

# Kanal reservoirstørrelse og vandføring

## Kort om forløbet

I forløbet skal eleverne ud og måle på en nærliggende kanal. En række opmålinger foretages, som kan bruges til at beregne kanalens vandførende evne. Ud fra dette resultat kan eleverne vurdere på, om kanalen kan håndtere et større regnskyl samt vurdere på, hvordan ændringer af kanalens dimensioner vil påvirke dette.

Forløbet er et af flere forløb udviklet til brug ude på klimatilpasningsanlæg rundt i landet og del af et større tema omkring klimatilpasning til fremtidens regnvandsmængder. Se temasiden ”klimatilpasning”.

I finder et lokalt klimatilpasningsanlæg ved at søge på ”Klimatilpasningsanlæg” på kortet, hvor I også kan læse oplysninger om det konkrete klimatilpasningsanlæg. Dette forløb er dog udviklet til kanaler, som er så almindelige og tilgængelige, at de ikke er puttet på kortet.

Under kopiark finder I forløbet opdelt i mindre sektioner, som kan printes efter behov til eleverne.

## Formål

Formålet er at arbejde med regnvandskanaler som løsningsforslag til menneskeskabte klimaudfordringer i form af øgede regnmængder. Samtidig arbejder vi med opmålinger og udregning af rumfang samt kanalens vandførende kapacitet.

Eleverne kommer til at opnå teoretisk viden om:

- klimatilpasning til øgede regnmængder
- regnkanalers funktion og dimensionering.

Eleverne kommer til at lave praktisk arbejde med at

- opmåle en regnvandskanal
- beregne kanalens vandføring
- vurdere kanalens evne til at håndtere et skybrud.

## Teori

### Klimatilpasning til fremtidens regnmængder

På grund af klimaforandringer oplever vi i Danmark stigende temperaturer og øgede regnmængder. Den stigende regnmængde, og det faktum at der udbygges af veje, fortove, bygninger og andet, som regnvandet ikke bare kan sive ned i, gør at presset øges på kloakledningerne, som ikke længere kan håndtere den mængde vand, der ledes i dem.

Vores kloaknet skal håndtere to typer af vand. Spildevandet som er et produkt fra vores husholdning og industri (toiletter, køkken- og håndvaske, maskiner, produktion) og overfaldevand (nedbør i form af regn og sne). Når det regner meget, bliver en fælles kloakledning meget hurtigt fyldt op, og vi risikerer at spildevandet skyller tilbage op gennem afløb inde i husene. Mange steder har man derfor separat kloakeret, således at spildevand og overfladevand adskilles. Regnvandskloakken er slet ikke forbundet med spildevandet, og ved store regnskyl vil tilbageløb eller overløb ske ud i naturen eller på vejene. Det separerede regnvand er renere end spildevand, men dog ikke rent nok til at kunne ledes direkte ud i naturen, da regnvandet på dets vej samler forurening op fra veje, tage og fortove. Det er dyrt (og ikke altid praktisk muligt) at grave nye større regnvands kloakledninger ned, så vi undgår overløb. Derfor må de øgede regnvandsmængder fra byerne håndteres på en anden måde.

Det, der er behov for, er et sted, hvor de store mængder regnvand fra regnvandskloakkerne forsinkes, nedsives og/eller oplagres, og hvor regnvandet renses, før det lukkes ud i søer og vandløb. Løsningen er f.eks. regnvandskanaler.

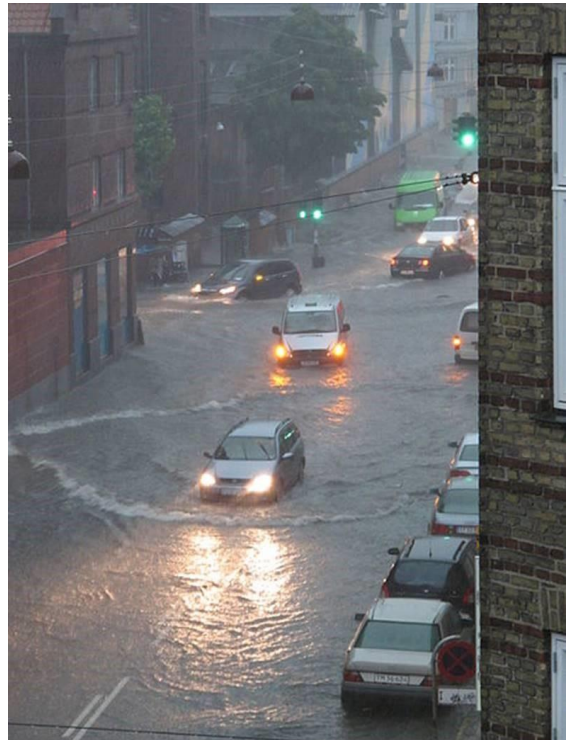


Foto: Lisa Risager (dingeo.dk)

## Regnvandskanaler

En regnvandskanal kan have flere funktioner, som alle hjælper med at aflaste kloaksystemet.

- Vand, der føres i kanaler, skal ikke rummes i kloakrørene under jorden.
- Vand i kanaler med permeabel (gennemtrængelig) bund får lov at sive ned i jorden, og vandmængden, der ender i regnvandskloak, reduceres.
- Vand i kanaler kan forsinkes, ved at man lægger små bræmmer (forhindringer) i kanalen. Dermed bliver vandet tilbageholdt lidt, og det giver plads til, at vandet mere langsomt kan føres over i regnvandskloakkerne. Hermed kan man klare sig med mindre kloakrør.

### Dimensionering af kanaler

En kanal har en opbevaringsfunktion, idet de kan bruges til at forsinke vandet. Dermed skal de laves rummelige nok til at kunne holde til at opbevare en del vand. De skal også føre vandet videre til regnvandskloakker eller sø, å eller vandløb med en hastighed stor nok til, at de ikke flyder over.

Derfor er både regnvandskanalens reservoirvolumen og dens vandføringsevne vigtig at tilpasse til de mængder regn, der falder. Man har i mange år opsamlet data omkring regn for at blive bedre til at forudsige vejret. Fra mange års målinger kan man begynde at opstille statistikker for, hvor tit det vil regne og hvor meget. Se fx nedenstående tabel. I denne tabel kan det f.eks. ses, at der i gennemsnit 1 gang hvert 10. år kan forventes, at der over en 15 minutters periode vil indtræffe en regnhændelse med en gennemsnitlig intensitet på 190 L pr. sekund pr. hektar.

*Tabel fra Linde et. al 2002. Landsrække bestemt ud fra 139 målinger (1933-62). Regnintensiteterne er i l/s/ha. Man kan omregne fra l/s/ha til l/s/m<sup>2</sup> ved at dividere med 10 000 da en hektar er lig med 10 000 m<sup>2</sup>.*

Gentagelses- periode T (år)	Varighed, t <sub>r</sub> (minutter)								
	5	10	15	20	25	30	40	60	120
20	350	280	240	205	172	149	119	86	64
10	310	230	190	170	142	123	98	72	43
5	260	190	160	128	108	94	76	56	33
2	200	140	114	92	78	68	56	43	26
1	150	110	88	72	61	54	44	33	21
0,5	110	83	64	53	46	41	34	26	17
0,2	80	52	40	34	29	26	22	17	11

## **Sikkerhed og hygiejne**

En kanal tager som udgangspunkt kun imod regnvand, hvilket ikke er mere beskidt, end det vand man kan finde i enhver vej-vandpyt. Dog kan der være fejkoblinger i rørsystemet i oplandet til kanalen, hvor enkelte huse fejlagtigt har koblet deres spildevand til regnvandsledningen. Derfor skal man udvise god hygiejne, når man arbejder med vand og andre materialer fra kanalen. Tager man fx madpakke med ud til arbejdet med kanalen, bør man vaske fingre, før man spiser.

## Forberedelse

### Oplæg på klassen

Start forløbet i klassen med gennemgang af teori afsnittet.

### Læringsmål

Formålet med den konkrete øvelse er at finde ud af hvor meget vand, der er plads til i en kanal (reservoirvolumen) og hvor meget vand, der kan ledes gennem kanalen pr tidsenhed (maksimal vandføring).

- Hele klassen formulerer i fællesskab en overordnet problemstilling. Et eksempel kunne være: "Hvordan kan etableringen af kanaler løse udfordringer skabt af klimaforandringer".
- Formulér sammen med læreren, læringsmål for forløbet.

Kom eventuelt omkring følgende arbejdsspørgsmål (brug information i teori teksten samt internettet for at finde svar):

1. Hvad bruger vi kanaler til?
2. Hvordan kan kanaler aflaste vores regnvandskloakker?
3. Hvad har betydning for hvor meget vand, der kan være i kanalen?
4. Hvad har betydning for vandføringshastigheden i kanalen?
5. Giv argumenter om vandet helst skal flyde hurtigt eller langsom gennem en regnvandskanal.
6. Hvordan kan man nedbringe eller øge vandføringshastigheden i kanaler?

### Planlægning

For at løse opgaven skal I ud til en kanal. Kanaler findes rigtig mange steder, hvor regnvand skal ledes fra et sted til et andet. Typisk vil grøftekanten ved veje være udformet som kanaler, men man kan også finde små kanaler inde i byerne hvor de leder regnvandet til den nærmeste regnvandskloak.

Planlæg turen, så alle ved, hvad de skal, når I når ud til kanalen.

- Hvornår skal vi afsted?
- Hvem har set en lokal kanal, vi kan undersøge?
- Skal klassen arbejde sammen, eller skal den opdeles i grupper?
- Skal vi alle undersøge den samme kanal?
- Hvad skal vi have med, og hvem tager hvad med?
- Hvad skal dokumenteres, hvordan og af hvem?
- Sikkerhed og hygiejne.

### *Materialer*

- Målebånd (50m)
- Tommestok
- Snor
- Vatterpas eller Iphone app "Angle meter"
- Evt. en flowmåler
- Evt. flyder, stopur og net
- Evt. landmålerstok

## Sådan gør I

### Formål

At finde ud af hvor meget vand, der er plads til i en kanal (reservoirvolumen) og hvor meget vand, der kan ledes gennem kanalen pr tidsenhed (maksimal vandføring).

### Vejledning

#### *Observationer*

Tag et billede af kanalen og beskriv kanalens opbygning:

- Hvad er bunden lavet af?
- Kan vandet sive gennem bundlaget eller ej?
- Er der forhindringer for vandet ned gennem kanalen?
- Hvor tager kanalen vand fra, og hvor ledes det hen?
- Hvad sker der med vandet, hvis kanalen flyder over?

#### *Opmåling*

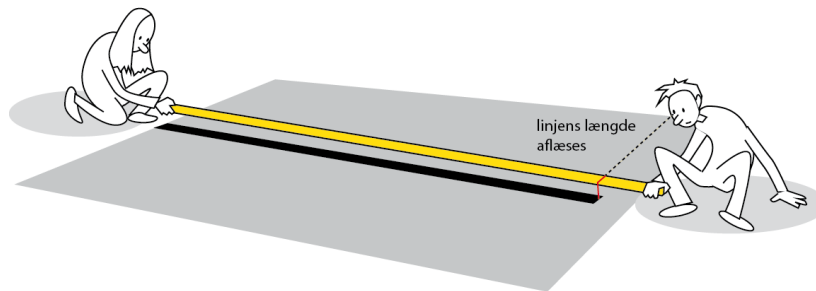
Ved kanalen kan måles på følgende parametre:

- Kanalens længde
- Kanalens bredde
- Kanalens gennemsnitsdybde
- Flow af vand gennem kanalen
- Kanalens fald
- Kanalens vådperimeter (længden på tværs af kanalen langs bunden).

Alle resultater indføres i resultat skemaet. Vær opmærksom på at indføre alle målinger i meter, hvis det er afstande eller sekunder, hvis det er tid.

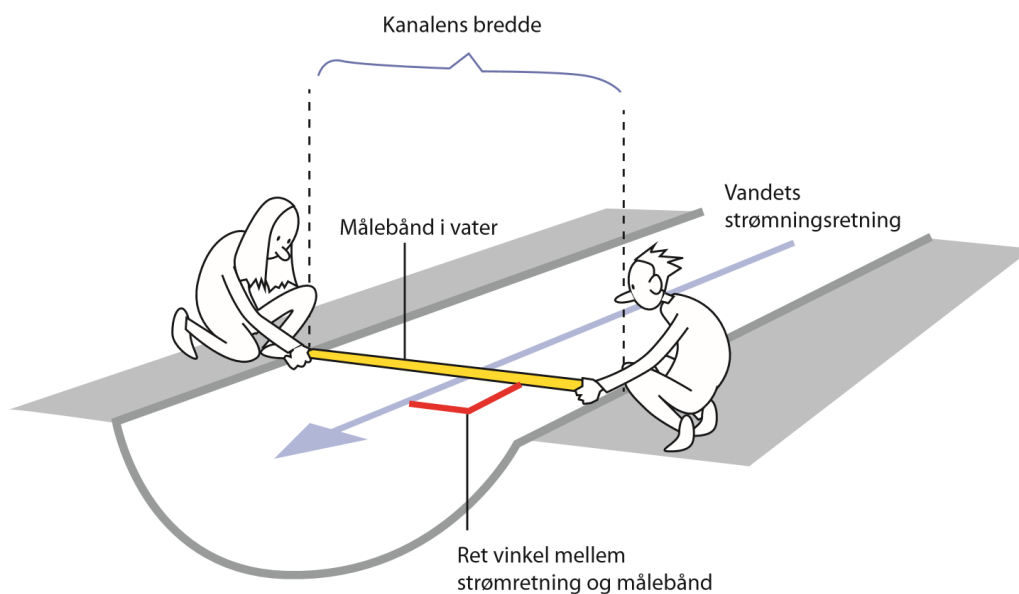
### 1. Fremgangsmåde ved opmåling af kanalens længde:

- En person placerer sig ved den ene ende af kanalen og holder enden af et 50 m målebånd ved dette punkt. En anden person trækker målebåndet til den anden ende af kanalen og aflæser kanalens længde på målebåndet ved dette punkt. Hvis kanalen er længere end målebåndet, kan opmålingen gøres ad flere omgange eller ved opmåling på et digitalt kort.



### 2. Fremgangsmåde ved opmåling af kanalens bredde:

- To personer placerer sig på hver sin side af kanalen og udspænder et målebånd mellem sig. Målebåndet skal holdes vinkelret på vandets strømning i kanalen (se figur herunder).



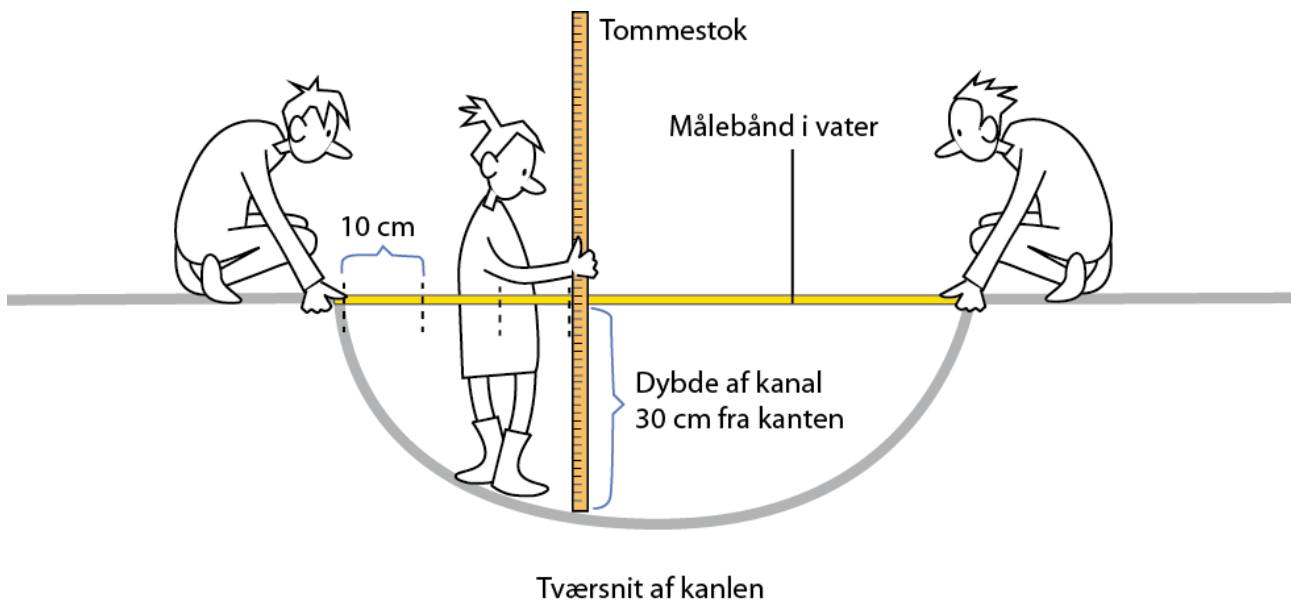
- Målebåndet skal være i vater og være placeret ved det niveau, der vil svare til vandspejlets overflade, hvis kanalen er fyldt.
- Bredden af kanalen aflæses nu på målebåndet som afstanden fra kanalens ene kant til den anden.



### 3. Fremgangsmåde ved opmåling af kanalens gennemsnitsdybde:

Kanalens volumen (rumfang) beregnes som: Rumfang = længde \* bredde \* gennemsnitsdybde. Det vil sige, at der skal foretages opmåling af kanalens længde, bredde og et passende antal målinger af dybden henover et tværsnit af kanalen.

- To personer placerer sig på hver sin side af kanalen og udspænder et målebånd mellem sig. Målebåndet skal holdes vinkelret på vandets strømningsretning i kanalen. Målebåndet skal være i vater og være placeret ved det niveau, der vil svare til vandspejlets overflade, hvis kanalen er fyldt.
- Den første dybdemåling skal gøres ved kanalens ene kant og er 0 cm.
- Den anden dybdemåling foretages med en tommestok 10 cm fra kanalens ene kant (se figur herunder). Tommestokken skal holdes lodret, og dybden aflæses som afstanden fra målebåndet til kanalens bund.



- Den tredje dybdemåling foretages på samme måde, men 20 cm fra kanalens ene kant. Denne fremgangsmåde gentages for hver 10. cm henover kanalen fra den ene kant til den anden.
- Afslutningsvis angives dybden ved kanalens anden kant, hvor dybden er 0 cm.

#### **4. Flow måling**

Hvis der er vand i kanalen ved opmåling, kan flowet gennem kanalen måles med en af nedenstående metoder.

##### **Fremgangsmåde ved måling af kanalens flow med flowmåler**

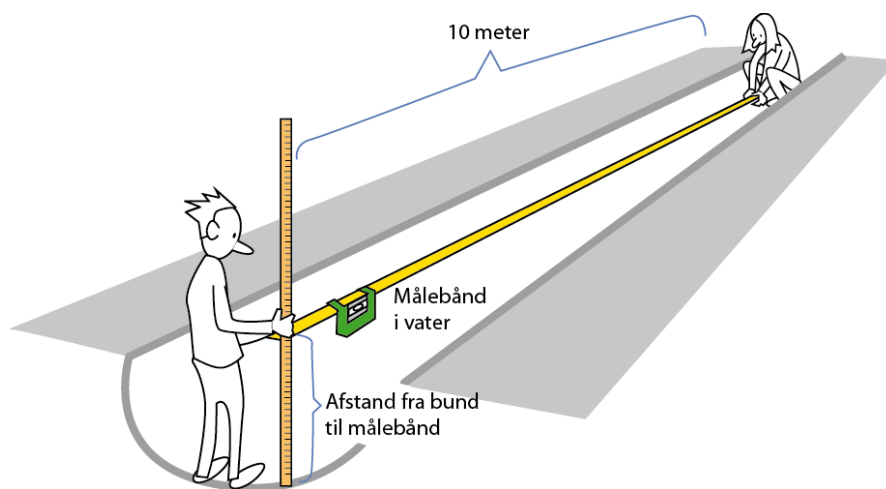
- Flowmåleren placeres om muligt midt i kanalen.
- Flowet måles over længere tid eller ad flere gange.
- Der udregnes en middelværdi af flowet gennem kanalen ud fra målingerne

##### **Fremgangsmåde ved måling af vandets flow ved brug af flyder**

- Afmål en kendt længde langs kanalen, fx 10 meter
- Opstil en person ved længdens start som har en synlig flydende genstand
- Opstil en person ved længdens slutpunkt med et stopur
- Opstil en person længere ned ad kanalen, evt. med et net
- Personen ved længdens start kaster genstanden i vandet samtidig med at stopuret startes.
- Stopuret stoppes når genstanden passerer længdens slut og personen med nettet fanger genstanden længere nede ad kanalen.

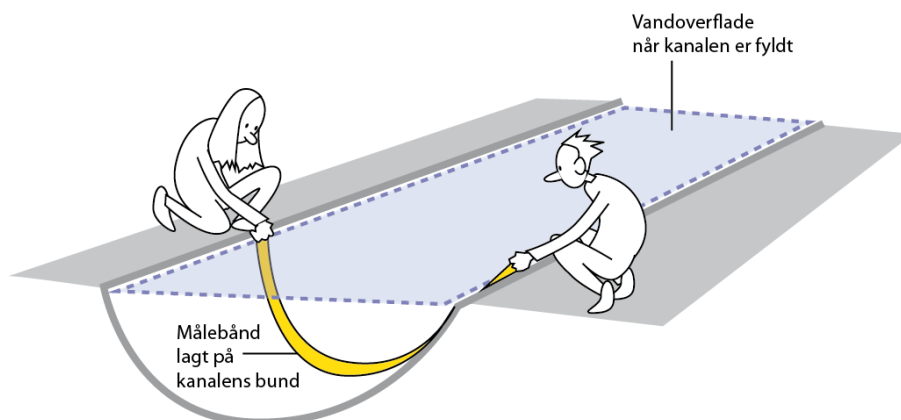
### 5. Fremgangsmåde ved opmåling af kanalens fald (I):

- En person (person1) stiller sig i bunden af kanalen (midt i) i den ene ende af kanalen (opstrøms). Se figur herunder. Denne person holder enden af et målebånd fast ved kanalens bund.
- En anden person trækker målebåndet ned gennem midten af kanalen og holder det hævet over kanalens bund, så målebåndet er i vater. Målebåndet trækkes ud, så der er 10 m mellem de to personer. Dette kan varieres afhængig af kanalens længde og det fald, der skal måles, men husk at bruge den anvendte afstand i beregningerne (kaldes L).
- Ved person 2 aflæses afstanden fra kanalens bund til målebåndet i cm på en lodret holdt tommestok (kaldes h).
- Herefter kan faldet på den målte strækning beregnes som:  $h / L$ , hvor L her er 1000 cm.



### 6. Fremgangsmåde ved opmåling af kanalens vådperimeter:

- En person placerer sig på den ene side af kanalen og holder enden af et målebånd ved det punkt ved kanten, hvortil vandet maksimalt kan nå op.
- En anden person trækker målebåndet ud og lægger det på bunden af kanalen i en lige linje henover kanalens tværsnit. Længden af vådperimeteren aflæses til sidst ved kanalens anden kant (se figuren herunder).



## Opmålingsresultater

<b>Kanalens længde (m):</b>	
<b>Kanalens bredde (cm):</b>	

### Kanalens middeldybde

Afstand fra kant (cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Dybde (cm)										

Afstand fra bred (cm)	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Dybde (cm)										

Tilføj selv flere rubrikker efter behov.

### $V_{\text{middel}}$ : Måles kun, hvis der er vand i kanalen

Målings metode	1. måling	2. måling	3. måling	gennemsnit
Flowmeter				m/s
Flyder				S

Tidstagning over \_\_\_\_\_ meter

<b>Kanalens fald (I) over ..... m</b>	<b>m</b>
<b>Kanalens vådperimeter (p)</b>	<b>m</b>

## Efterbehandling

### Databehandling

Alle udregninger indføres i databehandlingsskemaet.

#### *Opgave 1: Beregn kanalens rumfang*

- Beregn først **gennemsnitsdybden**

Gennemsnitsdybden beregnes som:  $\text{Gennemsnitsdybde} = (\text{sum af alle dybderne} / (\text{antal målinger} - 1))$ .

Hvor der trækkes 1 fra antal målinger, fordi begge kanalens kanter med dybde 0 cm er medtaget i udregningen.

- Beregn **tværsnitsarealet (A)**

Tværsnitsareal (A) = Gennemsnitsdybde \* bredde

- **Kanalens rumfang** kan derefter udregnes som  
Rumfang = længde \* tværsnitsareal

Rumfanget kan evt. også omregnes til liter idet  $1000 \text{ l} = 1 \text{ m}^3$ .

#### *Opgave 2: Beregn vandets middelhastighed i kanalen*

Sådan findes vandets middelhastighed ( $v$ )

- a) Hvis I har haft mulighed for at måle på flowet af vand i kanalen, skal I blot udregne en middelværdi af vandhastigheden i m/s.
- b) Hvis der ikke var vand i kanalen, kan man stadig godt beregne en middelhastighed i kanalen. Formlen er lidt kompliceret, så det kan godt være, du skal få din lærer til at hjælpe dig. Middelhastigheden beregnes med følgende formel:

$$v = 1/M * \sqrt{I} * R_h^{2/3}$$

Hvor;

**M** er Manningskoefficienten (se skema)

**I** er kanalens fald (hældning)

**R<sub>h</sub>** er den hydrauliske radie, som siger noget om, hvor stor "hullet" i kanalen er ift. bundens overflade. Jo større hul ift. bundflade desto mindre bremses vandet af kontakt med bunden, og desto hurtigere kan vandet løbe.

Se trin for trin vejledning til udregningen nedenfor.

### 1) Beregn den **hydrauliske radie $R_h$**

Vi starter vores udregninger med at finde den **hydrauliske radie  $R_h$** . Den hydrauliske radie  $R_h$  udregnes som:

$$R_h = \text{tværsnitsareal (A)} / \text{vådperimeter}$$

- Brug formlen;  $R_h = \text{tværsnitsareal (A)} / \text{vådperimeter}$  .
- Brug tværsnitsarealet, som I har udregnet i opgave 1 og den afmålte våd perimenter (p).

### 2) Beregn kanalens **fald (I)**

- Fald i  $m_{\text{fald}}/m_{\text{kanal}}$  udregnes ud fra jeres målinger. Se feltopgave 5.

### 3) Beregn $V_{\text{middel}}$

- Brug formlen;  $v = 1/M * \sqrt{I} * R_h^{2/3}$
- Find den rette Manningskoefficient i skemaet, afhængig af hvilken bund kanalen har.
- Få evt. læreren til at hjælpe med at bruge lommeregneren til at tage kvadratroden af I og opløfte  $R_h$  i  $2/3$ .

Overflade materiale	Manningskoefficienten
Cement	0.011
Asfalt	0.016
Jern	0.012
Beton	0.012
Ren jord	0.022
Gruset jord	0.025
Jord med bevoksning	0.030
Stenet jord	0.035
Galvaniseret jern	0.016
Glass	0.010
Grus	0.023
Mursten	0.025
Plastik	0.009
Træ	0.012

Skema med Manningskoefficienter for forskellige overflader

### Opgave 3: Beregn kanalens vandføring.

Vandføring (Q) er den vandmængde, der passerer et tværsnit af kanalen pr tidsenhed, og beregnes som:

$$Q = A * v$$

Hvor:

Q er vandføring (hvor meget vand, der kan løbe gennem kanalen).

A er tværsnitsarealet.

v er vandets middelhastighed.

#### Beregn kanalens vandføring Q

Brug her det beregnede tværsnitsareal A og  $V_{\text{middel}}$

#### Databehandlingsskema

Gennemsnitsdybde = sum af alle dybder / (antal målinger-1)	m
Tværsnitsareal (A) = Gennemsnitsdybde * bredde	m <sup>2</sup>
Kanalens rumfang = længde * tværsnitsareal	m <sup>3</sup>
Kanalens fald (I) = h / L	m
Den hydrauliske radie ( $R_h$ ) = A / p	m
Vandets middelhastighed ( $v_{\text{middel}}$ ) = $1/M * \sqrt{I} * R_h^{2/3}$	m/s
Vandføring (Q) = A * $v_{\text{middel}}$	m <sup>3</sup> /s

#### Perspektiverende opgaver

1. Et skybrud er defineret som regn, hvor der kommer mindst 15mm regn på 30 minutter.

Hvor stort et område kan kanalen modtage regnvand fra, uden at flyde over under et skybrud, hvis vi antager, at alt vandet føres videre til kanalen og at intet løber ud af kanalen under skybruddet? Altså, hvor stort et område dækket af 15min vand svarer kanalens rumfang til?

2. Ca. hvert 5. år kommer der en regnintensitet på 128 l/ (s·ha), som varer over 20 minutter. Hvor mange hektar opland, som generer regnvand til kanalen, kan kanalen klare uden blive fyldt op og flyde over? Altså hvor stort et areal (ha), der genererer 128 l/ (s·ha), kan vandføringen i kanalen klare?  
Hint: 1000l = 1m<sup>3</sup>
3. Hvad sker der, hvis kanalen flyder over?
4. Kom med bud på, hvordan man vil kunne øge vandføringen i kanalen.

5. Kom med bud på, hvordan man vil kunne tilbageholde mere regnvand i kanalen.
6. Nævn fordele og ulemper ved at lave kanaler i stedet for underjordiske rør til regnvand.
7. Hvorfor er kanaler vigtige ift. vores klimatilpasning?

## Kommunikation

Der er mange måder at synliggøre, hvad du har fået ud af forløbet.. Brug evt. animationer til at vise, hvordan en regnvandskanal virker ift. klimatilpasning. For vejledning hertil, læs *Animér et klimatilpasningsanlæg* under kopiark.

Hold jeres udbytte af forløbet op mod jeres formulerede læringsmål og svar på:

- *Hvad har jeg lært?*
- *Hvordan har jeg lært det?*



[www.naturanimation.com](http://www.naturanimation.com)

Følgende specifikke fagord og termer kan bruges, når du fortæller om det, I har lært:

- Global opvarmning
- Klimatilpasning
- Regnvandskanal
- Tværsnitsareal
- Gennemsnitsdybde
- Kanalens fald
- Rumfang
- Flow
- Våd perimeter
- Vandføring
- Dimensionering

## Forslag til videre arbejde

På temasiden om klimatilpasning kan du læse mere, samt finde flere opgaver rettet mod flere typer af klimatilpasningsanlæg. Det er oplagt at inddrage flere øvelser omkring klimatilpasning i ét samlet forløb. Der vil her være overlap mellem indholdet af de forberedende øvelser, men også dele som er unikke for de specifikke opgaver.

Følgende opgaver kan som denne bruges uafhængigt af et klimatilpasningsanlæg;

- Befæstede arealer og afløbsmængder
- Rumfang og regnvand
- Vejrdata