



**LANDSKAPSARKITEKTUR**  
**TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP**

Rapportserie



# Att räkna på vatten

– en formelsamling för landskapsingenjörer

**Jesper Persson, Kent Fridell, Eva-Lou Gustafsson  
och Jan-Eric Englund**

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2014:17**

Alnarp 2014

## **Att räkna på vatten – en formelsamling för landskapsingenjörer**

*Jesper Persson, Kent Fridell, Eva-Lou Gustafsson och Jan-Eric Englund*

Jesper.persson@slu.se

**Utgivningsort: Alnarp**

**Utgivningsår 2014**

**Omslagsbild: River Avon i Bath, England. Foto Jesper Persson**

**ISBN: 978-91-87117-78-7**

**Elektronisk publicering:** <http://epsilon.slu.se>

**Bibliografisk referens:** Persson, J., Fridell, K., Gustafsson, E.-L. och Englund, J.-E. (2014). Att räkna på vatten – en formelsamling för landskapsingenjörer (Rapport 2014:17). Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet.

**Nyckelord:** formelsamling, vattenbyggnad, landskap, landskapsingenjör, hydrologi, hydraulik

**Sveriges lantbruksuniversitet**  
**Swedish University of Agricultural Sciences**

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning



**LANDSKAPSARKITEKTUR**  
**TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP**  
Rapportserie

# Att räkna på vatten

– en formelsamling för landskapsingenjörer

**Jesper Persson, Kent Fridell, Eva-Lou Gustafsson  
och Jan-Eric Englund**

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2014:17**  
Alnarp 2014



# Förord

Grunden för denna formelsamling har hämtats från Torsten Hörndahls *Formel- och tabellsamling i Lantbruksteknologi*. Vad vi har gjort är att redigera om Hörndahls publikation för att få den att bättre passa kurser på landskapsingenjörsprogrammet. Framför allt har moment kopplat till vattenbyggnad lagts in, medan avsnitt om ellära och materialegenskaper tagits bort.

Formelsamlingen syftar till att underlätta för studenterna att arbeta med kvantitativa problem, genom att erbjuda en relativt enhetlig, samlad och tydlig skrift. Men arbetet syftar även till att i möjligaste mån harmonisera beteckningar och definitioner i utbildningen.

I redigeringsarbetet har följande lärare vid SLU medverkat: Jesper Persson, Kent Fridell, Eva-Lou Gustafsson och Jan-Eric Englund.

Alnarp augusti 2014

Jesper Persson

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. ENHETER.....	4
Grekiska alfabetet .....	4
Några symboler.....	5
Vanliga enheter .....	5
2. MATEMATIK.....	7
Räknelagar (Algebra).....	7
Potenser.....	7
Logaritmer.....	8
Geometri .....	8
Trigonometri .....	11
Area- och volymformler.....	11
Lutningar.....	12
Läges och spridningsmått.....	13
Test.....	13
Linjär regression .....	14
Korrelation .....	14
Sannolikhet .....	14
3. FYSIK.....	15
Newtons lagar .....	15
Densitet .....	16
Kraftekvationen (Newtons andra lag).....	16
Momentekvationen.....	16
Arbete.....	17
Effekt.....	17
4. MARK.....	18
Principskiss av ett markblock uppdelat i tre faser.....	18
Mullhalt när man blandar organiskt material i jord .....	20
5. AVDUNSTNING .....	21
Ångtryck .....	21
Fuktighet .....	21
Bestämning av evaporation.....	23
Bestämning av potentiell evapotranspiration.....	23
Evapotranspiration (avdunstning).....	24
Beräkningsmodell för ett träd's dagliga vattenbehov.....	24
6. HYDROLOGI.....	25
Vattenbalans.....	25
Darcys lag .....	25
Porositet och effektiv porositet .....	26
Infiltration och effektiv infiltration .....	27

Mannings formel.....	33
7. <i>FLÖDESMÄTNING</i> .....	35
Volym-tidmetoden.....	35
Ytflottörmetoden.....	35
Rektangulärtskibord med sidokontraktion.....	36
Rektangulärtskibord utan sidokontraktion.....	38
V-format skibord.....	39
8. <i>HYDRAULIK</i> .....	40
Flöde.....	40
Hydraulisk belastning.....	40
Upphållstid.....	41
Effektiv volymkvot.....	41
Hydraulisk effektivitet.....	42
Avskiljning.....	42
Energiekvationen (Bernoullis ekvation).....	43
Tryck.....	44
Viskositet.....	44
Reynolds tal.....	45
Allmänna friktionsformeln.....	45
Sandråhet.....	46
Colebrooks diagram.....	46
Superkritisk och subkritisk strömning.....	47

# 1. ENHETER

## Grekiska alfabetet

	Svenskt namn	Engelskt namn
A α	alfa	alpha
B β	beta	beta
Γ γ	gamma	gamma
Δ δ	delta	delta
E ε	epsilon	epsilon
Z ζ	zeta	zeta
H η	eta	eta
Θ θ	teta	theta
I ι	jota	iota
K κ	kappa	kappa
Λ λ	lambda	lambda
M μ	my	my
N ν	ny	nu
Ξ ξ	xi	xi
O ο	omikron	omicron
Π π	pi	pi
P ρ	rå	rho
Σ σ	sigma	sigma
T τ	tau	tau
Υ υ	ypsilon	upsilon
Φ φ	fi	phi
X χ	chi	chi
Ψ ψ	psi	psi
Ω ω	omega	omega



## Några symboler

$\approx$	är ungefär (approximativt) lika med
$\neq$	är inte lika med (är skilt från)
$>$	är större än
$<$	är mindre än
$\geq$	är större eller lika med
$\leq$	är mindre än eller lika med
$\Rightarrow$	(implikationspil) medför att
$\Leftrightarrow$	(ekvivalenspil) är likvärdigt med

$|a|$  betyder absoluta beloppet av a, d.v.s. att a alltid är  $\geq 0$

t.ex. betyder det att  $|-2| = 2$  och att  $|2| = 2$

Fakulteten för n skrivs (n!)

t.ex.  $4! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 = 24$

## Vanliga enheter

### Exempel på härledda enheter:

Storhet	Härledd enhet
Area	kvadratmeter [ $\text{m}^2$ ]
Volym	kubikmeter [ $\text{m}^3$ ]
Hastighet	meter per sekund [ $\text{m/s}$ ]
Densitet	kilogram per kubikmeter [ $\text{kg/m}^3$ ]

### Exempel på härledda enheter med eget namn:

Storhet	Namn	Härledning
Frekvens	hertz [Hz]	$\text{s}^{-1}$
Kraft	newton [N]	$\text{kg m s}^{-2}$
Tryck	pascal [Pa]	$\text{N m}^{-2}$
Energi	joule [J]	$\text{N m}$
Effekt	watt [W]	$\text{J s}^{-1}$

## Multipelenheter

Ett prefix kombinerat med en enhet anger att enheten multipliceras med en faktor motsvarande en viss tiopotens. Den nya enheten kallas en multipelenhet.

Faktor	Prefix	Symbol
$10^{12}$	Tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	kilo	k
$10^2$	hekto	h
$10^1$	deka	da

Faktor	Prefix	Symbol
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	milli	m
$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p

# 2. MATEMATIK

## Räknelagar (Algebra)

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{a \cdot c}{b \cdot d}$$

$$\frac{\frac{a}{b}}{\frac{c}{d}} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$$

$$a + b = b + a$$

$$a \cdot b = b \cdot a$$

$$(a + b) + c = a + (b + c)$$

$$(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$$

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

## Andragradsekvation

Om rötterna till ekvationen  $x^2 + px + q = 0$  är  $x_1$  och  $x_2$  så är

$$x_1 = -\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} - q} \quad \text{och} \quad x_2 = -\frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

## Potenser

Uttrycket  $4^5$  kallas för en potens med basen 4 och exponenten 5.

Ex: $4^5 = 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4$	$4^{-1} = \frac{1}{4}$
$4^4 = 4 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 4$	$4^{-2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4}$
$4^3 = 4 \cdot 4 \cdot 4$	$4^{-3} = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4}$
$4^2 = 4 \cdot 4$	
$4^1 = 4$	
$4^0 = 1$	

$$a^0 = 1$$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}$$

$$a^n \cdot a^m = a^{n+m}$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n}$$

$$(a^m)^n = a^{m \cdot n}$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)^n = \left(\frac{a^n}{b^n}\right)$$

$$(a \cdot b)^n = a^n \cdot b^n$$

## Logaritmer

$a$  och  $y > 0$ ,  $a \neq 1$

$$y = 10^x \Leftrightarrow x = {}^{10}\log y = \lg y$$

$$y = a^x \Leftrightarrow {}^a\log y$$

$a = e$  ger

$$y = e^x \Leftrightarrow x = \ln y$$

## Geometri

$a$   
**Rektangel**  
Sidorna,  $a$  och  $b$      $b$

$A = \text{area}$      $Bb$

$$A = a \cdot b$$

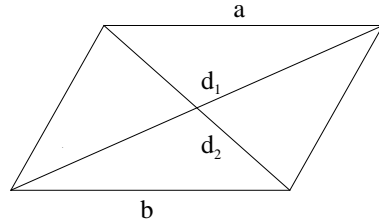


## Parallelogram

Sidorna,  $a$  och  $b$

Diagonalerna,  $d_1$  och  $d_2$

$$d_1^2 + d_2^2 = 2a^2 + 2b^2$$



## Parallelltrapetset

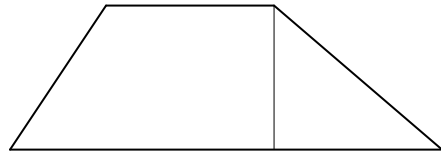
$b$

Parallella sidorna,  $a$  och  $b$

$h$  = höjd

$A$  = area  $h$

$$A = h \frac{(a+b)}{2} \quad a$$



## Cirkeln

$$O = 2 \pi r$$

$$A = \pi r^2$$

$$A_s = \frac{b \cdot r}{2} = \frac{\varphi}{360} \cdot \pi \cdot r^2$$

$$b = \frac{\varphi}{360} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$$

$O$  = omkrets

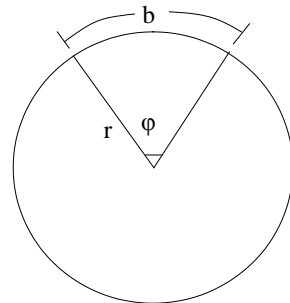
$A$  = area

$A_s$  = sektorns area

$r$  = radie

$\varphi$  = medelpunktsvinkel [grader]

$b$  = båglängd



## Cirkelsegmentets yta

$$s = 2\sqrt{h(2r - h)}$$

$$b = \frac{r \cdot \varphi \cdot \pi}{180} = 0,017453 \cdot r \cdot \varphi$$

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{s}{2 \cdot r}$$

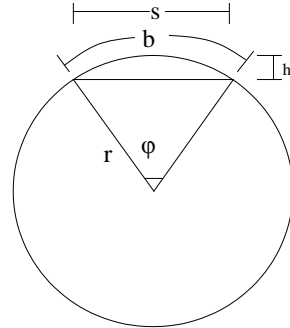
$$A_{seg} = \frac{r(b - s) + s \cdot h}{2} = \frac{r^2}{2} \left( \frac{\varphi \pi}{180} - \sin \varphi \right)$$

$s$  = kordans längd

$\varphi$  = bågvinkel

$b$  = båglängd

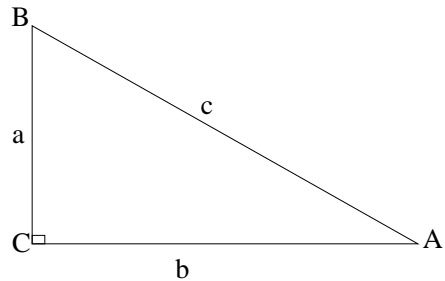
$A_{seg}$  = segmentets area



## Rätvinklig triangel

Sidorna, a, b och c

$$\text{Arean } A = \frac{a \cdot b}{2}$$



## Pythagoras' sats

$$c^2 = a^2 + b^2$$

## Trigonometri

De mot respektive  $a$ ,  $b$ ,  $c$  stående vinklarna =  $A$ ,  $B$ ,  $C$

$$\sin A = \frac{a}{c} = \frac{1}{\cos A}$$

$$\cos A = \frac{b}{c} = \frac{1}{\sin A}$$

$$\tan A = \frac{a}{b} = \frac{\sin A}{\cos A}$$

$$\cot A = \frac{b}{a}$$

$$A = \arccos \frac{b}{c}$$

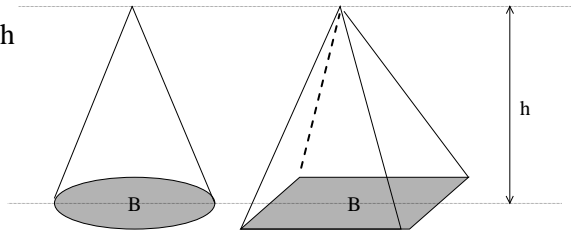
$$\text{Sinussatsen: } \frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C};$$

$$\text{Cosinussatsen: } a^2 = b^2 + c^2 - 2 \cdot b \cdot c \cdot \cos A;$$

## Area- och volymformler

Pyramid med bottenarean ( $B$ ), höjden ( $h$ ) och volymen ( $V$ )

$$V = \frac{B \cdot h}{3}$$



Rak cirkulär kon med basradie ( $r$ ), höjd ( $h$ ), sida ( $s$ ), mantelarea ( $M$ ) och volym ( $V$ )

$$M = \pi \cdot r \cdot s$$

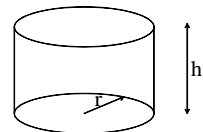
$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Rak cirkulär cylinder med:

basradie ( $r$ ), höjd ( $h$ ), mantelarea ( $M$ ) och volym ( $V$ )

$$M = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

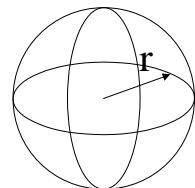
$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$



Klot med radie ( $r$ ), area ( $A$ ) och volym ( $V$ )

$$M = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$



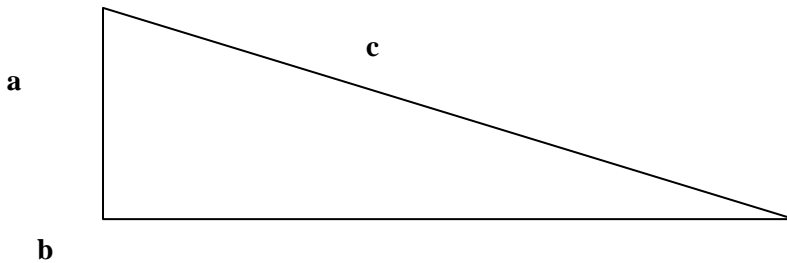
## Lutningar

För att beräkna lutningen i % för en rätvinklig triangel används uttrycket:

$$\text{Lutningen} = 100 a / b \text{ [\%]}$$

$a$  = höjdskillnad

$b$  = längd



För att beräkna lutningen i promille används uttrycket:

$$\text{Lutningen} = 1000 a / b \text{ [‰]}$$

$a$  = höjdskillnad

$b$  = längd

För att beräkna lutningen i 1:n gäller:

$$n = b / a$$

$a$  = höjdskillnad

$b$  = längd



## Läges och spridningsmått

**Aritmetiskt medelvärde**  $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$

**Median** Det mellersta värdet för en talserie med udda antal värden, medelvärdet av de två mellersta värdena för en talserie med jämnt antal värden

**Varians**  $s^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{(\sum x^2) - n \cdot \bar{x}^2}{n - 1}$

**Standardavvikelse**  $s = \sqrt{s^2}$

**Variationskoefficient**  $V = \frac{s}{\bar{x}}$  (relativa standardavvikelsen)

**Standard error (of the mean)**  $\frac{s}{\sqrt{n}}$  (medelfel)

## Test

**Test vid en normalfördelad population**  $t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$

**Test vid normalfördelade populationer**  $t = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{s \sqrt{\frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B}}}$ ,

där  $s^2 = \frac{(n_A - 1)s_A^2 + (n_B - 1)s_B^2}{n_A + n_B - 2}$

## Linjär regression

Ur ett datamaterial med parvis mätningar så ges den bästa linjen av

$$y = k \cdot x + a \text{ där}$$

$$k = \frac{(\sum xy) - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{(n-1)s_x^2},$$

$$a = \bar{y} - k \cdot \bar{x}.$$

## Korrelation

$$\text{Korrelationskoefficient } r = \frac{(\sum xy) - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{(n-1)s_x s_y}.$$

## Sannolikhet

Sannolikheten (p) att en händelse *skall* inträffa, som har en återkomsttid på 100 år, är 1/100, d.v.s. p = 0,01 eller 1 %.

Sannolikheten att denna händelse *inte skall* inträffa är (1-p), d.v.s. 99 % i det fall återkomsttiden är 100 år.

Sannolikheten att en händelse *inte skall* inträffa under nästa n åren är:

$$(1-p)^n$$

Sannolikheten att händelsen *skall* inträffa under de närmaste åren är då:

$$1 - (1-p)^n$$

# 3. FYSIK

Beteckningar, storheter och måttenheter

$m$ = massa	[kg]
$V$ = volym	[m <sup>3</sup> ]
$\rho$ = densitet	[kg/m <sup>3</sup> ]
$s$ = sträcka eller avstånd	[m]
$v$ = hastighet	[m/s]
$t$ = tid	[s]
$r$ = radie eller hävarm	[m]
$n$ = varvtal	[s <sup>-1</sup> ]
$a$ = acceleration	[m/s <sup>2</sup> ]
$g$ = acceleration vid fritt fall	[m/s <sup>2</sup> ]
$F$ = kraft	[N = kg·m/ s <sup>2</sup> ]
$W$ = arbete eller energi	[J = Nm]
$M$ = moment	[Nm]
$J$ = tröghetsmoment	[kgm <sup>2</sup> ]
$I$ = impuls	[Ns]
$P$ = effekt	[W = Nm/s]

## Newtons lagar

- I. Varje kropp förblir i sitt tillstånd i vila eller likformig rätlinjig rörelse så länge den inte av yttre krafter tvingas ändra det. Tröghetslagen.
- II. Accelerationen för en partikel är proportionell mot den resulterande kraften och har samma riktning som denna.  
Kraftlagen  $F = m \cdot a$
- III. Kraftverkningarna mellan två kroppar är alltid lika och motriktade. Lagen om verkan och motverkan.

IV. Gravitationslagen  $F = K \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{s^2}$   $K = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 / \text{kg}^2$

## Densitet

$$\rho = \frac{m}{V}$$

## Kraftekvationen (Newtons andra lag)

$$F = m \cdot a$$

$F$  = kraft [N]

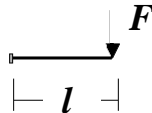
$m$  = massa [kg]

$a$  = acceleration [ $\text{m/s}^2$ ]

Specialfall: Omvandling av massa [kg] till vertikal kraft  $F = mg$ , där  $g$  är tyngdacceleration, som ligger kring  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

## Moment

$$M = F \cdot l$$



$M$  = moment [Nm]

$F$  = kraft [N]

$l$  = momentarm [m]

## Momentekvationen

Vid jämvikt (kroppen rör sig inte) gäller:

$$\sum Fl = \sum M = 0$$

## Arbete

$$W = F_s \cdot S$$

$W$  = arbete [Nm eller Joule]

$F_s$  = kraftkomponenten i förflytningens riktning [N]

$S$  = sträcka [m]

## Effekt

$$P = \frac{W}{t} = F_s v$$

$P$  = effekt [W]

$W$  = arbete [Nm eller Joule]

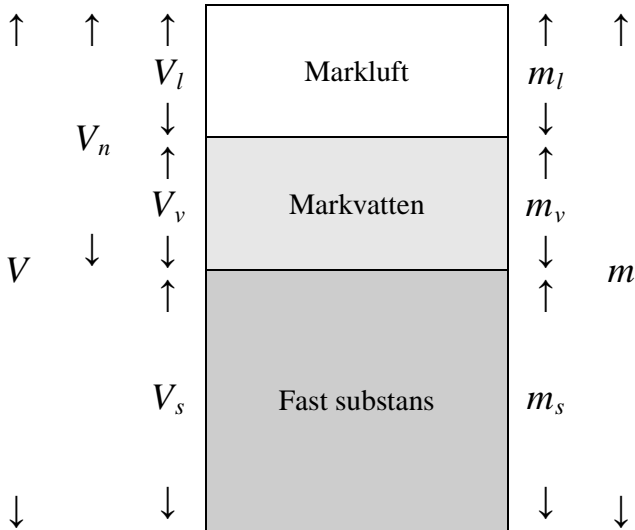
$t$  = tid [s]

$F_s$  = kraftkomponenten i förflytningens riktning [N]

$v$  = hastighet [m/s]

# 4. MARK

## Principskiss av ett markblock uppdelat i tre faser



$V$  = skrymvolym, totalvolym

$V_n$  = porvolym

$V_s$  = kompaktvolym, materialvolym

$V_v$  = vattenvolym

$V_l$  = luftvolym

$m$  = total massa

$m_s$  = massa torr jord

$m_v$  = massa vatten (vikt  $1\text{ g/cm}^3$ )

$m_l$  = massa luft ( $\sim 0$ )

$\rho_s$  = kompaktdensitet

$\rho_v$  = vattnets densitet ( $1\text{ g/cm}^3$ )

$\rho_l$  = luftens densitet ( $\sim 0$ )

$1\text{ ml} = 1\text{ cm}^3$

$1\text{ liter} = 1\text{ dm}^3$

$1000\text{ liter} = 1\text{ m}^3$

### Anmärkning

Suffixet (*s*) kommer från engelskans solid

Suffixet (*t*) står för torr

Suffixet (*h*) står för höjd

Suffixet (*t*) står för tension

Suffixet (*d*) står för diameter

Suffixet (*v*) står för vatten

Suffixet (*l*) står för luft

### Kompaktdensitet

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad [\text{g/cm}^3, \text{kg/dm}^3, \text{ton/m}^3]$$

### Skrymdensitet

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_v}{V} \quad [\text{g/cm}^3, \text{kg/dm}^3, \text{ton/m}^3]$$

### Torr skrymdensitet

$$\rho_t = \frac{m_s}{V} \quad [\text{g/cm}^3, \text{kg/dm}^3, \text{ton/m}^3]$$

### Porositet

$$n = 100 \frac{V_n}{V} = 100 \left(1 - \frac{\rho_t}{\rho_s}\right) \quad [\%]$$

### Vattenhalt

I procent med torrt material som bas (Anm: Vattenhalt i vikt-% baseras på jordens torra vikt och kan vara >100%)

$$w_1 = 100 \frac{m_v}{m_s} = \theta_1 \quad [\text{vikt-\%}]$$

I procent med volym som bas

$$w_2 = 100 \frac{V_v}{V} = 100 \frac{m_v}{V} = \rho_t w_1 = \theta_2 \quad [\text{volym-\%}]$$

I procent med fuktigt material som bas (Anm:  $w_3$  inte kan användas vid beräkning av volymprocent)

$$w_3 = 100 \frac{m_v}{m_v + m_s} = \theta_3 \quad [\text{vikt-\%}]$$

**Sambandet mellan vattenbindande tryck ( $h_r$ ) och diameter på ekvivalentpor ( $d_v$ )**

$$h_r = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{d_v} [\text{m}] \text{ eller } h_r = \frac{0,3}{d_v} [\text{cm}]$$

### **Mullhalt när man blandar organiskt material i jord**

Saknas värden på torr skrymdensitet kan man anta att organiskt material har en torr skrymdensitet som är 5-10 % av mineraljordens torra skrymdensitet.

$$100 \frac{m_{\text{torv}}}{m_{\text{jord}}}$$



# 5. AVDUNSTNING

## Ångtryck

Tryck mäts i kraft per ytenhet och har enheten Pa [N/m<sup>2</sup>], där 1 bar = 1000 mbar = 100 000 Pa = 1000 hPa. Atmosfären är en blandning av olika gaser varav vatten/ånga är en av dessa. Summan av alla partiella gaser utgör det totala lufttrycket som vid havsnivån är 1013 mbar.

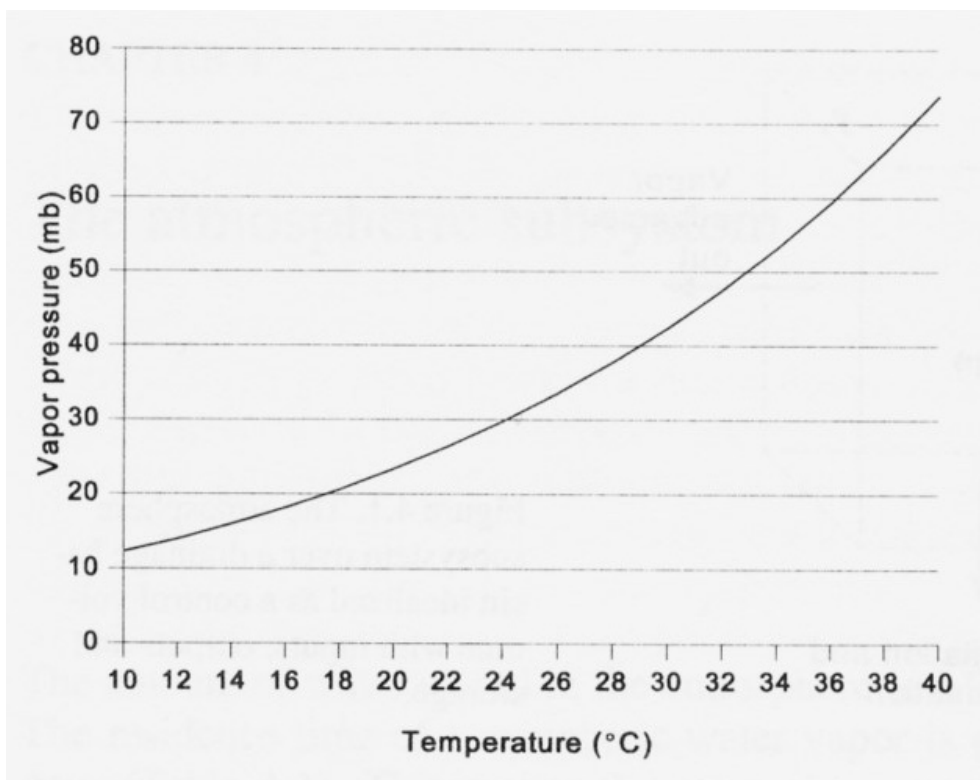
## Fuktighet

Relativ fuktighet ( $f$ ) uttrycks i [%] och definieras som:

$$f = \frac{e_a}{e_s} 100$$

$e_s$  = mättnadsångtryck [mbar]

$e_a$  = aktuellt ångtryck [mbar]



Mättnadsångtryck som en funktion av temperatur.

Anm: Oftast används följande termer

$E$  = evaporation

$ET_p$  = potentiell evapotranspiration

$ET_a$  = aktuell evapotranspiration

## Bestämning av evaporation

### Mass-transport metoden

$$E = 0,122 u_4 (e_s - e_a)$$

$E$  = evaporation [mm/dygn]

$u_4$  = vindhastighet, mätt på 4m höjd [m/s]

$e_s$  = mättnadsångtryck [mbar]

$e_a$  = aktuellt ångtryck [mbar]

## Bestämning av potentiell evapotranspiration

### Thornthwaites metod

$$ET_p^* = 1,6 \left( \frac{10T_a}{I} \right)^a$$

$ET_p^*$  = ojusterad potentiell evapotranspiration (cm/månad)

$T_a$  = medelmånadstemperatur

$I$  = årlig värmeindex, och beräknas enligt:

$$I = \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_{ai}}{5} \right)^{1,5}, \text{ då } T_{ai} > 0^{\circ} C$$

$$a = 0,49 + 0,0179I - 0,000077I^2 + 0,000000675I^3$$

$$ET_p = \text{korrektionsfaktor (ur tabell)} \cdot ET_p^*$$

Factors for correcting unadjusted potential evapotranspiration by the Thornthwaite method (source: Dunne & Leopold 1978, used by permission).

Lat.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
60°N	0.54	0.67	0.97	1.19	1.33	1.56	1.55	1.33	1.07	0.84	0.58	0.48
50	0.71	0.84	0.98	1.14	1.28	1.36	1.33	1.21	1.06	0.90	0.76	0.68
40	0.80	0.89	0.99	1.10	1.20	1.25	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78
30	0.87	0.93	1.00	1.07	1.14	1.17	1.16	1.11	1.03	0.96	0.89	0.85
20	0.92	0.96	1.00	1.05	1.09	1.11	1.10	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91
10	0.97	0.98	1.00	1.03	1.05	1.06	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
10	1.05	1.04	1.02	0.99	0.97	0.96	0.97	0.98	1.00	1.03	1.05	1.06
20	1.10	1.07	1.02	0.98	0.93	0.91	0.92	0.96	1.00	1.05	1.09	1.11
30	1.16	1.11	1.03	0.96	0.89	0.85	0.87	0.93	1.00	1.07	1.14	1.17
40	1.23	1.15	1.04	0.93	0.83	0.78	0.80	0.89	0.99	1.10	1.20	1.25
50°S	1.33	1.19	1.05	0.89	0.75	0.68	0.70	0.82	0.97	1.13	1.27	1.36

## Evapotranspiration (avdunstning)

Evapotranspirationen ( $ET$ ) består av evaporation ( $E$ ) och transpiration ( $T$ ). Under vegetationsperioden är evapotranspirationen i medeltal 3 mm/dygn i hela Sverige. Den aktuella evapotranspirationen kan däremot variera mellan 0-10 mm per dygn.

## Beräkningsmodell för ett träds dagliga vattenbehov

(enligt Lindsey & Bassuk)

$$Vattenbehov = KP \cdot LAI \cdot ET_p \cdot 0,2$$

$KP$  = kronans projektion

$LAI$  = leaf area index, i de flesta fall 4 (bladens yta är 4 gånger större än kronans projektion)

$ET_p$  = potentiell avdunstning i medeltal (max i juni, ca 4 mm/dygn i västra och ca 5 mm/dygn i östra Sverige). Faktorn 0,2 används för att få fram den verkliga vattenförbrukningen (trädet avdunstar endast ca 20 % av  $ET_p$ ).

# 6. HYDROLOGI

## Vattenbalans

En vattenbalans ekvation betecknar en massbalans och kan för en sjö bestå av:

$$P + Q_{in} + Q_{grundin} = E + Q_{ut} + M$$

$P$  = nederbörd [ $m^3/månad$ ]

$Q_{in}$  = ingående ytvatten [ $m^3/månad$ ]

$Q_{grundin}$  = ingående grundvatten [ $m^3/månad$ ]

$E$  = evaporation [ $m^3/månad$ ]

$Q_{ut}$  = utgående ytvatten [ $m^3/månad$ ]

$M$  = magasinerat vatten [ $m^3/månad$ ]

## Darcys lag

Darcys lag säger att strömningen mellan två punkter i marken är proportionell mot den totala potentialskillnaden mellan punkterna (drivande kraften). Formeln kan skrivas på olika sätt beroende på vilka parametrar som är kända samt vad som önskas få svar på.

$$v = K_s \cdot \frac{\Delta h}{\Delta x}$$

$$Q = K_s \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{\Delta x}$$

$$K_s = \frac{V \cdot \Delta x}{A \cdot t \cdot \Delta h}$$

$$V = \frac{Q}{A} = K_s \cdot S$$

Där:

$v$	=	Darcys hastighet	[mm/h, m/s]
$V$	=	genomrunnen vattenvolym under mättiden	[ $cm^3$ , $m^3$ ]
$Q$	=	volymflöde/enhet tid	[ $cm^3/s$ , $m^3/s$ , $m^3/(s \cdot m^2) = m$ ]
$t$	=	mättid	[s, h]
$K_s$	=	jordens mättade hydrauliska konduktivitet	[cm/s, m/s]
$A$	=	jordpelarens tvärsnittsarea vinkelrätt mot flödet	[ $cm^2$ , $m^2$ ]
$h$	=	vattnets totala potential	[cm, m]
$S$	=	energilinjens lutning, d.v.s. friktionsförlusten ( $h_f$ ) dividerat med avståndet ( $L$ )	
$\Delta h$	=	$h_1 - h_2$ potentialförlust eller förlusthöjd	[cm, m]
$h_1$	=	vattnets totala potential vid mätsträckans början	[cm, m]
$h_2$	=	vattnets totala potential vid mätsträckans slut	[cm, m]
$\Delta x$	=	$x_1 - x_2 =$ höjd förändring, den sträcka genom jordmaterialet	[cm, m]

längs vilken vattnet strömmar och mätning genomförs =  
mätsträckan

$x_1$  = vattnets höjd vid mätsträckans början [cm, m]

$x_2$  = vattnets höjd vid mätsträckans slut [cm, m]

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = \text{potentialgradient} = \text{hydraulisk gradient (dimensionslös)}$$

Om flödesmängden/enhet tid och arean är känd kan Darcys hastigheten räknas fram.

$$v = \frac{Q}{A} = \text{Darcys hastighet [cm/s, m/s]}$$

Om genomrunnen vattenvolym för en tid är känd kan flödesmängden/enhet tid framräknas.

$$Q = \frac{V}{t} = \text{volymflöde av vatten [cm}^3/\text{s, m}^3/\text{s]}$$

Det som styr och bestämmer hur stor vattenhastigheten kommer att bli, beror främst på de två drivande krafterna gravitations- och tryckpotential samt friktionskraften som uppstår vid strömning. Friktionskraften som uppkommer vid strömning har ett proportionellt samband med hastigheten. Ju högre hastighet (större drivande krafter) ju större friktionskraft.

## Infiltration

### Porositet och effektiv porositet

$$\text{Infiltrationsdjup} = \frac{P}{n_e - \theta}$$

$P$  = nederbördsdjup [mm]

$n$  = porositet [%]

$n_e$  = effektiv porositet. Andelen av ett materials totala volym som medverkar i vattenströmning [%]

$\theta$  = volymetrisk vattenhalt [%]

## Infiltration och effektiv infiltration

$$v_e = \frac{f}{n_e - \theta}$$

$f$  = infiltrationshastighet [mm/h] ( $q$  = volymflödestäthet, specifikt flöde)

$v_e$  = effektiv infiltrationshastighet [mm/h] (vattenflödes hastighet)

$n$  = porositet [%]

$n_e$  = effektiv porositet [%]

$\theta$  = volymetrisk vattenhalt [%]

## Rationella metoden

$$Q_{dim} = \varphi \cdot i \cdot A \cdot f_c$$

Där:

$Q_{dim}$  = dimensionerande maximalt toppflöde i [l/s]

$\varphi$  = avrinningskoefficient. Varierar beroende på markanvändning, se Svenskt Vattens publikation P90 [-]

$\varphi_s$  = sammanvägd avrinningskoefficient för olika typer av ytor inom avrinningsområdet

$i$  = regnintensitet i [l/s ha] vid visst  $t_r$ , enligt Svenskt Vattens publikation P104 (se tabell 8,3 och 8,4 nedan)

$A$  = area [ha]

$f_c$  = klimatfaktor [1,05 - 1,3]

$\varphi \cdot A = A_{red}$  = reducerad area [ha]

Följande krävs för att formeln ska ge ett relevant svar:

- Likartad avrinningskoefficient
- Rektangulärt område
- Under 30 ha
- Likartat fall

**Tabell 8.3** Regnintensiteter (l/s,ha) för olika blockregnsvaraktigheter (5–120 min) och återkomsttider (0,5 till 100 år) enl. Dahlström (2010)

Återkomst- tid, år	Blockregnsvaraktigheter, min									
	5	10	15	20	30	40	50	60	90	120
0,5	116,8	85,2	67,8	56,9	43,9	36,3	31,2	27,6	20,9	17,2
1	146,6	106,9	84,9	71,2	54,8	45,2	38,8	34,2	25,8	21,1
2	184,2	134,1	106,5	89,2	68,5	56,4	48,4	42,6	32,0	26,1
5	249,3	181,3	143,8	120,3	92,3	75,8	64,9	57,1	42,7	34,7
10	313,5	228,0	180,6	151,0	115,7	95,0	81,3	71,4	53,3	43,1
20	394,5	286,7	227,0	189,8	145,3	119,2	101,9	89,4	66,6	53,8
50	534,7	388,4	307,4	256,9	196,5	161,1	137,6	120,7	89,7	72,4
100	673,2	488,8	386,8	323,1	247,0	202,5	172,8	151,5	112,5	90,6

**Tabell 8.4** Regnintensiteter (l/s, ha) och blockregnsvolym (mm) för blockregnsvaraktigheterna 6, 12 och 24 h vid återkomsttider 0,5 till 100 år enl. Dahlström (2010).

Återkomst- tid, år	Blockregnsvaraktigheter, timmar					
	6 h		12 h		24 h	
	l/s, ha	mm	l/s, ha	mm	l/s, ha	mm
0,5	8,4	18,0	5,6	24,2	4,0	34,7
1	10,0	21,6	6,5	28,2	4,5	39,2
2	12,1	26,1	7,7	33,3	5,2	44,9
5	15,7	33,9	9,8	42,1	6,3	54,8
10	19,2	41,6	11,8	50,8	7,5	64,6
20	23,7	51,2	14,3	61,8	8,9	76,9
50	31,5	68,0	18,7	80,8	11,4	98,2
100	39,1	84,5	23,0	99,6	13,8	119,2

## Översiktlig dimensionering av anläggningar för fördröjning av dagvattenflöden med Regnevelopmetoden

Beräkningssättet nedan är främst tillämpligt för översiktlig dimensionering av LOD-anläggning i form av perkulationsmagasin och infiltrationsytor.

Generellt sätt erhålls erforderlig magasinvolym  $V_{erf}$  genom att bestämma maximal (största) skillnad mellan tillrinning och avtappning från magasinet i ett diagram med regneveloppkurvor som anger avtappning och tillrinning i förhållande till tiden.



$$V_{erf} = (V_{in} - V_{ut})_{max}$$

Där:

$V_{erf}$  = erforderlig magasinvolym [ $m^3$ ]

$V_{in}$  = tillförd vattenmängd [ $m^3$ ]

$V_{ut}$  = avtappad vattenmängd [ $m^3$ ]

$$V_{in} = f_c \cdot i \cdot A_{red} \cdot 0,06 \cdot t_r$$

Där:

$V_{in}$  = tillförd vattenmängd [ $m^3$ ]

$f_c$  = klimatfaktor (1,05 - 1,3), enligt Svenskt Vattens *PI04*

$A_{red}$  = reducerad area ( $A \cdot \varphi_s = A_{red}$  :  $A$  = area,  $\varphi_s$  = sammanvägd avrinningskoefficient) [ha], benämns ibland  $ha_{red}$

$i$  = blockregnsintensitet för regn med en viss varaktighet [l/s ha]

0,06 = justera från liter till  $m^3$  & från sekunder till minuter

$t_r$  = regnets varaktighet [min]

$$V_{ut} = \left( \frac{A_{mag}}{2} \cdot K + q_{ut} \right) \cdot 60 \cdot t_r$$

Där:

$V_{ut}$  = avtappad vattenmängd [ $m^3$ ]

$A_{mag}$  = magasinets totala sidoyta för exinfiltration  $2 \cdot (a + b) \cdot h$

$a$  = magasinets längd [m]

$b$  = magasinets bredd [m]

$h$  = magasinets höjd [m]

2 = justera att det bara är halva magasinets sidoyta som är aktiv i genomsnitt

$K$  = hydraulisk konduktivitet [m/s]

60 = justera sekunder (s) till minuter (min)

$t_r$  = tid under vilken avtappningen pågår [min]

$q_{ut}$  = avtappningen från ett till hälften fyllt magasin [ $m^3/s$ ]

Förs de båda ovan formlerna ihop fås följande ekvation

$$V_{erf} = f_c \cdot i \cdot A_{red} \cdot 0,06 \cdot t_r - \left( \frac{A_{mag}}{2} \cdot K + q_{ut} \right) \cdot 60 \cdot t_r$$

Genom att dividera båda leden i ovanstående ekvation med  $A_{red}$  erhålls följande uttryck:

$$\frac{V_{erf}}{A_{red}} = f_c \cdot i \cdot 0,06 \cdot t_r - \frac{(0,5 \cdot A_{mag} \cdot K + q_{ut}) \cdot 60 \cdot t_r}{A_{red}}$$

Följande formel används för att få fram beräknad bruttovolym där porositeten i magasinet tas i beaktande.

$$V_{ber} = \frac{V_{erf}}{n}$$

Där:

$V_{ber}$  = magasinets beräknade bruttovolym [ $m^3$ ]

$n$  = porositeten på magasinet [%]

En överslagsmässig bedömning kan annars göras där man ökar fördröjningsvolymen med en faktor enligt följande:

Makadamlager 3,0

Skelettjord 8,6

Beräknad volym måste också kollas av mot antagen volym i formeln enligt nedan.

$$V_{ant} = a b h$$

Om  $V_{ant} < V_{ber}$  är magasinet underdimensionerat. Man måste då gå tillbaka till ekvationen och beräkna med en större magasinetsdimension. Om  $V_{ant} > V_{ber}$  är magasinet överdimensionerat. Man får därmed gå tillbaka och minska magasinets storlek.

**Nedan formler kan vara användbara vid beräkning av ett biofilters (regnbädd) maximala tömningsflöde genom substratet eller dess genomsnittliga tömningshastighet av fördröjningszonen.**

$$Q_{max} = K_s \cdot A \cdot \frac{h_{max} + d}{d}$$

$$v = K_s \cdot \frac{h_{max} + d}{d}$$

$Q_{max}$  = maximalt flöde [ $m^3/h$ ]

$v$  = maximal infiltrationshastighet [ $mm/h$ ]

$K_s$  = mättad hydraulisk konduktivitet på växtjorden [ $m/h$ ]

$A$  = biofiltrets yta [m<sup>2</sup>]

$h_{max}$  = översvänningshöjd i biofiltret [m]

$d$  = djup på växtjordslagret [m]

## Beräkning av area behov för biofilter

$$A_f = \frac{V_t d}{K(h + d) \cdot t}$$

$A_f$  = infiltrationsbäddens yta [m<sup>2</sup>]

$V_t$  = volymen vatten som skall behandlas [m<sup>3</sup>]

$d$  = filterbäddens djup [m]

$K$  = genomsläpplighets koefficient på växtjorden [m/h]

$h$  = genomsnittlig vattenhöjd över filterbädden (halva maxhöjden[m])

$t$  = tiden för vattenvolymen att infiltrera filterbädden [h]

**OBS. Formeln tar hänsyn till vattnet ovan växtbädd och bygger på Darcys lag. Den beaktar inte porositeten dvs. jordens förmåga att innehålla vatten.**

## Infiltrationshastighet (hänsyn till porositet)

$$h_{max} = \frac{D}{n}(Ri - q)$$

$R$  = grad av avvattnad yta vs infiltrationsyta ( $R = A_D/A_b$ )

$A_b$  = area på infiltrationsytan [m<sup>2</sup>]

$A_D$  = area som skall avvattnas [m<sup>2</sup>]

$n$  = porositet (porvolym/total jordvolym) [%]

$q$  = infiltrationskoefficient [m/h] justerad med hänsyn till säkerhetsfaktor

$i$  = regnintensitet med hänsyn till varaktighet och återkomsttid [m/h]

$D$  = varaktighet [h]

$h_{max}$  = maximala vattendjupet [m]

## Flödes hastighet på översilningsyta

$$v = \frac{d^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

$v$  = vattnets flödes hastighet [m/s]

$d$  = flödesdjupet [m]

$S$  = fallet i flödesriktningen [m/m]

$n$  = Mannings tal [ $s/ m^{1/3}$ ]

Vanliga gränsvärden	
$v$	0,18 - 0,3 för att uppnå sedimentering och max 1,5 för att undvika erosion
$d$	Ca. 25 mm
$S$	2 – 5 %, max 15 %
$n$	0,1 för flöde över gräsytan 0,15 för normal täthet med gräs 0,25 för tätt gräs 0,35 för mycket tätt gräs.  För svackdiken där vattendjupet är större än vegetationens höjd kan Manningstal sjunka till 0,03

## Hooghoudts formel

För bestämning av avstånd mellan dräneringsrör

$$S^2 = (8 K_2 d h + 4 K_1 h^2) / v \qquad S^2 = \frac{4K h^2}{v} \text{ (vid ogenomsläpplig terrass)}$$

Där:

$S$  = avstånd mellan dräneringsrör [m]

$K_1$  = hydraulisk konduktivitet i lagret ovan dräneringsrören [m/dag]

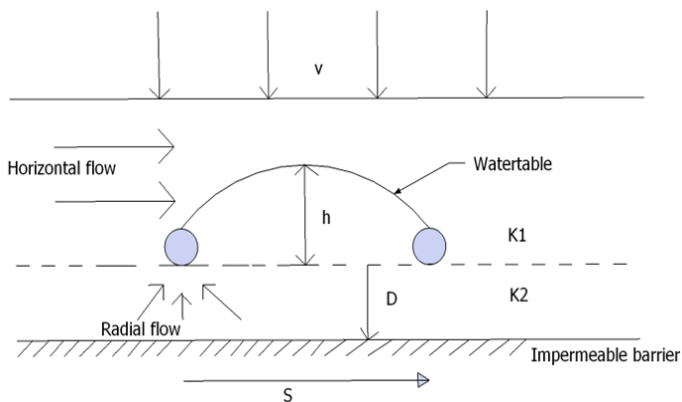
$K_2$  = hydraulisk konduktivitet i lagret under dräneringsrören [m/dag]

$h$  = höjd på grundvattenytan ovanför dräneringsrören mitt emellan dem [m]

$d$  = ekvivalent djup, vilket är relaterat till avståndet  $D$  och rör avståndet  $S$  [m]

$D$  = avstånd mellan rören och ett ogenomsläppligt lager [m]

$v$  = dräneringsintensitet, vilken nederbörd som kan tas emot under en dag [m/dag]



**Dumms formel** vid bestämning av tömningstid

$$L^2 = \frac{4,5 t K h_0 h_t}{\mu(h_0 - h_t)}$$

Där:

$L$  = avståndet mellan dräneringsrören [m]

$K$  = mättad hydraulisk konduktivitet [m/d]

$t$  = tid mellan start på dränering och ny grundvattenhöjd

$\mu$  = dränerbar porvolym [m/m] dimensionslös

$h_o$  = grundvattenytans höjd över dräneringsrören vid avvattningsens start [m]

$h_t$  = grundvattenytans höjd över dräneringsrören efter tiden  $t$  [m]

**Mannings formel**

$$S = \frac{Q^2}{M^2 A^2 R^3}, \quad \text{där } R = \frac{A}{P}$$

Där:

$Q$  = flödet [m<sup>3</sup>/s]

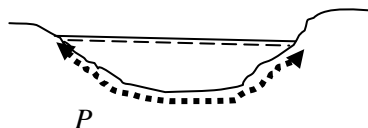
$M$  = Mannings tal [m<sup>1/3</sup>/s]

$A$  = tvärsnittsarean [m<sup>2</sup>]

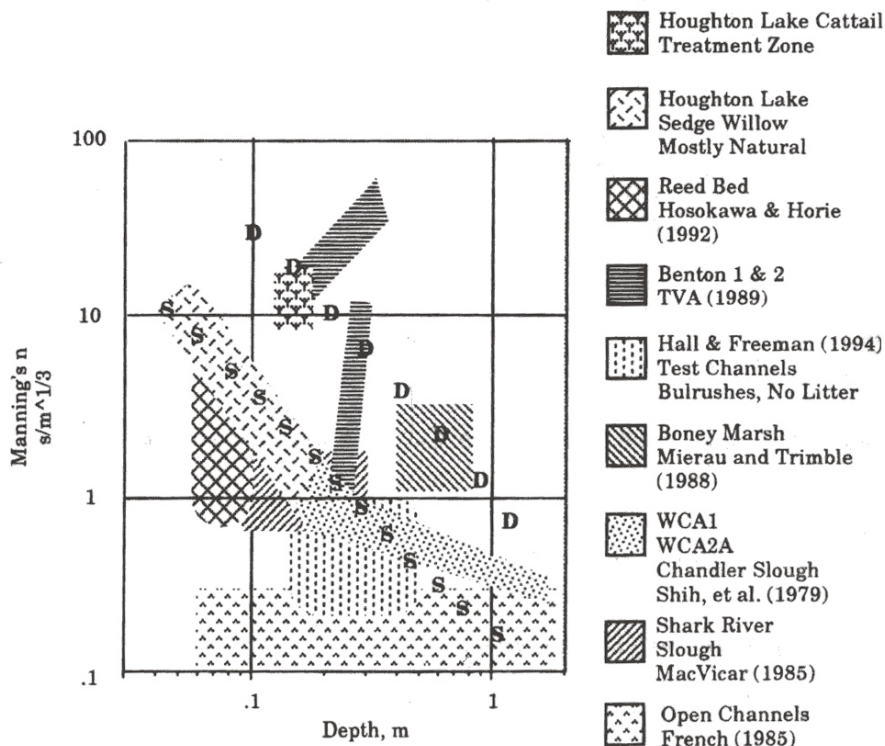
$R$  = hydrauliska radien [m]

$P$  = våta parametern [m]

$S$  = lutning [-]



Exempel på Mannings tal, $M$ [ $m^{1/3}/s$ ]	
Stål	90-110
Slät betong	89-90
Slät jord	35-50
Stenig (morän)	25-35
Sprängt berg	20-25



Figuren visar Mannings tal som en funktion av djup och växtlighet och uttryckt  $n$  [ $s/m^{1/3}$ ]. Linjen som utgörs av  $D$  är en antagen linje för tätare vegetation, medan  $S$ -linjen representerar en glesare vegetation.

Anm: I engelsk litteratur används beteckningen  $n$  istället för  $M$ , som är lika med  $1/n$ .

# 7. FLÖDESMÄTNING

## Volym-tidmetoden

$$Q = \frac{V}{t}$$

$Q$  = flödet [l/s]

$V$  = kärlets volym [l]

$t$  = tiden för fyllning av kärlet [s]

## Ytflottörmetoden

$$Q = kv_{\max} A_{\text{medel}}$$

$Q$  = flödet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

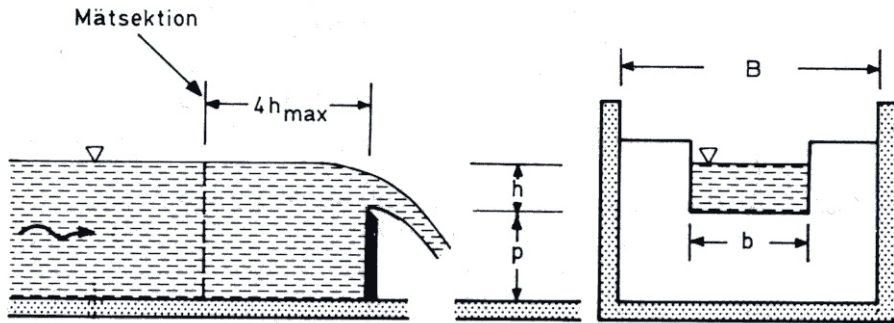
$k$  = konstant för att erhålla en medelhastighet, se tabell.

$v_{\max}$  = den uppmätta ythastigheten [m/s]

$A_{\text{medel}}$  = tvärsnittsarean på sträckan [ $\text{m}^2$ ]

<b>k-värde</b>			
Mycket ojämn botten av sten och/eller vass/gräs	Något ojämn botten; sten	Jämn botten; sand eller grus	Jämn konstgjord sektion med trä, stå eller betong
0,5	0,6	0,7	0,8

## Rektangulärskibord med sidokontraktion



$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h)^{1.5} b_e$$

$Q$  = flödet [m<sup>3</sup>/s]

$C_e$  = koefficient, se diagram

$b_e$  = överfallsbredd =  $b + k_b$  [m]

$k_b$  = korrektionsfaktor, se tabell

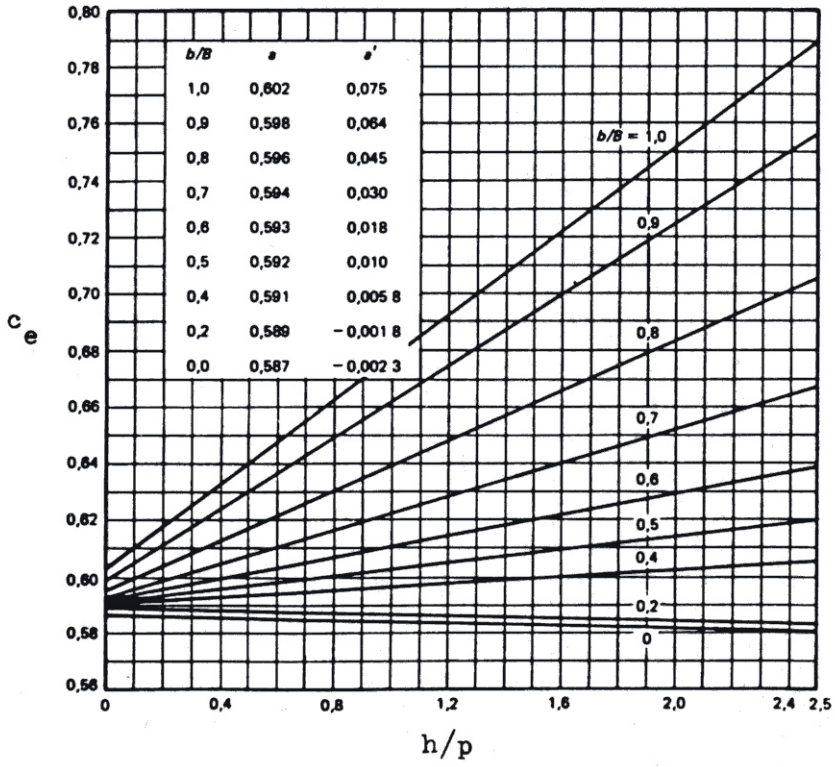
$h$  = vattenhöjden över överfallet [m]

$b/B$	$k_b$
0	0,0024
0,2	0,0024
0,4	0,0027
0,6	0,0037
0,8	0,0043
1,0	-0,0009

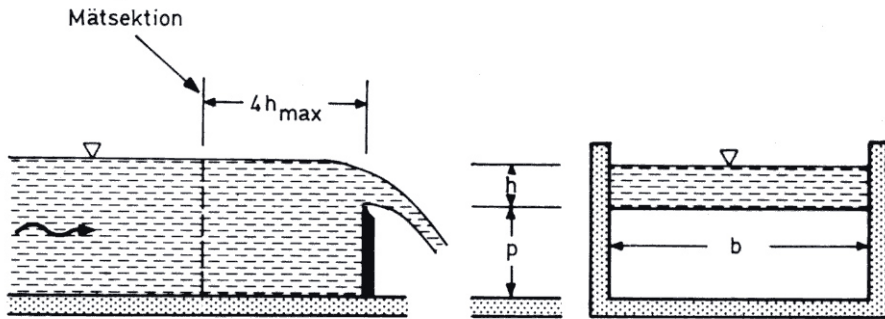
### Formeln för flödet gäller med följande begränsningar

$p$	Skall vara minst 30 cm
$b$	Skall vara minst 15 cm
$h$	Skall vara minst 3 cm
$h/p$	Får inte vara större än 2,5





## Rektangulärskibord utan sidokontraktion



$$Q = C \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h)^{1.5} b$$

$Q$  = flödet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

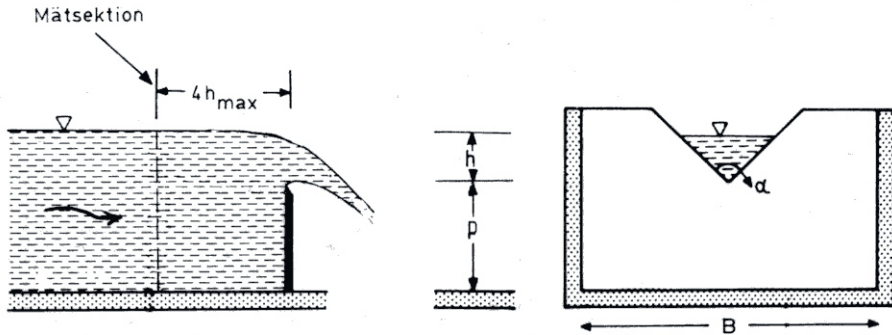
$C = 0,602 + 0,083 h/p$

$h$  = vattenhöjden över överfallet [m]

$b$  = bredd på överfallet [m]

<b>Formeln för flödet gäller med följande begränsningar</b>	
$p$	Skall vara minst 30 cm
$b$	Skall vara minst 30 cm
$h$	Skall vara minst 3 cm och högst 75 cm
$h/p$	Får inte vara större än 1

## V-format skibord



$$Q = C_v \frac{8}{15} \sqrt{2g} (h)^{5/2} \tan \frac{\theta}{2}$$

$Q$  = flödet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$C_v$  = avbörningskoefficient, se tabell nedan

$h$  = vattenhöjden över överfallet [m]

$\theta$  = vinkel i grader

$\theta$	$C_v$
$90^\circ$	0,578
$60^\circ$	0,576
$40^\circ$	0,581
$20^\circ$	0,593

### Formeln för flödet gäller med följande begränsningar

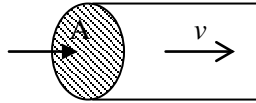
$\theta$	Skall vara mellan $20^\circ$ och $100^\circ$
$p$	Skall vara större än 45 cm
$h$	Skall vara minst 6 cm
$h_{\max}/B$	Skall vara mindre än 0,2
$h_{\max}/p$	Skall vara mindre än 0,4

# 8. HYDRAULIK

## Flöde

$$Q = v A = \frac{V}{t}$$

$Q$  = flöde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]       $Q$   
 $v$  = vattenhastighet [ $\text{m}/\text{s}$ ]  
 $A$  = tvärsnittsarea [ $\text{m}^2$ ]  
 $V$  = volym [ $\text{m}^3$ ]  
 $t$  = tid [s]



Anm: Inom markvetenskap är vattenföring  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] och flöde "vattenföring/yta"  $Q/A$  [ $\text{m}/\text{s}$ ].

Inom vattenbyggnad är vattenföring däremot samma sak som flöde, dvs  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]. Det man inom markvetenskap kallar flöde kallas då Darcy hastighet (*specific velocity*).

## Hydraulisk belastning

Kommer från engelskans *Hydraulic Loading Rate (HLR)*.

$$\text{HLR} = \frac{Q}{A}$$

$Q$  = flöde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
 $A$  = area [ $\text{m}^2$ ]

## Uppehållstid

Nominell uppehållstid ( $t_n$ ) för en vattenvolym ( $V$ ) beräknas genom:

$$t_n = \frac{V}{Q}$$

$t_n$  = nominell uppehållstid [s]

$V$  = volym [ $m^3$ ]

$Q$  = flöde [ $m^3/s$ ]

Aktuell eller medel uppehållstid ( $t_{mean}$ ) för en vattenvolym beräknas genom:

$$t_{mean} = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

där,

$$f(t) = \frac{QC(t)}{\int_0^{\infty} QC(t) dt} = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$$

$C(t)$  = är funktionen av utgående ämneskoncentration

$Q$  = flöde

## Effektiv volymkvot

Den effektiva volymkvoten ( $e$ ) är:

$$e = \frac{t_{mean}}{t_n} = \frac{V_{effective}}{V_{total}}$$

$t_{mean}$  = medeluppehållstid [s]

$t_n$  = nominell uppehållstid [s]

$V_{effective}$  = total volym minus den s.k. 'döda' volymen

$V_{total}$  = total volym

För många dammar och våtmarker kan den effektiva volymskvoten ( $e$ ) beräknas genom Thackstones ekvation:

$$e = 0,84 \left[ 1 - e^{(-0,59 \frac{L}{W})} \right]$$

$L$  = längden på dammen

$W$  = bredden på dammen

## Hydraulisk effektivitet

$$\lambda = \frac{t_p}{t_n}$$

$t_p$  = tiden då funktionens maxvärde inträffar

$t_n$  = nominell uppehållstid

## Avskiljning

Avskiljning av ämnen i fullständigt omblandad cell

$$\frac{C_{ut}}{C_{in}} = \frac{1}{1 + kt_n}$$

Avskiljning av ämnen i ett pluggflöde

$$C_{ut} = C_{in} e^{-kt_n}$$

### Tank-in-series-model

*Tank-in-series-model* eller *Partial-mixing* är en modell där man seriekopplar en rad fullständigt ombländade celler och som resultat får en modell som uppvisar ett beteende som är ett mellanting mellan fullständigt ombländat flöde och pluggflöde.

$$\frac{C_N - C^*}{C_0 - C^*} = \left( \frac{1}{1 + \frac{kt_n}{N}} \right)^N$$

$k$  = reaktionshastigheten [1/s]

$C_N$  = ut koncentrationen

$C_0$  = in koncentrationen

$C^*$  = bakgrundskoncentration

$t_n$  = nominell uppehållstid

$N$  = antal seriekopplade celler

### Energiekvationen (Bernoullis ekvation)

Energiekvationen skrivs som:

$$\left( z + \frac{p}{\rho g} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right)_1 = \left( z + \frac{p}{\rho g} + \alpha \frac{U^2}{2g} \right)_2 + \sum h_f + \sum h_t$$

$z$  = nivå mätt från en fast punkt (också kallad datumhöjd) [m]

$p$  = tryck [ $\text{N/m}^2$ ]

$\rho$  = densitet [ $\text{kg/m}^3$ ]

$g$  = tyngdaccelerationen (gravitation) [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ]

$\alpha$  = en faktor som korrigerar för att hastighetsfördelningen är ojämn [-]

$U$  = medelhastighet hos vattnet [m/s]

$\sum h_f$  = summan av friktionsförluster [m]

$\sum h_t$  = summan av tilläggsförluster vid olikformig strömning [m]

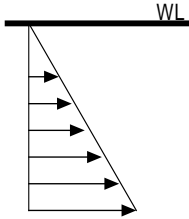
## Tryck

Tryck mäts i kraft per ytenhet och har enheten, Pa [N/m<sup>2</sup>].

1 bar = 1000 mbar = 100 000 Pa

10 mvp = 0,981 bar ≈ 1 bar (tryck mäts även i meter vattenpelare, mvp)

Trycket i vatten är lika i alla riktningar och ökar linjärt med vattendjupet, enligt:



$$P = \rho g h$$

$P$  = trycket [N/m<sup>2</sup>]

$\rho$  = densiteten för vatten [1000 kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = tyngdaccelerationen (Gravitation)

$h$  = djupet [m]

## Viskositet

Viskositet är motstånd mot formändring och liknas med inre friktion.

Newtons viskositetslag

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Den dynamiska viskositet ( $\mu$ ) är för vatten vid 10 grader  $1.308 \cdot 10^{-3}$  [Ns/m<sup>2</sup>]

$\tau$  = skjivspänning [N/m<sup>2</sup>]

$u$  = hastighet [m/s]

$y$  = djup [m]

Den kinematiska viskositeten ( $\nu$ ) uttrycks i [m<sup>2</sup>/s] och definieras som:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$



## Reynolds tal

Reynolds tal ( $Re$ ) definieras i rör som:

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

$U$  = medelhastighet [m/s]

$D$  = rördiameter [m]

$\nu$  = kinematisk viskositet [ $m^2/s$ ]

Reynolds tal ( $Re$ ) definieras i dammar som:

$$Re = \frac{Uh}{\nu}$$

$U$  = medelhastighet [m/s]

$h$  = vattendjup [m]

$\nu$  = kinematiska viskositeten [ $m^2/s$ ]

Reynolds tal
$Re < 2000$ laminär strömning
$Re > 2300$ turbulent strömning
$Re = 2000-2300$ obestämt strömningstillstånd

## Allmänna friktionsformeln

Friktionsförluster vid rörströmning kan beskrivas som:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g}$$

$f$  = friktionsfaktorn [-]

$L$  = ledningslängd [m]

$D$  = rörets diameter [m]

$U$  = medelhastighet hos vattnet [m/s]

Friktionsfaktorn beror på Reynolds tal, rörets diameter och skrovlighet. Ur Moodys diagram fås friktionsfaktorn, se appendix.

## Sandråhet

Exempel på ekvivalenta sandråheter för olika material. Dessa värden ökar däremot med rörets ålder, t.ex. genom alg tillväxt eller att rören rostar.

Rörtyp	Tillstånd	k [mm]
Stålrör	nya	0,1-0, 2
	något rostiga	0,5
	mycket rostiga	1-5
Kopparrör	D<200mm	0,01
Betongrör	nya	0,2
	gamla	1
PVC	D<200mm	0,01
	D>200mm	0,05

## Colebrooks diagram

Överslagsmässig bestämning av friktionsförluster i ledningar kan göras med Colebrooks diagram och ekvationen nedan. Diagrammen som finns i appendix innehåller friktionsförluster, vattenhastigheter, flöde och ledningsdiameter.

$$h_f = S L$$

$h_f$  = friktionsförluster mätt i meter vattenpelare, mvp [m]

$S$  = lutning [-]

$L$  = längd [m]

## Superkritisk och subkritisk strömning

- Forsande strömning benämns *superkritisk strömning (eller stråkande vatten)*
- Långsamflytande strömning benämns *subkritisk strömning (eller strömmande vatten)*
- Gränsvärdet kallas *kritisk strömning* och karakteriseras av att strömhastigheten är lika med våghastigheten

$$C = \sqrt{gy}$$

$C$  = våghastigheten [m/s]

$y$  = vattendjupet [m]

$g$  = tyngdaccelerationen (gravitation) [9,81 m/s<sup>2</sup>]

Ekvationen gäller för grunda vatten. Mer exakt då ( $d/L < 1/25$ ) där  $d$  är vattendjup och  $L$  vågens våglängd.

Froudes tal ( $F$ ) jämför vattenhastigheten ( $U$ ) med våghastigheten ( $C$ ) och beskriver strömningstillståndet.

$$F = \frac{U}{\sqrt{gy}}$$

Om  $F > 1$  så är det vattnet *superkritisk strömning (stråkande vatten)*

Om  $F < 1$  så är det vattnet *subkritisk strömning (strömmande vatten)*







# APPENDIX

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>SI-ENHETER.....</b>	<b>49</b>
Fysikaliska konstanter.....	49
Grundenheter.....	49
Tabell för grundenheter.....	50
Förhållande mellan SI-systemet och andra enheter .....	51
<b>TABELLER ENHETSBYTE.....</b>	<b>52</b>
Omvandling mellan olika enheter för kraft.....	52
Omvandling mellan olika enheter för tryck .....	52
Omvandling mellan olika enheter för energi, arbete.....	52
Omvandling mellan olika enheter för effekt .....	53
Temperaturer.....	53
<b>MARK.....</b>	<b>56</b>
Permeabilitet .....	56
Utländska fraktionsgränser .....	56
Svenska fraktionsgränser .....	57
<b>HYDROLOGI OCH HYDRAULIK .....</b>	<b>58</b>
Egenskaper hos vatten som en funktion av temperaturen.....	58
Vattnets dynamiska och kinematiska viskositet.....	59
Moodys diagram .....	61
Colebrooks diagram. $k=0,5$ mm.....	62
Colebrooks diagram. $k=1,0$ mm.....	63
Delfylld ledning .....	65
<b>PERIODISKA SYSTEMET.....</b>	<b>65</b>

# SI-ENHETER

## Fysikaliska konstanter

Tal/faktor	Beteckning
Ljushastigheten i vakuum	$c = 299\,792\,458$ m/s
Tyngdaccelerationens normalvärde	$g_0 = 9,80665$ m/s <sup>2</sup>
Tyngdaccelerationen i Luleå	$g = 9,823$ m/s <sup>2</sup>
Allmänna gaskonstanten	$R_0 = 8,3143$ J/mol·K = 8314,3 J/kmol·K

## Grundenheter

### Längd:

En **meter** [m] är den sträcka, som ljuset tillryggalägger i absolut vakuum under 1/299 792 458 sekund.

### Massa:

Ett **kilogram** [kg] är lika med massan av den internationella kilogramprototypen.

### Tid:

En **sekund** [s] är varaktigheten av 9 192 631 770 perioder av den strålning, som motsvarar övergången mellan de två hyperfinnivåerna i grundtillståndet hos atomen cesium 133.

### Elektrisk ström:

En **ampere** [A] är storleken av den konstanta elektriska ström som, då den genomflyter två parallella, raka ledare med oändlig längd och försumbart, cirkulärt tvärsnitt och placerade på ett avstånd av en meter från varandra i tomrum, åstadkommer mellan dessa ledare en kraft lika med  $2 \times 10^{-7}$  newton för varje meter ledare.

### Termodynamisk temperatur:

En **kelvin** [K] är bråkdelen 1/273,16 av den termodynamiska temperaturen vid vattnets trippelpunkt.

### Ljusstyrka:

En **candela** [cd] är ljusstyrkan i en given riktning från källa, som utsänder monokromatisk strålning med frekvensen  $540 \times 10^{12}$  hertz och vars strålningstyrka i denna riktning är 1/683 watt per steradian.



### Materiemängd:

En **mol** [mol] är materiemängden i ett system innehållande lika många systemelement som det finns atomer i 0,012 kilogram kol 12.

## Tabell för grundenheter

Benämning	Beteckning	Definition
1 meter	1 m	Den väg som tillryggalägges i tomma rummet av plana elektromagnetiska vågor på $1/ c $ sekund.  $ c  = 299\,792\,458$ , ett konventionellt fastlagt värde på ljushastigheten i tomma rummet, mätt i m/s
1 kilogram	1 kg	Massa av den internationella kilogramprototypen i Paris
1 sekund	1 s	Tiden för 9 192 631 770 perioder av den strålning som motsvarar en övergång mellan två energinivåer i grundtillståndet av isotopen cesium -133.
1 ampere	1 A	Styrkan av en konstant elektrisk ström som, när den genomflyter två raka oändligt långa parallella ledare, placerade i vakuum på avståndet 1 m från varandra, för varje meter av ledaren åstadkommer en kraftverkan mellan ledarna av $2 \cdot 10^{-7}$ Newton.
1 kelvin	1 K	Termodynamisk temperatur utgörande $1/273,16$ av den termodynamiska temperaturen för vattnets trippelpunkt
1 candela	1 cd	Ljusstyrkan i en given riktning från en källa som utsäder monokromatisk strålning med frekvensen $540 \cdot 10^{12}$ hertz och vars strålningsstyrka i denna riktning är $1/683$ watt per steradian.
1 mol	1 mol	Materialmängden i ett system som innehåller lika många elementarenheter som det finns atomer i 0,012 kilogram kol-12. När man använder mol bör elementarenheten specificeras; de kan vara atomer, molekyler, joner, elektroner andra partiklar eller specificerade grupper av sådana partiklar.

## Förhållande mellan SI-systemet och andra enheter

UK= Storbritannien, US= USA

Storhet	Enhet		
	Benämning	Beteckning	Samhörande enheter och förhållande till SI-systemet
Längd	ångström	Å	1 Å = $10^{-10}$ m=0,1 nm
	ljusår	Lå	1 lå = $9,460 \cdot 10^{15}$ m
	famn	Famn	1 famn = 3 alnar = 1,78 m
	fot	Fot	1 fot = 0,297 m
	verkstum	Tum	1 tum = 0,0247 m
	internationell nautisk mil	Sjömil	1 sjömil = 1852 m
	Statute mile (UK/US)		1 mile = 1 760 yd = 1609,35 m
	yard (UK)	Yd	1 yd = 3 ft = 12 in = 0,9144 m
	foot (UK)	Ft	1 ft = 0,3048 m
	Inch (UK)	in (")	1 in = 0,0254 m
	Yta	hektar	Ha
tunnland		Tld	1 tld = 32 kappland = 4936 m <sup>2</sup>
acre (US,UK)		Acre	1 acre = 4840 sq yd = 4047 m <sup>2</sup>
square foot (US,UK)		sq ft	1 sq ft = 144 sq in = 0,0929 m <sup>2</sup>
square inch (US,UK)		sq in	1 sq in = 6,452 cm <sup>2</sup> = 6,452 $10^{-4}$ m <sup>2</sup>
Volym	liter	L	1 l = 1 dm <sup>3</sup> = 0,001 m <sup>3</sup>
	tunna (våt vara)		1 tunna = 4 fjärdingar = 48 kannor = 125,6 l
	cubic yard (UK)	cub yd	1 cub yd = 27 cub ft = 0,7646 m <sup>3</sup>
	cubic foot (UK)	cub ft	1 cub ft = 1728 in <sup>3</sup> = 28,32 l <sup>3</sup>
	quarter (UK)		1 qarter = 8 bushels = 64 UK gallons = 290,9 l
	gallon (UK)		1 gallon(UK) = 4 quarts = 8 pints = 4,546 l
	gallon (US)		1 gallon(US) = 4 quarts(US) = 8 pints(US) = 3,785 l
	bushel (torr vara, US)		1 bushel = 35,24 l
	Pint (UK)		1 pint(UK) = 0,568 l
Pint (US)		1 pint(Us) = 0,473 l	
Massa	ton		1 ton = 1000 kg
	ton (UK), long ton (US)		1 ton = 1016 kg
	short ton (US)		1 short tons = 907,2 kg
	stone (UK, US)		1 stone = 14 lb = 6,35 kg
	pound (UK, US)	Lb	1 pound = 16 oz = 0,4535 kg
ounce (UK, US)	Oz	1 oz = 28,35 g	
Hastighet	1 kilometer i timmen	km/t	1 km/h = 0,278 m/s
	1 miles per hour	Mph	1 mph = 1,61 km/tim = 0,45 m/s
Tryck	1 normal atmosfär	Atm	1 atm 1013 N/m <sup>2</sup>
	1 teknisk atmosfär	At	1 at = 1 kp/cm <sup>2</sup> = 98066,5 N/m <sup>2</sup>
	1 atmosfär övertryck	at ö	1 at ö = 2 atm = 202650 Pa

# TABELLER ENHETSBYTE

## Omvandling mellan olika enheter för kraft

	N	dyn	kp	lbf(pound force)
1 N	-	$1 \cdot 10^5$	0,10197	0,2248
1 dyn	$1 \cdot 10^{-5}$	-	$1,0197 \cdot 10^{-6}$	$2,248 \cdot 10^{-6}$
1 kp	9,807	$0,9807 \cdot 10^6$	-	2,205
1 lbf	4,448	$0,4448 \cdot 10^6$	0,4536	-

## Omvandling mellan olika enheter för tryck

	1 Pa	1 bar	1 kp/cm <sup>2</sup>	1 m vp	1 mm Hg (0°C)=torr
1 Pa	-	$1 \cdot 10^{-5}$	$1,0197 \cdot 10^{-3}$	$1,0197 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
1 bar = 1000 mbar	$1 \cdot 10^5$	-	1,0197	10,2	750
1 kp/cm <sup>2</sup> = 1 at a	$9,807 \cdot 10^4$	0,9807	-	10	735
1 m vp	$9,807 \cdot 10^3$	$9,807 \cdot 10^{-2}$	0,1	-	73,5
1 mm Hg	133,3	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-2}$	-

## Omvandling mellan olika enheter för energi, arbete

	J=Nm=Ws	kWh	kpm	kcal	lb·lbf
1 J = 1 Nm=	-	$0,2778 \cdot 10^{-6}$	0,101 97	$0,2388 \cdot 10^{-3}$	0,7376
1 Ws	-	-	-	-	-
1 kWh	$3,6 \cdot 10^6$	-	$0,367 \cdot 10^6$	859,8	$2,655 \cdot 10^{-6}$
1 kpm	9,80665	$2,724 \cdot 10^{-6}$	-	$2,342 \cdot 10^{-3}$	7,233
1 kcal	$4,1868 \cdot 10^3$	$1,163 \cdot 10^{-3}$	426,9	-	$3,088 \cdot 10^3$
1 lb·lbf	1,3558	$0,3767 \cdot 10^{-6}$	0,138 6	$0,323 8 \cdot 10^{-3}$	-

## Omvandling mellan olika enheter för effekt

	W=Nm/s=J/s	kpm/s	kcal/s	hk (metriska)	hp (UK/US)
1 W=Nm/s=J/s	-	0,10197	$0,2389 \cdot 10^{-3}$	$1,3596 \cdot 10^{-3}$	$1,341 \cdot 10^{-3}$
1 kpm/s	9,807	-	$2,342 \cdot 10^{-3}$	$1,333 \cdot 10^{-2}$	$1,315 \cdot 10^{-2}$
1 kcal/s	$4,187 \cdot 10^3$	426,935	-	5,692 5	5,6146
1 hk (metriska)	735,5	75	0,1757	-	0,9863-
1 hp (UK/US)	745,7	76,04	0,17811	1,0139	

## Temperaturer

### Tabell över Kelvin, Celsius och Fahrenheit.

Storhet	Kelvin-skala	Celsius-skala	Fahrenheit-skala	Fysikalisk fixpunkt
Samhörande temperaturer	<b>0 K</b>	-273,15 °C	-459,67 °F	Absoluta nollpunkten
	255,377 K	-17,778 °C	<b>0 °F</b>	
	273,15 K	<b>0 °C</b>	32 °	Isens smältpunkt
	273,16	<b>0,01 °C</b>	32,018 °F	Vattnets trippelpunkt
	373,15	<b>100 °C</b>	212 °F	Vattnets kokpunkt

### Fahrenheit till Celsius - ekvation

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \cdot 5/9$$

### Celsius till Fahrenheit - ekvation

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 9/5 + 32$$

### Celsius till Fahrenheit - tabell

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
50	122.0	27	80.6	4	39.2	-19	-2.2
49	120.2	26	78.8	3	37.4	-20	-4.0
48	118.4	25	77.0	2	35.6	-21	-5.8
47	116.6	24	75.2	1	33.8	-22	-7.6
46	114.8	23	73.4	0	32.0	-23	-9.4
45	113.0	22	71.6	-1	30.2	-24	-11.2
44	111.2	21	69.8	-2	28.4	-25	-13.0
43	109.4	20	68.0	-3	26.6	-26	-14.8
42	107.6	19	66.2	-4	24.8	-27	-16.6
41	105.8	18	64.4	-5	23.0	-28	-18.4
40	104.0	17	62.6	-6	21.2	-29	-20.2
39	102.2	16	60.8	-7	19.4	-30	-22.0
38	100.4	15	59.0	-8	17.6	-31	-23.8
37	98.6	14	57.2	-9	15.8	-32	-25.6
36	96.8	13	55.4	-10	14.0	-33	-27.4
35	95.0	12	53.6	-11	12.2	-34	-29.2
34	93.2	11	51.8	-12	10.4	-35	-31.0
33	91.4	10	50.0	-13	8.6	-36	-32.8
32	89.6	9	48.2	-14	6.8	-37	-34.6
31	87.8	8	46.4	-15	5.0	-38	-36.4
30	86.0	7	44.6	-16	3.2	-39	-38.2
29	84.2	6	42.8	-17	1.4	-40	-40.0
28	82.4	5	41.0	-18	-0.4		

### Fahrenheit till Celsius - tabell

°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
125	51.6	83	28.3	41	5.0	-1	-18.3
124	51.1	82	27.8	40	4.4	-2	-18.9
123	50.5	81	27.2	39	3.9	-3	-19.4
122	50.0	80	26.6	38	3.3	-4	-20.0
121	49.4	79	26.1	37	2.8	-5	-20.5
120	48.8	78	25.5	36	2.2	-6	-21.1
119	48.3	77	25.0	35	1.7	-7	-21.6
118	47.7	76	24.4	34	1.1	-8	-22.2
117	47.2	75	23.9	33	0.6	-9	-22.8
116	46.6	74	23.3	32	0.0	-10	-23.3

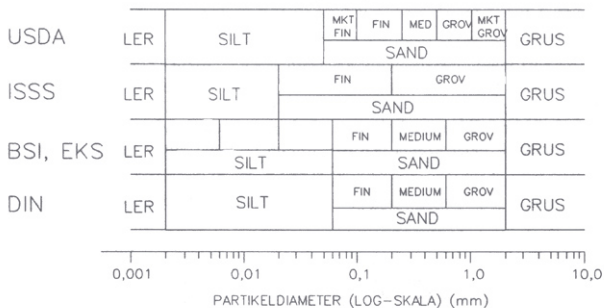
°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
115	46.1	73	22.8	31	-0.6	-11	-23.9
114	45.5	72	22.2	30	-1.1	-12	-24.4
113	45.0	71	21.6	29	-1.7	-13	-25.0
112	44.4	70	21.1	28	-2.2	-14	-25.5
111	43.8	69	20.5	27	-2.8	-15	-26.1
110	43.3	68	20.0	26	-3.3	-16	-26.6
109	42.7	67	19.4	25	-3.9	-17	-27.2
108	42.2	66	18.9	24	-4.4	-18	-27.8
107	41.6	65	18.3	23	-5.0	-19	-28.3
106	41.1	64	17.8	22	-5.6	-20	-28.9
105	40.5	63	17.2	21	-6.1	-21	-29.4
104	40.0	62	16.7	20	-6.7	-22	-30.0
103	39.4	61	16.1	19	-7.2	-23	-30.5
102	38.9	60	15.5	18	-7.8	-24	-31.1
101	38.3	59	15.0	17	-8.3	-25	-31.6
100	37.7	58	14.4	16	-8.9	-26	-32.2
99	37.2	57	13.9	15	-9.4	-27	-32.7
98	36.6	56	13.3	14	-10.0	-28	-33.3
97	36.1	55	12.8	13	-10.5	-29	-33.9
96	35.5	54	12.2	12	-11.1	-30	-34.4
95	35.0	53	11.7	11	-11.7	-31	-35.0
94	34.4	52	11.1	10	-12.2	-32	-35.5
93	33.9	51	10.5	9	-12.8	-33	-36.1
92	33.3	50	10.0	8	-13.3	-34	-36.6
91	32.7	49	9.4	7	-13.9	-35	-37.2
90	32.2	48	8.9	6	-14.4	-36	-37.7
89	31.6	47	8.3	5	-15.0	-37	-38.3
88	31.1	46	7.8	4	-15.5	-38	-38.9
87	30.5	45	7.2	3	-16.1	-39	-39.4
86	30.0	44	6.7	2	-16.7	-40	-40.0
85	29.4	43	6.1	1	-17.2		
84	28.9	42	5.6	0	-17.8		

# MARK

## Permeabilitet

Jordart	Permeabilitet [m/s]	Permeabilitet [mm/dygn]	Permeabilitet [mm/timme]
<u>Moräner</u>			
Grusig morän	$10^{-5} - 10^{-7}$	900 – 9	40 – 0,4
Sandig morän	$10^{-6} - 10^{-8}$	90 – 0,9	4 – 0,04
Moig morän	$10^{-7} - 10^{-9}$	9 – 0,09	0,4 – $4 \cdot 10^{-3}$
Lerig morän	$10^{-8} - 10^{-10}$	0,9 – $9 \cdot 10^{-3}$	0,04 – $4 \cdot 10^{-4}$
Moränlera	$10^{-9} - 10^{-11}$	0,09 – $9 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-5}$
<u>Sediment</u>			
Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$	$9 \cdot 10^6 - 9 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^3$
Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$	$9 \cdot 10^5 - 9 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^2$
Mellansand	$10^{-3} - 10^{-5}$	$9 \cdot 10^4 - 900$	$4 \cdot 10^3 - 40$
Grovmo	$10^{-4} - 10^{-6}$	$9 \cdot 10^3 - 90$	400 – 4
Finmo	$10^{-5} - 10^{-7}$	900 – 9	40 – 0,4
Mjåla	$10^{-7} - 10^{-9}$	9 – 0,09	0,4 – $4 \cdot 10^{-3}$
Lera	$< 10^{-9}$	$< 0,09$	$< 4 \cdot 10^{-3}$

## Utlånska fraktionsgrånser



Några allmånt erkånda klassificeringssystem baserade på partikeldiameter: US Department of Agriculture (USDA), International Soil Science Society (ISSS), British Standard Institute (BSI), Ekström (EKS) och Deutsche Industri Normen (DIN).

## Svenska fraktionsgränser

<b>Kornstorlek [mm]</b>	<b>Benämning enl. Ekström</b>	<b>Benämning enligt SGF</b>
<b>&lt; 0,002</b>	ler	ler
<b>0,002-0,006</b>	finmjäla	finsilt
<b>0,006-0,02</b>	grovmjäla	mellansilt
<b>0,02-0,06</b>	finmo	grovsilt
<b>0,06-0,2</b>	grovmo	finsand
<b>0,2-0,6</b>	mellansand	mellansand
<b>0,6-2</b>	grovsand	grovsand
<b>2-6</b>	fingrus	fingrus
<b>6-20</b>	grovgrus	mellangrus
<b>20-60</b>	sten	grovgrus
<b>60-200</b>		mellansten
<b>200-600</b>	block	grovsten
<b>600-2000</b>		block
<b>&gt; 2000</b>		grovblock

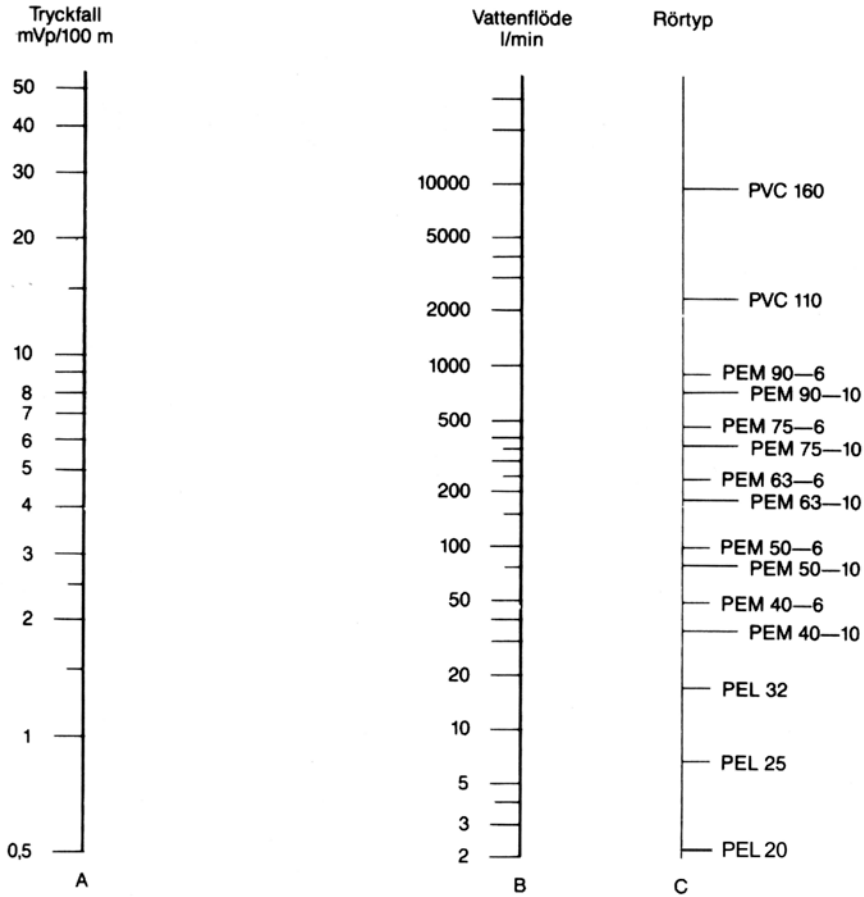


# HYDROLOGI OCH HYDRAULIK

## Egenskaper hos vatten som en funktion av temperaturen

Temperatur (°C)	Densitet, $\rho$ (kg m <sup>-3</sup> )	Viskositet, $\mu$ (Ns m <sup>-2</sup> )	Kinematisk viskositet, $\nu$ (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Ytspänning, $\sigma$ (N m <sup>-1</sup> )	Angtryck, Pång/pg (m v p)	Elasticitet modul, E (N m <sup>-2</sup> )
0	999,9	1,792(x10 <sup>-3</sup> )	1,792(x10 <sup>-6</sup> )	7,62(x10 <sup>-2</sup> )	0,06	2,04(x10 <sup>9</sup> )
5	1000,0	1,519	1,519(x10 <sup>-6</sup> )	7,54	0,09	2,06
10	999,7	1,308	1,308(x10 <sup>-6</sup> )	7,48	0,12	2,11
15	999,1	1,140	1,140(x10 <sup>-6</sup> )	7,41	0,17	2,14
20	998,2	1,005	1,007(x10 <sup>-6</sup> )	7,36	0,25	2,20
25	997,1	0,894	0,897(x10 <sup>-6</sup> )	7,26	0,33	2,22
30	995,7	0,801	0,804(x10 <sup>-6</sup> )	7,18	0,44	2,23
35	994,1	0,723	0,727(x10 <sup>-6</sup> )	7,10	0,58	2,24
40	992,2	0,656	0,661(x10 <sup>-6</sup> )	7,01	0,76	2,27
45	990,2	0,599	0,605(x10 <sup>-6</sup> )	6,92	0,98	2,29
50	988,1	0,549	0,556(x10 <sup>-6</sup> )	6,82	1,26	2,30
55	985,7	0,506	0,513(x10 <sup>-6</sup> )	6,74	1,61	2,31
60	983,2	0,469	0,477(x10 <sup>-6</sup> )	6,68	2,03	2,28
65	980,6	0,436	0,444(x10 <sup>-6</sup> )	6,58	2,56	2,26
70	977,8	0,406	0,415(x10 <sup>-6</sup> )	6,50	3,20	2,25
75	974,9	0,380	0,390(x10 <sup>-6</sup> )	6,40	3,96	2,23
80	971,8	0,357	0,367(x10 <sup>-6</sup> )	6,30	4,86	2,21
85	968,6	0,336	0,347(x10 <sup>-6</sup> )	6,20	5,93	2,17
90	965,3	0,317	0,328(x10 <sup>-6</sup> )	6,12	7,18	2,16
95	961,9	0,299	0,311(x10 <sup>-6</sup> )	6,02	8,62	2,11
100	951,4	0,284	0,296(x10 <sup>-6</sup> )	5,94	10,33	2,07

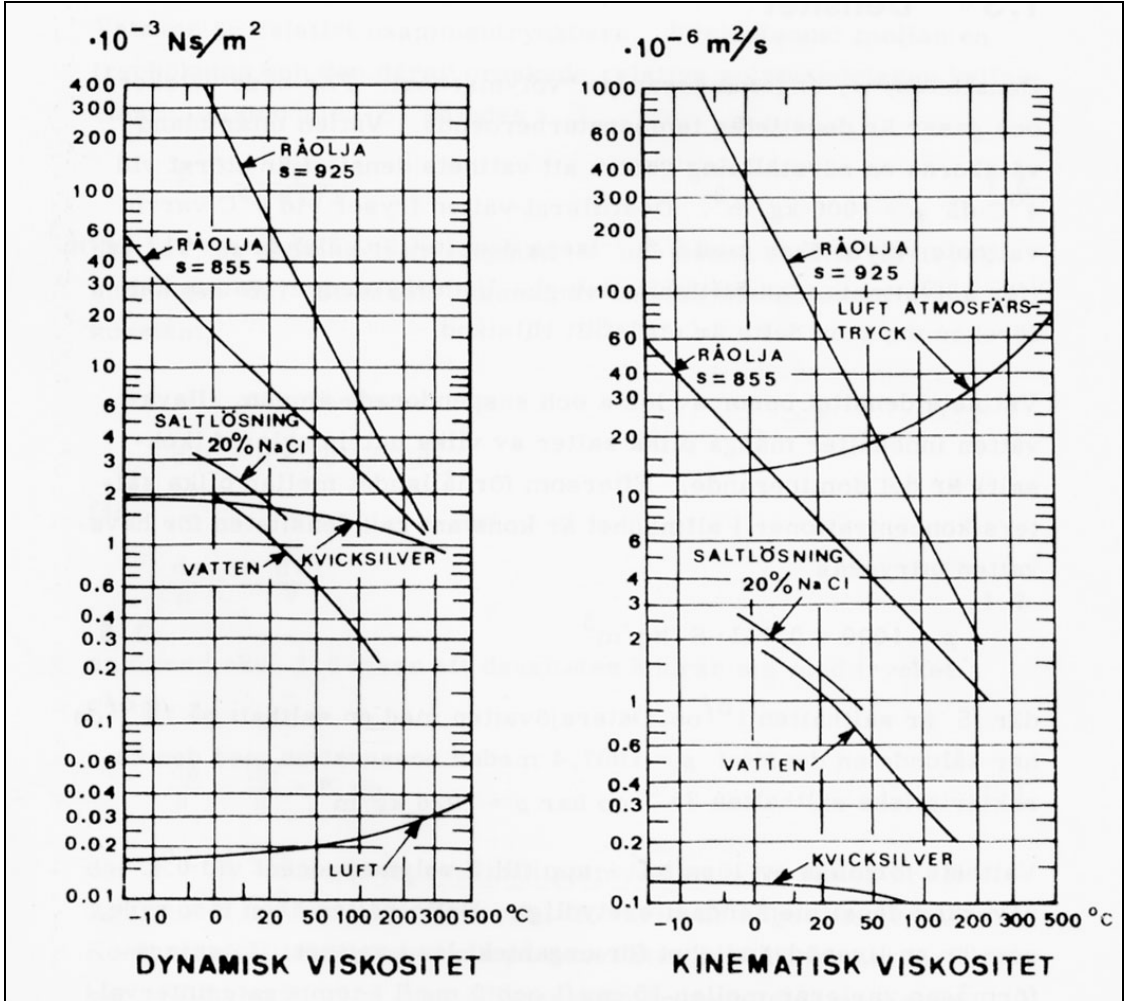
# Nomogram för tryckförluster i plast-rör



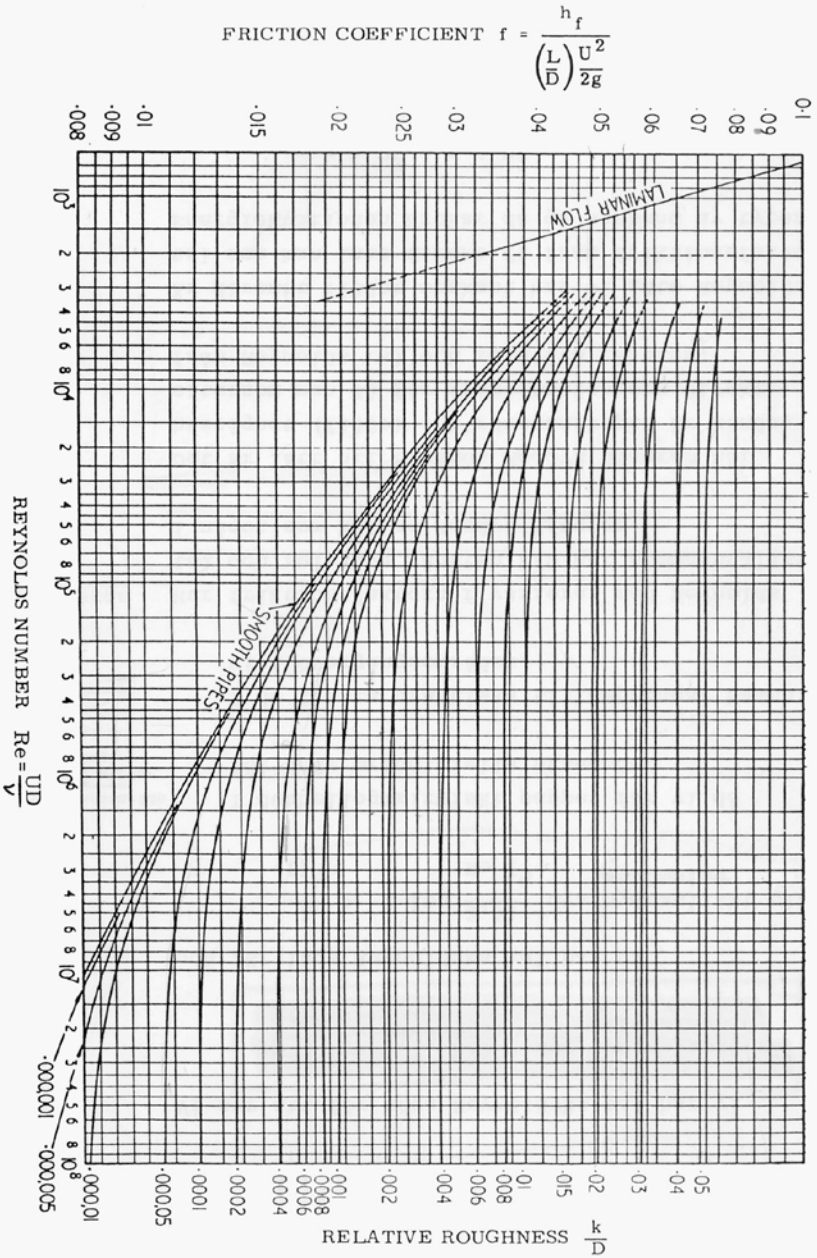
Uppskatta tryckfallet så här:

Lägg en linjal genom skalan för rörtyp (C) och vattenflöde (B). Tryckfallet per 100 m rör avläses på skala A.  $10 \text{ mVp} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 1 \text{ bar}$ .

# Vattnets dynamiska och kinematiska viskositet

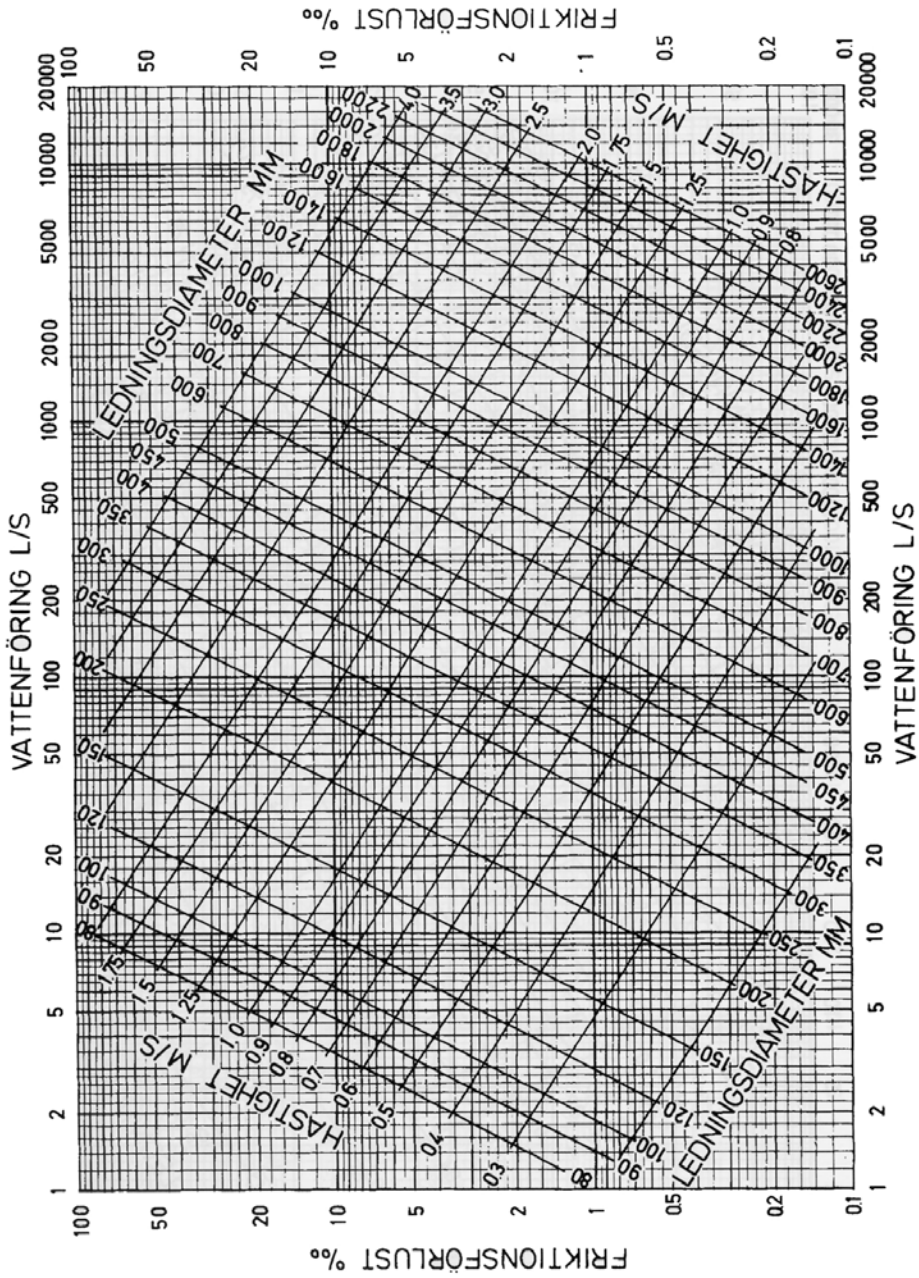


# Moodys diagram

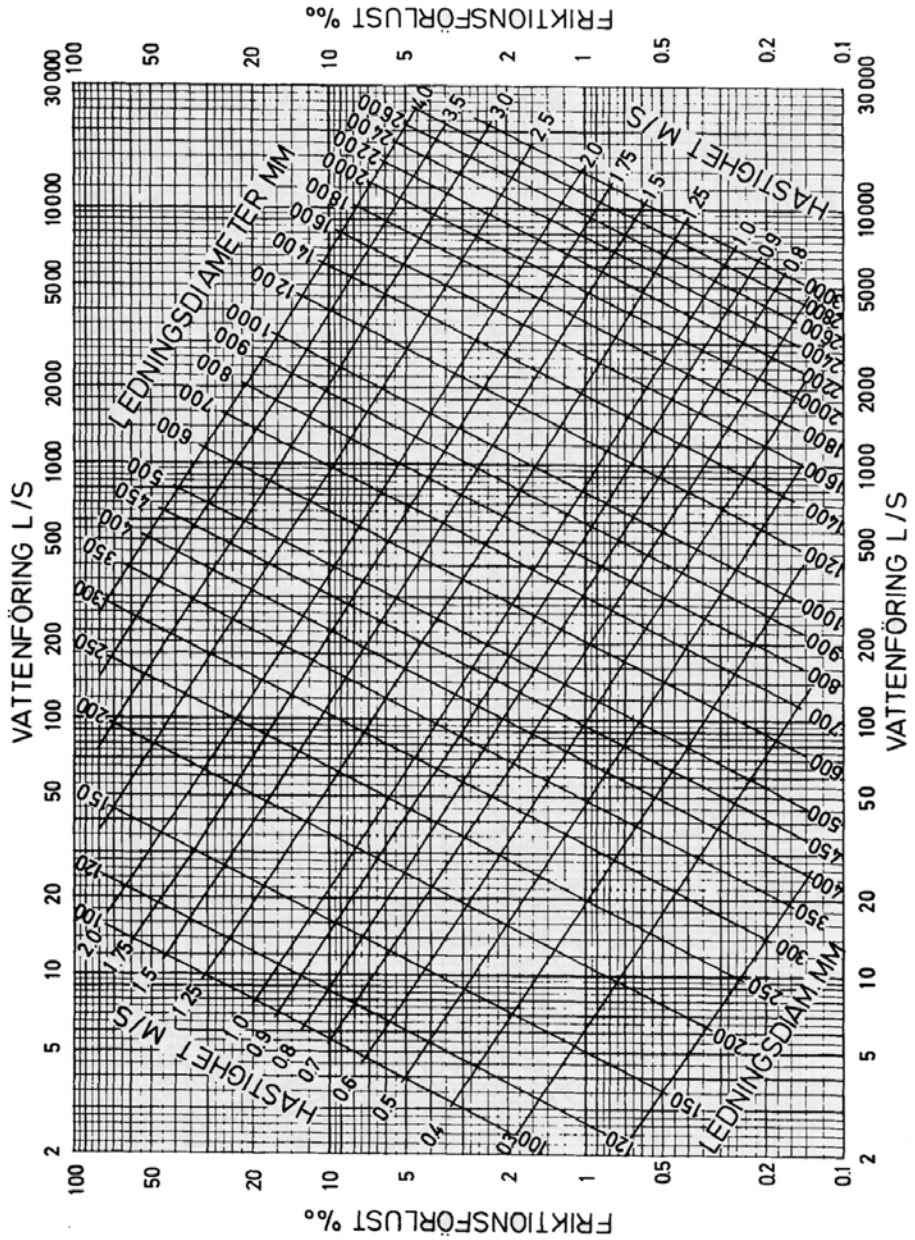


Figur 7.1 Friktionskoefficienten som funktion av Reynolds tal,  $Re$ , och relativa råheten  $k/D$  (Moodys diagram).

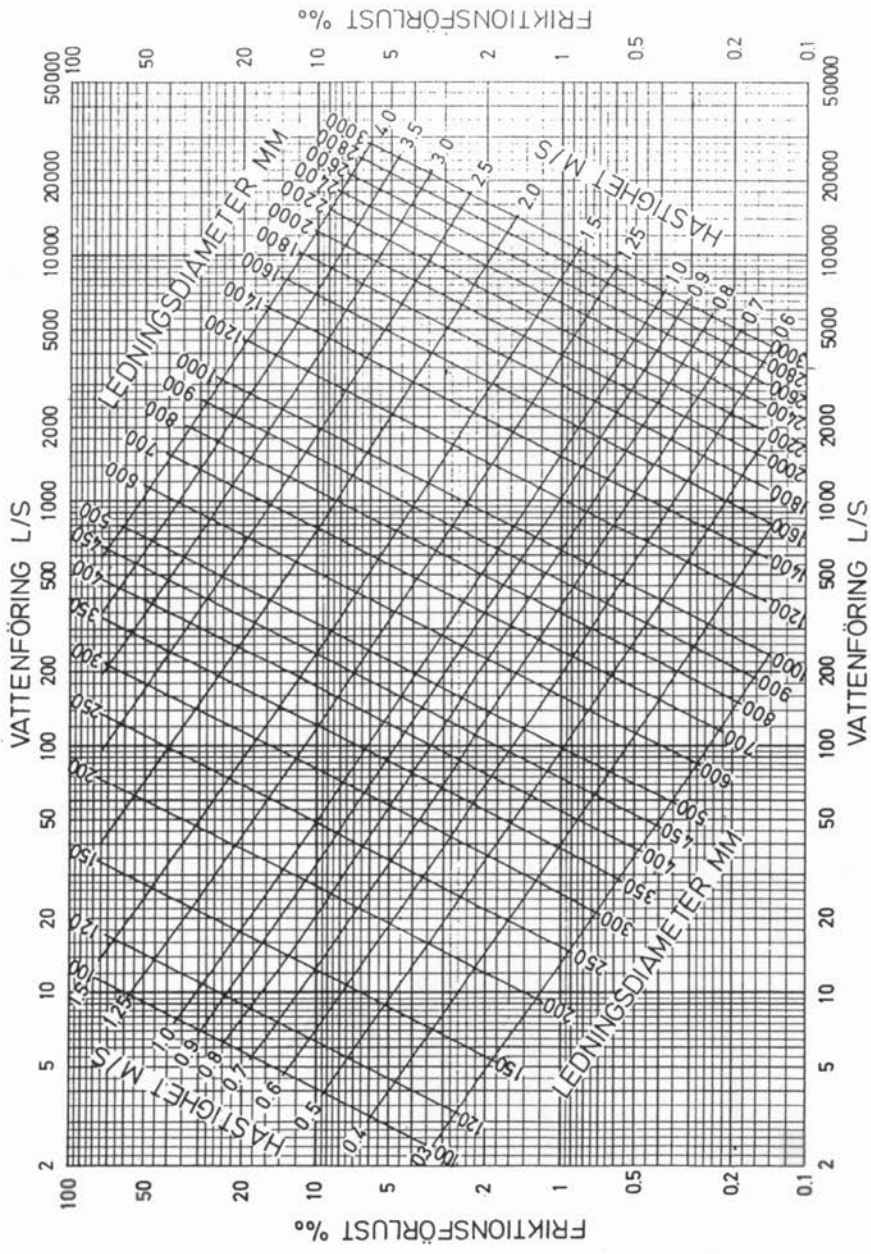
# Colebrooks diagram. $k=0,5$ mm



# Colebrooks diagram. $k=1,0$ mm

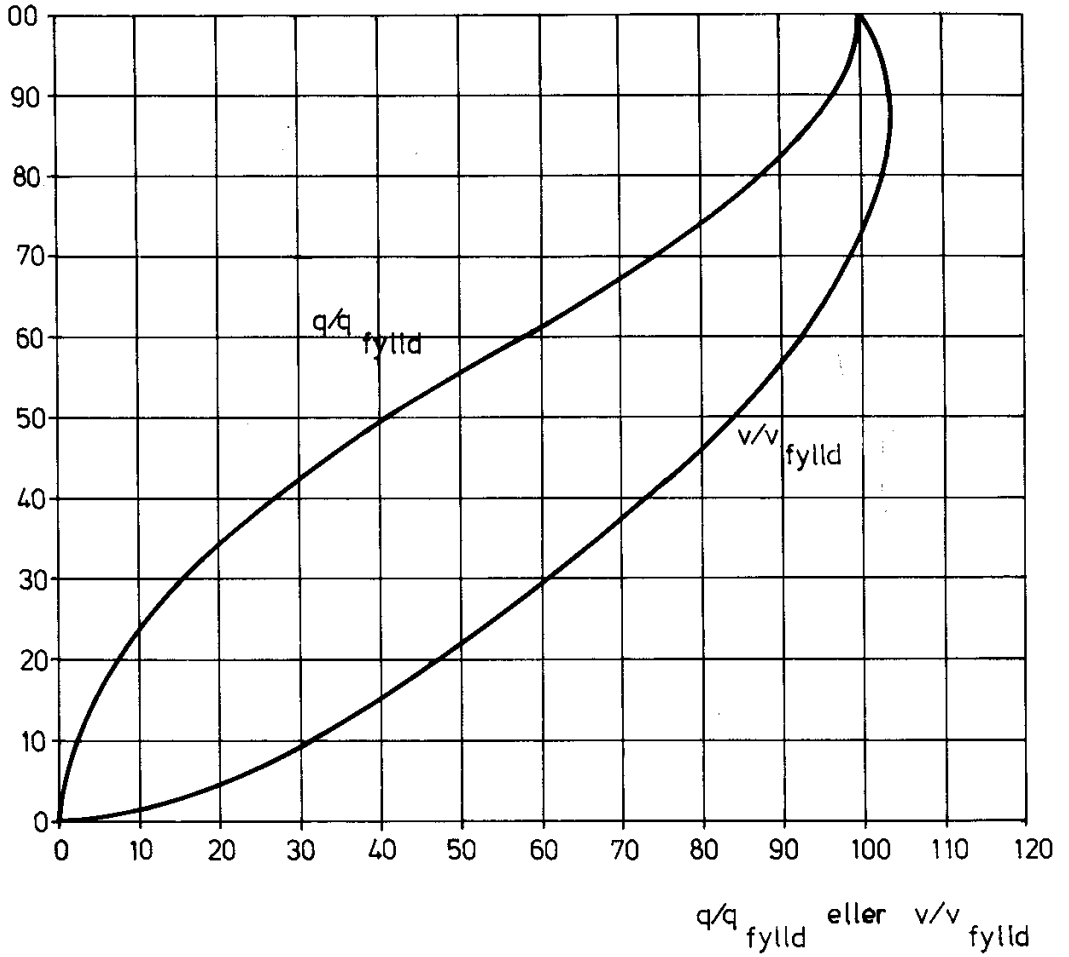


# Colebrooks diagram. $k=5,0$ mm



Friktionsförlustdiagram,  $k = 5,0$  mm.

# Delfylld ledning





# PERIODISKA SYSTEMET

Grundämne	Symbol	Atomnummer	Atomvikt (u)	Grundämne	Symbol	Atomnummer	Atomvikt (u)
Aktinium	Ac	89	(227)	Magnesium	Mg	12	24,305
Aluminium	Al	13	26,9815	Mangan	Mn	25	54,9380
Americium	Am	95	(243)	Mendelevium	Md	101	(256)
Antimon	Sb	51	121,75	Molybden	Mo	42	95,94
Argon	Ar	18	39,948	Natrium	Na	11	22,9898
Arsenik	As	33	74,9216	Neodym	Nd	60	144,24
Astat	At	85	(210)	Neon	Ne	10	20,179
Barium	Ba	56	137,34	Neptunium	Np	93	(237)
Berkelium	Bk	97	(247)	Nickel	Ni	28	58,71
Beryllium	Be	4	9,0122	Niob	Nb	41	92,906
Bly	Pb	82	207,19	Nobelium	No	102	(254)
Bor	B	5	10,811	Osmium	Os	76	190,2
Brom	Br	35	79,904	Palladium	Pd	46	106,4
Californium	Cf	98	(249)	Platina	Pt	78	195,09
Cerium	Ce	58	140,12	Plutonium	Pu	94	(242)
Cesium	Cs	55	132,905	Polonium	Po	84	(210)
Curium	Cm	96	(247)	Praseodym	Pr	59	140,907
Dysprosium	Dy	66	162,50	Prometium	Pm	61	(147)
Einsteinium	Es	99	(254)	Protaktinium	Pa	91	(231)
Erbium	Er	68	167,26	Radium	Ra	88	(226)
Europium	Eu	63	151,96	Radon	Rn	86	(222)
Fermium	Fm	100	(253)	Rhenium	Re	75	186,2
Fluor	F	9	18,9984	Rodium	Rh	45	102,905
Fosfor	P	15	30,9738	Rubidium	Rb	37	85,47
Francium	Fr	87	(223)	Rutenium	Ru	44	101,07
Gadolinium	Gd	64	157,25	Samarium	Sm	62	150,35
Gallium	Ga	31	69,72	Selen	Se	34	78,96
Germanium	Ge	32	72,59	Silver	Ag	47	107,868
Guld	Au	79	196,967	Skandium	Sc	21	44,956
Hafnium	Hf	72	178,49	Strontium	Sr	38	87,62
Helium	He	2	4,0026	Svavel	S	16	32,064
Holmium	Ho	67	164,930	Syre	O	8	15,9994
Indium	In	49	114,82	Tallium	Tl	81	204,37
Iridium	Ir	77	192,2	Tantal	Ta	73	180,948
Jod	I	53	126,9044	Teknetium	Tc	43	(99)
Järn	Fe	26	55,847	Tellur	Te	52	127,60
Kadmium	Cd	48	112,40	Tenn	Sn	50	118,69
Kalcium	Ca	20	40,08	Terbium	Tb	65	158,924
Kalium	K	19	39,102	Titan	Ti	22	47,90
Kisel	Si	14	28,086	Torium	Th	90	232,038
Klor	Cl	17	35,453	Tulium	Tm	69	168,934
Kobolt	Co	27	58,9332	Uran	U	92	238,03
Kol	C	6	12,01115	Vanadin	V	23	50,942
Koppar	Cu	29	63,546	Vismut	Bi	83	208,980
Krom	Cr	24	51,996	Volfram	W	74	183,85
Krypton	Kr	36	83,80	Väte	H	1	1,00797
Kvicksilver	Hg	80	200,59	Xenon	Xe	54	131,30
Kväve	N	7	14,0067	Ytterbium	Yb	70	173,04
Lantan	La	57	138,91	Yttrium	Y	39	88,905
Lawrencium	Lr	103	(257)	Zink	Zn	30	65,37
Litium	Li	3	6,939	Zirkonium	Zr	40	91,22
Lutetium	Lu	71	174,97				

Grupp	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8	8	8	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0																																																																								
Period	1	2		3		4		5		6		7		8		9		10																																																																								
	1 1,008 <b>H</b>	2 3 6,94 <b>Li</b>	2 4 9,01 <b>Be</b>	2 21 45,0 <b>Sc</b>	2 22 47,9 <b>Ti</b>	2 23 50,9 <b>V</b>	2 24 52,0 <b>Cr</b>	2 25 54,9 <b>Mn</b>	2 26 55,8 <b>Fe</b>	2 27 58,9 <b>Co</b>	2 28 58,7 <b>Ni</b>	2 29 63,5 <b>Cu</b>	2 30 65,4 <b>Zn</b>	2 31 69,7 <b>Ga</b>	2 32 72,6 <b>Ge</b>	2 33 74,9 <b>As</b>	2 34 79,0 <b>Se</b>	2 35 79,9 <b>Br</b>	2 36 85,8 <b>Kr</b>																																																																							
	2 37 85,5 <b>Rb</b>	2 38 87,6 <b>Sr</b>	2 39 88,9 <b>Y</b>	2 40 91,2 <b>Zr</b>	2 41 92,9 <b>Nb</b>	2 42 95,9 <b>Mo</b>	2 43 98 <b>Tc</b>	2 44 101,1 <b>Ru</b>	2 45 102,9 <b>Rh</b>	2 46 106,4 <b>Pd</b>	2 47 107,9 <b>Ag</b>	2 48 112,4 <b>Cd</b>	2 49 114,8 <b>In</b>	2 50 118,7 <b>Sn</b>	2 51 121,8 <b>Sb</b>	2 52 127,6 <b>Te</b>	2 53 126,9 <b>I</b>	2 54 137,3 <b>Xe</b>																																																																								
	2 55 132,9 <b>Cs</b>	2 56 137,3 <b>Ba</b>	2 57 138,9 <b>La</b>	2 72 178,5 <b>Hf</b>	2 73 180,9 <b>Ta</b>	2 74 183,9 <b>W</b>	2 75 186,2 <b>Re</b>	2 76 190,2 <b>Os</b>	2 77 192,2 <b>Ir</b>	2 78 195,1 <b>Pt</b>	2 79 197,0 <b>Au</b>	2 80 200,6 <b>Hg</b>	2 81 204,4 <b>Tl</b>	2 82 207,2 <b>Pb</b>	2 83 209,0 <b>Bi</b>	2 84 210 <b>Po</b>	2 85 210 <b>At</b>	2 86 222 <b>Rn</b>																																																																								
	2 87 226 <b>Fr</b>	2 88 226 <b>Ra</b>	2 89 227 <b>Ac</b>	2 90 232 <b>Th</b>	2 91 231 <b>Pa</b>	2 92 238 <b>U</b>	2 93 237 <b>Np</b>	2 94 242 <b>Pu</b>	2 95 243 <b>Am</b>	2 96 247 <b>Cm</b>	2 97 251 <b>Bk</b>	2 98 256 <b>Cf</b>	2 99 259 <b>Es</b>	2 100 263 <b>Fm</b>	2 101 269 <b>Md</b>	2 102 270 <b>No</b>	2 103 270 <b>Lr</b>																																																																									
	2 11 23,0 <b>Na</b>	2 12 24,3 <b>Mg</b>	2 19 39,1 <b>K</b>	2 20 40,1 <b>Ca</b>	2 21 45,0 <b>Sc</b>	2 22 47,9 <b>Ti</b>	2 23 50,9 <b>V</b>	2 24 52,0 <b>Cr</b>	2 25 54,9 <b>Mn</b>	2 26 55,8 <b>Fe</b>	2 27 58,9 <b>Co</b>	2 28 58,7 <b>Ni</b>	2 29 63,5 <b>Cu</b>	2 30 65,4 <b>Zn</b>	2 31 69,7 <b>Ga</b>	2 32 72,6 <b>Ge</b>	2 33 74,9 <b>As</b>	2 34 79,0 <b>Se</b>	2 35 79,9 <b>Br</b>	2 36 85,8 <b>Kr</b>																																																																						
	2 5 10,8 <b>B</b>	2 6 12,0 <b>C</b>	2 7 14,0 <b>N</b>	2 8 16,0 <b>O</b>	2 9 19,0 <b>F</b>	2 10 20,2 <b>Ne</b>	2 11 23,0 <b>Na</b>	2 12 24,3 <b>Mg</b>	2 13 27,0 <b>Al</b>	2 14 28,1 <b>Si</b>	2 15 31,0 <b>P</b>	2 16 32,1 <b>S</b>	2 17 35,5 <b>Cl</b>	2 18 39,9 <b>Ar</b>	2 19 39,1 <b>K</b>	2 20 40,1 <b>Ca</b>	2 21 45,0 <b>Sc</b>	2 22 47,9 <b>Ti</b>	2 23 50,9 <b>V</b>	2 24 52,0 <b>Cr</b>	2 25 54,9 <b>Mn</b>	2 26 55,8 <b>Fe</b>	2 27 58,9 <b>Co</b>	2 28 58,7 <b>Ni</b>	2 29 63,5 <b>Cu</b>	2 30 65,4 <b>Zn</b>	2 31 69,7 <b>Ga</b>	2 32 72,6 <b>Ge</b>	2 33 74,9 <b>As</b>	2 34 79,0 <b>Se</b>	2 35 79,9 <b>Br</b>	2 36 85,8 <b>Kr</b>																																																										
	2 1 1,008 <b>H</b>	2 3 6,94 <b>Li</b>	2 4 9,01 <b>Be</b>	2 9 19,0 <b>F</b>	2 10 20,2 <b>Ne</b>	2 15 31,0 <b>P</b>	2 16 32,1 <b>S</b>	2 17 35,5 <b>Cl</b>	2 18 39,9 <b>Ar</b>	2 23 50,9 <b>V</b>	2 24 52,0 <b>Cr</b>	2 25 54,9 <b>Mn</b>	2 26 55,8 <b>Fe</b>	2 27 58,9 <b>Co</b>	2 28 58,7 <b>Ni</b>	2 29 63,5 <b>Cu</b>	2 30 65,4 <b>Zn</b>	2 31 69,7 <b>Ga</b>	2 32 72,6 <b>Ge</b>	2 33 74,9 <b>As</b>	2 34 79,0 <b>Se</b>	2 35 79,9 <b>Br</b>	2 36 85,8 <b>Kr</b>	2 37 85,5 <b>Rb</b>	2 38 87,6 <b>Sr</b>	2 39 88,9 <b>Y</b>	2 40 91,2 <b>Zr</b>	2 41 92,9 <b>Nb</b>	2 42 95,9 <b>Mo</b>	2 43 98 <b>Tc</b>	2 44 101,1 <b>Ru</b>	2 45 102,9 <b>Rh</b>	2 46 106,4 <b>Pd</b>	2 47 107,9 <b>Ag</b>	2 48 112,4 <b>Cd</b>	2 49 114,8 <b>In</b>	2 50 118,7 <b>Sn</b>	2 51 121,8 <b>Sb</b>	2 52 127,6 <b>Te</b>	2 53 126,9 <b>I</b>	2 54 137,3 <b>Xe</b>	2 55 132,9 <b>Cs</b>	2 56 137,3 <b>Ba</b>	2 57 138,9 <b>La</b>	2 58 140,1 <b>Ce</b>	2 59 140,9 <b>Pr</b>	2 60 144,2 <b>Nd</b>	2 61 147 <b>Pm</b>	2 62 150,4 <b>Sm</b>	2 63 152,0 <b>Eu</b>	2 64 157,3 <b>Gd</b>	2 65 158,9 <b>Tb</b>	2 66 162,5 <b>Dy</b>	2 67 164,9 <b>Ho</b>	2 68 167,3 <b>Er</b>	2 69 168,9 <b>Tm</b>	2 70 173,0 <b>Yb</b>	2 71 175,0 <b>Lu</b>	2 72 178,5 <b>Hf</b>	2 73 180,9 <b>Ta</b>	2 74 183,9 <b>W</b>	2 75 186,2 <b>Re</b>	2 76 190,2 <b>Os</b>	2 77 192,2 <b>Ir</b>	2 78 195,1 <b>Pt</b>	2 79 197,0 <b>Au</b>	2 80 200,6 <b>Hg</b>	2 81 204,4 <b>Tl</b>	2 82 207,2 <b>Pb</b>	2 83 209,0 <b>Bi</b>	2 84 210 <b>Po</b>	2 85 210 <b>At</b>	2 86 222 <b>Rn</b>	2 87 226 <b>Fr</b>	2 88 226 <b>Ra</b>	2 89 227 <b>Ac</b>	2 90 232 <b>Th</b>	2 91 231 <b>Pa</b>	2 92 238 <b>U</b>	2 93 237 <b>Np</b>	2 94 242 <b>Pu</b>	2 95 243 <b>Am</b>	2 96 247 <b>Cm</b>	2 97 251 <b>Bk</b>	2 98 256 <b>Cf</b>	2 99 259 <b>Es</b>	2 100 263 <b>Fm</b>	2 101 269 <b>Md</b>	2 102 270 <b>No</b>	2 103 270 <b>Lr</b>

Forklaring

2	20	atomnummer
8	40,1	atomvægt
2	Ca	symbol