

Fastställt	Utgåva	Sida
2000-12-29	1	1 (1+50+50)

© Copyright SIS. Reproduction in any form without permission is prohibited.

## Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment – Part 2: Introduction to the physics of low-noise design (ISO/TR 11688-2:1998)

The European Standard EN ISO 11688-2:2000 has the status of a Swedish Standard. This document contains the official English version of EN ISO 11688-2:2000 with a Swedish translation.

Swedish Standards corresponding to documents referred to in this Standard are listed in "Catalogue of Swedish Standards", issued by SIS. The Catalogue lists, with reference number and year of Swedish approval, International and European Standards approved as Swedish Standards as well as other Swedish Standards.

## Akustik – Rekommendationer vid konstruktion av lågbullrande maskiner – Del 2: Introduktion till lågbullrande maskiners fysik (ISO/TR 11688-2:1998)

Europastandarden EN ISO 11688-2:2000 gäller som svensk standard. Detta dokument innehåller den officiella engelska versionen av EN ISO 11688-2:2000 med svensk översättning.

Motsvarigheten och aktualiteten i svensk standard till de publikationer som omnämns i denna standard framgår av "Katalog över svensk standard", som ges ut av SIS. I katalogen redovisas internationella och europeiska standarder som fastställts som svenska standarder och övriga gällande svenska standarder.

---

ICS 17.140.20; 21.020.00

Standarder kan beställas hos SIS Förlag AB som även lämnar allmänna upplysningar om svensk och utländsk standard.  
Postadress: SIS Förlag AB, 118 80 STOCKHOLM  
Telefon: 08 - 555 523 00. Telefax: 08 - 555 523 11  
E-post: sis.sales@sis.se. Internet: www.sisforlag.se

Upplysningar om **sakinnehållet** i standarden lämnas av SIS.  
Telefon: 08 - 555 520 00. Telefax: 08 - 555 520 01

Tryckt i augusti 2001

ICS 17.140.20; 21.020

Descriptors: acoustics, low-noise, machinery, equipment, low-noise design

English version

**Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment – Part 2: Introduction to the physics of low-noise design (ISO/TR 11688-2:1998)**

Acoustique – Pratique recommandée pour la conception de machines et équipements à bruit réduit – Partie 2: Introduction à la physique de la conception à bruit réduit (ISO/TR 11688-2:1998)

Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmärmer Maschinen und Geräte – Teil 2: Einführung in die Physik der Lärminderung durch konstruktive Maßnahmen (ISO/TR 11688-2:1998)

This European Standard was approved by CEN on 17 September 1999.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

**CEN**

European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 36, B-1050 BRUSSELS

ICS 17.140.20; 21.020

Nyckelord: akustik, lågbullrande maskiner, utrustning, lågbullrande konstruktion

Svensk version

**Akustik – Rekommendationer vid konstruktion av lågbullrande maskiner – Del 2: Introduktion till de fysiska egenskaperna hos lågbullrande maskiner (ISO/TR 11688-2:1998)**

Acoustique – Pratique recommandée pour la conception de machines et équipements à bruit réduit – Partie 2: Introduction à la physique de la conception à bruit réduit (ISO/TR 11688-2: 1998)

Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment – Part 2: Introduction to the physics of low-noise design (ISO/TR 11688-2:1998)

Akustik – Richtlinien für die Gestaltung lärmarmer Maschinen und Geräte – Teil 2: Einführung in die Physik der Lärminderung durch konstruktive Maßnahmen (ISO/TR 11688-2:1998)

Denna standard är den officiella svenska versionen av EN ISO 11688-2:2000. För översättningen svarar SIS.

Denna europastandard antogs av CEN den 17 september 1999.

CEN-medlemmarna är förpliktade att följa fordringarna i CEN/CENELECs interna bestämmelser som anger på vilka villkor denna europastandard i oförändrat skick skall ges status som nationell standard. Aktuella förteckningar och bibliografiska referenser rörande sådana nationella standarder kan på begäran erhållas från CENs centralsekretariat eller från någon av CENs medlemmar.

Denna europastandard finns i tre officiella versioner (engelsk, fransk och tysk). En version på något annat språk, översatt under ansvar av en CEN-medlem till sitt eget språk och anmäld till CENs centralsekretariat, har samma status som de officiella versionerna.

CENs medlemmar är de nationella standardiseringsorganen i Belgien, Danmark, Finland, Frankrike, Grekland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Nederländerna, Norge, Portugal, Schweiz, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjeckien, Tyskland och Österrike.

**CEN**

European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung

Central Secretariat: rue de Stassart 36, B-1050 BRUSSELS

**Contents**

	Page
Foreword .....	3
Introduction .....	4
1 Scope .....	5
2 References .....	5
3 Definitions .....	5
4 Acoustical modelling .....	5
5 Control of airborne and liquid-borne noise .....	6
5.1 Generation of fluid-dynamic noise .....	6
5.2 Noise control measures .....	12
6 Control of structure-borne sound .....	14
6.1 Model of sound generation .....	14
6.2 Internal sources .....	19
6.3 Transmission of structure-borne sound .....	22
6.4 Control of structure-borne sound transmission by damping .....	32
6.5 Radiation .....	34
7 Analysis by measurement methods .....	39
7.1 Purpose of the analysis .....	39
7.2 Internal sources .....	40
7.3 Transmission paths .....	40
7.4 Radiation .....	40
7.5 Summary of procedures for the analysis of existing machinery by measurement methods .....	41
8 Analysis by computational methods .....	43
8.1 Purpose of the analysis .....	43
8.2 Deterministic methods .....	43
8.3 Statistical methods .....	43
8.4 Applicability of computational methods .....	43
Annex A Example of the estimation of airborne sound emission of a machine caused by structure-borne and airborne sound emission from a component .....	45
Annex B Glossary .....	48
Bibliography .....	50

**Innehåll**

	Sida
Förord .....	3
Inledning .....	4
1 Omfattning .....	5
2 Normativa hänvisningar .....	5
3 Definitioner .....	5
4 Akustisk modellering .....	5
5 Kontroll av luftburet och vätskeburet buller .....	6
5.1 Alstring av strömningsbuller .....	6
5.2 Bullerbekämpande åtgärder .....	12
6 Stomljusbekämpning .....	14
6.1 Modell för ljudalstring .....	14
6.2 Inre källor .....	19
6.3 Överföring av stömljud .....	22
6.4 Bekämpning av stömljudsöverföring genom dämpning .....	32
6.5 Utstrålning .....	34
7 Analys genom mätmetoder .....	39
7.1 Avsikt med analysen .....	39
7.2 Inre källor .....	40
7.3 Transmissionsvägar .....	40
7.4 Utstrålning .....	40
7.5 Summering av analys sätt av befintliga maskiner med mätmetoder .....	41
8 Analys genom beräkningsmetoder .....	43
8.1 Avsikt med analysen .....	43
8.2 Deterministiska metoder .....	43
8.3 Statistiska metoder .....	43
8.4 Tillämplighet för beräkningsmetoder .....	43
Annex A Exempel på uppskattning av luftljudsemission från en maskin orsakad av stömljuds- och luftljudsemission från en komponent .....	45
Annex B Ordlista .....	48
Litteraturförteckning .....	50

## Foreword

The text of the International Standard from Technical Committee ISO/TC 43 “Acoustics” of the International Organization for Standardization (ISO) has been taken over as an European Standard by Technical Committee CEN/TC 211 “Akustik”, the secretariat of which is held by DS.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by June 2001, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by June 2001.

This European Standard has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association, and supports essential requirements of EU Directive(s).

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

## Endorsement notice

The text of the International Standard ISO/TR 11688-2:1998 has been approved by CEN as a European Standard without any modification.

**Förord**

Texten i denna internationella standard som tagits fram av ISO/TC 43 "Acoustics" har antagits som europastandard av CEN/TC 211 "Acoustics". Sekretariatet hålls av DS.

Denna europastandard skall ges status som nationell standard, antingen genom att publicera en identisk text eller genom ikraftsättning senast juni 2001, och motstridande nationella standarder skall dras in senast juni 2001.

Denna europastandard har utarbetats under ett mandat som CEN fått av Europeiska kommissionen och EFTA. Den stöder grundläggande krav i EUs direktiv.

Enligt CEN/CENELECs interna bestämmelser anmodas följande länder att anta denna europastandard: Belgien, Danmark, Finland, Frankrike, Grekland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Nederländerna, Norge, Portugal, Schweiz, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tjeckien, Tyskland och Österrike.

**Ikraftsättningsnotering**

Texten i den internationella standarden ISO/TR 11688-2:1998 är godkänd av CEN som en europastandard utan någon ändring.

## **Introduction**

The objective of this part of ISO/TR 11688 is noise reduction in existing machinery and noise control at the design stage of new machinery.

It is important that non-acoustic engineers are engaged in noise control practice. It is of great importance for these engineers to have a basic knowledge of noise generation and propagation characteristics and to understand the principles of noise control measures.



## **Inledning**

Målet för denna del av EN ISO 11688 är minskning av buller från befintliga maskiner och bullerbekämpning i konstruktionsskedet av nya maskiner.

Det är viktigt att ingenjörer som inte är akustiker deltar i bullerbekämpning i praktiken. Det är mycket viktigt för dessa ingenjörer att ha en grundläggande kunskap om bulleralstring och utbredning och att förstå principerna för bullerbekämpande åtgärder.

# Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment —

## Part 2: Introduction to the physics of low-noise design

### 1 Scope

This part of ISO/TR 11688 provides the physical background for the low-noise design rules and examples given in ISO/TR 11688-1<sup>1)</sup> and supports the use of extensive special literature.

It is intended for use by designers of machinery and equipment as well as users and/or buyers of machines and authorities in the field of legislation, supervision or inspection.

Equations given in this Technical Report will improve the general understanding of noise control. In many cases they allow a comparison of different versions of design, but they are not useful for the prediction of absolute noise emission values.

Information on internal sound sources, transmission paths and sound radiating parts of a machine is the basis for noise control in machines. Therefore measurement methods and computational methods suitable to obtain this information are described in clauses 7 and 8 and annex A.

### 2 References

See ISO/TR 11688-1 and the bibliography.

### 3 Definitions

See ISO/TR 11688-1 and annex A.

### 4 Acoustical modelling

In order to facilitate the understanding of complex sound generation and propagation mechanisms in machinery and equipment or vehicles (the latter are also called "machines" in this part of ISO/TR 11688), it is necessary to create simple acoustical models. The models provide a basis for noise control measures at the design stage.

---

<sup>1)</sup> ISO/TR 11688-1:1995, *Acoustics — Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment — Part 1: Planning*.

# Akustik – Rekommendationer vid konstruktion av lågbullrande maskiner – Del 2: Introduktion till de fysiska egenskaperna hos lågbullrande maskiner

## 1 Omfattning

Denna del av ISO/TR 11688 ger den fysikaliska bakgrunden för regler för lågbullrande konstruktion och för exempel, som ges i ISO/TR 11688-1<sup>1)</sup> och uppmuntrar användande av omfattande speciallitteratur.

Den är avsedd att användas av konstruktörer av maskiner och utrustningar liksom av användare och/eller köpare av maskiner och av myndigheter inom lagstiftning, övervakning och kontroll.

Ekvationer, som ges i denna tekniska rapport, ökar den allmänna förståelsen för bullerbekämpning. Ofta tillåter de en jämförelse mellan olika konstruktionsutföranden, men de är inte användbara för att förutsäga absoluta bulleremissionsvärden.

Information om inre ljudkällor, transmissionsvägar och ljudutstrålning i en maskin är grunden för bullerbekämpning av maskiner. Därför beskrivs mätmetoder och beräkningsmetoder, som är lämpliga att använda för att erhålla denna kunskap, i paragraferna 7 och 8 och i annex A.

## 2 Normativa hänvisningar

Se ISO/TR 11688-1 och litteraturförteckningen.

## 3 Definitioner

Se ISO/TR 11688-1 och annex A

## 4 Akustisk modellering

För att underlätta förståelsen av komplicerad ljudgenerering och ljudutbredning i maskiner och utrustning eller fordon (de senare kallas också ”maskiner” i denna del av ISO/TR 11688) är det nödvändigt att skapa enkla akustiska modeller. Modellerna utgör en grund för bullerbekämpande åtgärder i konstruktionsstadiet.

---

1) ISO/TR 11688-1:1995, Acoustics – Recommended practice for the design of low-noise machinery and equipment – Part 1: Planning.

A universal approach is to distinguish between

- internal sources;
- transmission paths inside the machine;
- radiation from its boundaries.

The internal sources and the transmission paths can each be assigned to three categories according to the media used:

- airborne;
- liquid-borne;
- structure-borne.

Radiation is considered for air only.

Figures 1 and 2 serve to illustrate the principle of acoustical modelling. Figure 1 shows a simplified machine consisting of an electric motor and a housing with an opening in it.

The motor is the only internal source. It generates airborne and structure-borne sound.

There are three internal transmission paths:

- through the air inside the housing to the opening;
- through the air inside the housing to the walls of the housing;
- through the fastenings to the walls of the housing.

Radiation occurs from the opening and from the walls of the housing.

Figure 2 illustrates this in a block diagram.

The total sound power emitted from the machine is the sum of the three contributions.

A systematic approach starts with an assessment of the relative importance of these contributions. The next step is examining the blocks in Figure 2 looking for possibilities to reduce source strength, transmission and/or radiation (see also following clauses). This should be done in relation to the various aspects of the design process (see ISO/TR 11688-1:1995, Figure 1).

## 5 Control of airborne and liquid-borne noise

The basic principles of generation, transmission and radiation of sound in air (or other gases) and liquids are basically identical and are therefore considered together in this clause. There is only one important exception: cavitation. Occurring in liquids only, this phenomenon is considered separately in 5.1.3.

### 5.1 Generation of fluid-dynamic noise

Important noise-generating phenomena in gases and liquids are turbulence, pulsation and shock. Fluid-dynamic processes generate noise if flow rate and pressure vary over time in a limited volume of a liquid or a gas, for example in a turbulent flow. This leads to the transmission of sound from the disturbed volume of the fluid to the surrounding medium. A classic example of this is the escape of compressed air from a nozzle.

Ett allmänt tillvägagångssätt är att skilja mellan

- inre ljudkällor;
- transmissionsvägar inuti maskinen;
- utstrålning från dess begränsningsytor.

De inre ljudkällorna och transmissionsvägarna kan vardera tillhöra tre kategorier i enlighet med använt medium

- luftburet;
- vätskeburet;
- stomburet.

Utstrålning beaktas här enbart till luft.

Figurerna 1 och 2 illustrerar principerna för akustisk modellering. Figur 1 visar en förenklad maskin, som består av en elektrisk motor och en kåpa med en öppning i.

Motorn är den enda interna ljudkällan. Den alstrar luftburet och stomburet ljud.

Det finns tre inre transmissionsvägar:

- genom luften inuti kåpan till öppningen;
- genom luften inuti kåpan till kåpans väggar;
- genom infästningarna till kåpans väggar.

Utstrålning sker från öppningen och från kåpans väggar.

Figur 2 visar detta i ett blockdiagram.

Den totala ljudeffekten som maskinen ger ifrån sig är summan av dessa tre bidrag.

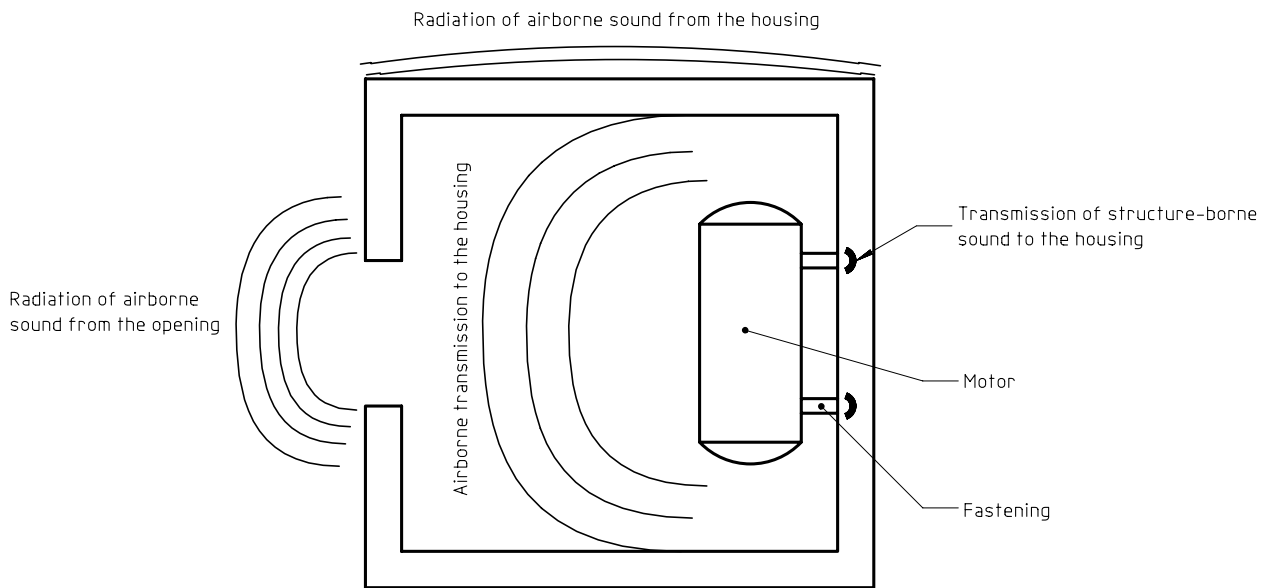
Ett systematiskt angreppssätt börjar med en uppskattning av den inbördes styrkan av dessa bidrag. Nästa steg är att granska blocken i figur 2 och leta efter möjligheter att minska källstyrkan, transmissionen och/eller utstrålningen (se också följande paragrafer). Detta bör göras i samband med de olika stegen i konstruktionsprocessen (se ISO/TR 11688-1:1995, Figur 1).

## 5 Kontroll av luftburet och vätskeburet buller

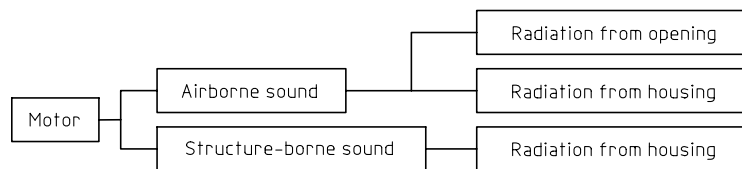
De grundläggande principerna för alstring, överföring och utstrålning av ljud i luft (eller andra gaser) och vätskor är i grunden desamma och betraktas därför tillsammans i denna paragraf. Det finns endast ett betydelsefullt undantag: kavitation. Eftersom detta fenomen uppträder enbart i vätskor betraktas det för sig i 5.1.3.

### 5.1 Alstring av strömningsbuller

Betydelsefulla bulleralstrande fenomen i gaser och vätskor är turbulens, pulsationer och stötar. Strömning alstrar buller om flödet och trycket varierar över tiden i en begränsad volym av vätskan eller gasen, t. ex. i ett turbulent flöde. Detta medför transmission av ljud från den störda volymen av fluiden till det omgivande mediet. Ett klassiskt exempel på detta är utströmning av tryckluft från ett munstycke.



**Figure 1 — Simplified machine for the illustration of acoustical modelling**



**Figure 2 — Block diagram for the illustration of generation, transmission and radiation of sound in the "machine" of Figure 1**

Mechanisms of fluid-dynamic sound generation can be related to properties of elementary sound sources with known characteristics:

- monopoles;
- dipoles;
- quadrupoles.

**5.1.1 Elementary model sources**

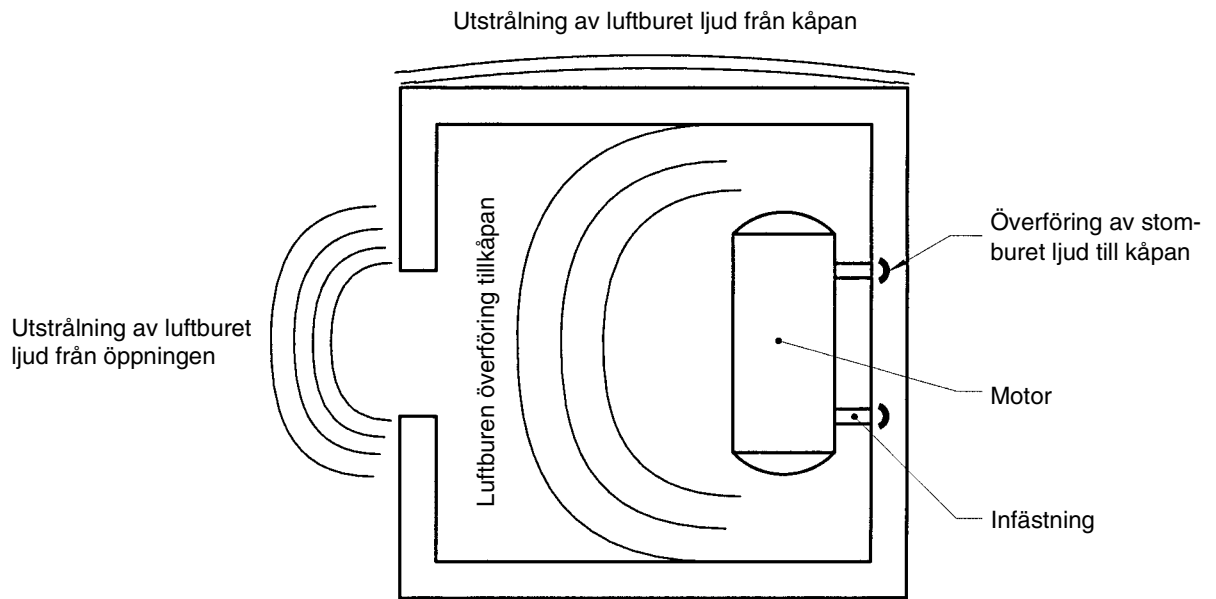
A monopole source is an in-phase volume change, such as a pulsating volume of any shape or a piston in a large rigid surface. In the far field, monopoles have a spherical radiation pattern. The sound radiated from a monopole source can be reduced by reducing the temporal variation in the volume flow rate.

EXAMPLE 1: Outlets of internal combustion engines, rotary piston fans, multi-cell compressors, piston pumps, piston compressors, flares.

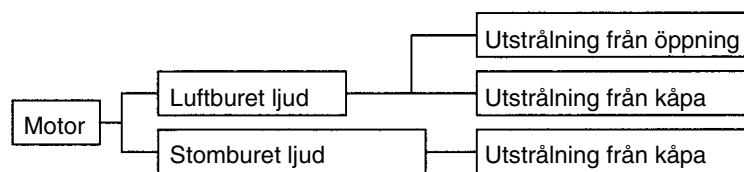
A dipole source arises as a result of external time-variable forces acting on a fluid without volume change, such as in an oscillating rigid body of any shape. The dipole source can be replaced by two monopole sources of equal strength and opposite phase situated very closely together. The far-field directivity pattern of a dipole is shown in Table 1. Radiation from a dipole can be reduced by reducing the temporal variation of the forces acting on the fluid.

EXAMPLE 2: Vibrating rigid parts of machinery, parts of machinery running out of balance, ducts, propellers and fans.

A quadrupole source can be represented by a time-variable deformation of a body without change of its volume or position. It can be replaced by two dipole sources of equal strength and opposite phase situated very closely



**Figur 1 – Förenklad maskin som beskriver akustisk modellering**



**Figur 2 – Blockdiagram som beskriver alstring, överföring och utstrålning av ljud i ”maskinen” i figur 1**

Mekanismerna för alstring av flödesbuller kan hänföras till egenskaperna för elementära ljudkällor med känd karakteristik:

- monopoler;
- dipoler;
- kvadrupoler.

**5.1.1 Elementära modellkällor.**

En monopolkälla är en volymändring i fas, såsom en pulserande volym av någon form eller en kolv i en stor baffel. I fjärrfältet har monopolen ett sfäriskt utbredningsmönster. Det utstrålade ljudet från en monopolkälla kan minskas genom att minska tidsvariationen av volymflödet.

EXEMPEL 1: Utloppen från explosionsmotorer, roterande kolvfläktar, flerkammarkompressorer, kolvpumpar, kolvkompressorer, lågor.

En dipolkälla uppstår som ett resultat av yttre tidsvarierande krafter som verkar på en fluid utan yttre volymförändring, såsom en oscillerande stel kropp av någon form. Dipolkällan kan bytas ut mot två monopolkällor av lika styrka och med motsatta faser placerade mycket tätt intill varandra. Direktivitetmönstret i fjärrfältet från en dipol visas i Tabell 1. Utstrålningen från en dipol kan minskas genom att minska tidsvariationen av krafterna som verkar på fluiden.

EXEMPEL 2: Vibrerande stela delar av maskiner, delar av en maskin som rör sig utan att vara balanserade, kanaler, propellrar och fläktar.

En kvadrupolkälla kan representeras av en tidsvarierande deformation av en kropp utan ändring av dess volym eller position. Den kan bytas ut mot två dipolkällor av lika styrka och med motsatta faser placerade mycket tätt tillsammans.

together. The far-field directivity pattern is shown in Table 1. Radiation from a quadrupole is reduced when the time-variable deformation is reduced.

EXAMPLE 3: Free turbulent flow as in safety valves, compressed-air nozzles, pipe fittings.

Most sound sources encountered in machinery contain aspects of more than one elementary source.

NOTE Because of the stochastic nature of turbulence the sound spectrum is broad-band. An example is the turbulent flow in the mixing zone of a free jet, particularly for Mach numbers  $Ma > 0,8$ . The definition of the Mach number is:

$$Ma = \frac{u}{c} \tag{1}$$

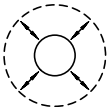
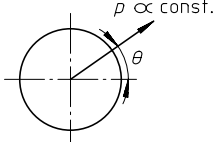
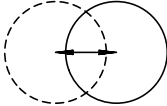
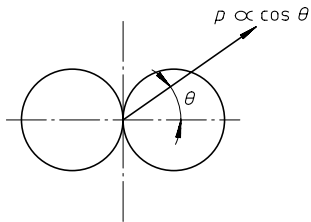
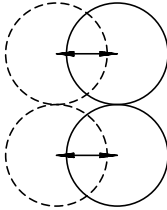
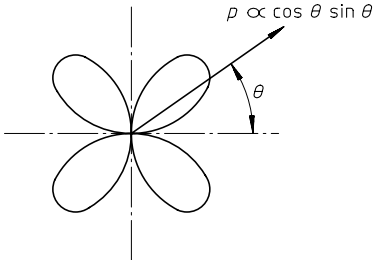
where

$u$  is the flow velocity;

$c$  is the speed of sound.

Table 1 summarizes and illustrates the information on the properties of the elementary sources.

**Table 1 — Properties of elementary model sources**

Type of source	Schematic illustration	Example(s)	Far-field directivity
<u>Monopole</u> "Breathing" sphere		Siren, piston compressor or pump, exhaust of internal combustion engine, cavitation phenomena, compressed air engine, gas burner	
<u>Dipole</u> Oscillating sphere		Slow machines (axial and centrifugal fans), obstacles in the flow (flow separation), ventilating or air-conditioning systems, ducts with flow	
<u>Quadrupole</u> Two oscillating spheres with an opposite phaseshift (two dipole sources)		Turbulent flow (mixing zone of a free jet), compressed-air nozzles, steam jet equipment, safety valves	

**5.1.2 Influence of main parameters**

The sound power radiated by aerodynamic sound sources (e.g. the elementary source models monopole, dipole, quadrupole) can be approximated by (see reference [17]):

$$W = \rho D^2 u^3 \left(\frac{u}{c}\right)^k = \rho D^2 u^3 (Ma)^k \tag{2}$$



Direktiviteten i fjärrfältet visas i Tabell 1. Utstrålningen från en kvadrupol minskas om den tidsvarierande deformationen minskas.

EXEMPEL 3: Fritt turbulent flöde som i säkerhetsventiler, tryckluftsmunstycken, röranslutningar.

De flesta ljudkällor som finns i maskiner innehåller egenskaper av fler än en elementärkälla.

ANM. Beroende på den slumpmässiga naturen hos turbulens är ljudspektrum bredbandigt. Ett exempel är det turbulenta flödet i blandningszonen från en fri jet, särskilt för Machtal  $Ma > 0.8$ . Definitionen för Machtalet är:

$$Ma = \frac{u}{c} \tag{1}$$

där

$u$  är flödes hastigheten;

$c$  är ljudhastigheten.

Tabell 1 summerar och illustrerar informationen om elementärkällorna.

**Tabell 1 – Egenskaper hos elementära modellkällor**

Källtyp	Schematisk bild	Exempe	Direktivitet i fjärrfältet
Monopol ”Sfär som andas”		Siren, kolvkompressor eller pump, avgasutlopp till explosionsmotor, kavitation, tryckluftsmotor, gasbrännare	
Dipol Oscillerande sfär		Långsamma maskiner (axial- och centrifugalfläktar), hinder i flödet (flödesseparation), ventilations eller luftkonditioneringssystem, kanaler med flöde	
Kvadrupol Två oscillerande sfärer med motsatt fas (två dipolkällor)		Turbulent flöde (blandningszon från en fri jetstråle), tryckluftsmunstycken, ångblåsutrustning, säkerhetsventiler	

**5.1.2 Inverkan av viktiga parametrar**

Ljudeffekten som strålar ut från aerodynamiska ljudkällor (t.ex. de elementära källmodellerna monopole, dipole, quadrupole) kan uppskattas genom (se referens [17]):

$$W = \rho D^2 u^3 \left(\frac{u}{c}\right)^k = \rho D^2 u^3 (Ma)^k \tag{2}$$

where

$\rho$  is the density of the liquid,

$D$  is the characteristic dimension of the elementary source,

$u$  is the flow velocity,

$k$  the exponent of the Mach number, which depends on the type of elementary source.

NOTE 1 The following is typical:

—  $k = 1$  for a monopole source;

—  $k = 3$  for a dipole source;

—  $k = 5$  for a quadrupole source.

NOTE 2 Stüber and Heckl [18] have shown that for a three-dimensional sound field and three-dimensional sound propagation the following relationship applies:

$$k = (n - 3) + (2e - 1) \tag{3}$$

where

$n$  is the dimension of the flow field and

$e$  is the parameter of elementary sources (monopole:  $e = 1$ , dipole:  $e = 2$ , quadrupole:  $e = 3$ ).

Table 2 shows a summary of the influence of flow velocity and flow field dimension on sound power emission.

**Table 2 — Summary of functional relationship between the sound power,  $W$ , flow velocity,  $u$ , and dimension of flow field,  $n$  (see reference [18])**

	Dimension $n$ of flow field		
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
Mass flow fluctuation (monopole)	$W \sim \rho a u^2$	$W \sim \rho u^3$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha} u^4$
Force fluctuation (dipole)	$W \sim \frac{\rho}{\alpha} u^4$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^2} u^5$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^3} u^6$
Turbulence (quadrupole)	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^3} u^6$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^4} u^7$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^5} u^8$

Since the sound power of a fluid-dynamic noise source (in a three-dimensional flow field) increases in proportion to the fourth power for a monopole source, the sixth power for a dipole source and the eighth power for a quadrupole source, a reduction in flow velocity leads to a considerable reduction of the sound energy emitted. For machines with rotors, the demand for lower flow velocities also means that lower rotational speeds, i.e. lower peripheral velocities, are required.

Figure 3 shows how the sound power level of a source varies along with a variation of the flow rate. If a characteristic fluid-mechanical value (e.g. mass flow rate, volume flow rate, mechanical power consumption) is to be conserved, a reduction of flow velocity must be compensated by an increase of the characteristic dimension  $D$ .

där

$\rho$  är fluidets densitet,

$D$  är källans karakteristiska dimension,

$u$  är flödes hastigheten,

$k$  är Machtalets exponent, vilket beror på den elementära källtypen.

ANM 1 Följande är typiskt:

- $k = 1$  för en monopolkälla;
- $k = 3$  för en dipolkälla;
- $k = 5$  för en kvadrupolkälla.

ANM 2 Stüber och Heckl [18] har visat att för ett tredimensionellt ljudfält och tredimensionell ljudutbredning gäller följande samband:

$$k = (n-3) + (2e - 1) \tag{3}$$

där

$n$  är flödesfältets dimension och

$e$  är en parameter som beskriver elementarkällan ( monopole:  $e = 1$ , dipole:  $e = 2$ , kvadrupole  $e = 3$  ).

Tabell 2 visar en summering av inverkan av flödes hastighet och flödesfältets dimension på utstrålning av ljudeffekt.

**Tabell 2 – Summering av fungerande samband mellan ljudeffekt,  $W$ , flödes hastighet,  $u$ , och flödesfältets dimension,  $n$  ( se referens [18] )**

	Dimension $n$ för flödesfältet		
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
Fluktuation av massflödet (monopol)	$W \sim \rho u^2$	$W \sim \rho u^3$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha} u^4$
Kraftfluktuation (dipol)	$W \sim \frac{\rho}{\alpha} u^4$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^2} u^5$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^3} u^6$
Turbulens (kvadrupol)	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^3} u^6$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^4} u^7$	$W \sim \frac{\rho}{\alpha^5} u^8$

Eftersom ljudeffekten för en flödesljudkälla (i ett tredimensionellt flödesfält) ökar i proportion till fjärdepotensen för en monopolkälla, sjättepotensen för en dipolkälla och åttondepotensen för en kvadrupolkälla, leder en minskning av flödes hastigheten till en avsevärd minskning av den avgivna ljudenergin. Kravet på lägre flödes hastigheter för maskiner med rotorerna innebär också att lägre rotations hastigheter, d.v.s. lägre periferihastighet, krävs.

Figur 3 visar hur en källas ljudeffektnivå varierar med variationen av flödet. Om ett karakteristiskt flödesmekaniskt värde ( t.ex. massflödet, volymflödet, mekaniska effektförbrukningen ) skall behållas måste en minskning av flödes hastigheten kompenseras med en ökning av den karakteristiska dimensionen  $D$ .