

Kvantificering af lækagehastighed (LRQ) Metode ved brug af akustiske kameraer

Toros Senan,
ph.d. Akustisk forskningsingeniør

Indledning

Mange arbejdsopgaver kræver lækagedetektion. Blandt de mere velkendte er trykluftsystemer, der anvendes til mange formål, og som oftest benyttes i produktionsanlæg.

Opdatering af funktionen i ii900/ii910

ii900/ii910 bruger 64 mikrofoner, der er arrangeret i et specifikt array mønster. Den har et kamera for synligt lys midt i arrayen, som giver et billede af scenen. Enheden bruger komplekse algoritmer til at generere et lydkort eller billede af lydkilderne og overlever derefter det genererede lyd kort på billedet. Afhængigt af lydkildens position i forhold til ii900/ii910'ernes synsfelt, modtages lyden på lidt forskellige tidspunkter af den enkelte mikrofon. Tidsforskellene mellem mikrofonerne gør det muligt at lokalisere lydkildens position: Hvis lyden kommer fra højre side af enheden, modtager mikrofonerne på højre side af systemet lyden en brøkdel af et sekund tidligere end mikrofonerne på venstre side. ii900/ii910 viser billedet for den pågældende lyd i højre side af skærbilledet.

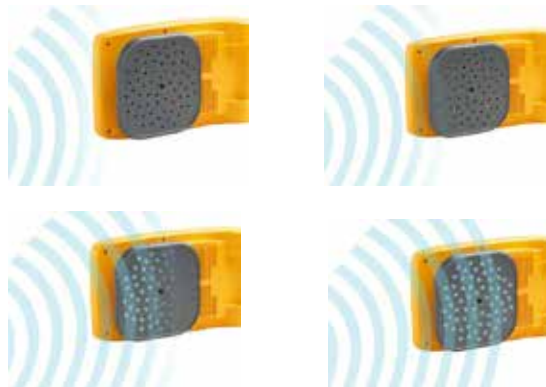
Hvordan detekterer ii900/ii910 lækager?

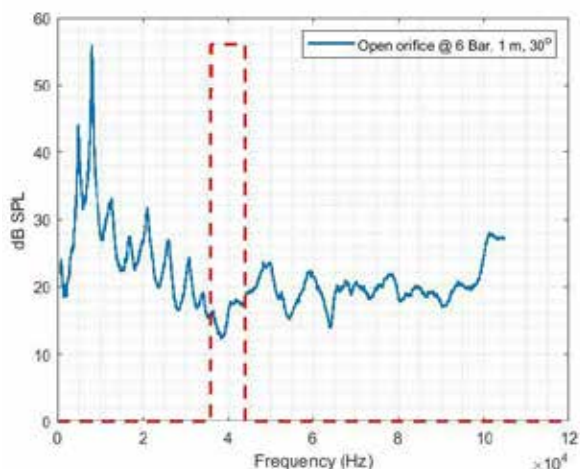
Når der opstår en lækage i et system under tryk, forårsager de udsivende gasmolekyler (luft) turbulens, hvilket medfører hurtige ændringer i tryk og flowhastighed. Disse ændringer kan transmitteres som lydbølger. ii900/ii910 kan detektere lokationen og intensiteten af disse lydbølger.

Trykluft, der siver ud til den omgivende atmosfære, skaber bredbåndsstøj i både det hørbare og ultrasoniske frekvensområde (Eret og Meske, 2012; Holstein m.fl., 2016). I industrielle trykluftsystemer er smalbandede (centreret omkring 40 kHz) ultralydssensorer et udbredt værktøj til lokalisering af lækager. Brug af en smalbandet ultralydssensor medfører dog visse begrænsninger.

Afstanden mellem lækagen og måleenheden og målevinklen er afgørende faktorer, som bidrager til ultralydssensorernes effektivitet: For det første dæmpes højfrekvenslyden hurtigt af atmosfærisk absorption (se Wolstencroft og Neale, 2008).

For det andet varierer lydtryksniveauet, der genereres af en trykluftlækage, i takt med målevinklen (Wolstencroft og Neale, 2008). Derudover er støjende miljøer kendt for at forringe smalbandede ultralydssensorers performance (Eret og Meske, 2012). Ved at anvende bredbåndssensorer, der fungerer både i de hørbare og ultrasoniske frekvensområder, kan brugeren kompensere for de begrænsninger, der er nævnt ovenfor. Tilføjet fleksibilitet i frekvensområdet øger robustheden af lækagedetekteringsystemet. Det fremgår f.eks. af figur 1, at trykluffen, der siver ud af en åben munding ved et systemtryk på 6 bar, genererer en bredbåndsstøj. Figur 1 viser, at frekvensområdet med det største målte lydtryksniveau er inden for det hørbare område. I modsætning hertil er lydtryksniveauet målt i frekvensområdet 35–45 kHz (røde stiplede linjer i figur 1) mærkbart lavere end resten af frekvensspektret.





Figur 1: Trykluft lækker gennem en åben åbning(1/4"). Målingen foretages i en afstand på 1 meter fra lækagekilden med en målevinkel på 30 grader vha. ii910. Den blå linje viser det udjævnedede spektrum, og den røde stiplede linje angiver frekvensområdet omkring 40 kHz.

Der er et begrænset antal undersøgelser, der har undersøgt frekvenskarakteristika af lyde ved tryklufudsudslip. I undersøgelsen af Holstein m.fl. (2016) blev frekvensspektre af trykluftlækagemålinger med systematisk øgede flowhastigheder påvist (se fig. 2 i Holstein m.fl., 2016). Lækagekilden var en åben rund åbning, og målingerne blev foretaget i en afstand på 20 cm fra kilden. Frekvensspektre viser, at jo større flowhastigheder bliver, jo mere øges energien over 50 kHz. For den største flowhastighed målt i eksperimentet viser frekvensspektret en spidsværdi på ca. 80 kHz.

Faktorer, der påvirker lækagedetektering

Faktorer, der påvirker lækagedetektering, beskrives separat i dette afsnit. Det skal bemærkes, at de faktorer, der er forklaret i dette afsnit, interagerer med hinanden og bør betragtes som enkelte komponenter i et bredt komplekst fænomen.

Lækagekildens faktorer:

1. Systemtryk

Generelt er det sådan, at jo større systemtryk, jo større lækage, der fører til højere lydintensitet, hvilket gør detekteringen nemmere.

2. Flowhastighed

Ligesom for tryk gælder det, at jo højere systemets flowhastighed er, jo større er lækagen, hvilket fører til en højere lydintensitet målt ved lækagens position. Højere lydintensitet gør akustisk detektering nemmere.

3. Størrelse og form af åbningen Størrelsen og formen af åbningen skal behandles sammen. Når vi tager højde for de mange forskellige potentielle luftlækager, bliver det hurtigt udfordrende at give retningslinjer for, hvordan form og størrelse påvirker lækagedetekteringen. Denne liste viser nogle af de potentielle kilder til lækage. Både størrelsen og formen af åbningen varierer for hvert punkt på listen Luftslinger og luftslinge-forbindelser eller -koblinger

- Slidte koblinger eller koblinger, der mangler O-ringe
- Filtre, smøreanordninger og regulatorer, hvis de er monteret forkert
- Åbne overtryksventiler
- Åbne kondensfælder
- Utætte eller ødelagte dræn
- Gevindtætningsmidler af dårlig kvalitet eller forkert påførte gevindtætningsmidler
- Styre- og spærreventiler
- Slidte tætninger eller pakninger
 - Gammelt eller dårligt vedligeholdt trykluftværktøj
 - Inaktiv eller ubrugt maskine eller produktion Udstyr med luftindtag

Gas	Formel	Po (kg/m ³)
Acetylen	C ² H ²	1,173
Luft	-	1,2929
Ammoniak	NH ³	0,7710
Argon	A	1,7837
Kuldioxid	CO ²	1,977
Kullilte	CO	1,250
Klor	Cl ²	3,214
Ethan (10 °C)	C ² H ⁶	1,356
Ethylen	C ² H ⁴	1,260
Helium	He	0,1785
Hydrogen	H ²	0,0899
Svovlbrinte	H ² S	1,539
Methan	CH ⁴	0,7168
Neon	Ne	0,9003
Nitrogenmonoxid (10 °C)	NO	1,34
Nitrogen	N ²	1,2506
Dinitrogenoxid	N ² O	1,977
Oxygen	O ²	1,429
Propan	C ³ H ⁸	2,9009
Svovldioxid	SO ²	2,927
Damp (100 °C)	H ² O	0,598
Svovlhexafluorid**	SF ⁶	6,17
Kølemiddel R134a ***	CH ² FCF ³	14,433

Tab 1: Liste over gassernes densitetsværdier. Densiteten af gas, po, ved 0 °C og 1 ATM*

*Handbook of Chemistry and Physics (Håndbog for kemi og fysik). 48. udg.

**https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride

***https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html

Væskeegenskaber

Væskeegenskaberne påvirker den genererede lyd, når den slipper ud gennem lækagen.

4. Densitet

Nedenstående tabel viser gassernes densitet i kg/m³ ved 0 °C og et atmosfærisk tryk på 1. Gassens densitet påvirker lækagens lydintensitet. Heliums lave densitet betyder f.eks., at lydtryksniveauerne målt ved lækagens position vil være lavere, når man sammenligner med trykluft og antager den samme flowhastighed og det samme tryk. Erfaring i felten bekræfter, at det er en udfordring at detektere en heliumlækage.

5. Viskositet

Gassens viskositet påvirker lydtryksniveauet ved lækagens position. Dens virkning vil dog være mindre end densitetens.

6. Omgivende temperatur

Vi er nødt til at tage højde for den omgivende temperatur i både lækagekilden og stien. For lækagekilden vil den omgivende temperatur påvirke densiteten og viskositeten. Begge disse faktorer vil ændre lydtryksniveauet ved lækagens position. I takt med at den omgivende temperatur stiger, øges molekylernes kinetiske energi, hvilket medfører en øget lydintensitet ved lækagen.

7. Omgivende tryk

Det omgivende tryk vil have en direkte indvirkning på gassens densitet. En reduktion af det omgivende tryk vil føre til lavere densitet, hvilket vil reducere lydintensiteten ved lækagen.

8. Afstanden fra lækagen til kameraet

Måleafstanden påvirker det målte lydtryksniveau. Når lyden spredes i alle retninger fra kilden, mindskes dens intensitet i takt med afstanden.

9. Omgivende temperatur

Ændringer i den omgivende temperatur kan ændre både gassernes densitet og viskositet. Begge påvirker igen lydets hastighed, når den bevæger sig gennem mediet. I takt med at temperaturen stiger, bevæger lyden sig hurtigere. Ændringen i den omgivende temperatur er en af de mekanismer, der påvirker den mængde akustisk energi, der absorberes af atmosfæren. Ved lave frekvenser og korte afstande er temperaturens indvirkning på luftoptagelsen ubetydelig (Harris, 1966). Ved meget høje frekvenser og lange afstande kan lydtryksniveauet dog reduceres mærkbart (Vladišauskas og Jakevičius, 2004).

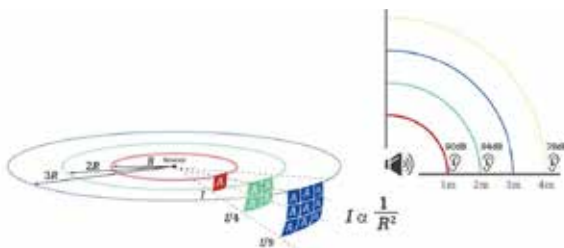
10. Luftfugtighed

Den anden mekanisme, der påvirker lydtryksniveauet pga. luftoptagelsen, er luftfugtigheden. Ligesom virkningerne af den omgivende temperatur er luftfugtigheden på lydtryksniveauet under normale forhold ubetydelig (Harris, 1966). Virkningen er mærkbar ved meget høje frekvenser og høje luftfugtighedsniveauer (Vladišauskas og Jakevičius, 2004).

11. Omgivende tryk

Det omgivende tryk påvirker ikke lydtryksniveauet i en ideel gas tilnærmelse, da både luftdensiteten og gstrykket har lignende, men omvendt effekt på lyd hastigheden. De to bidrag udligner hinanden. Der forventes således ingen forskel mellem lækagepositionens lydtryksniveau og målepositionen på grund af det omgivende tryk.

Stifaktorer og atmosfæriske effekter



Fordobling af afstanden mellem lyd kilden og målepositionen i frit felt reducerer lydintensiteten med 6 dB.

Hvilke lækageegenskaber måler ii900/ii910?

ii900/ii910 afslører lækagetyper og anslår lækagens flowhastighed baseret på akustisk input. Et sæt laboratorieforsøg blev designet og udført til udvikling af klassificering af lækagetyper og algoritmer til beregning af flowhastighed.

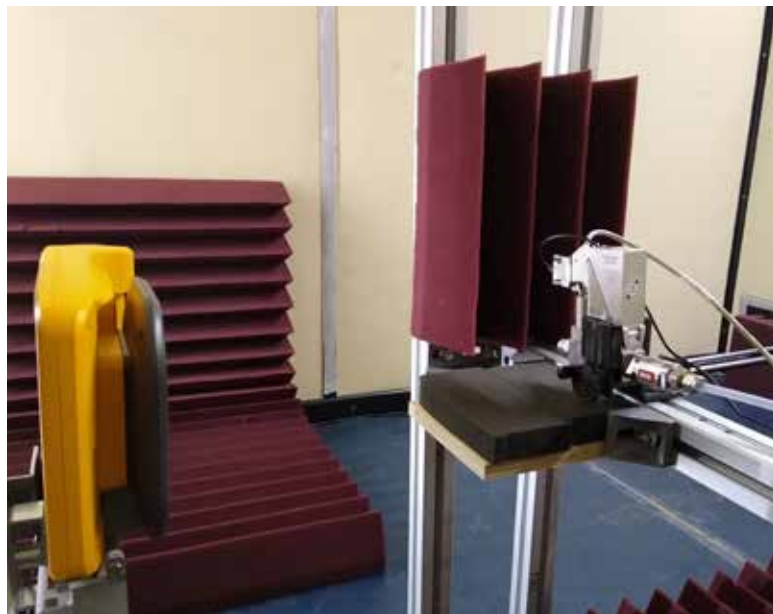
Klassificering af lækagetype i ii900/ii910

ii900 og ii910 klassificerer de registrerede akustiske lækagedata baseret på, hvor de forekommer: Slange, åben ende, lynkobling og gevindkobling. Fire klassificeringer, de fire lækagetyper, blev installeret for enden af et trykluftslangesystem, og de akustiske målinger blev udført i et halvaneokoisk kammer. To eksempler på forsøgsopsætningen er vist i fig. 3 og fig. 4. De fittings, der dannede de fire lækagebetingelser for forsøget, er vist i fig. 5.

- 1. Slange:** Slangen er et fleksibelt rør, der letter rørføringen. I modsætning til metal- og messingrøret er det imidlertid et mere følsomt materiale. Derfor kan der nemt dannes specifikke snit og huller langs de slanger, der forbinder en luftkompressor til tryklufteenheder. Der blev brugt en lækage fra et aflangt snit i slangen for at registrere akustiske data til klassificering af slangelækagen og beregning af flowhastighed (fig. 3 og fig. 5a).
- 2. Åben ende:** Et rør med åben ende eller en åben munding er den mest almindelige type lækage, der anvendes i videnskabelige undersøgelser (referencer). Den opstår, når en slange-/rørsektion i trykluftsystemet efterlades åben. Et rør med åben ende blev brugt til forsøg med at klassificere og forudsige flowhastigheder gennem ii900's udviklingsfase (fig. 4 og fig. 5b).
- 3. Lynkobling:** Fittings til hurtig tilslutning, også kendt som lynkoblinger, muliggør nem og hurtig tilslutning. Lynkoblingerne er afhængige af de modhager, der glider i én retning og kan modstå træk i den modsatte retning. Ofte er en eller flere af disse indvendige modhager beskadigede, og trykluft siver ud gennem lynkoblingen. Luften siver ud omkring fittingen, og trykluftslækagens retning varierer alt efter typen af deformation. En deformeret lynkobling blev brugt til akustiske målinger under udviklingen af ii900/ii910's algoritmer til klassificering og beregning af flowhastighed (fig. 5c).
- 4. Gevindkobling:** Det er almindeligt at bruge et endedæksel med gevind til et trykluftsystems slutpunkter. Endedækslerne med gevind skal placeres omhyggeligt og justeres korrekt i forhold til antallet af gevind, der skal glide ind i enden af røret. Nogle gange kan teknikere efterlade disse endedeektioner løse. Desuden kan endedækslerne med gevind blive deformeret af for mange anvendelser. I sådanne tilfælde siver trykluft ud gennem endedækslet, hvilket er skadeligt for systemets effektivitet. Et løst placeret endedæksel med gevind blev anvendt som en lækagekilde i forsøgene (fig. 5d).



Figur 3: Målingen af slangens lækagetype i en vinkel på 30 grader.



Figur 4: Forsøgsopsætning af en lækagemåling i åben ende i en vinkel på 90 grader.



Figur 5: De fire lækagetyper, der blev undersøgt under forsøgene: Slange (a), åben ende (b), lynkobling (c) og gevindkobling (d).

Kvantificeringsindeks for lækagehastighed

ii900/ii910 giver et estimat af flowhastigheden ved lækagens position baseret på de akustiske data, der registreres. Algoritmerne for flowhastighed er designet på baggrund af resultaterne af laboratoriemålingerne, der blev udført i det halvanekeiske kammer. På grund af hver lækagetypes forskellige akustiske egenskaber er der en algoritme til beregning af flowhastighed for hver lækagetype. Derfor fungerer algoritmer til beregning af flowhastighed efter klassificeringstrinnet.

Den beregnede flowhastighed for en lækagetype konverteres derefter til lækagekvantificeringsindekset (LRQ). LRQ'et antager en værdi mellem 0 og 10. Den højeste LRQ-værdi angiver en større flowhastighed ved lækagens position og kan betragtes som et forslag til reparation.

Konklusioner

ii900/ii910 giver et effektivt frekvensområde og udgør en brugervenlig håndholdt enhedsløsning, der forsøger at kompensere for problemer med lækagedetektering og -kvantificering. LRQ-funktionen er vigtig for at opretholde trykluftsystemets effektivitet, og rapporteringsfunktionerne forbedrer kommunikationshastigheden mellem vedligeholdelsesteknikerne.

Referencer

Eret, P. og Meskell, C. (2012). Mikrofon arrays som et værktøj til lækagedetektering i industrielle trykluftsystemer. Fremskridt inden for akustik og vibration, 2012.

Harris, C. M. (1966). Absorption af lyd i luft vs. luftfugtighed og temperatur. The Journal of the Acoustical Society of America, 40(1), 148-159.

Holstein, P., Barth, M. og Probst, C. (2016). Akustiske metoder til lækagedetektering og tæthedstest. In Proceedings, 19th World Conference on Non-Destructive Testing (pp. 13-17).

Vladišauskas, A. og Jakevičius, L. (2004). Absorption af ultralydsbølger i luft. Ultragarsas, 50(1), 46-49.

Wolstencroft, H. og Neale, J. (2008). Karakterisering af trykluftlækager ved hjælp af luftbåren ultralyd. Proceedings of Acoustics (AAS'08).

Fluke. *Keeping your world up and running.*®

Fluke Danmark A/S
c/o Radiometer Medical ApS
Åkandevej 21
2700 Brønshøj
Danmark
Tlf.: 70 23 58 53
E-mail: cs.dk@fluke.com
www.fluke.dk

©2020-2021 Fluke Corporation. Alle rettigheder forbeholdes. Oplysningerne kan ændres uden forudgående varsel.
06/2021 210581-da

Ændringer i dette dokument er ikke tilladt uden skriftlig tilladelse fra Fluke Corporation.