

# LRQ-metoden (Leak Rate Quantification) för kameror med akustisk bildbehandling

Toros Senan,  
PhD. Acoustic Research Engineer

## Introduktion

Många arbetsuppgifter kräver identifiering av läckor. De mer välkända inkluderar tryckluftssystem som används i många tillämpningar, som på tillverkningsanläggningar.

## Sammanfattning av egenskaperna för ii900/ii910

ii900/ii910 har 64 mikrofoner som är ordnade i ett mönster. De har en kamera för synligt ljus i mitten av uppsättningen som ger en bild av motivet. Enheterna använder komplexa algoritmer för att generera en ljudkarta eller bild av ljudkällorna och överlagrar sedan den genererade ljudkartan på bilden. Beroende på ljudkällpositionen i synfältet för ii900/ii910 tas ljudet emot vid olika tidpunkter för olika mikrofoner. Det går att använda tidsskillnaderna mellan mikrofonerna till att hitta ljudkällpositionen: Om ljudet kommer från en enhets högra sida tar mikrofonerna på uppsättningens högra sida emot ljudet en bråkdel av en sekund tidigare än mikrofonerna på den vänstra sidan. På ii900/ii910 visas bilden för ljudet på den högra sidan av skärmen.

## Hur identifierar ii900/ii910 läckor?

När läckor uppstår i trycksatta system orsakar de läckande gasmolekylerna turbulens som orsakar snabba förändringar i tryck och flödes hastighet. De förändringarna kan överföras till ljudvågor. ii900/ii910 kan identifiera plats och intensitet för de ljudvågorna.

Tryckluft som läcker ut i atmosfären orsakar bredbandsbuller både i det hörbara frekvensintervallet och i ultraljudsfrekvensintervallet (Eret och Mesell, 2012, Holstein et al., 2016). I industritryckluftssystem används ofta smalbandsultraljudssensorer (centrerade kring 40 kHz) till att hitta läckor, men de har vissa begränsningar.

Avståndet mellan läckor och mätenheten och -vinkeln är viktiga faktorer som bidrar till ultraljudssensorens effektivitet: för det första dämpas högfrekvent ljud snabbt genom atmosfärisk absorption (Wolstencroft och Neale, 2008) och för det andra varierar den genererade ljudtrycksnivån för tryckluftsläckor beroende på mätvinkeln (Wolstencroft och Neale, 2008). Dessutom är bullriga miljöer kända för att försämra prestanda för smalbandsul-

traljudssensorer (Enret och Mesell, 2012). Genom att använda bredbandsensorer som fungerar både i det hörbara frekvensintervallet och i ultraljudsintervallet kan man kompensera för de begränsningar som är angivna ovan. Genom att öka flexibiliteten i frekvensintervallet kan man öka tillförlitligheten för läckidentifieringssystemet. I bild 1 går det till exempel att se att den tryckluft som läcker ut från den öppna öppningen med systemtrycket 6 bar vilket genererar ett bredbandsbuller. Som framgår av bild 1 är frekvensregionen med den största uppmätta ljudtrycksnivån inom det hörbara området men den uppmätta ljudtrycksnivån i frekvensintervallet 35–45 kHz (röda streckade linjer i bild 1) är märkbart lägre än i resten av frekvensspektrumet.

Det finns ett begränsat antal studier om frekvensegenskaper för ljudet av tryckluftsläckor. Den studie som utfördes av Holstein et al. (2016) innehåller frekvensspektrum för mätning av tryckluftsläckor



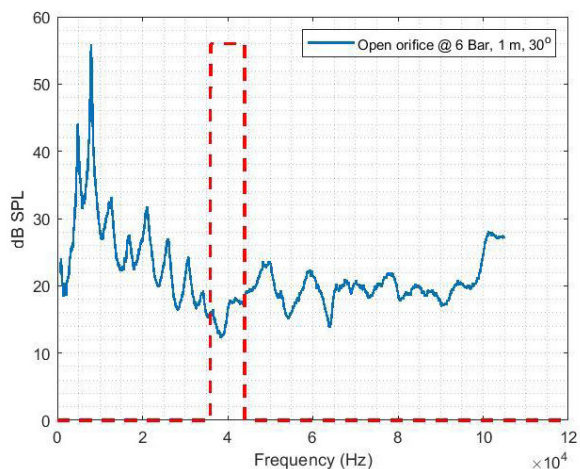


Bild 1: Tryckluft läcker genom en öppen öppning (1/4 tum). ii910 används till att utföra mätningen 1 meter från läckkällan med mätvinkeln 30°. Den blåa linjen visar det utjämnade spektrumet och den röda streckade linjen anger frekvensregionen runt 40 kHz.

med systematiskt ökade flödes hastigheter (se bild 2 i Holstein et al., 2016). Läckkällan var en öppen rund öppning och mätningarna utfördes cirka 20 cm från källan. Som framgår av frekvensspektrumet: ju högre flödes hastighet, desto mer ökar energin över 50 kHz. För den högsta flödes hastighet som mättes i experimentet hade frekvensspektrumet en topp på cirka 80 kHz.

## Faktorer som påverkar läckidentifiering

Det här avsnittet innehåller information om faktorer som påverkar läckidentifieringen. De faktorer som beskrivs i det här avsnittet samverkar och bör betraktas som enskilda komponenter i ett brett komplext fenomen.

### Faktorer som kan leda till läckor:

#### 1. Systemtryck

Vanligtvis innebär att ju högre systemtrycket är desto större är läckan, vilket leder till högre ljudintensitet och förenklar läckidentifieringen.

#### 2. Flöde

På samma sätt som för tryck innebär att ju högre systemflödes hastigheten är desto större är läckan, vilket leder till högre ljudintensitet vid läckpositionen. Högre ljudintensitet gör det lättare att identifiera akustiska ljud.

#### 3. Öppningens storlek och -form

Man måste ta hänsyn både till öppningens storlek och -form. Det finns många olika typer av potentiella luftläckor vilket gör det svårt att ge riktlinjer om hur öppningens storlek och

-form påverkar läckidentifieringen. Den här listan innehåller några potentiella läckkällor. Öppningens storlek och -form är olika för objekten i listan. Luftslangar och luftslanganslutningar:

- slitna anslutningar eller anslutningar utan O-ringar
- filter, smörjningsenheter och regulatorer, om de är felaktigt installerade
- öppna utblåsningsventiler
- öppna kondensatfällor
- läckande eller igensatta avtappningar
- felaktiga gängtätningar, gängtätningar av dålig kvalitet och felaktigt applicerat gängtätningemedel
- styr- och avstängningsventiler
- slitna tätningar och packningar
  - gamla eller dåligt underhållna tryckluftswerktyg
  - inaktiva eller oanvända maskiner och inaktiv eller oanvänd produktionsutrustning med lufttillförsel

Gas	Formel	Po (kg/m <sup>3</sup> )
Acetylen	C <sup>2</sup> H <sup>2</sup>	1,173
Luft	-	1,2929
Ammoniak	NH <sup>3</sup>	0,7710
Argon	A	1,7837
Koldioxid	CO <sup>2</sup>	1,977
Koloxid	CO	1,250
Klor	Cl <sup>2</sup>	3,214
Etan (10 °C)	C <sup>2</sup> H <sup>6</sup>	1,356
Etylen	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>	1,260
Helium	He	0,1785
Väte	H <sup>2</sup>	0,0899
Vätesulfid	H <sup>2</sup> S	1,539
Metan	CH <sup>4</sup>	0,7168
Neon	Ne	0,9003
Kväveoxid (10 °C)	NO	1,34
Kväve	N <sup>2</sup>	1,2506
Lustgas	N <sup>2</sup> O	1,977
Syrgas	O <sup>2</sup>	1,429
Propan	C <sup>3</sup> H <sup>8</sup>	2,9009
Svaveldioxid	SO <sup>2</sup>	2,927
Ånga (100 °C)	H <sup>2</sup> O	0,598
Svavelhexafluorid**	SF <sup>6</sup>	6,17
R134a-kylmedel***	CH <sup>2</sup> FCF <sup>3</sup>	14,433

Tabell 1: Lista över densitetsvärden för gaser. Densiteten för gas, po, vid 0 °C/1 atm\*.

\* Handbook of Chemistry and Physics. 48th ed.

\*\* <https://sv.wikipedia.org/wiki/Svavelhexafluorid>

\*\*\* [https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d\\_1682.html](https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html)

## Vätskeegenskaper

Vätskeegenskaperna påverkar det genererade ljudet när det läcker ut vid läckan.

### 4. Densitet

Tabellen nedan innehåller information om densiteten för gaser i kg/m<sup>3</sup> vid 0 °C och trycket 1 atm. Gasdensiteten påverkar ljudintensiteten för läckor. Den låga densiteten för helium innebär till exempel att den uppmätta ljudtrycksnivån vid läckpositionen blir lägre när man jämför det med tryckluft med samma flödes hastighet och -tryck. Kontroller på fältet har bekräftat att det är svårt att upptäcka heliumläckor.

### 5. Viskositet

Gasviskositeten påverkar ljudtrycksnivån vid läckpositionen men effekten är mindre än för densiteten.

### 6. Omgivningstemperatur

Man måste ta hänsyn till omgivningstemperaturen både vid läckkällan och längs mätvägen. För läckkällan påverkar omgivningstemperaturen densiteten och viskositeten. Båda de faktorerna ändrar ljudtrycksnivån vid läckpositionen. När omgivningstemperaturen ökar ökar den kinetiska energin för molekyler, vilket innebär att ljudintensiteten vid läckan ökar.

### 7. Omgivningstryck

Omgivningstrycket påverkar gasdensiteten. Om omgivningstrycket minskar minskar densiteten, vilket innebär att ljudintensiteten vid läckan minskar.

### 8. Avstånd från läckor till kameran

Mätavståndet påverkar den uppmätta ljudtrycksnivån. När ljudet sprids i alla riktningar från källan minskar intensiteten med avståndet.

### 9. Omgivningstemperatur

Om omgivningstemperaturen förändras kan det påverka både gasdensiteten och -viskositeten och båda påverkar ljudhastigheten när det färdas genom mediet. När temperaturen ökar färdas ljudet snabbare. Förändringen av omgivningstemperaturen är en av de mekanismer som påverkar mängden akustisk energi som absorberas i atmosfären. För låga frekvenser och korta avstånd är temperaturens effekt på luftabsorptionen försumbar (Harris, 1966) men vid mycket höga frekvenser och långa avstånd kan ljudtrycksnivån sänkas märkbart (Vladišauskas och Jakevičius, 2004).

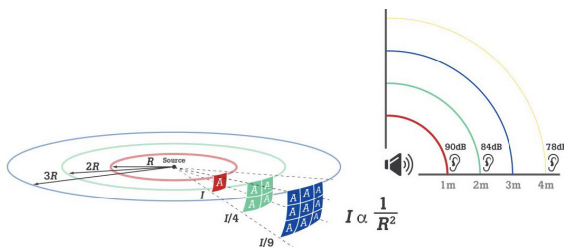
### 10. Luftfuktighet

Den andra mekanism som påverkar ljudtrycksnivån på grund av luftabsorption är luftfuktighet. Vid normala förhållanden är effekten försumbar (Harris, 1966) men den är märkbar vid mycket höga frekvenser och hög luftfuktighet (Vladišauskas och Jakevičius, 2004).

### 11. Omgivningstrycket

Omgivningstrycket påverkar inte ljudtrycket i idealiska gasapproximationer eftersom luftdensiteten och gstrycket har liknande men inverterad effekt på ljudhastigheten. De två faktorerna tar ut varandra och det bör därför inte finnas någon skillnad mellan ljudtrycksnivån vid läck- och mätpositionen på grund av omgivningstrycket.

## Mätvägsfaktorer och atmosfäreffekter



En fördubbling av avståndet mellan ljudkällan och mätpositionen i det fria fältet minskar ljudintensiteten med 6 dB.

## Vilka läckegenskaper går det att använda ii900/ii910 till att mäta?

ii900/ii910 kan användas till att visa läcktyp och bedöma läckhastigheten baserat på akustiska indata. Ett antal labbexperiment utformades och utfördes för att ta fram algoritmer för klassificering av läcktyp och för beräkning av flödes hastighet.

## Läcktypsklassificering för ii900/ii910

ii900/ii910 kan användas till att klassificera registrerade akustiska data för läckor beroende på var de inträffar: slangar, öppna ändar, snabbanslutningar och gängade anslutningar. Fyra klassificeringar, dvs. de fyra läcktyperna, monterades i slutet av ett tryckluftssystem och de akustiska mätningarna utfördes i ett halvekofritt rum. Två exempel på experimentkonfigurationen visas i bild 3 och 4. Anslutningarna för de fyra olika läckförhållandena för experimentet visas i bild 5.

1. **Slangar:** slangar är flexibla vilket gör det enkelt att ansluta dem men de är känsligare än metall- och mässingsrör. Det innebär att det kan uppstå revor och hål längs slangar som används till att ansluta luftkompressorer till pneumatiska enheter. En skuren slits i slangen användes till att registrera akustiska data från slangläckan för klassificering och beräkning av flödeshastighet (bild 3 och 5a).
2. **Öppna ändar:** slangar med öppna ändar eller öppna öppningar är den vanligaste typen av läckor i vetenskapliga studier (referenser). De uppstår när slang-/rörsektioner i tryckluftssystemet lämnas öppna. En slang med öppen ände användes under experimenten för klassificering och beräkning av flödeshastighet under utvecklingsfasen för ii900 (bild 4 och 5b).
3. **Snabbanslutningar:** snabbanslutningar används för enkla och snabba anslutningar. Snabbanslutningar har låsanordningar som glider i en riktning för att de inte ska kunna dras i motsatt riktning. Om en eller flera av de inre låsanordningarna i snabbanslutningen är skadade kan tryckluft läcka ut genom den. Luften sprider sig runt anslutningen och läckriktningen för tryckluften beror på vilka skador det finns. En deformerad snabbanslutning användes för akustiska mätningar under utvecklingen av algoritmerna för klassificering och beräkning av flödeshastighet för ii900/ii910 (bild 5c).
4. **Gängade anslutningar:** ofta används gängade ändlock för ändpunkterna i tryckluftssystem. De gängade ändlocken måste sättas på försiktigt och justeras på rätt sätt för antal gängor som ska skjutas in i ändröret. Ibland kan teknikerna misslyckas med att sätta fast ändsektionerna ordentligt och dessutom kan de gängade ändlocken deformeras med tiden. I så fall läcker tryckluft genom ändlocken, vilket påverkar systemeffektiviteten. Ett löst placerat gängat ändlock användes som läckkälla i experimenten (bild 5d).



Bild 3: Mätning av läcka av slangtyp vid vinkeln 30°.

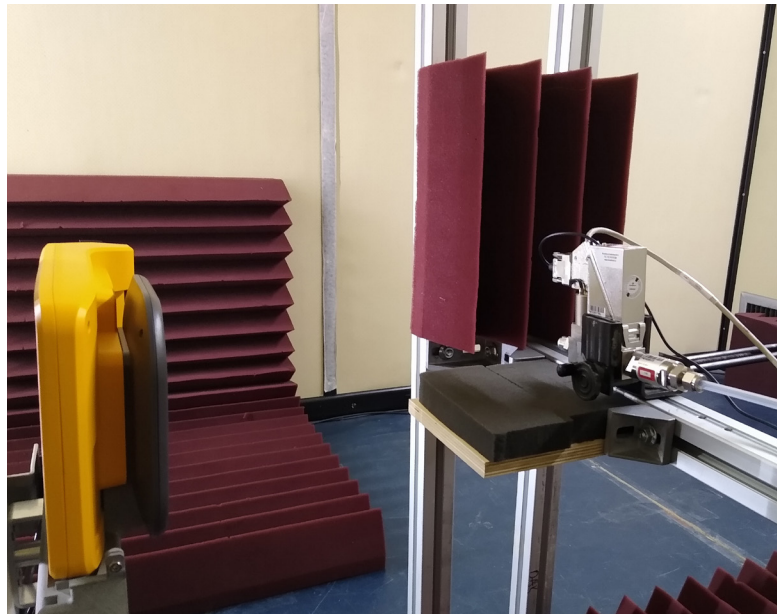


Bild 4: Experimentkonfiguration för mätning av läcka av öppen typ vid vinkeln 90°.

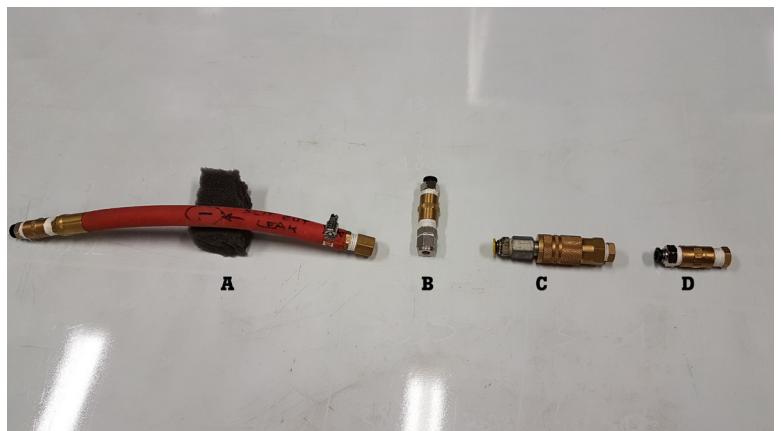


Bild 5: De fyra läcktyper som undersöktes under experimenten: slang (a), öppen ände (b), snabbanslutning (c) och gängad anslutning (d).

## LQR-index (Leak Rate Quantification)

ii900/ii910 används till att beräkna flödes hastigheten vid läckpositionen baserat på registrerade akustiska data. Algoritmerna för flödes hastighet har utformats baserat på resultatet av de labbmätningarna som utfördes i det halvekofria rummet. Eftersom olika läcktyper har olika akustiska egenskaper finns det en algoritm för beräkning av flödes hastighet för varje läcktyp, vilket innebär att algoritmerna för beräkning av flödes hastighet används efter klassificeringssteget.

Den beräknade flödes hastigheten för läcktyper konverteras till ett LRQ-värde (Leak Rate Quantification) mellan 0 och 10. Ju högre LRQ-värde desto högre flöde vid läckpositionen. LRQ-värdet kan även användas som utgångspunkt för att fastställa var reparationer bör utföras.

## Slutsatser

ii900/ii910 har ett effektivt frekvensintervall och är en användarvänlig lösning i en handhållen enhet med funktioner för att försöker kompensera för problemen med läckidentifiering och -kvantifiering. LRQ-funktionen är avgörande för att upprätthålla effektiviteten för tryckluftssystem och tack vare rapportfunktionerna ökar kommunikationshastigheten mellan underhållsteknikerna.

## Referenser

- Eret, P., & Meskell, C. (2012). Microphone arrays as a leakage detection tool in industrial compressed air systems. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012.
- Harris, C. M. (1966). Absorption of sound in air versus humidity and temperature. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 40(1), 148–159.
- Holstein, P., Barth, M., & Probst, C. (2016). Acoustic methods for leak detection and tightness testing. In *Proceedings, 19th World Conference on Non-Destructive Testing* (sidan 13–17).
- Vladišauskas, A., & Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. *Ultragarsas*, 50(1), 46–49.
- Wolstencroft, H., & Neale, J. (2008). Characterisation of compressed air leaks using airborne ultrasound. *Proceedings of Acoustics (AAS'08)*.

**Fluke.** *Fluke Sverige AB*  
*up and running.®*

**Fluke Sverige AB**  
c/o Gilbarco Veeder-Root  
Johannesfredsvägen 11 A  
16869 Bromma  
Tel: 08 5663 7400  
E-mail: cs.se@fluke.com  
www.fluke.se

©2020–2021 Fluke Corporation.  
Med ensamrätt. Data kan  
komma att ändras utan föregående meddelande.  
06/2021 210581-sv

**Ändringar får inte göras i det här dokumentet utan skriftligt medgivande från Fluke Corporation.**