

Methode voor kwantitatieve meting van de leksnelheid (LRQ) voor camera's voor akoestische beeldvorming

Toros Senan,

PhD. Technicus akoestisch onderzoek

Inleiding

Voor vele toepassingen is lekdetectie vereist. Tot de bekendere behoren de in veel toepassingen gebruikte persluchtsystemen, die in het algemeen het meest in productiebedrijven worden ingezet.

Opfriscursus over de werking van de ii900/ii910

De ii900/ii910 maakt gebruik van 64 microfoons die in een array met een specifiek patroon zijn opgesteld. Het apparaat heeft een zichtbare camera in het midden van de array, die een beeld van de situatie weergeeft. Het apparaat gebruikt complexe algoritmen om een SoundMap of kaart van de geluidsbronnen te genereren en zet de gegenereerde SoundMap vervolgens over het beeld. Afhankelijk van de positie van de geluidsbron ten opzichte van het beeldoppervlak van de ii900/ii910, wordt het geluid door elke microfoon iets anders ontvangen. De tijdsverschillen tussen de microfoons maken het mogelijk de positie van de geluidsbron te bepalen: Als het geluid afkomstig is van de rechterkant van het apparaat, ontvangen de microfoons aan de rechterkant van de array het geluid een fractie van een seconde eerder dan de microfoons aan de linkerkant. De ii900/ii910 geeft het beeld voor dat geluid dan op de rechterkant van het scherm weer.

Hoe worden lekken door de ii900/ii910 gedetecteerd?

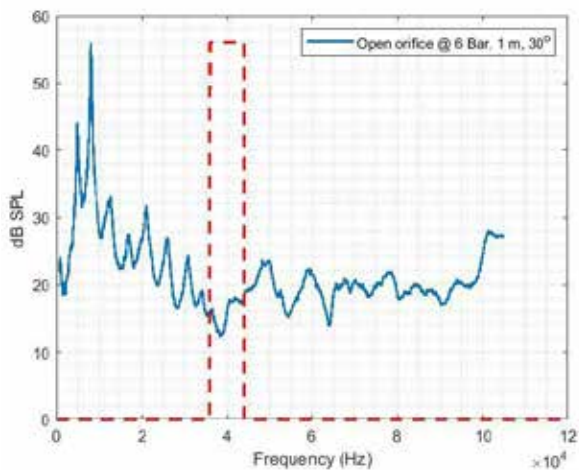
Als er een lek optreedt in een systeem onder druk, veroorzaken de ontsnappende gasmoleculen (lucht moleculen) turbulentie, die snelle veranderingen in druk en stroomsnelheid veroorzaakt. Deze veranderingen kunnen in de vorm van geluidsgolven worden verzonden. De ii900/ii910 kan de locatie en de intensiteit van deze geluidsgolven detecteren.

Perslucht die naar de omgevingslucht lekt, veroorzaakt breedbandgeluid in zowel het hoorbare als het ultrasone frequentiebereik (Eret en Meskell, 2012; Holstein et al., 2016). In industriële persluchtsystemen zijn ultrasone smalbandsensoren (gecentreerd rond 40 kHz) een veel gebruikt instrument om lekken te lokaliseren. Het gebruik van een ultrasone smalbandsensor brengt echter enkele beperkingen met zich mee.

De afstand tussen het lek en het meetapparaat en de meethoek zijn essentiële factoren die bijdragen aan de effectiviteit van de ultrasone sensoren: Ten eerste wordt het hoogfrequente geluid snel verzwakt door atmosferische absorptie (zie Wolstencroft en Neale, 2008).

Ten tweede varieert het door een persluchtlekkage gegenereerde geluidsdrumniveau met de meethoek (Wolstencroft en Neale, 2008). Bovendien is bekend dat lawaaierige omgevingen de werking van de ultrasone smalbandsensoren nadelig beïnvloeden (Eret en Meskell, 2012). Door gebruik te maken van breedbandsensoren die zowel in het hoorbare als ultrasone frequentiebereik werken, kan de gebruiker de bovengenoemde beperkingen compenseren. Door de flexibiliteit in het frequentiebereik wordt de degelijkheid van het lekdetectiesysteem vergroot. In afbeelding 1 is bijvoorbeeld te zien dat de perslucht die onder een systeemdruk van 6 bar uit de open opening lekt, breedbandgeluid genereert. Afbeelding 1 toont dat het frequentiegebied met het grootste gemeten geluidsdrumniveau binnen het hoorbare bereik ligt. Het geluidsdrumniveau gemeten in het frequentiebereik van 35 - 45 kHz (rode stippellijnen in afbeelding 1) is daarentegen duidelijk lager dan de rest van het frequentiespectrum.





Afbeelding 1: Perslucht lekt door een open opening (1/4 inch). De meting wordt uitgevoerd met de ii910 op 1 meter afstand van de bron van het lek met een meethoek van 30 graden. De blauwe lijn toont het gelijkmatige spectrum en de rode stippellijn geeft het frequentiegebied rond 40 kHz aan.

Het aantal onderzoeken waarin de frequentiekenmerken van geluiden van persluchtlekage wordt onderzocht, is beperkt. In het onderzoek van Holstein et al. (2016), werden frequentiespectra van metingen van persluchtlekage met systematisch verhoogde debieten gepresenteerd (zie afb. 2 in Holstein et al., 2016). De bron van het lek was een open ronde opening en de metingen werden uitgevoerd op een afstand van 20 cm van de bron. De frequentiespectra laten zien dat, hoe hoger de stroomsnelheden worden, hoe meer de energie boven 50 kHz toeneemt. Voor de hoogste stroomsnelheid die in het experiment wordt gemeten, toont het frequentiespectrum een piek van ongeveer 80 kHz.

Factoren die van invloed zijn op de lekdetectie

Factoren die van invloed zijn op lekdetectie worden in het huidige hoofdstuk afzonderlijk besproken. Hierbij moet worden opgemerkt dat de factoren die in het huidige hoofdstuk worden uitgelegd met elkaar in wisselwerking staan en als afzonderlijke componenten van een breed complex fenomeen moeten worden gezien.

Factoren van lekkagebronnen:

1. Systeemdruk

Over het algemeen geldt: Hoe hoger de systeemdruk, hoe groter het lek, wat leidt tot een hogere geluidsintensiteit, waardoor detectie eenvoudiger wordt.

2. Stroomsnelheid

Hoe hoger de stroomsnelheid van het systeem, hoe groter het lek, wat leidt tot een hogere, aan de plaats van het lek gemeten, geluidsintensiteit. Een hogere geluidsintensiteit maakt akoestische detectie eenvoudiger.

3. Grootte en vorm van de opening

De grootte en vorm van de opening moeten in samenhang worden bekeken. Wanneer we rekening houden met de grote verscheidenheid aan mogelijke luchtlekages, wordt het al snel een uitdaging om een richtlijn te geven voor het effect van vorm en grootte op de lekdetectie. Deze lijst toont enkele potentiële lekkagebronnen. Zowel de grootte als de vorm van de opening zijn voor elk item in de lijst verschillend Luchtslangen en luchtslangaansluitingen of -koppelingen

- Versleten snelkoppelingen of snelkoppelingen waarin de O-ringen ontbreken
- Filters, smeervoorzieningen en regelaars, indien onjuist geïnstalleerd
- Geopende afblaaskleppen
- Geopende condensafscheiders
- Lekkende of slecht gerepareerde drains
- Ontbrekende of inferieure schroefdraadafdichtmiddelen of onjuist aangebrachte schroefdraadafdichtmiddelen
- Regel- en afsluitkleppen
- Versleten afdichtingen of pakkingen
 - Oude of slecht onderhouden pneumatische gereedschappen
 - Inactieve of ongebruikte machinerie of productie Apparatuur met luchtinlaat

Gas	Formule	Rho (kg/m ³)
Acetyleen	C ² H ²	1,173
Lucht	-	1,2929
Ammoniak	NH ³	0,7710
Argon	A	1,7837
Koolstofdioxide	CO ²	1,977
Koolmonoxide	CO	1,250
Chloor	Cl ²	3,214
Ethaan (10 °C)	C ² H ⁶	1,356
Ethyleen	C ² H ⁴	1,260
Helium	He	0,1785
Waterstof	H ²	0,0899
Waterstofsulfide	H ² S	1,539
Methaan	CH ⁴	0,7168
Neon	Ne	0,9003
Stikstofmonoxide (10 °C)	NO	1,34
Stikstof	N ²	1,2506
Lachgas	N ² O	1,977
Zuurstof	O ²	1,429
Propaan	C ³ H ⁸	2,9009
Zwavel dioxide	SO ²	2,927
Stoom (100 °C)	H ² O	0,598
Zwavelhexafluoride**	SF ⁶	6,17
Koelmiddel R134a***	CH ² FCF ³	14,433

Tabel 1: Lijst met dichtheidswaarden voor gassen. De dichtheid van gas, rho, bij 0°C, 1 Atm*

*Handbook of Chemistry and Physics. 48e editie

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

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

Vloeistofeigenschappen

De eigenschappen van de vloeistof beïnvloeden het, door de uit het lek ontsnappende vloeistof, gegenereerde geluid.

4. Dichtheid

De onderstaande tabel toont de dichtheid van gassen in kg/m³ bij 0 °C en een druk van één atmosfeer. De dichtheid van het gas heeft invloed op de geluidsintensiteit van het lek. De lage dichtheid van helium betekent bijvoorbeeld dat in vergelijking met perslucht, uitgaande van dezelfde stroomsnelheid en druk, de geluidsdruk niveaus die op de plaats van het lek worden gemeten, lager zijn. Ervaring in de praktijk bevestigt dat het een hele uitdaging is om een heliumlek te detecteren.

5. Viscositeit

De viscositeit van het gas beïnvloedt het geluidsdruk niveau op de plaats van het lek. De invloed van de viscositeit is minder dan die van de dichtheid.

6. Omgevingstemperatuur

We moeten rekening houden met de omgevingstemperatuur, zowel bij de bron van het lek als in de weg. Voor de bron van het lek is de omgevingstemperatuur van invloed op de dichtheid en de viscositeit. Beide factoren veranderen het geluidsdruk niveau op de plaats van het lek. Als de omgevingstemperatuur stijgt, neemt de kinetische energie van een molecuule toe, met als gevolg een hogere geluidsintensiteit bij het lek.

7. Omgevingsdruk

Omgevingsdruk heeft rechtstreeks invloed op de dichtheid van een gas. Een verlaging van de omgevingsdruk leidt tot een lagere dichtheid, waardoor de geluidsintensiteit bij het lek afneemt.

8. Afstand van het lek tot de camera

De meetafstand is van invloed op het gemeten geluidsdruk niveau. Naarmate het geluid zich vanuit de bron in alle richtingen verder voortplant, neemt de intensiteit met toenemende afstand af.

9. Omgevingstemperatuur

Veranderingen in de omgevingstemperatuur kunnen zowel de dichtheid van gassen als de viscositeit veranderen. Beide beïnvloeden op hun beurt de snelheid van het geluid wanneer het zich door het medium verplaatst. Naarmate de temperatuur stijgt, gaat het geluid sneller. De verandering van de omgevingstemperatuur is een van de mechanismen die van invloed zijn op de hoeveelheid akoestische energie die door de atmosfeer wordt geabsorbeerd. Bij lage frequenties en korte afstanden is de invloed van de temperatuur op de absorptie door de lucht verwaarloosbaar (Harris, 1966). Bij zeer hoge frequenties en lange afstanden kan het geluidsdruk niveau echter merkbaar afnemen (Vladišauskas en Jakevičius, 2004).

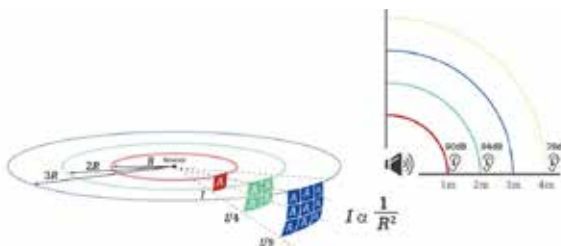
10. Vochtigheid

Het tweede mechanisme dat het geluidsdruk niveau beïnvloedt als gevolg van absorptie door de lucht is de vochtigheid. In vergelijking met de omgevingstemperatuur is, onder normale omstandigheden, de invloed van de vochtigheid op het geluidsdruk niveau verwaarloosbaar (Harris, 1966). De invloed is merkbaar bij zeer hoge frequenties en hoge vochtigheidsniveaus (Vladišauskas en Jakevičius, 2004).

11. Omgevingsdruk

In een vergelijking met ideaal gas heeft de omgevingsdruk geen invloed op het geluidsdruk niveau, omdat zowel de luchtdichtheid als de gasdruk vergelijkbare, maar tegengestelde effecten op de geluidssnelheid hebben. De twee bijdragen heffen elkaar op. Daarom wordt bij de omgevingsdruk geen verschil verwacht tussen het geluidsdruk niveau op de plaats van het lek en op de plaats van meting.

Wegfactoren en atmosferische effecten



Door de afstand tussen de geluidsbron en de plaats van meting in het vrije veld te verdubbelen, wordt de geluidsintensiteit met 6 dB verlaagd.

Welke lekkage-eigenschappen meet de ii900/ii910?

De ii900/ii910 herkent het lektype en schat, op basis van de akoestische invoer, de stroomsnelheid van het lek. Voor de ontwikkeling van de algoritmen voor de classificatie van het lektype en de voorspelling van de doorstroomsnelheid, werd een serie laboratoriumexperimenten ontworpen en uitgevoerd.

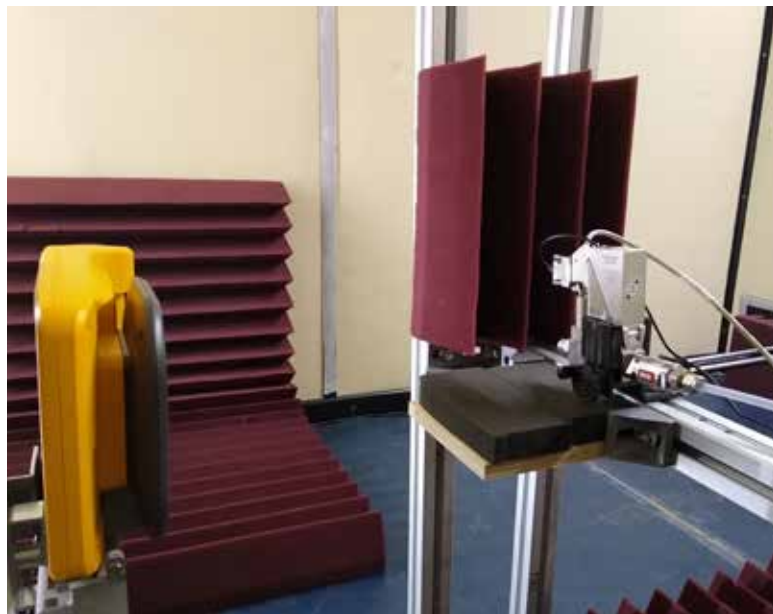
Classificatie lektype in ii900/ii910

De ii900 en ii910 classificeren de geregistreerde akoestische lekgegevens op basis van waar het lek zich bevindt: Slang, open uiteinde, snelkoppeling en schroefdraadkoppeling. Er zijn vier classificaties, de vier lektypen werden aan het eind van een persluchtleidingssysteem geïnstalleerd en de akoestische metingen werden in een semi-echovrije ruimte uitgevoerd. Twee voorbeelden van de experimentele opstelling zijn weergegeven in afb. 3 en afb. 4. De aansluitingen waarmee de vier lekomstandigheden voor het experiment werden opgebouwd, zijn weergegeven in afb. 5.

1. **Slang:** De slang is een flexibele slang waarmee eenvoudig slangsystemen kunnen worden gemaakt. In tegenstelling tot metalen en messing buizen is het echter een kwetsbaarder materiaal. Zo kunnen er eenvoudig specifieke sneden en gaten ontstaan over de lengte van de slangen waarmee een luchtcompressor op pneumatische apparaten wordt aangesloten. Voor het vastleggen van de akoestische gegevens van een lek in een slang, voor de classificatie en om de doorstroomsnelheid te voorspellen werd een spleetvormig lek in een slang. (Afb. 3 en afb. 5a).
2. **Open uiteinde:** Een open uiteinde van een buis of een open opening is het meest voorkomende type lek dat in wetenschappelijke onderzoeken (referenties) wordt gebruikt. Dit gebeurt wanneer een gedeelte van een slang/leiding van het persluchtstelsel niet wordt afgesloten. Tijdens de ontwikkelingsfase van de ii900 werd een buis met open uiteinde gebruikt voor experimenten ten behoeve van classificatie en voorspelling van de doorstroomsnelheid (afb. 4 en afb. 5b).
3. **Snelkoppeling:** Met snelkoppelingen kunnen eenvoudig en snel verbindingen worden gemaakt. De snelkoppelingen zijn afhankelijk van nippels die in één richting schuiven en die bestand zijn tegen trekken in de tegenovergestelde richting. Gewoonlijk zijn een of meer van deze inwendige nippels beschadigd en lekt de perslucht via de snelkoppeling. De luchtvervalsingen rond de fitting en de richting van de persluchtlekkage variëren afhankelijk van de vervorming. Tijdens de ontwikkeling van de classificatie- en voorspellingsalgoritmen voor de stroomsnelheid van de ii900/ii910 werd een vervormde snelkoppeling gebruikt voor akoestische metingen (afb. 5c).
4. **Schroefdraadkoppeling:** Het is gebruikelijk om voor de uiteinden van een persluchtstelsel een einddop met schroefdraad te gebruiken. De einddoppen met schroefdraad moeten zorgvuldig worden geplaatst en correct worden aangepast met betrekking tot het aantal draden dat in het uiteinde van de buis moet worden gedraaid.



Afbeelding 3: De lektypemeting van een slang onder een hoek van 30 graden.



Afbeelding 4: Experimentele opstelling van een lekkagemeting aan een open uiteinde onder een hoek van 90 graden.



Afbeelding 5: De vier lektypen die tijdens experimenten zijn onderzocht: slang (a), open uiteinde (b), snelkoppeling (c) en schroefdraadkoppeling (d).

Soms kunnen technici de uiteinden open laten. Bovendien kunnen de einddoppen met schroefdraad bij veelvuldig gebruik vervormd raken. In dergelijke gevallen lekt de perslucht door de einddop, wat nadelig is voor de efficiëntie van het systeem. In de experimenten werd als bron van de lekkage een losjes geplaatste einddop met schroefdraad gebruikt (afb. 5d).

Kwantificeringsindex leksnelheid

De ii900/ii910 geeft een schatting van de doorstromingsnelheid op de plaats van het lek op basis van de akoestische gegevens die worden vastgelegd. De doorstromingsnelheidsalgoritmen zijn ontworpen op basis van de resultaten van de laboratoriummetingen die zijn uitgevoerd in de semi-echovrije kamer. Vanwege de verschillende akoestische kenmerken van elk lektype is er voor elk lektype één voorspellingsalgoritme voor de doorstromingsnelheid. Daarom werken de algoritmes voor de schatting van de stroomsnelheid na de classificatiefase.

De voorspelde doorstromingsnelheid van een lektype wordt vervolgens omgezet in de kwantificering van de leksnelheid (LRQ)-index. De LRQ is een waarde tussen 0 en 10. Een hogere LRQ-waarde duidt op een grotere doorstromingsnelheid op de plaats van het lek en kan worden beschouwd als een aanbeveling voor vervanging.

Conclusies

De ii900/ii910 biedt een efficiënt frequentiebereik en een gebruiksvriendelijke oplossing in de vorm van een handheld apparaat als mogelijke compensatie voor problemen met lekdetectie en kwantificering. De LRQ-functie is essentieel voor het handhaven van de efficiëntie van het persluchtsysteem en met de rapportfuncties wordt de communicatiesnelheid tussen de onderhoudsmonteurs verbeterd.

Referenties

Eret, P., & Meskell, C. (2012). Microphone arrays as a leakage detection tool in industrial compressed air systems. (Microfoonarrays als lekdetectiehulpmiddel in industriële persluchtsystemen.) *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012. (Vooruitgang in akoestiek en trillingen)

Harris, C. M. (1966). Absorption of sound in air versus humidity and temperature. (Absorptie van geluid in de lucht versus vochtigheid en temperatuur.) *The Journal of the Acoustical Society of America*, 40(1), 148-159.

Holstein, P., Barth, M., en Probst, C. (2016). Acoustic methods for leak detection and tightness testing. (Akoestische methoden voor lekdetectie en dichtheidstests.) In *Proceedings, 19e World Conference on Non-Destructive Testing* (pp. 13-17).

Vladišauskas, A., & Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. (Absorptie van ultrasone golven in lucht.) *Ultragarsas*, 50(1), 46-49.

Wolstencroft, H., & Neale, J. (2008). Characterisation of compressed air leaks using airborne ultrasound. (Karakterisering van persluchtlekkages met behulp van ultrasoon geluid in de lucht.) *Proceedings of Acoustics (AAS'08)*.

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

Fluke Nederland B.V.
Postbus 1337
5602 BH Eindhoven
Tel: +31 40 267 5100
E-mail: cs.nl@fluke.com
www.fluke.nl

Fluke Belgium N.V.
Kortrijksesteenweg 1095
B9051 Gent
Belgium
Tel: +32 2402 2100
E-mail: cs.be@fluke.com
www.fluke.be

©2020-2021 Fluke Corporation. Alle rechten voorbehouden. Wijzigingen zonder voorafgaande kennisgeving voorbehouden.
06/2021 210581-nl

Wijziging van dit document is niet toegestaan zonder schriftelijke toestemming van Fluke Corporation.