

R: Hydraulisk dimensjonering

Vannmengder

Ved dimensjonering av nyanlegg og ved utskifting av rør bør det foretas målinger og vurderinger av framtidige endringer i vannmengdene. Det kan imidlertid være vanskelig å forutsi utviklingen i dette behovet. Behovet anslås ut fra ønsket om utvikling av samfunnet. Det vil si befolkningsvekst, utvikling i lekkasjer, framtidige utbygginger, klimaendringer osv. Hvor mye kapasitet skal settes av til framtidige behov?

Vann

Ved dimensjonering av vannledninger brukes Q_{maks} , det vil si maksimalt timeforbruk i det døgnet i året med størst døgnforbruk, som dimensjonerende vannmengde:

$$Q_{maks} = Q_{mid} \cdot f_{maks} \cdot k_{maks} + Q_{brannvann} + Q_{industri} + Q_{off. bygg} + Q_{jordbruk} + \dots$$

Q_{mid} : Midlere døgnforbruk, $q \cdot pe$

q : Midlere spesifikt døgnforbruk pr personekvivalent, eventuelt inkludert lekkasjevann. Verdier mellom 140 til 180 l/pe per døgn er vanlige for bo-områder.

pe : Antall personekvivalenter – enten som antall beboere eller omregnet til forbruk per person

f_{maks} : Maksimal døgnfaktor

k_{maks} : Maksimal timefaktor

$Q_{brannvann}$: Brannvesenets krav til vannmengde

$Q_{industri}$: Lokal industris behov for vann

$Q_{off. bygg}$: Behov for vann til offentlige bygg (skole, rådhus osv.)

$Q_{jordbruk}$: Behov for vann til ulike primærnæringer

Spillvann

Spillvannsmengden i avløpsrør beregnes på samme måte som vannforsyning ved nyanlegg, men forbruk som ikke går til avløp utelates:

$$Q_{maks} = Q_{mid} \cdot f_{maks} \cdot k_{maks} + \dots + Q_{inf}$$

Q_{inf} : Lekkasjevann inn i rørledningen

Overvann

Å finne nøyaktig overvannsmengde er komplisert og krever mye kartlegging. Hvor stort er nedslagsfeltet, hvor store er flatene med ulik avrenningsfaktor, hva er helningene, hva er regnintensiteten og hvilket gjentagelsesintervall skal vi bruke, hvor stor klimafaktor må vi regne med, må vi ta hensyn til grunnvann, får vi større avrenning på islagt mark m.m.? I tillegg må vi tenke på om vi kan fordrøye og/eller infiltrere og ikke minst kartlegge de alternative flomveiene.

I prinsippet trenger vi å ta følgende steg for å finne dimensjonerende vannmengde: Først må vi anslå hvor lang tid det tar for en dråpe å renne fra nedslagsfeltets ytterste grense til oppsamlingspunktet vi skal dimensjonere fra. Ved et konstant regn med denne varigheten er vannmengden størst. Da finner vi den dimensjonerende regnskura som har så lang varighet i forhold til ønsket gjentakelsesintervall. Da har vi en regnintensitet i l/s·ha som kan multipliseres med arealene og med hensyn til avrenningsfaktorene – og vi har en vannmengde.

Gjentakelsesintervallet sier hvor ofte en så kraftig regnskur oppstår – statistisk sett. Med andre ord: Hvor sterkt ønsker du at oversvømmelse/floam kan unngås? Når konsekvensene er store bør det velges lange gjentakelsesintervaller. For veldig kritisk infrastruktur kan gjentakelsesintervallet være 200 år, mens korte gjentakelsesintervaller gir mindre behov for investeringer i tiltak. Hvor stor skade skjer hvis det renner over?

Kapasitetsberegning

Det finnes flere formler for kapasitetsberegning. Å ha kjennskap til disse og mekanismene bak er nødvendig for forståelsen. Men omfattende beregninger utføres i dag ved hjelp av avanserte modeller og er utført av personer med god kompetanse. Kapasitetsdiagrammer og nettbaserte programmer kan brukes av de fleste – for å gjøre enkle overslag. Det er flere usikkerheter forbundet med slike beregninger. I alle sammenhenger er det nødvendig med reservekapasitet.

Følgende formel kan brukes ved kapasitetsberegninger (Colebrook/White):

$$Q = -2 \cdot A_{\text{vann}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Dh \cdot I} \cdot \log \left(\frac{k}{3,71 \cdot Dh} + \frac{2,51 \cdot \nu}{Dh \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Dh \cdot I}} \right)$$

Q: Vannføring [m³/s]

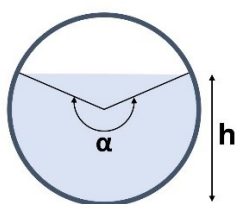
A_{vann}: Tverrsnittsarealet av vannstrømmen [m²]

For et fullt rør er tverrsnittsarealet $\frac{\pi}{4} \cdot d^2$

For et delfyllt rør er tverrsnittsarealet $\frac{d^2}{8} \cdot \left(\frac{\alpha \cdot \pi}{180} - \sin \alpha \right)$

d: Rørets innvendige diameter [m]

α: Vinkelen til sirkelbuen avgrenset av korden som vannets overflate danner [°]



$$\alpha = 2 \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot h}{d} \right)$$

h: Fyllingshøyden [m]

Fyllingsgraden $\frac{h}{d}$ kan også settes inn i prosent eller som desimaltall – 70 % fyllingsgrad = 0,7

g: Tyngdeakselerasjonen – 9,81 m/s²

Dh: Hydraulisk diameter [m]

For et fullt rør tilsvarer hydraulisk diameter den innvendige diameteren – d

For et delfyllt rør er hydraulisk diameter $\frac{4 \cdot A_{\text{vann}}}{P}$

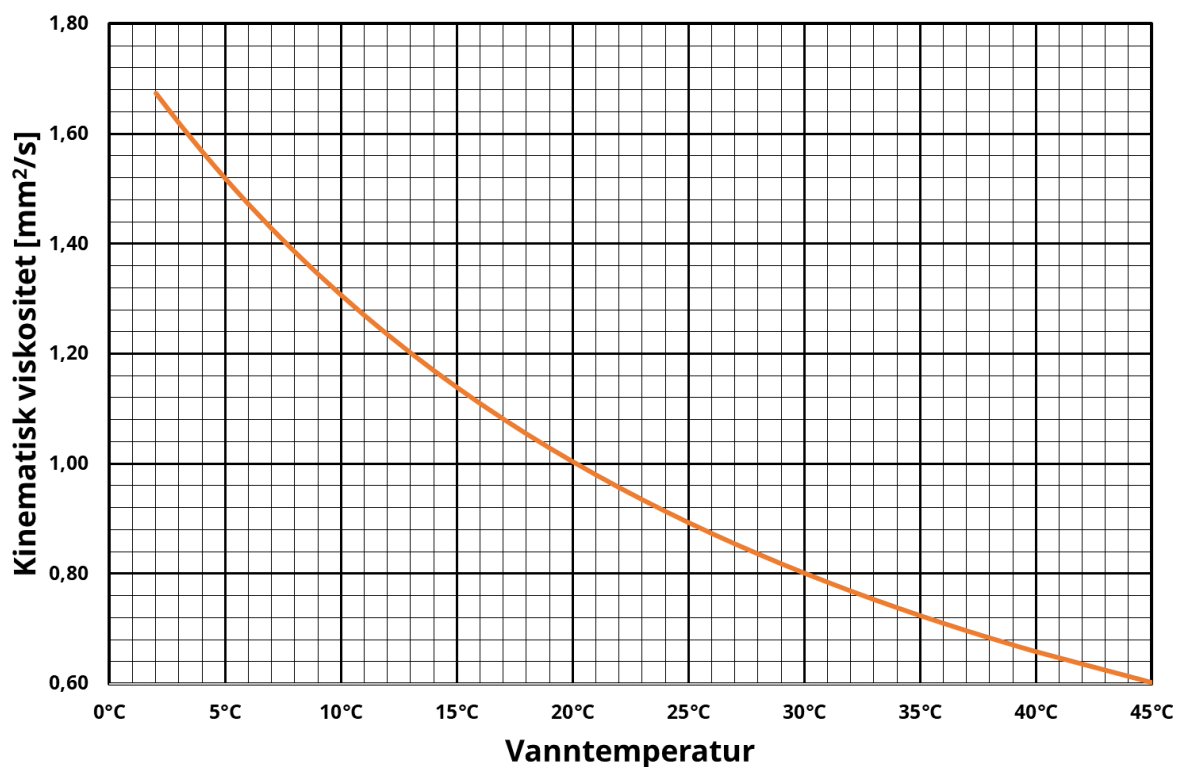
P: Fuktet omkrets $\frac{d \cdot \pi \cdot \alpha}{360}$ [m]

I: Fall for en selvfallsledning eller trykktap/trykklinjens fall for en trykkrørsledning [m/m]

k: Ledningens ruhet [m]

ν: Væskens kinematiske viskositet [m²/s]. Kinematisk viskositet er avhengig av temperatur. Det er vanlig å beregne ved 10°C for VA-ledninger. Se verdier for rent vann i diagram og

tabell under:



Kinematisk viskositet [mm²/s] for vann ved ulike temperaturer

Vann-temperatur [°C]	Kinematisk viskositet u for vann [m²/s]
2	$1,6736 \cdot 10^{-6}$
4	$1,6191 \cdot 10^{-6}$
6	$1,4716 \cdot 10^{-6}$
8	$1,3849 \cdot 10^{-6}$
10	$1,3063 \cdot 10^{-6}$
12	$1,2347 \cdot 10^{-6}$
14	$1,1692 \cdot 10^{-6}$
16	$1,1092 \cdot 10^{-6}$
18	$1,0541 \cdot 10^{-6}$
20	$1,0034 \cdot 10^{-6}$

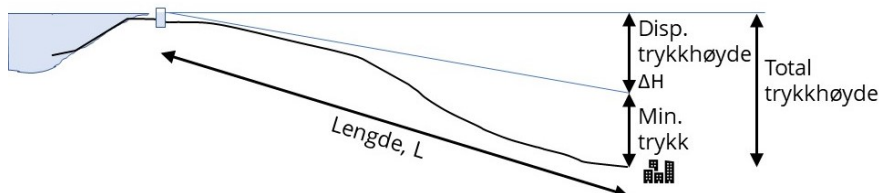
Vann-temperatur [°C]	Kinematisk viskositet u for vann [m²/s]
22	$0,9565 \cdot 10^{-6}$
24	$0,9131 \cdot 10^{-6}$
26	$0,8729 \cdot 10^{-6}$
28	$0,8355 \cdot 10^{-6}$
30	$0,8007 \cdot 10^{-6}$
32	$0,7682 \cdot 10^{-6}$
34	$0,7379 \cdot 10^{-6}$
36	$0,7095 \cdot 10^{-6}$
38	$0,6828 \cdot 10^{-6}$
40	$0,6579 \cdot 10^{-6}$

Kinematisk viskositet [m²/s] for vann ved noen temperaturer

Dimensjonering av trykkrørsledninger

Ved vanlig dimensjonering er nødvendige data:

- Disponibel trykkehøyde/maksimalt ønsket trykktap (ΔH) [m]
- Ledningens lengde (L) [m]
- Ledningsprofil og kotehøyder eller høydeforskjell mellom ledningens begynnelse og slutt [m]
- Ønsket vannmengde (Q_{maks}) [l/s] eller innvendig diameter på eksisterende rør (d) [m]
- Krav om vannhastighet (v) [m/s]



Skisse av en rørledning som skal transportere en ønsket vannmengde fra kilde til høydebasseng eller forbrukssted.

$I = \frac{\Delta H}{L}$: Disponibel trykkehøyde (ΔH) dividert med ledningens lengde (L) gir oss energigradient (I) - også kalt disponibelt trykktap eller fall i m/m, %, ‰, m/km eller mm/m.

Eksempel:

På en 1,2 kilometer lang ledning kan vi tillate oss et trykktap på 1,5 bar. Hva blir den disponible trykkehøyden i m/m?

Vi benytter kryssmultiplisering for å regne ut trykktapet i meter vannsøyle – x mVs forholder seg til 1,5 bar som 10,2 mVs forholder seg til 1 bar (10,2 mVs = 1,0 bar):

$$\begin{aligned} \frac{x \text{ mVs}}{1,5 \text{ bar}} &= \frac{10,2 \text{ mVs}}{1,0 \text{ bar}} \\ \downarrow \\ x \text{ mVs} &= \frac{10,2 \text{ mVs} \cdot 1,5 \text{ bar}}{1,0 \text{ bar}} = 15,3 \text{ mVs} \end{aligned}$$

1,5 bar tilsvarer 15,3 mVs og 1,2 kilometer er 1200 meter. Da blir disponibel trykkehøyde i m/m for bruk i formelen:

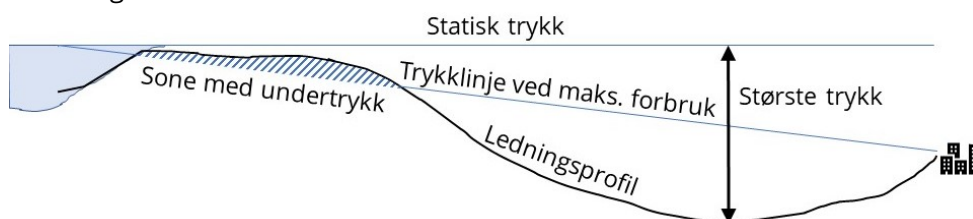
$$I = \frac{\Delta H}{L} = \frac{15,3 \text{ m}}{1200 \text{ m}} = 0,01275 \text{ m/m}$$

Total trykkehøyde dividert på ledningens lengde er ledningens virkelige fall. Beregninger basert på denne verdien gir maksimal kapasitet, men med null trykk på vannet ved endepunktet for trykkledninger.

Prinsippene er de samme for pumpeanlegg. Da løfter pumpen trykkehøyden slik at situasjonen blir lik den som er skissert for høyereleggende kilde over.

Pumper som starter og stopper og ventiler som åpner og stenger kan gi trykkstøt som begrenses med trykkstøtdempende tiltak. Trykksvingningene må beregnes i egnede beregningsprogrammer – og maksimum og minimum trykk og hyppighet må være innenfor begrensningene. Uforutsette trykkstøt som kan oppstå en sjelden gang er normalt ikke dimensjonerende, men bør uansett forebygges/reduceres.

Lange rørledninger kan ha en ledningsprofil som gir svært høye trykk eller kraftige undertrykk på deler av ledningen. Det er viktig å undersøke om trykksituasjoner i rørledningen kan være utenfor grenseverdiene.



Normalt anbefales vannhastigheter mellom 0,5 - 2,0 m/s i kommunale vannledninger. Vannhastigheter inntil 3,5 m/s kan i enkelte tilfeller godtas. Ønsket trykk ved utløpet er normalt mer enn 2 bar. Ved trykk større enn 4 bar ved en bygning må det monteres trykkreduksjonsventiler. Utstyr i hus er beregnet for trykk mindre enn 4 bar.

Nyproduserte plastrør har lav ruhefsfaktor og betraktes ofte som hydraulisk glatte. Men skjøter og litt belegg innvendig i rørene vil føre til at den virkelige verdien blir større. Vi anbefaler å benytte følgende k-verdier både for trykkrør av PE og PVC for **vannforsyning**:

Dimensjon	k-verdi [mm]
d ≤ 200mm	0,01
d > 200mm	0,05

Disse verdiene gjelder rør uten mange bend, tilknytninger og ventiler. Hvis det er mye utstyr på nettet brukes 5 - 10 % lavere disponibelt trykktap (energigradient). Se neste avsnitt. Ved hastigheter over 2,0 m/s og marginal dimensjonering anbefaler vi å utføre en beregning av singulærtapene.

I trykkrør for spillvann (kloakkpumpeledninger) vil det dannes en kloakkhud som vil øke ruheten ytterligere. Inntaks- og utslippsledninger i saltvann kan få kraftig begroing og dermed svært høye k-verdier. Korrosjon i metallrør og mangan i råvannet vil også gi høye k-verdier.

Kapasitetsberegningsprogram for trykkrør

På våre hjemmesider www.pipelife.no har vi et enkelt [beregningsprogram for kapasitetsberegning av fulle rør](#). Programmet er enkelt å bruke og det er en stor fordel at du raskt kan prøve ut ulike parametere og se effekten av endringene du gjør. Bruk av programmet krever at man har god basiskunnskap om kapasitetsberegninger og de ulike parameterne som inngår. Kompliserte anlegg bør prosjekteres av kvalifisert personell.

Inn-data

Beregn

- ☐ Avløpsrør (trykkløst)
☒ Trykkrør

Kapasitet og hastighet ▼

Rørdata

- ☒ Utvendig diameter Du 315 [mm] SDR 21 [-]
☐ Innvendig diameter Di 285,00 [mm]
Ruhet μ 0.01 [mm] [Råd](#)
Rørledningens lengde L 1000 [m]
Vanntemperatur 10 [°C]

Opplysninger om trykforhold

- Trykk ved innløp P1 4,5 bar ▼
Minimum trykk ved utløp P2 4 bar ▼
Kotehøyde innløp h1 22 [m]
Kotehøyde utløp h2 10 [m]

Beregnete verdier

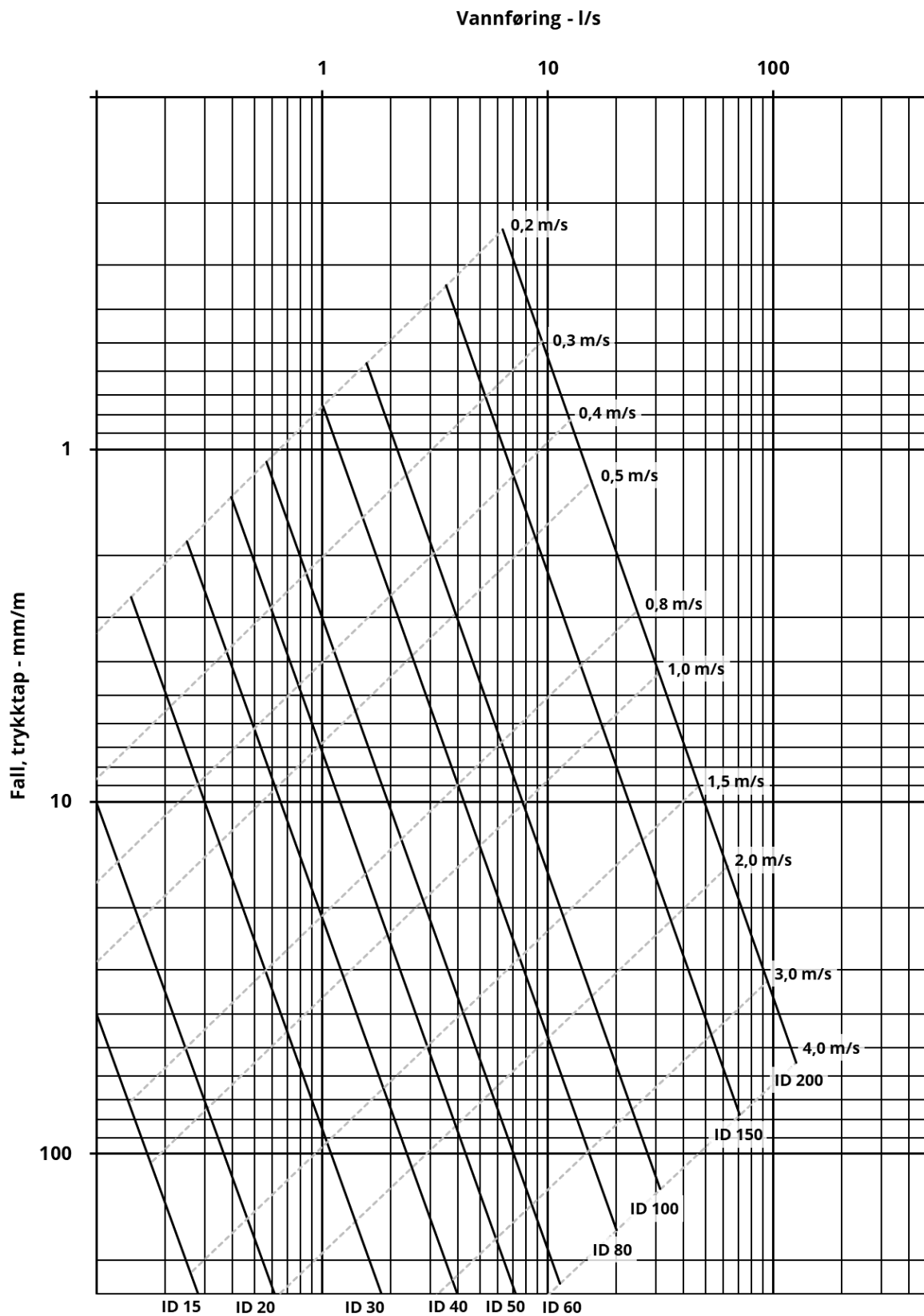
Resultater

- Strømningshastighet V 2.68 [m/s]
Kapasitet Q 171 l/s ▼

Dette programmet er et supplement til Pipelifes øvrige brosjyrer, kataloger og innhold på hjemmesiden. Vi forventer at brukeren har forståelse for beregningene og prinsippene bak - hva de skal brukes til og begrensningene. Bruk av programmet erstatter ikke de vurderinger og det skjønnet en kompetent ingeniør utfører. Vi gjør spesielt oppmerksom på at singulærtap kan være betydelige ved store vannhastigheter. Selv om vi har tilstrebet å gjøre den informasjonen som inngår så nøyaktig som mulig, så kan vi ikke garantere for denne. Alt innhold må kun betraktes som anbefalinger. Anbefalingene gitt ved bruk av dette programmet er ikke overførbare til produkter produsert av andre.

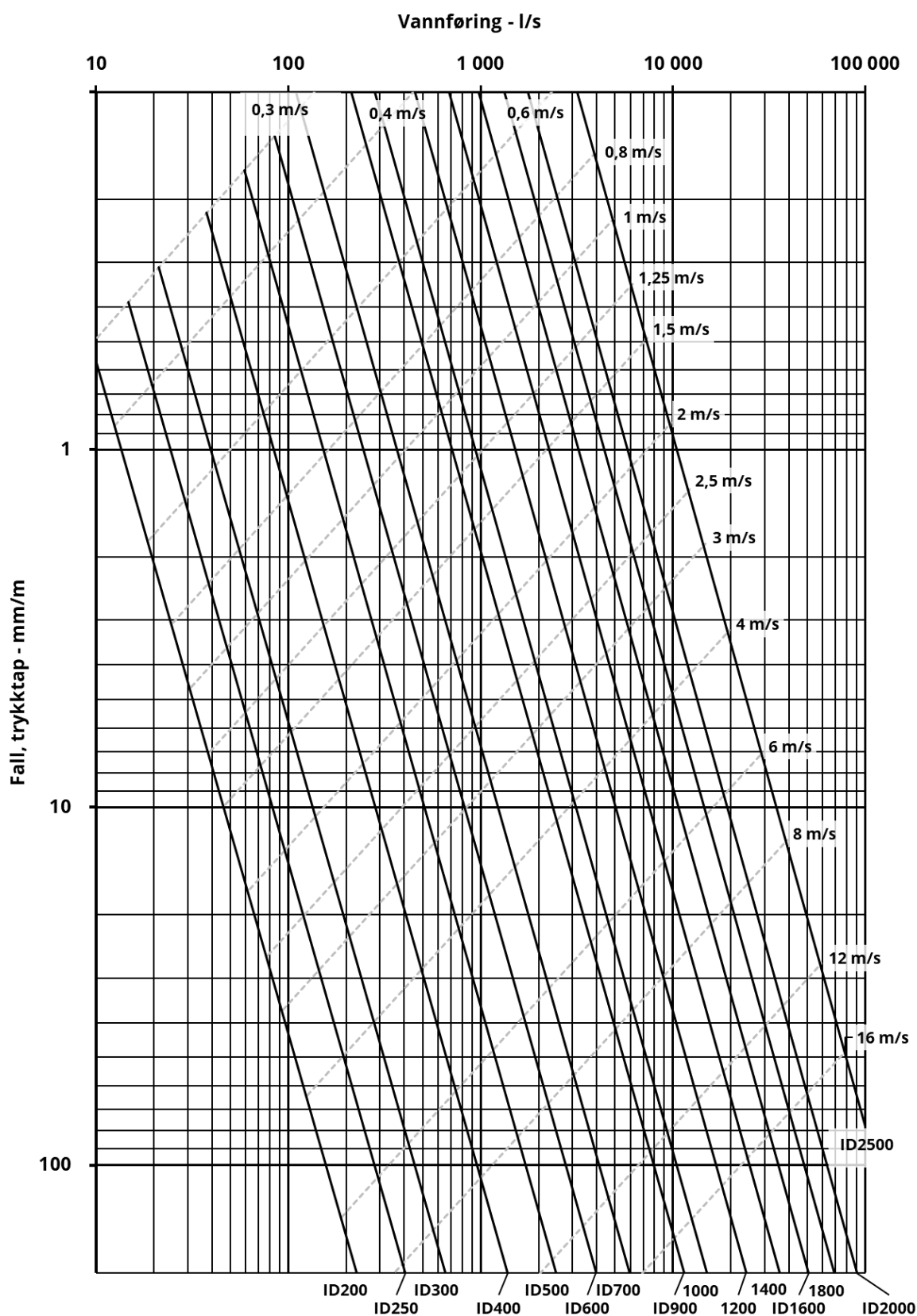
Velg «Trykkrør» under «Beregn» øverst. Velg hva du vil beregne i nedtrekksmenyen: Trykktap og hastighet, kapasitet og hastighet eller diameter og hastighet. Hvilke inndata som kreves vil endre seg avhengig av valget i nedtrekksmenyen.

Vannføringsdiagram for trykkrør, $k = 0,01 \text{ mm}$



Vannføringsdiagram for rør med innvendig diameter fra 15 mm til 200 mm ved 10°C. $k = 0,01 \text{ mm}$

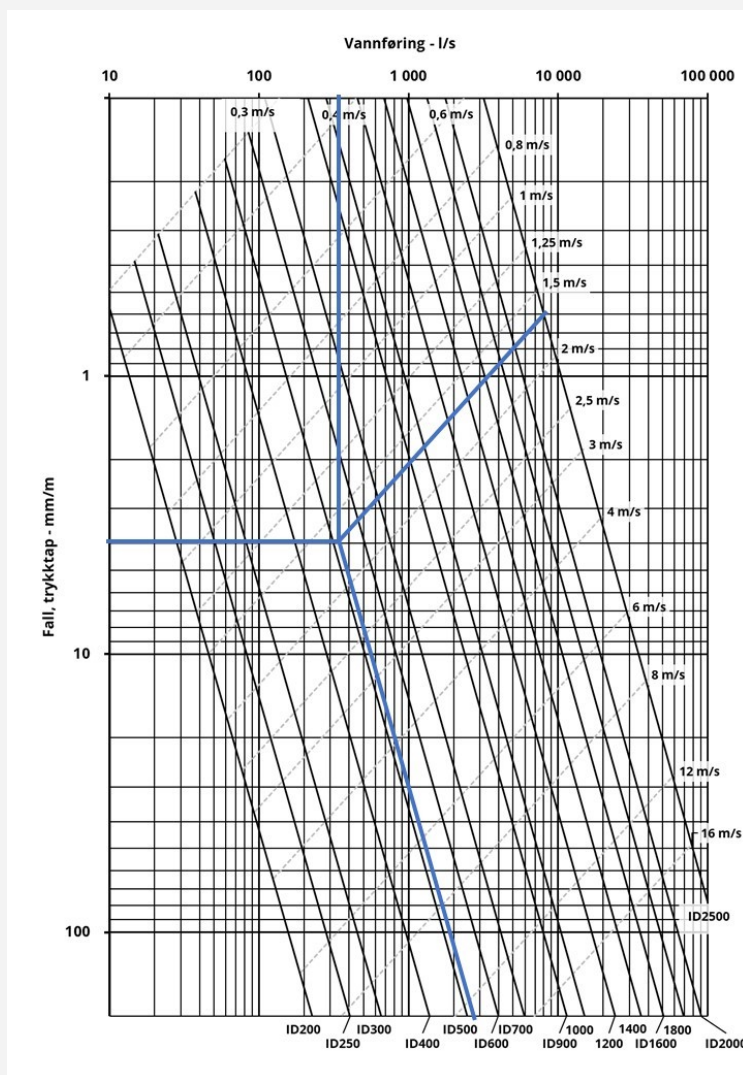
Vannføringsdiagram for trykkrør, $k = 0,05 \text{ mm}$



Vannføringsdiagram for rør med innvendig diameter fra 200 mm til 2000 mm ved 10°C. $k = 0,05 \text{ mm}$

Eksempel:

Vann skal forsynes gjennom et 2900 meter langt rør fra en kilde til et tettsted. Kilden ligger 100 meter over havet (kote 100) og tettstedet ligger 30 meter over havet (kote 30). Vannforbruket i den timen i den dagen i året med mest forbruk er beregnet til 325 l/s. Hvilken rørdimensjon skal vi velge?



Vi tegner en loddrett linje i diagrammet fra 325 l/s. Hastigheten bør ligge under 2,0 m/s.

Merk at de skrå linjene for rørdimensjon er tegnet ut fra rørets innvendige diameter. I dette tilfellet er trykkehøyden ved kilden 100 mVs og ved forbruksstedet 30 mVs. Det statiske trykket ved forbruksstedet blir da $100 \text{ mVs} - 30 \text{ mVs} = 70 \text{ mVs} = 6,9 \text{ bar}$. Vi prøver med 630 mm PE 100 SDR 11 som har en innvendig diameter på ca. 515,6 mm – og tegner en strek til denne krysser streken for 325 l/s.

Fra krysningspunktet tegnes strek for hastighet på skrå opp til høyre og strek for fall (trykkfall) vannrett ut til venstre. Det ser ut til at vi traff ved første forsøk: Hastigheten er under 2,0 m/s og trykktapet er ca 4 mm/m – eller m/km.

Trykket ved forbruksstedet ved 325 l/s finner vi ved å trekke trykkfallet i rørledningen fra det statiske trykket: $70 \text{ mVs} - (4 \text{ mVs/km} \cdot 2,9 \text{ km}) = 58,4 \text{ mVs} = 5,7 \text{ bar}$ ved 325 l/s. Dette ser lovende ut! Men trykket må reduseres fordi det statiske trykket, 6,9 bar, er et for høyt trykk for husinstallasjoner.

Dimensjonering av selvfallsledninger for avløpsvann

Strømning i trykkløse avløpsrør defineres som kanalstrømning - eller strømning med fritt vannspeil. Dette betyr at den hydrauliske trykklinjen faller sammen med vannspeilet - eller rørets fall, om du vil. Ved dimensjonering er utgangspunktet at ledningen skal kunne lede bort en vannmengde Q_{maks} uten ukontrollert oppstuvning. For å ta høyde for usikkerheter og fremtidig behov beregner man med en større eller mindre fyllingsgrad. For overvann er det som regel vanskelig å anslå vannmengdene nøyaktig og man velger derfor ofte å dimensjonere med en lavere fyllingsgrad. I tillegg bør skjærspenningen sikre selvrens en gang pr døgn i minimumsdøgnet - se bakerst i avsnittet.

For korte ledninger, for eksempel stikkrenner, vil innløpstap være den største begrensningen for kapasiteten til røret. Utforming av innløpet er derfor avgjørende.

Ved hydraulisk dimensjonering av selvfallsledninger benyttes vanligvis ulike ruhetsfaktorer - eller k-verdier - avhengig av rørmateriale.

Kapasiteten er også avhengig av:

- Avleiringer - Avgreninger - Deformasjon
- Singulærtap - Ujevnt fall - Andre hindringer

I noen tilfeller kan ruheten (k-verdien) bli større enn normalt. Dette gjelder spesielt ved inntaks- og utslippsledninger i saltvann og der avløpsvannets sammensetning er slik at det blir mye avleiringer på rørveggen.

Man må vurdere driftstilstand etter en tid og ytre påvirkning. Under gode forhold antas lav faktor og under dårlige forhold tilsvarende høy faktor. Ved normale forhold anbefaler vi å bruke de gamle verdiene angitt av SFT (Statens Forurensningstilsyn).

Anbefalte bruksruhetsverdier fra SFT:

Rørmateriale	k-verdi for rette rørstrekninger uten tilknytninger.	k-verdi for rørstrekninger med tilknytninger og bend.
Plast	0,25	0,4

SFT's anbefalte bruksruhetsverdier

Kapasitetsdiagrammer gjelder helt fulle rør og her er gjengitt med disse k-verdiene. Hvordan man finner kapasiteten for en viss delfylling er omhandlet etter diagrammene.

Kapasitetsberegningsprogram for selvfallsledninger

På våre hjemmesider www.pipelife.no har vi et enkelt [beregningsprogram for kapasitetsberegning av delfylte rør](#). Se også avsnittene om delfylling og selvrensing. Programmet er enkelt å bruke og det er en stor fordel at du raskt kan prøve ut ulike parametere og se effekten av endringene du gjør. Bruk av programmet krever at man har god basiskunnskap om kapasitetsberegninger og de ulike parameterne som inngår. Kompliserte anlegg bør prosjekteres av kvalifisert personell.

Inndata

Beregn

- ☒ Kapasitet og hastighet
- ☐ Diameter og hastighet

Rørdata

- ☐ Pragma/Infra rør
- ☒ Vanlige glatte rør
 - ☒ Utvendig diameter Du [mm] SDR
 - ☐ Innvendig diameter Di [mm]

Ruhet μ [mm]

Fall α ‰

Vanntemperatur [°C]

Resultater

Beveg musepekeren over figuren for å velge en verdi for fyllingshøyden

Resultater

Inndata:

Innvendig diameter 235.2941176470588 mm

Ruhet 0.25 mm

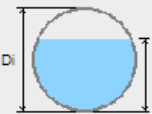
Fall 10 ‰

Valgt verdi:

Fyllingshøyde 70.0 %

Kapasitet 53.7 l/s

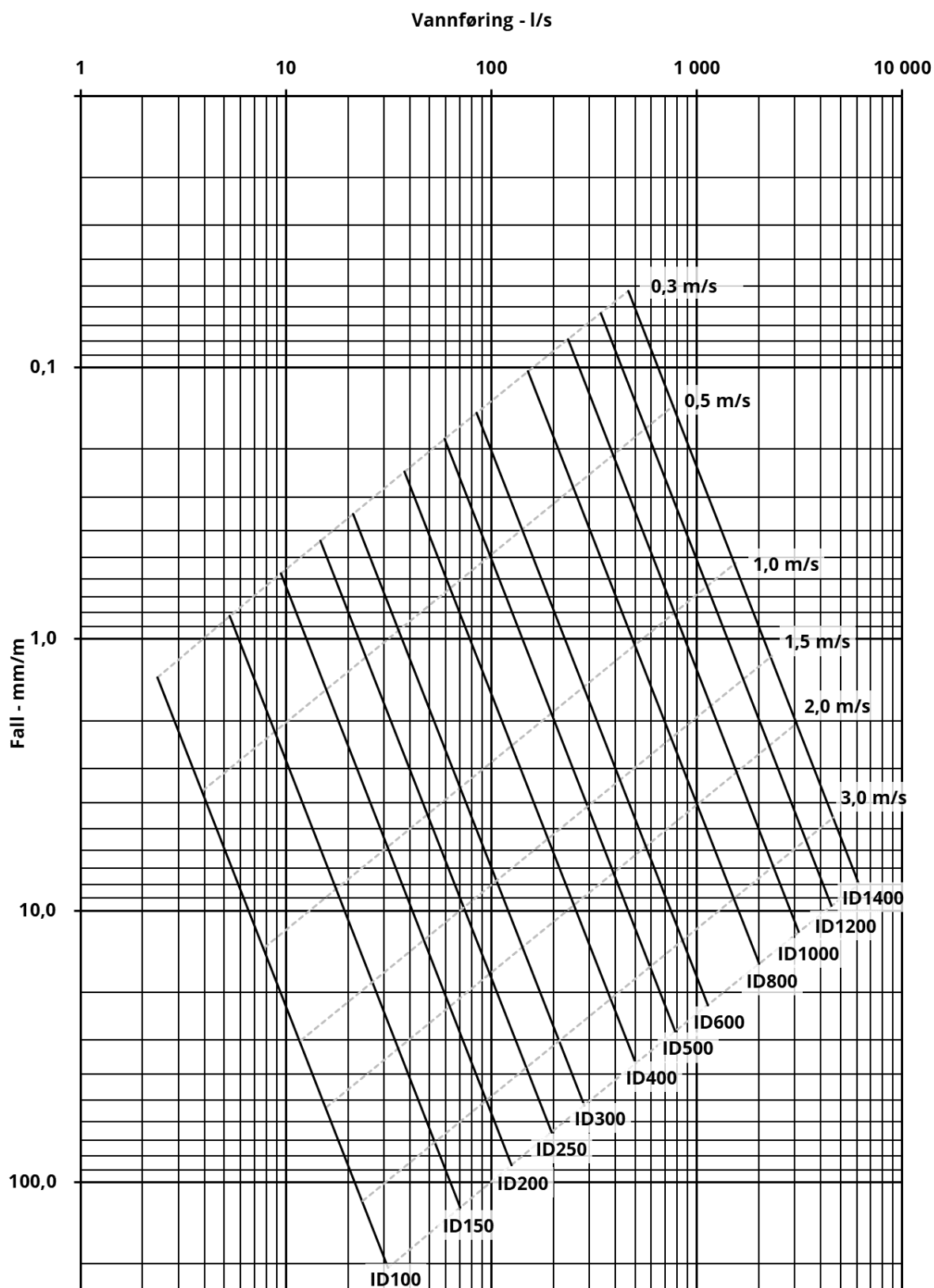
Strømningshastighet 1.65 m/s




Dette programmet er et supplement til Pipelifes øvrige brosjyrer, kataloger og innhold på hjemmesiden. Vi forventer at brukeren har forståelse for beregningene og prinsippene bak - hva de skal brukes til og begrensningene. Bruk av programmet erstatter ikke de vurderinger og det skjønnet en kompetent ingeniør utfører. Vi gjør spesielt oppmerksom på at singulærtap kan være betydelige ved store vannhastigheter. Selv om vi har tilstrebet å gjøre den informasjonen som inngår så nøyaktig som mulig, så kan vi ikke garantere for denne. Alt innhold må kun betraktes som anbefalinger. Anbefalingene gitt ved bruk av dette programmet er ikke overførbare til produkter produsert av andre.

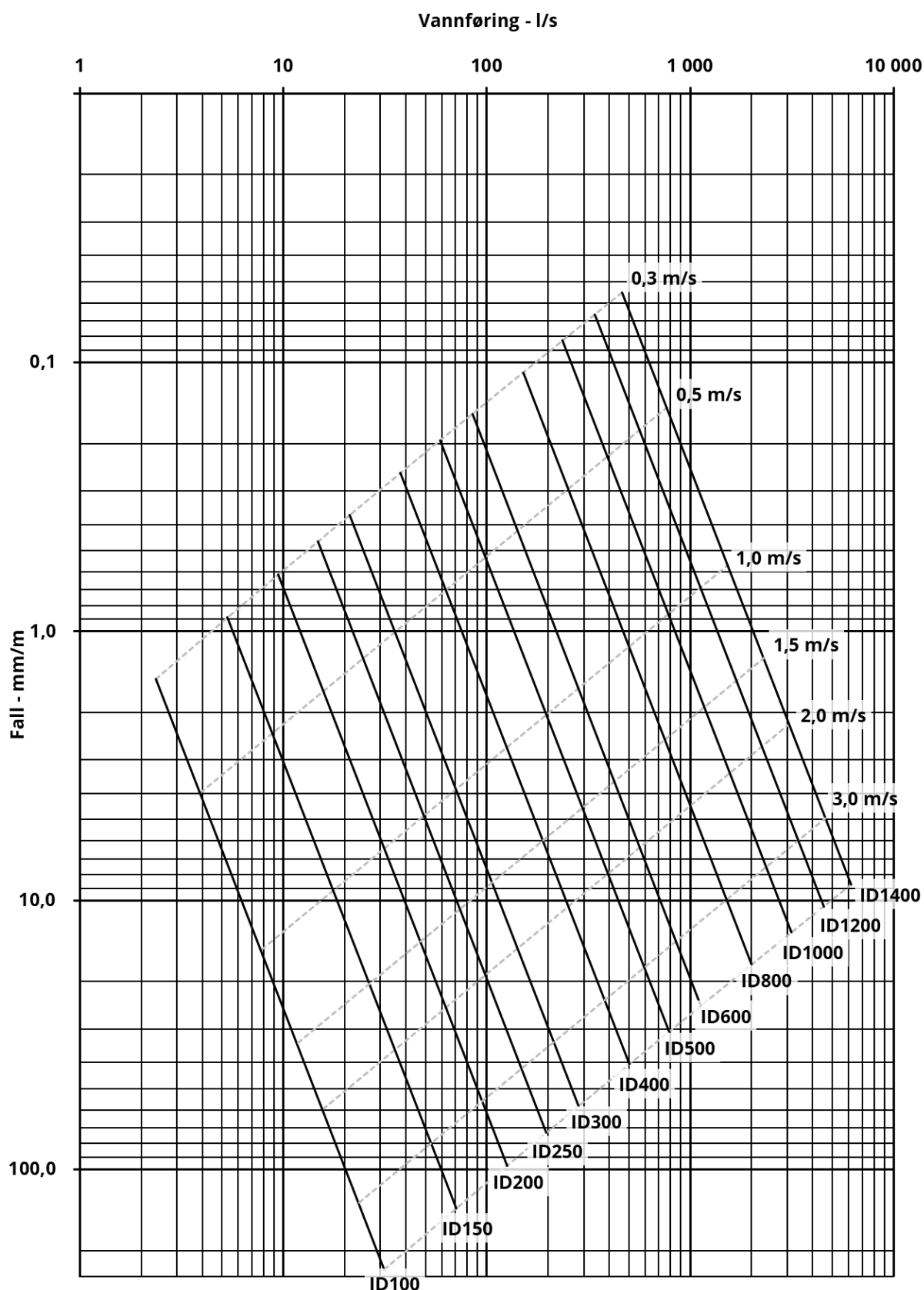
Velg om du vil beregne kapasitet og hastighet eller diameter og hastighet øverst. Fyll inn de opplysningene programmet trenger. Ved beregning av kapasitet får du et diagram som du kan bevege musepekeren over og med det variere fyllingsgraden og lese av kapasitet.

Vannføringsdiagram for avløpsrør, $k = 0,25 \text{ mm}$



Kapasitetsdiagram for avløpsrør uten mange bend og tilknytninger ved 10°C , $k = 0,25 \text{ mm}$

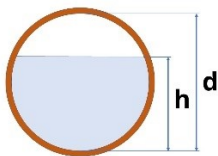
Vannføringsdiagram for avløpsrør, $k = 0,40 \text{ mm}$



Kapasitetsdiagram for avløpsrør med mange bender og tilknytninger ved 10°C , $k = 0,40 \text{ mm}$

Delfylling

I vårt beregningsprogram for delfylte rør har vi brukt formelen til Colebrook/White som regner med hydraulisk diameter D_h avhengig av fyllingsgraden, h/d .



h : Fyllingshøyde [mm, m]

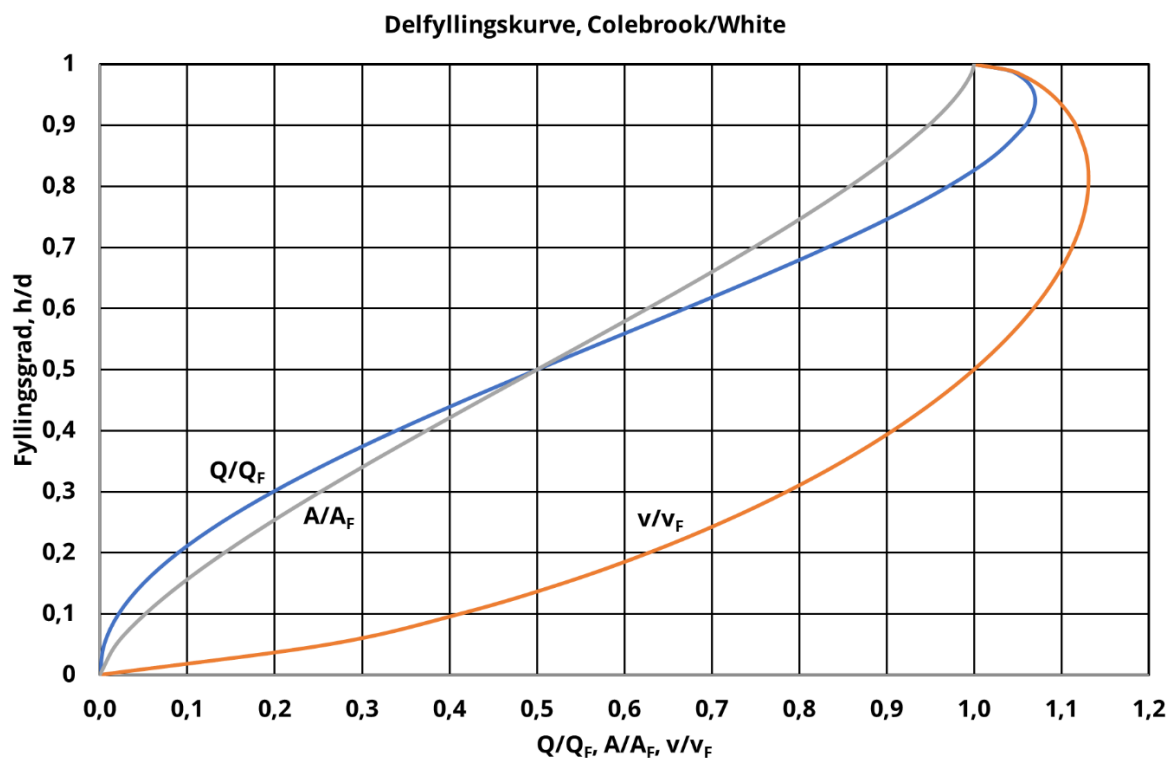
d : Innvendig diameter [mm, m]

h/d : Fyllingsgrad [%]

Q/Q_F : Vannføring i delfylt rør i forhold til i fullt rør [%]

v/v_F : Vannhastighet i delfylt rør i forhold til i fullt rør [%]

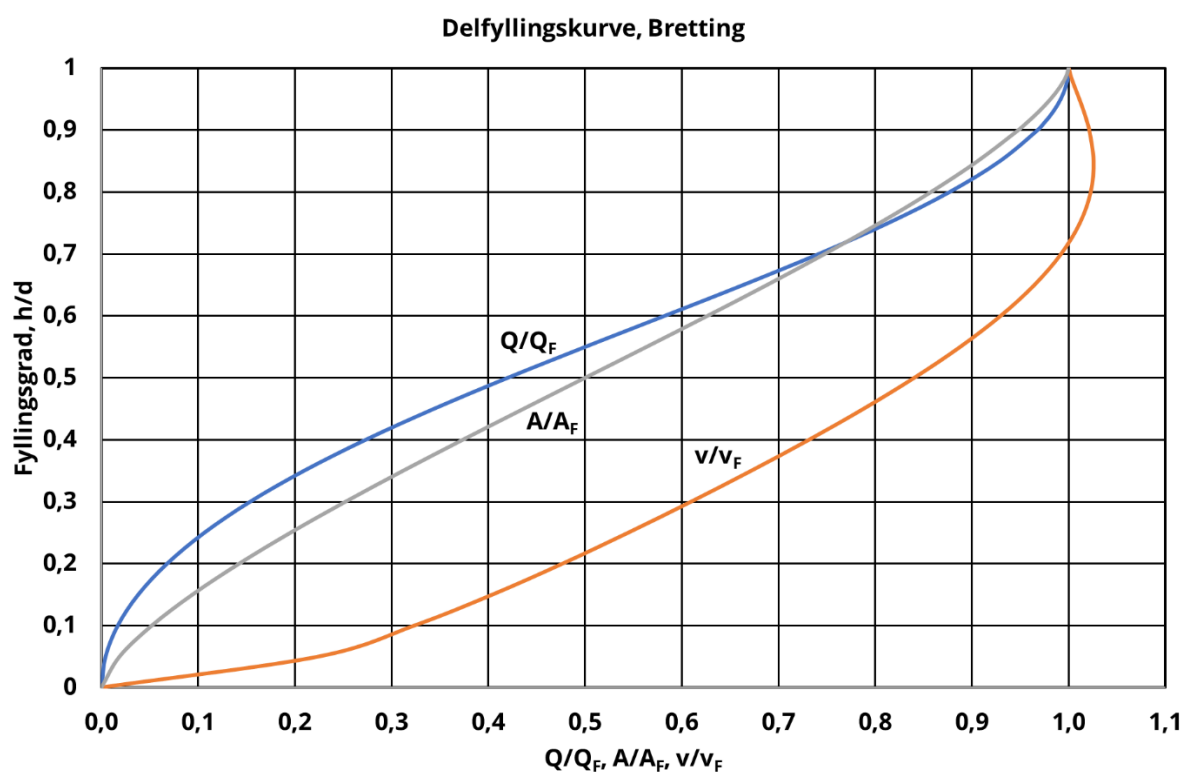
A/A_F : Vannstrengens tverrsnittsareal i delfylt rør i forhold til i fullt rør [%]



Delfyllingskurve, Colebrook/White

For delvis fylte rør er Brettings formel for delfylling også en del brukt. Denne gir mer konservative verdier.

Brettings formel for delfylte rør: $\frac{Q}{Q_F} = 0,46 - 0,5 \cdot \cos(180^\circ \cdot \frac{h}{d}) + 0,04 \cdot \cos(360^\circ \cdot \frac{h}{d})$



Delfyllingskurve, Bretting

Eksempel:

Ifølge delfyllingskurve «Colebrook/White»: Ved 70 % delfylling ($h/d = 0,7$) er vannføringen 83 % av kapasiteten ved fylt rør (Q/Q_F) og hastigheten 111 % av hastigheten ved fullt rør (v/v_F).

Ifølge delfyllingskurve «Bretting»: Ved 70 % delfylling ($h/d = 0,7$) er vannføringen 74 % av kapasiteten ved fylt rør (Q/Q_F) og hastigheten 99 % av hastigheten ved fullt rør (v/v_F).

De gamle gudene er altså ikke helt enige. Vi bør uansett ikke dimensjonere marginalt.

Eksempel:

En spillvannsledning med 10 ‰ fall og mange påkoblinger og bend skal ha en vannføring på 20 l/s. I og med at dette er en spillvannsledning fra et kjent område med liten usikkerhet i beregningene velges en maksimal delfylling på 70 %.

I delfyllingskurven, eller i eksemplet over, ser vi at kapasiteten ved 70 % delfylling er henholdsvis 83 % og 74 % av kapasiteten ved fylt rør fra Coolebrook/White og Bretting sine formler. Ved fylt rør er kapasitetene henholdsvis

$$Q_F = \frac{Q}{83 \%} = \frac{20 \text{ l/s}}{83 \%} = 24 \text{ l/s}$$

og

$$Q_F = \frac{Q}{74 \%} = \frac{20 \text{ l/s}}{74 \%} = 27 \text{ l/s}$$

Vi benytter et beregningsprogram med angitte forutsetninger:

Inndata	Inndata
Beregn ☐ Kapasitet og hastighet ☒ Diameter og hastighet	Beregn ☐ Kapasitet og hastighet ☒ Diameter og hastighet
Rørdata Ruhet μ Lokalt nett - 0.4 [mm] Fall α 10 ‰ Vanntemperatur 10 [°C]	Rørdata Ruhet μ Lokalt nett - 0.4 [mm] Fall α 10 ‰ Vanntemperatur 10 [°C]
Ønsket kapasitet og fyllingshøyde Ønsket kapasitet Q 24 l/s Fyllingshøyde h 70 [%]	Ønsket kapasitet og fyllingshøyde Ønsket kapasitet Q 27 l/s Fyllingshøyde h 70 [%]
Beregnete verdier Resultater Strømningshastighet V 1.31 [m/s] Innvendig diameter D 177 [mm]	Beregnete verdier Resultater Strømningshastighet V 1.35 [m/s] Innvendig diameter D 185 [mm]

Minste innvendige diameter blir henholdsvis 177 mm og 185 mm for de to beregningsmodellene. Dette er bare en av usikkerheten forbundet med kapasitetsberegninger. Er konsekvensene forbundet med knapp kapasitet store, så må man vurdere en høyere sikkerhetsmargin.

Selvrens

I det store og hele er det relativt sjelden at rørledninger går tette på grunn av sedimentering og avleiringer. 5 ‰, eller 5 mm/m, er ofte angitt som minimumsfall. Det er lite. I praksis er det svært krevende å legge rørledninger med så lite fall uten at svanker gir strekninger med motfall. Ofte vil beregninger av selvrensningsevnen gi et dårlig bilde – og så går det bra likevel. Men vi bør tilstrebe å unngå å legge rørledninger med så lite fall. Spesielt gjelder dette lange ledninger i mindre dimensjoner og lite eller sesongavhengig vannforbruk.

Sesongledninger for spillvann er utsatt fordi det blir liggende «stoff» i ledningen som tørker ut og blir hardt etter endt sesong. Å skylle ledningen godt før man avslutter sesongen er et enkelt forebyggende tiltak.

Overvanns- og drensledninger er vanskelige å forholde seg til når det gjelder selvrensing. Først og fremst bør man forebygge tilstopping ved å hindre stor tilførsel av partikler – gjerne ved å bruke riktig dimensjonerte sandfang med utløpsdykker – og som tømmes i tide.

Ledninger som kan være utsatt bør ha adkomstmulighet for spyling, for eksempel kummer, på strategiske steder.

Metoden for å beregne selvrensing ble i Norge utviklet av en gruppe ledet av Dr. Ing. Dagfinn Kåre Lysne på 70-tallet og publisert i PRA-rapport nr. 9. I årenes løp er det gjort noen erfaringer og vurderinger som har endret litt på betingelsene som legges til grunn, men selve metoden er uendret.

Først bestemmes rørdimensjonen ut fra maksimal vannføring (Q_{maks}), fyllingsgrad (h/d) og fallet (I) på rørledningen. Vi forutsetter nå at rørtype og rørets innvendige diameter (d) er kjent.

Selvrensing av ledning skal ideelt sett skje minst en gang pr døgn – med en viss varighet. Dimensjonerende vannføring for selvrensberegningen finner vi ved hjelp av følgende formel:

$$Q_{dim} = \alpha \cdot f_{min} \cdot Q_{mid}$$

α : For mindre enn 200 pe kan Q_{dim} settes til 0,5 l/s

$$200 - 3000 \text{ pe} \rightarrow \alpha = 1 + \frac{23}{\sqrt{pe}}$$

Mer enn 3000 pe $\rightarrow \alpha = 1,43$

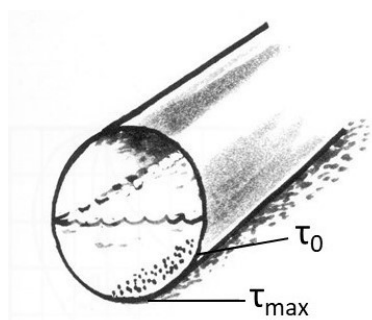
pe: Antall personekvivalenter tilknyttet rørledningen

f_{min} : Faktor for årets døgn med minimum vannforbruk

Q_{mid} : Beregnet midlere vannføring basert på antall personekvivalenter (pe) og gjennomsnittlig døgnforbruk som går til avløp pr pe (q): $Q_{mid} = q \cdot pe$.

Fyllingsgraden (h/d) ved dimensjonerende vannføring (Q_{dim}) leses ut fra en delfyllingskurve ut fra forholdet Q_{dim}/Q_{fylt} .

Som selvrenskriterium benyttes vanligvis krav til minimum skjærspenning langs bunnen av røret.



Jevnt fordelt skjærspenning og skjærspenning langs bunnen av røret

Skjærspenningen langs bunnen (τ_{max}) er større enn den jevnt fordelte (τ_0) på grunn av sedimenter.

For å finne den større skjærspenningen i bunnen av røret benyttes følgende formel:

$$\tau_{\text{maks}} = \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot \frac{d}{4} \cdot I \quad [\text{N/m}^2]$$

ρ : Vannets densitet = 1000 kg/m³

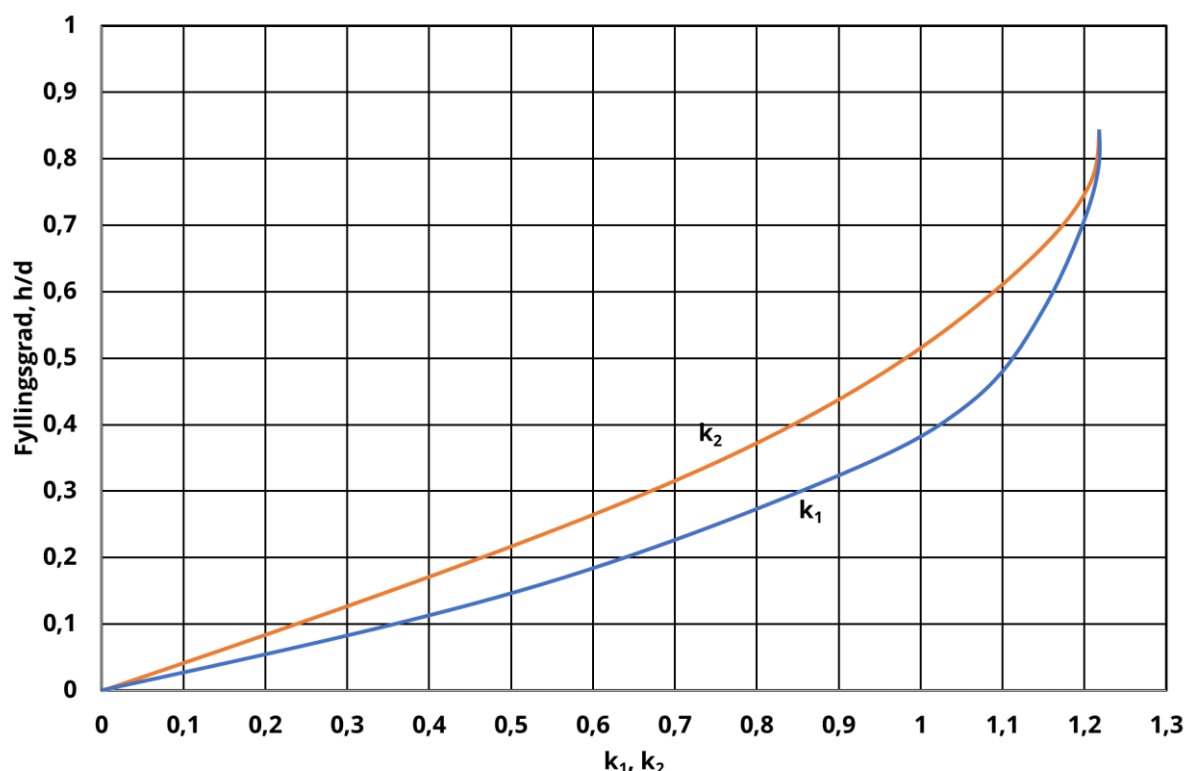
g : Tyngdeakselerasjonen = 9,81 m/s²

k_1 : Faktor med hensyn på fyllingsgrad

$\frac{d}{4}$: Hydraulisk radius (R) for fylte rør er $d/4$ [m], $R = \frac{A_{\text{vann}}}{P} = \frac{\pi \cdot \frac{d^2}{4}}{\pi \cdot d} = \frac{d}{4}$

I : Ledningens fall [m/m]

Korreksjonsfaktor k_1 er en funksjon av fyllingsgraden h/d i røret. Se figuren.



Korreksjonsfaktor for maksimal skjærspenning (k_1) og jevnt fordelt skjærspenning (k_2) i delvis fylte rør.
(Kilde PRA 9)

For å oppnå selvrensing bør skjærspenningen langs bunnen av røret (τ_{maks}) være:

- > 1,5 N/m² for plastrør for spillvann – med jevnt fall og med jevn og god vannføring
- > 2 N/m² generelt for plast- og betongrør for spillvann
- > 3 N/m² for plastrør for overvann og fellesledninger under gunstige forhold
- > 4 N/m² for plastrør for overvann og fellesledninger under ugunstige forhold og når sandfang ikke fungerer godt

Eksempel:

Det skal prosjekteres en spillvannsledning fra et område med 300 pe. Gjennomsnittsførbruket vurderes til å bli 160 l/pe·d. Maksimum døgnfaktor (f_{maks}) settes til 2,0 og maksimum timefaktor (k_{maks}) settes til 3,0. Infiltrasjonen bør være minimal og settes i dette tilfellet lik null.

Maksimum spillvannsmengde i den timen i det døgnet med mest vannføring:

$$Q_{\text{maks}} = Q_{\text{mid}} \cdot f_{\text{maks}} \cdot k_{\text{maks}} + Q_{\text{inf}} = 160 \frac{\text{l}}{\text{pe} \cdot \text{d}} \cdot 300 \text{ pe} \cdot 2,0 \cdot 3,0 + 0 = 288\,000 \frac{\text{l}}{\text{d}} = 3,3 \text{ l/s}$$

Ledningen fører avløpsvannet fra området i en overføringsledning uten mange bend og grenrør og med et fall på 10 ‰ – 0,010 m/m. Det blir valgt et 160 mm PVC grunnavløpsrør SN 8 med innvendig diameter 150,6 mm. Kapasiteten ved fullt rør (Q_{fylt}) er 20,0 l/s og delfyllingen (h/d) ved maksimum spillvannsmengde er 0,27 – eller 27 %. Det betyr at rørledningen er kraftig overdimensjonert. Men i mange kommuner skal hovedledningen være minst 160 mm. Vil det gi utfordringer med tanke på selvrensing?

For å finne skjærspenningen ved selvrensende vannføring trenger vi korreksjonsfaktoren k_1 for maksimal skjærspenning. Da trenger vi først fyllingsgraden ved selvrensende vannføringen. I dette tilfellet er faktoren for vannføring i minimumsdøgnet (f_{min}) satt til 0,5.

Dimensjonerende vannføring for selvrensing er:

$$Q_{\text{dim}} = \alpha \cdot f_{\text{min}} \cdot Q_{\text{mid}} = \left(1 + \frac{23}{\sqrt{\text{pe}}}\right) \cdot f_{\text{min}} \cdot Q_{\text{mid}} = \left(1 + \frac{23}{\sqrt{300}}\right) \cdot 0,5 \cdot 160 \frac{\text{l}}{\text{pe} \cdot \text{d}} \cdot 300 \text{ pe} = 55\,870 \frac{\text{l}}{\text{d}} = 0,65 \text{ l/s}$$

Forholdet mellom dimensjonerende vannføring for selvrensing (Q_{dim}) og vannføring ved fullt rør (Q_F) er:

$$\frac{Q_{\text{dim}}}{Q_F} = \frac{0,65 \frac{\text{l}}{\text{s}}}{20,0 \frac{\text{l}}{\text{s}}} = 0,03$$

Fyllingsgraden (h/d) ved dimensjonerende vannføring for selvrensing er cirka 0,12 (12 %) ifølge Colebrook/White sitt delfyllingsdiagram.

Av figuren foran ser vi at korreksjonsfaktoren k_1 for maksimal skjærspenning er ca 0,43.

Nå kan vi begynne å fylle inn i formelen for å finne opptredende skjærspenning ved dimensjonerende vannføring:

$$\tau_{\text{maks}} = \rho \cdot g \cdot k_1 \cdot \frac{d}{4} \cdot I = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,43 \cdot \frac{0,1506 \text{ m}}{4} \cdot 0,01 \text{ m/m} = 1,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

For spillvannsledninger av plast bør τ_{maks} være større enn 1,5 N/m² når ledningen har jevnt fall og jevn belastning – hvis vi forutsetter at det er tilfellet her. Ledningen i eksemplet vil derfor sannsynligvis være selvrensende.

Kapasitet ved drenering/infiltrasjon gjennom rør

Hvor mye vann renner ut av eller inn i drenerør, er et spørsmål som ofte dukker opp – og som ikke er enkelt å gi et entydig svar på. Mange forhold påvirker drens-/infiltrasjonsvannmengden og røret er sjelden en begrensende faktor. Grunnens evne til å transportere vann, rørets vannføringskapasitet og trykket på vannet i eller utenfor røret er noen viktige faktorer.

Slissearealet per meter rør er relativt stort i forhold til rørets tverrsnittsareal. Det skal ikke mange meter rør til før slissearealet er like stort som tverrsnittsarealet. Men motstanden i slissene kan være betydelig. Et enkelt forsøk vi utførte viste at et 110 mm dobbelvegga drenerør, med et slisseareal på omlag 3500 mm² per meter, slipper ut cirka 1,2 l/s vann per meter rør når rørledningen er full.



Måling av vannmengden som lekker ut av drenerør

Vannføringskapasiteten til røret er cirka 4,3 l/s ved 5 ‰ fall. Teoretisk trenger man da knapt fire meter rør for å fylle eller tømme et fullt rør. Større fall gir større vannmengde og behov for en lengre rørstrekning. Samtidig er tverrsnittsarealet for dette røret 7390 mm². Ved litt mer enn to meter rør tilsvarer slissearealet tverrsnittet på røret. I dette tilfellet trenger du altså dobbelt så mye rør som tverrsnittsarealet i forhold til slissearealet tilsier.

Er det noe trykk på vannet, så øker mengden som tas inn eller slippes ut raskt.

Det er fremdeles vanskelig å gi et svar med to streker under, men dette viser at det sannsynligvis er andre forhold enn rørets inntaks-/utslippskapasitet som er begrensningen. Ikke minst er det rørets vannføringskapasitet, men også grunnforholdene.

Dimensjon DV drenerør	Slisseareal [mm ² /m]	Rørets tverrsnittsareal/ lysåpning [mm ²]
DN/OD 75	5000	3220
DN/OD 110	3500	7390
DN/OD 160	7500	15170
DN/OD 200	8000	24330
DN/OD 250	8000	38700
DN/OD 315	7000	60700
DN/ID 300	3800	70200
DN/ID 400	2700	124400