort läckaget var med hjälp av utrustningen, det gick dock att bilda sig en uppfattning om det var ett stort läckage för då blev det max brus och styrka på utrustningen, oavsett om man justerade känsligheten på utrustningen. Vid de mindre läckagen så gick det inte att bedöma om ett läckage var större än ett annat.

Ombord på fartyg där fallstudien gjordes så gick det inte använda ultraljudsmonitorn när huvudmaskin gick för fullt eller om man var i närheten när tryckluftverktygen användes för då registrerade ultraljudsmonitorn det som läckage. Det gick dock fint att använda när maskin var i tomgång och andra mindre elmaskiner och pumpar var igång. Detta gjorde så att författarna var tvungna att avgränsa sig från vissa områden så som hjälpmaskinrummet då de alltid är i gång till sjöss. Man var även tvungen att tänka till vid utrymmen där fläktar förekom då de kunde få ljudet att studsas på olika sätt i närheten så att det var svårt att bedöma om det var fläktbrus eller ett läckage som utrustningen registrerade. Detta är också något man snabbt lärde sig och är förmodligen något man behärskar när man har mer erfarenheten att jobba med utrustningen. Det var även andra saker där erfarenheten spelade roll, till exempel där det var flera ventiler med korta avstånd mellan varandra, då var det svårt att med hjälp av bara utrustningen avgöra positionen av läckaget. Detta berodde mest på att ljudet kunde studsas mellan ventilerna och då kunde man från ultraljudsmonitorn få utslag att det fanns läckage mellan ventilerna. Då var man tvungen att använda sig av andra medel så som känna med handen.

5.3.3 Infraröd värmekamera

Ingen av de tillfrågade företagen svarade på låneförfrågningar om värmekamera. Denna utrustning var dock något som hade varit intressant att testa i fallstudien då väldigt få tillfrågade i enkätundersökningen kände till att det är möjligt att använda sig av värmekamera för detektering av luftläckage. Dock så har det varit möjligt att utifrån litteraturstudien anta vissa slutsatser.

Beroende på miljön så kan man kanske inte se alla läckage. Vid tryckluftläckor så uppstår det temperatursänkningar när den trycksatta luften får expandera i atmosfären (Slobodan Dudić, 2012). Infraröd värmekameran verkar också fungera dåligt i miljöer där det förekommer stark belysning och strålning av värme/kyla från andra objekt (Slobodan Dudić, 2012).

Man ska helst använda sig av infraröd värmekameran på läckage där hålen är större än 1mm (Slobodan Dudić, 2012). Detta är på grund av att läckage som har en diameter mindre än 1mm inte avger en lika stor temperaturförändring än vid hål som är större än detta och det gör att utrustningen inte riktigt kan uppfatta om det finns läckage (Slobodan Dudić, 2012). Detta gör att man kan fråga sig om infraröd värmekamera är värt att använda sig av. Då tidigare referensmätningar på hål över 1 mm avger ett högt och märkbart ljud. Detta gör det enkelt

med att bara örat avgöra var läckagen i alla de miljöer som testats förutom de utrymmen kategoriserade som mycket högljudda (Slobodan Dudić, 2012).

5.3.4 Övriga metoder

Ombord på fartyget som fallstudien utfördes på så hade personalen utfört en läckageundersökning med hjälp av bara örat och använt sig av såpvatten. På detta sätt så hade man sparat in på över 30 % i drifttimmar på sina kompressorer. Den här besparingen var förmodligen möjlig på grund av att de flesta läckagen var större än 0.5mm och därmed lättare att hitta. Detta var något som tog mycket tid då man till skillnad från ultraljudsmonitorn måste gå fram till varje ventil och rör för att verkligen lyssna, känna och lägga på såpvatten för att kunna avgöra den exakta positionen av var läckaget är. Detta visar att man kan spara pengar på en enkel men tidskrävande metod.

5.4 Ekonomi

För att ett tätningsarbete skall slutföras krävs att personal aktivt byter ut eller tätar de läckor som detekterats. Detta medför självklart en kostnad som får ställas i relation till kostnaden för läckaget. De största läckagen är hörbara med det egna örat och här krävs ingen alternativ utrustning. Detta leder vidare till frågan om det är ekonomiskt motiverat att köpa in utrustning för att detektera läckor när det är möjligt att göra den största vinsten utan utrustning. Den utrustning som testats bedöms dock underlätta så pass mycket med att finna läckage att kostnaden för utrustningen motiveras.

Då det var svårt att kvantifiera läckagen som upptäcktes ombord på fartyget samt att inte hela tryckluftssystemen söktes av så kan snittläckaget på de funna läckorna antas motsvara ett hål på 0,5 mm i diameter. Summan av 34 stycken hål á 0,5 mm i diameter motsvarar en area på $6,67 \text{ mm}^2$. Det summerade läckaget skulle då potentiellt uppgå till 10,52 l/s. Antas motsvarande kompressor som i bakgrundsexemplet stå för genereringen av tryckluften skulle energiförlusten vid kontinuerlig drift i det summerade läckaget uppgå till cirka 28 MWh per år. Antas priset per kWh till 80 öre uppgår potentiellt elenergi-kostnaden för det summerade läckaget till 22000 kr.

Det antagna läckaget bedöms vara grovt underskattat samt att kostnaderna för att generera elenergi ombord kan bli betydligt högre än de som antas. Så med hänsyn till den redan stora kostnaden för läckaget så anses detta tillräckligt som incitament för att arbete där man systematiskt detekterar och tätar luftläckage lönar sig ekonomiskt.

6 Slutsatser

Följande slutsatser har tagits ifrån frågeställningarna:

- Arbetar man systematiskt med att söka och tätat tryckluftsläckage ombord på fartyg idag?

Utifrån enkäten kan man konstatera att det inte riktigt finns ett systematiskt arbete med att tryckluftssöka efter läckage ombord men att man aktivt tätar läckage som upptäckts på andra sätt.

- Vilka metoder används för att söka efter tryckluftsläckor ombord på fartyg?

Enkäten och fallstudien påvisar att den mest vanliga metoden för att upptäcka läckage är det egna örat och att uppfattningen om annan utrustning inte behövs. Dock så finns det mycket tid att spara genom att använda till exempel ultraljudsmonitorn.

- Hur fungerar de förekommande utrustningarna för tryckluftsläckagesökning i maskinutrymmen ombord på fartyg?

Ultraljudsmonitorn ombord på fartyg fungerar vid bullriga miljöer, ju bullrigare miljö desto närmare får man smyga systemet, ju lägre buller desto snabbare går det att hitta läckage då man kan stå några meter ifrån systemet och pejla med ultraljudsmonitorn. Det fungerar dock inte i områden där maskinerna går för fullt.

- Vilken typ av utrustning för tryckluftsläckagesökning lämpar sig bäst för systemen på ett fartyg med hänseende till miljön ombord där det förekommer stora ljud- och temperaturvariationer?

Initialt kan de största läckagen detekteras med örat. Vid bullrig eller högljudd miljö samt för detektering av mindre läckage finns dock incitament för användning av ultraljudsmonitor.

- Vilka potentiella kostnader och energibesparingar kan göras genom att arbeta systematiskt med att tätat tryckluftsläckage ombord på fartyg?

De kostnader och energibesparingar som potentiellt går att göra genom läckagesökning och tätning bör utgöra tillräckligt med incitament för att arbeta med detta mer systematiskt ombord på fartyg då de uppgår till betydande summor.

6.1 Förslag för framtida arbeten

- En mer omfattande ekonomisk analys där åtgärder kontra kostnader jämförs.
- En fallstudie gällande användning av värmekamera i syfte att detektera läckage i tryckluftssystem ombord på fartyg.
- En studie med syfte att möjliggöra kvantifiering av ett tryckluftsläckage med hjälp av till exempel ultraljudsmonitor.

7 Referenser

- Acandia. (2015). <http://www.acandia.se/tryckluft/lacksokare-c-317-1.aspx>. Hämtat från <http://www.acandia.se/tryckluft/lacksokare-c-317-1.aspx>: <http://www.acandia.se/tryckluft/lacksokare-c-317-1.aspx>
- Andersson. (2008). *Maskinlära för sjöpersonal* (0 uppl.). Sverige: TA-Driftteknik.
- Andersson, M. o. (2011). *Energioptimering av industriellt tryckluftssystem*. Göteborg: Chalmers University of Technology.
- Atlas Copco. (2010). *Compressed Air Manual*. Wilrijk: Atlas Copco Airpower NV.
- Atlas Copco. (1973). *Tryckluftshandboken*. Nacka: Atlas Copco svenska försäljnings AB.
- Bell. (1993). *Introduktion till forskningsmetodik*. Studentlitteratur.
- Bryman. (2009). *Samhällsvetenskapliga metoder*. Malmö: Liber AB.
- Copco, A. (2014). *Brochure GA 30+-90/GA 37-90 VSD*. Hämtat från Brochure GA 30+-90/GA 37-90 VSD: http://www.atlascopco.se/Images/Brochure_GA_30_90_Swedish_tcm836-3499647.pdf
- cs-instruments. (2015). *cs-instruments*. Hämtat från cs-instruments: <http://www.cs-instruments.com/downloads/instruction-manuals/>
- Greenough, G. (2000). *Selecting a compressed air system* (0 uppl.). Barrie, USA: Devair Inc.
- Keuiken, K. (2008). *Dieser Engines* (0 uppl.). Onnen: Target Global Energy Training.
- Kimo. (2015). http://www.kimo.se/produktinfo.php?meny=&artikelNr=0601_0104. Hämtat från Kimo Instruments: http://www.kimo.se/produktinfo.php?meny=&artikelNr=0601_0104
- Meola, C. (2004). *Recent advances in the use of infrared thermography*. Naples: INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING.
- Risi, J. D. (1995). *Energy savings with compressed air*. Virginia polytechnic Institute and State University.
- Slobodan Dudić, I. I. (2012). *Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography*. Elsevier.
- Smaeil Mousavi, S. K. (2014). *Energy Efficiency of Compressed Air Systems*. Elsevier.
- Vattenfall. (den 27 03 2015). *Vattenfall*. Hämtat från Vattenfall: <http://corporate.vattenfall.se/om-oss/var-verksamhet/var-elproduktion/ringhals/produktion-och-driftlage/produktionshistorik/>

8 Bilagor

8.1 Bilaga A - Mejl

Hej ~~██████████~~

Vi är 2 sjöingenjörsstudenter som läser sista året på Chalmers. Vi gör nu ett examensarbete som handlar om tryckluftsläckage och vilka kostnads och energibesparingar som kan göras genom att arbeta systematiskt med att täta läckor ombord på fartyg.

I processindustrin är det allt vanligare att systematiskt arbeta med tryckluftsläckagesökning där man använder ultraljudsmonitorer för att finna läckorna. Vi har därför blivit intresserade av hur det ser ut till sjöss med denna typ av arbete.

Vi har tänkt börja vårt arbete med en enkätundersökning där vi ställer frågor kring tryckluftsläckage till fartygsingenjörer. Denna enkät tillsammans med läckagesökning ombord på fartyg ska resultera i ett underlag för hur man kan arbeta med tätning av tryckluftsläckage.

För att få relevant data till vårt examensarbete önskar vi att få vår enkät besvarad av sjöingenjörer från så många fartyg som möjligt.

Vi önskar er hjälp med att nå ut till era fartygsingenjörer antingen genom att vidarebefordra detta mejl eller lämna kontaktuppgifter till oss.

Enkäten är webb-baserad och nås via länken nedan och tar endast några minuter att besvara.

~~[https://forms.gum/XXXXXXXXXXXX](#)~~

Notera:

~~Vi har också fått svar från Stena Line~~

Har ni några frågor återkom gärna till oss på:

Tim Madsen

timm@student.chalmers.se

Tim Ståhl

stim@student.chalmers.se

Med vänlig Hälsning

Tim Madsen och Tim Ståhl

8.2 Bilaga B - Enkät Frågor

1. Känner du till att man kan använda sig av ultraljud för att hitta läckage i tryckluftssystem?

- Ja
 Nej

Egen kommentar

2. Är det något som ni använder idag?

- Ja
 Nej
 Egen kommentar

3. Känner du till att man kan använda sig av värmekamera för att hitta läckage i tryckluftssystem?

- Ja
 Nej

Egen kommentar

4. Är det något som ni idag använder?

- Ja
 Nej

Egen kommentar

5. Finns det i erat UH-system en rutin för arbete med detta?

- Ja
 Nej

Egen kommentar

6. Vad är din uppfattning av var läckage främst uppstår?

7. En uppskattad kostnad för ett 1mm hål i ett tryckluftssystem(7bar) är 3000kr/år vid kontinuerlig drift.

Stämmer denna kalkyl med din tidigare uppfattning av vad en läcka kan kosta?

- Ja
 Nej, min uppfattning var att läckage kostar mer
 Nej, min uppfattning var att läckage kostar mindre

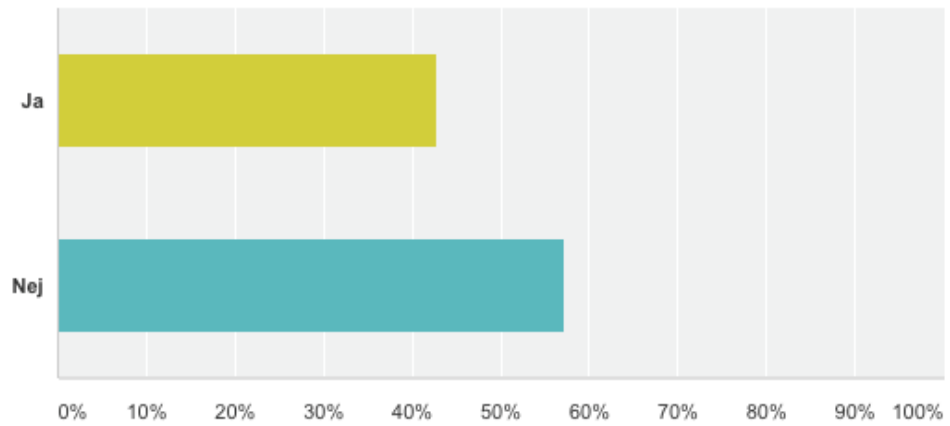
Egen kommentar

8. Var god och uppge rederi och fartyg

8.3 Bilaga C - Enkät Svar

Känner du till att man kan använda sig av ultraljud för att hitta läckage i tryckluftssystem?

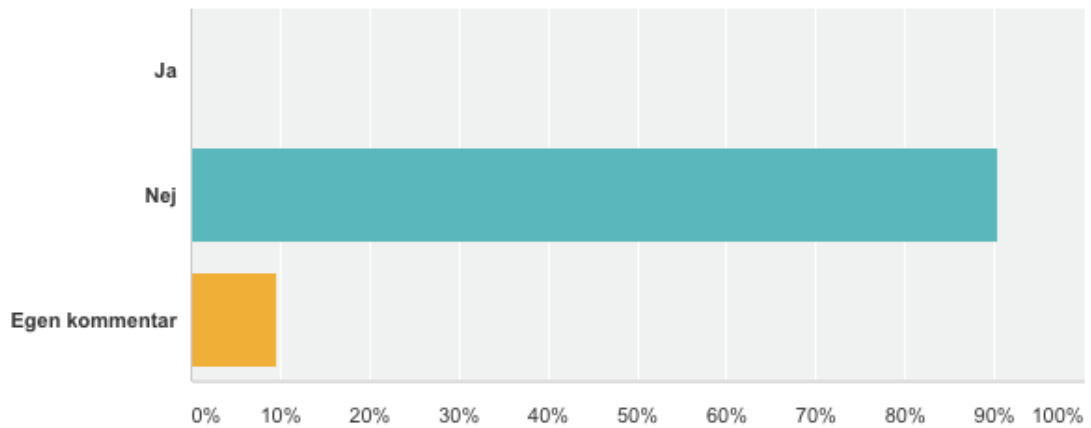
Svarade: 21 Hoppade över: 0



Svarsval	Svar	
Ja	42,86%	9
Nej	57,14%	12
Totalt		21

Är det något som ni använder idag?

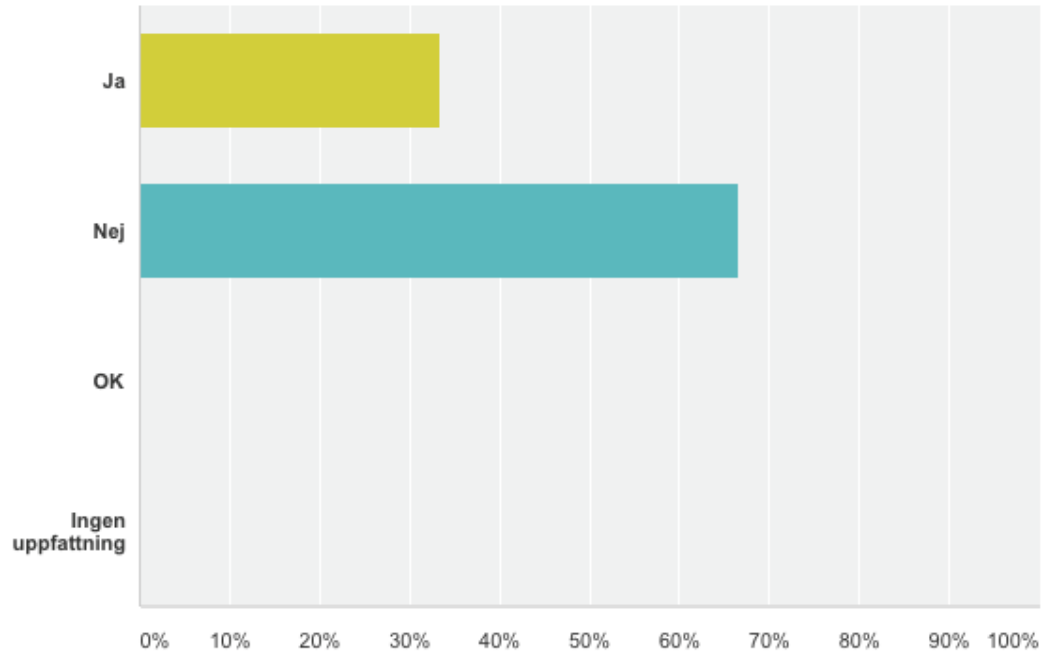
Svarade: 21 Hoppade över: 0



Svarsval	Svar
▼ Ja	0,00% 0
▼ Nej	90,48% 19
▼ Egen kommentar	Svar 9,52% 2
Totalt	21

Känner du till att man kan använda sig av värmekamera för att hitta läckage i tryckluftssystem?

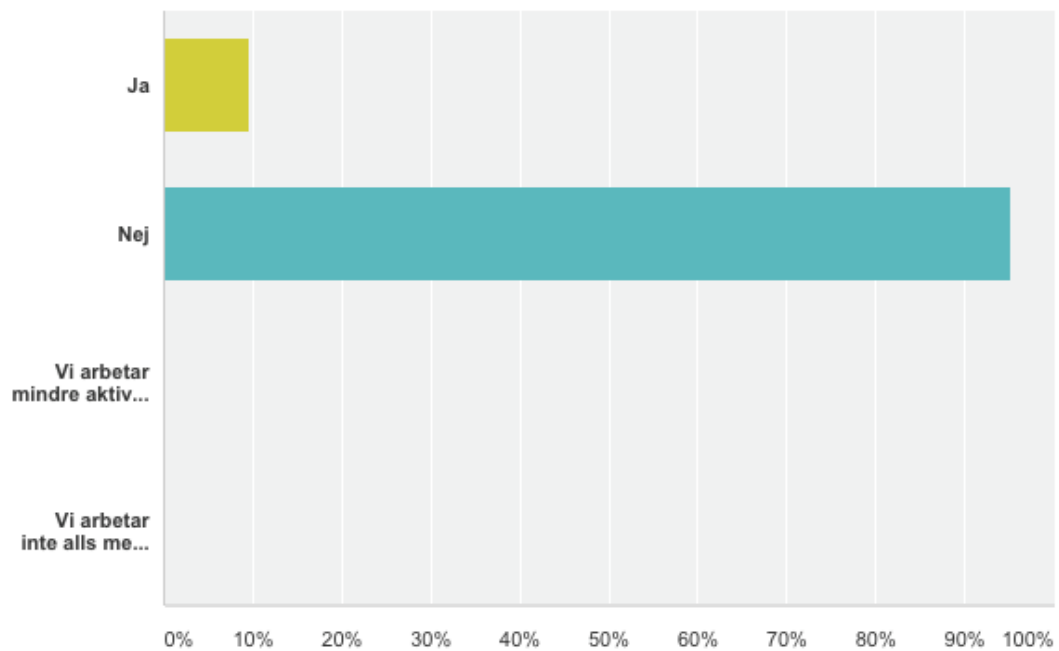
Svarade: 21 Hoppade över: 0



Svarsval	Svar
Ja	33,33% 7
Nej	66,67% 14
OK	0,00% 0
Ingen uppfattning	0,00% 0
Totalt	21

Är det något som ni idag använder?

Svarade: 21 Hoppade över: 0

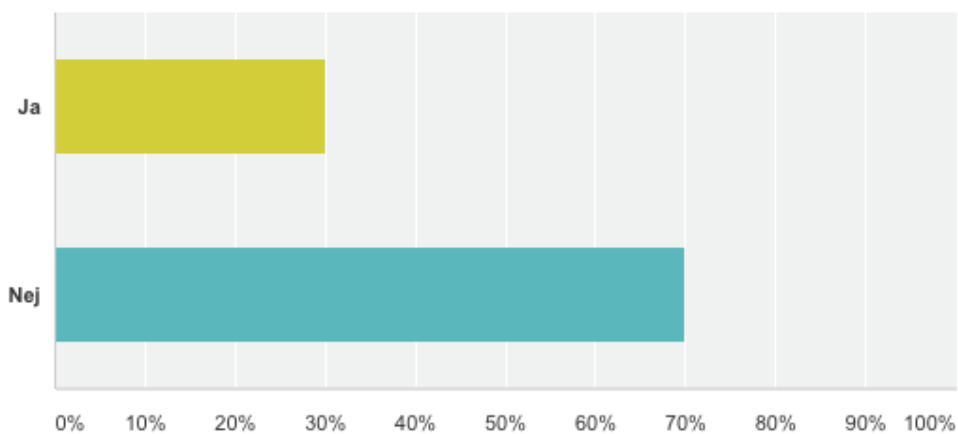


Svarsval	Svar
Ja	9,52% 2
Nej	95,24% 20
Vi arbetar mindre aktivt och tätar de läckage som känns irriterande att arbeta kring	0,00% 0
Vi arbetar inte alls med läckagetätning utan tätar bara när tryckfallet blir för stort	0,00% 0

Totalt antal svarande: 21

Finns det i erat UH-system en rutin för arbete med detta?

Svarade: 20 Hoppade över: 1



Svarsval	Svar	
Ja	30,00%	6
Nej	70,00%	14
Totalt		20

Vad är din uppfattning av var läckage främst uppstår?

Svarade: 21 Hoppade över: 0

Skarvar och kopplingar

2015-04-15 11:41 [Visa svarandens svar](#)

Kopplingar, skavda rör och luftventiler som läcker.

2015-04-15 05:13 [Visa svarandens svar](#)

I membranen till regulatorer/tryckreduceringar samt pilotventiler till huvudstart ventiler och membranen pilotventiler i övrigt samt vid flänsar.

2015-04-15 00:25 [Visa svarandens svar](#)

manöverventiler, slangar, torkutrustning, ventiler på däck.

2015-04-08 13:37 [Visa svarandens svar](#)

Rör som nöter hål p.g.a. dålig eller söndrig klamning Enstaka tillfällen söndriga kopplingar

2015-04-07 12:47 [Visa svarandens svar](#)

Vid kopplingar på olika mindre signal- och styrledningar. Vid automatiska dräneringsventiler.

2015-04-03 10:33 [Visa svarandens svar](#)

Rör som inte är klammade ordentligt eller kommer i vibration av någon anledning. På ställen där man har ökad corrosion, bunkerstation mm.

2015-04-03 07:15 [Visa svarandens svar](#)

Vid slangbrott eller otäta kopplingar

2015-04-01 17:57 [Visa svarandens svar](#)

små vibrerande kopplingar och rör som skadas av vibrationer.

2015-04-01 16:14 [Visa svarandens svar](#)

Luftläkage uppstår främst i rörkopplingar runt kompressorer och andra maskiner, det vill säga orsakars av vibrationer.

2015-04-01 15:59 [Visa svarandens svar](#)

Reduceringsventiler

2015-04-01 14:50 [Visa svarandens svar](#)

Ledningar, kopplingar och Manlucka

2015-04-01 14:31 [Visa svarandens svar](#)

Dåliga anslutningar av koppar union bite dvs ingen stödhylsa vid montage vilket vanligt i båtar byggda i Asien

2015-04-01 12:58 [Visa svarandens svar](#)

Skarvar, gamla torkade slangar, instrument t.ex reduceringar

2015-04-01 12:50 [Visa svarandens svar](#)

Vid ventiler vid arbetslufts-uttag då dessa slits och går sönder i tätningen.

2015-04-01 09:57 [Visa svarandens svar](#)

skruvkopplingar och säkerhetsventiler

2015-03-31 19:26 [Visa svarandens svar](#)

Ventiler/Rör, Tryckkärl och vid kompressorer

2015-03-31 16:18 [Visa svarandens svar](#)

Kopplingar, skavning, vibrationer

2015-03-31 14:26 [Visa svarandens svar](#)

Signalrör, pilotventiler samt ställdon.

2015-03-31 12:16 [Visa svarandens svar](#)

Signalrör, pilotventiler samt ställdon.

2015-03-31 12:16 [Visa svarandens svar](#)

Kopplingar för styrning av ventiler

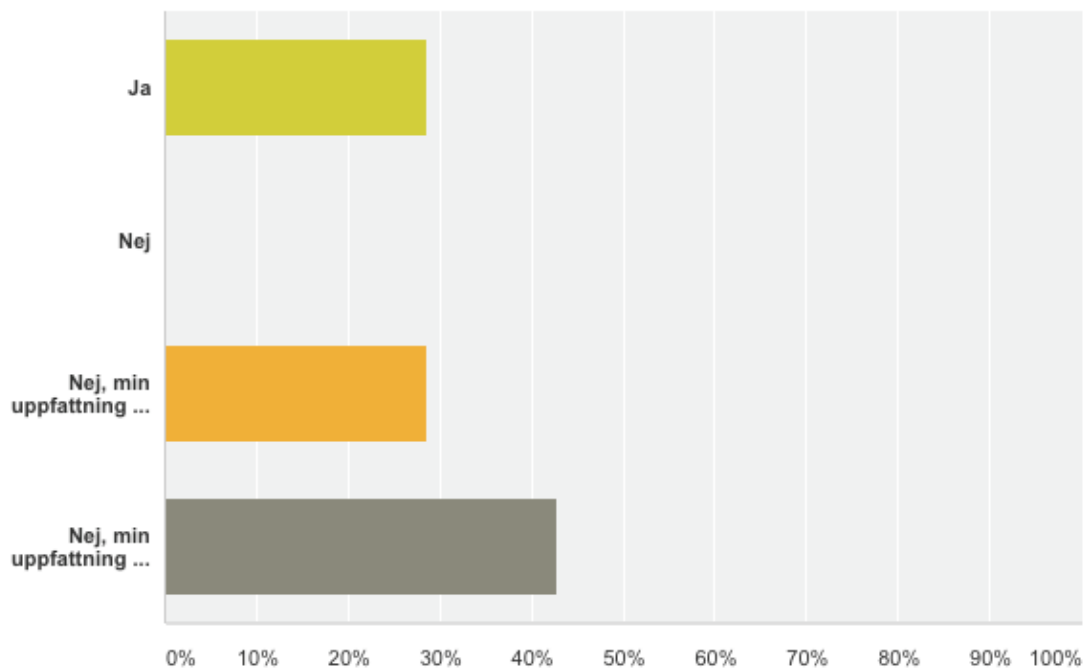
2015-03-28 19:10 [Visa svarandens svar](#)

Kopplingar, avstängningsventiler och luftblock primärt.

2015-03-28 16:31 [Visa svarandens svar](#)

En uppskattad kostnad för ett 1mm hål i ett tryckluftssystem(7bar) är 3000kr/år vid kontinuerlig drift. Stämmer denna kalkyl med din tidigare uppfattning av vad en läcka kan kosta?

Svarade: 14 Hoppade över: 7



Svarsval	Svar
Ja	28,57% 4
Nej	0,00% 0
Nej, min uppfattning var att läckage kostar mer	28,57% 4
Nej, min uppfattning var att läckage kostar mindre	42,86% 6