

Week 5

Convectie nader bekeken

Convectie nader bekeken

- Onderscheid in beschrijvingswijze voor enerzijds geleiding/straling en anderzijds convectie
- Bij convectie wordt warmteoverdrachtscoëfficiënt gedefinieerd voor drie typen overdracht:
 - een externe gedwongen stroming
 - een interne natuurlijke stroming
 - een interne gedwongen stroming
- Vergelijkingen zijn ingewikkeld: CONV
- Om CONV te kunnen toepassen moet je wel een paar "slagen" maken: oefenen, oefenen, oefenen



Convectie nader bekeken (vervolg)

Tabel 4.1

soort stroming	vergelijking die h_c bepaalt	commentaar
externe stroming over oppervlak	$q_s = h_c (T_s - T_e)$	T_e is de temperatuur van het vrijstromende medium
natuurlijke stroming in een omsloten ruimte	$\frac{\dot{Q}}{A} = \bar{h}_c (T_H - T_C)$	T_H en T_C zijn de opp.temp. van resp. hete en koude oppervlak
interne stroming in een kanaal	$q_s = h_c (T_s - T_b)$	T_b is de temperatuur van de bulk

Warmte-overdracht door convectie

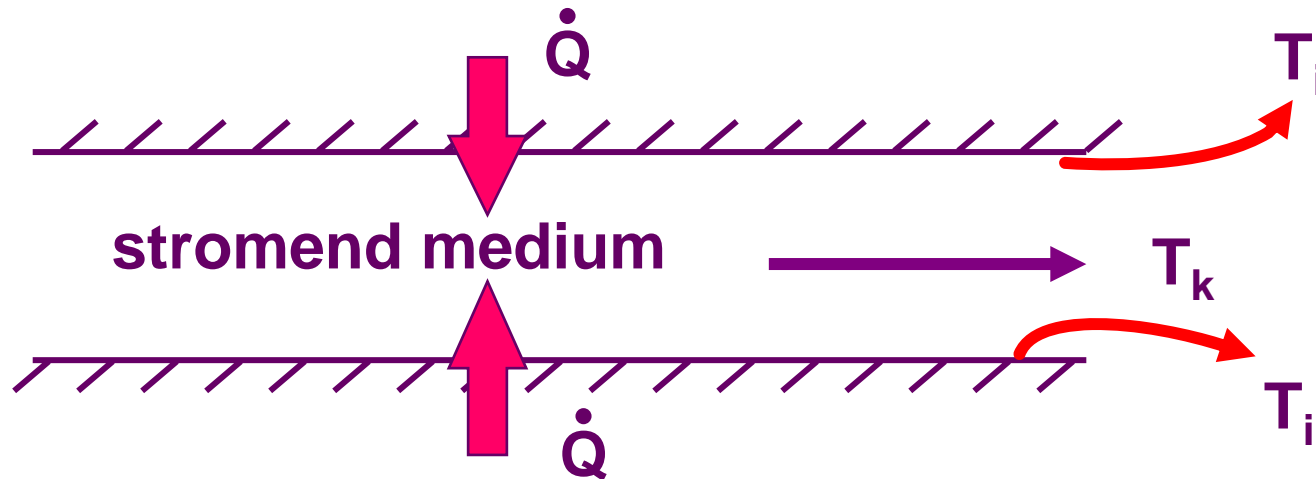
Wet van Newton: $\dot{Q} = h_c \cdot A \cdot (T_i - T_k)$

met: A = binnenoppervlak

T_i = inwendige wandtemperatuur

T_k = kerntemperatuur, temperatuur van het midden van het stromende medium

h_c = warmte-overdrachtscoëfficiënt



Warmte-overdracht door convectie

Grootheden, die van invloed zijn bij convectie:

- snelheid
- dichtheid
- viscositeit
- temperatuur
- warmtegeleidingscoëfficiënt
- soortelijke warmte

Invoeren van kentallen:

•kental van Reynolds: $Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_H}{\eta}$

•geometrisch kental: $\frac{L}{D_H}$

hydraulische
diameter

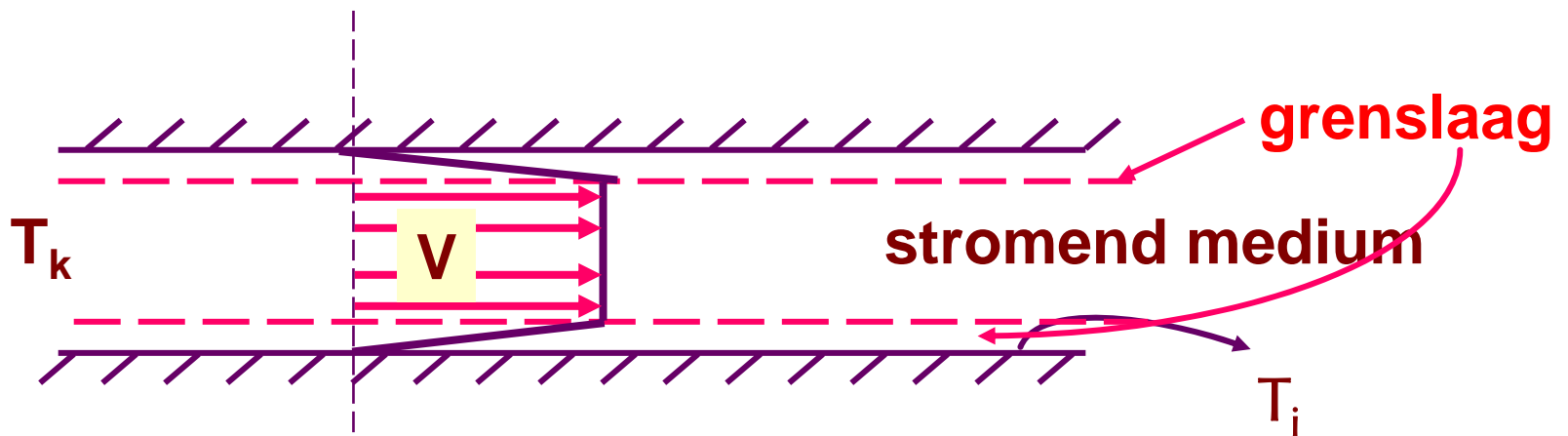
aantal variabelen
teruggebracht
van 5 naar 2

Warmte-overdracht door convection

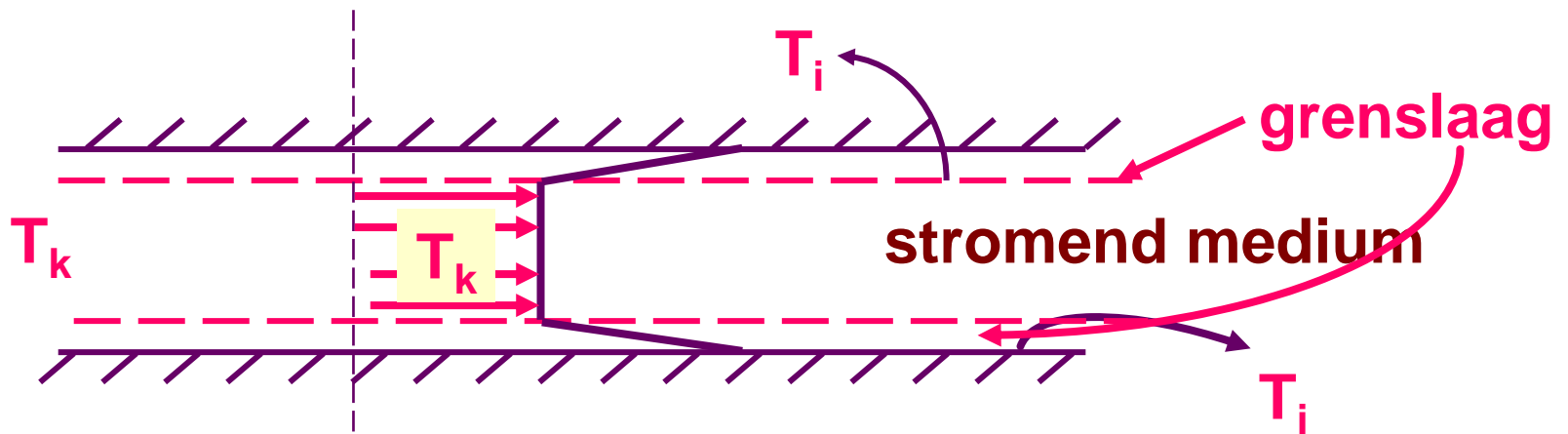
- **Gedwongen convection:** stroming van het medium wordt veroorzaakt door een pomp
- **Vrije convection:** stroming van het medium wordt veroorzaakt door een verandering in de dichtheid van het medium (door warmte). Dit z.g. Thermo-syphon-effect is alleen mogelijk als de invloed van de zwaartekracht aanwezig is (of een andere versnelling, b.v. de centripetale versnelling in een turbineschoep).

Opmerking: aard van stroming ook belangrijk (laminair of turbulent)

Gedwongen convectie bij turbulente stroming

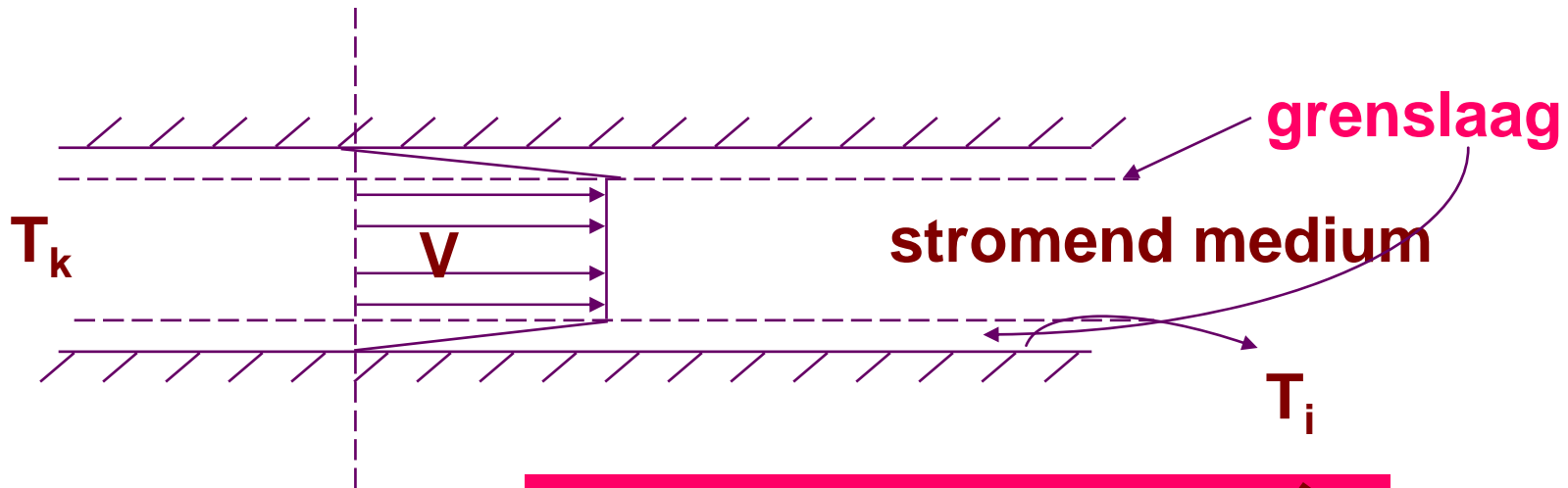


Snelheidsprofiel bij turbulente stroming



Temperatuurprofiel bij turbulente stroming

Eenheden-analyse



$$\dot{Q} = h_c \cdot A \cdot (T_i - T_k)$$

warmtegeleiding:
warmteopslag:

k
 ρc } grenslaag

viscositeit:
dichtheid

η
 ρ } stofstroom

hydraulische diameter: D_H
snelheid: V

$\frac{4 * \text{opp. doorsnede}}{\text{omtr. doorsnede}}$

Eenheden-analyse (vervolg)

h_c	:	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$	=	$[kg^1.m^0.s^{-3}.K^{-1}]$
k	:	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$	=	$[kg^1.m^1.s^{-3}.K^{-1}]$
ρc	:	$[J.m^{-3}.K]$	=	$[kg^1.m^{-1}.s^{-2}.K^{-1}]$
ρ	:	$[kg.m^{-3}]$	=	$[kg^1.m^{-3}]$
D_H	:	$[m]$	=	$[m^1]$
v	:	$[m.s^{-1}]$	=	$[m^1.s^{-1}]$
η	:	$[N.s.m^{-2}]$	=	$[kg^1.m^{-1}.s^{-1}]$
c	:	$[J.kg^{-1}.K^{-1}]$	=	$[m^2.s^{-2}.K^{-1}]$

$$h_c = \mathit{const} \cdot k^a \cdot (\rho c)^b \cdot \rho^c \cdot v^d \cdot D_H^e \cdot \eta^f$$

Eenheden-analyse (vervolg)

h_c	:	$[W.m^{-2}.K^{-1}]$	=	$[kg^1.m^0.s^{-3}.K^{-1}]$
k	:	$[W.m^{-1}.K^{-1}]$	=	$[kg^1.m^1.s^{-3}.K^{-1}]$
ρc	:	$[J.m^{-3}.K]$	=	$[kg^1.m^{-1}.s^{-2}.K^{-1}]$
ρ	:	$[kg.m^{-3}]$	=	$[kg^1.m^{-3}]$
D_H	:	$[m]$	=	$[m^1]$
V	:	$[m.s^{-1}]$	=	$[m^1.s^{-1}]$
η	:	$[N.s^{-1}]$	=	$[kg^1.m^{-1}.s^{-1}]$
c	:	$[J.m^{-2}.K^{-1}]$	=	$[m^2.s^{-2}.K^{-1}]$

$$[kg^1.m^{-1}.s^{-1}]^f$$

$$h_c = \mathbf{const.k^a \cdot (\rho c)^b \cdot \rho^c \cdot V^d \cdot D_H^e \cdot \eta^f}$$

Eenheden-analyse (vervolg)

	h_c		k	ρc	ρ	V	D_H	η
			a	b	c	d	e	f
kg	1		1	1	1			1
m	0		1	-1	-3	1	1	-1
s	-3		-3	-2		-1		-1
K	-1		-1	-1				

$$\begin{aligned}
 1 &= a + b + c + f \\
 0 &= a - b - 3c + d + e - f \\
 -3 &= 3a - 2b - d - f \\
 -1 &= -a - b
 \end{aligned}$$

4 vergelijkingen met 6 variabelen: 2 vrij te kiezen, bv. b en d

$$a = 1 - b$$

$$f = b - d$$

$$c = -b + d$$

$$e = -1 + d$$

Eenheden-analyse (vervolg)

$$h_c = \text{const} \cdot \left(\frac{k}{D_H} \right) \cdot \left(\frac{\rho c \eta}{k \rho} \right)^b \cdot \left(\frac{\rho V D_H}{\eta} \right)^d$$

of:

$$\frac{h_c \cdot D_H}{k} = \text{const} \cdot \left(\frac{\rho c \eta}{k \rho} \right)^b \cdot \left(\frac{\rho V D_H}{\eta} \right)^d$$

of:

$$Nu = \text{const} \cdot (Pr)^b \cdot (Re)^d$$

Nu: kental van *Nusselt*
Pr : kental van *Prandtl*
Re: kental van *Reynolds*

Experiment:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

n = 0,4 bij opwarmen

n = 0,3 bij afkoelen medium

Overzicht kentallen bij convectie

Kental van Nusselt:
$$Nu = \frac{h_c \cdot D_H}{k}$$

h_c = warmteoverdrachtscoefficient [W.m⁻².K⁻¹]

D_H = karakteristieke afmeting [m]

D_H = $4S/O$

met S = oppervlak en O = omtrek

D_H (pijp) = diameter pijp

D_H (plaat) = plaatlengte

k = warmtegeleidingscoefficient [W.m⁻¹.K⁻¹]

Warmteoverdracht t.o.v. geleiding:

Nu geeft de kwaliteit van de warmteoverdracht aan van de binnenwand naar stromend medium

Overzicht kentallen bij convectie (vervolg)

Kental van Prandtl:

$$Pr = \frac{\eta \cdot c}{k} = \frac{\nu}{a}$$

ν	= impulsvereffeningscoefficient (= kinematische viscositeit)	$[m^2 \cdot s^{-1}]$
a	= temperatuurvereffeningscoefficient	$[m^2 \cdot s^{-1}]$

Pr bevat de materiaaleigenschappen van het medium.

Voor gassen is Pr onafhankelijk van de druk en temperatuur en heeft voor 2-atomige gassen de waarde $Pr = 0,7$.

Voor meer-atomige gassen geldt: $0,7 < Pr < 1$.

Overzicht kentallen bij convectie (vervolg)

Kental van Reynolds:

Re karakteriseert het soort stroming (turbulent, laminair)

$$\left. \begin{aligned} Re &= \frac{E_k}{\tau} \\ \tau &= \frac{\bar{V} \cdot \eta}{D_H} \\ E_k &= \rho \cdot V^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow Re = \frac{\rho \cdot \bar{V}^2 \cdot D_H}{\bar{V} \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \bar{V} \cdot D_H}{\eta}$$

ρ	= dichtheid medium	[kg.m ⁻³]
V	= snelheid	[m.s ⁻¹]
D_H	= hydraulische diameter	[m]
η	= dynamische viscositeit	[N.s.m ⁻²]

Example 4.2: Turbulente stroming in lucht

Lucht stroomt met $0,11 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ door een 1 cm breed kanaal van een warmtewisselaar, de hoogte is 0,5 m.

Het kanaal is 0,8 m lang en de wandtemperatuur is 600 K.

Bepaal de warmte-overdrachts- coëfficiënt als de druk van de lucht 100 kPa is, de gemiddelde temperatuur van in- en uitlaatlucht op 400 K wordt geschat en de inlaat een hoek van 90° bezit.

Luchtstroming tussen parallele platen

Stroming is turbulent: vgl.^{en} (4.42) en (4.45)

Voer eventueel een correctie uit m.b.v. tabel 4.4

Bepaal warmteoverdrachtscoëfficiënt

Probeer dit ook met het computerprogramma CONV