



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for Ingeniørvitenskap, Institutt for bygg, energi og material kunnskap

Transportsystemer, vann og avløps teknikk

Water and wastewater Conveyance

Jostein Starbo

BYG-3900 Masteroppgave høst 2022



Forord

Masteroppgaven er gjennomført ved Institutt for bygg, energi og materialteknikk ved UiT Norges Arktiske Universitet, Narvik. Oppgaven er gjennomført innenfor studieretningen Bygg og miljøteknikk. Den er et litteraturstudie og egne erfaringer av elementer innen transportsystemer av vann og avløp, som i hovedsak handler om forutsetninger og metoder for forflytninger av vann fra et punkt til et annet. Det er sett på både gravitasjonsoverføring og pumpe systemer som overføringskraft. I tillegg er faktorer som vannets kvalitet, og materialer som anvendes for forflytning satt i sammenheng.

Med dagens raskt skiftende miljø, eksponentielt økende kunnskap og stadig utvikling av nye teknologier og materialer, er det avgjørende at utdanningssystemet holder tritt med nyeste kunnskap. Det er viktig at studenter i høyere utdanning får nødvendig fagkunnskap og utvikler ferdigheter det er bruk for i fremtidig yrkesutøvelse. Det som var relevant for ti eller tjue år siden, er kanskje ikke like aktuelt i dag. Det er den enkelte underviser og universitet som har ansvar for å sørge for at innholdet er tilfredsstillende. Anvendte metoder, produkter og normal praksis settes opp mot ny teknologi som digitalisering, nye materialer, nye metoder og beste praksis.

Vann er verdens viktigste næringsmiddel. Uten rent vann til vask og stell, og hygienisk sikkert drikkevann, vil ikke dagens moderne samfunn kunne fungere. Vann- og avløpssektoren ivaretar noen av samfunnets mest kritiske funksjoner som er avgjørende for helse, miljø og alt liv på jorden. Vann benyttes både som drikkevann og i hygienisk sammenheng til vask og stell. I tillegg benyttes vann i stor grad til å transportere bort forurensing fra tettsteder og industri. Forurensingen ender alltid i vann, i en eller annen form. Forurensingen skal i de fleste tilfeller håndteres av VA etaten, men i store deler av verden og mange steder i Norge håndteres ikke forurensingen på en god måte. Effekten av dette er at fjorder, vassdrag og hav verden over sakte kveles av forurensing. Kunnskap er eneste vei for å øke forståelse og sørge for at tiltak settes inn.

Jeg vil takke først og fremst min samboer Lena som har holdt ut meg i denne perioden, for korrekturlesing og språkvask. Videre retter jeg stor takk til Raymond Riise, instituttleder og studieleder master, ved IBEM Narvik, for tålmodighet og ideer undervegs. Fasil Ejigu Eregno som til slutt overbeviste meg om at «det er enkelt å skrive». For ikke å glemme resten av avdeling på IBEM i Narvik for stor støtte.

Sammendrag

Faget «Transportsystemer for Vann og avløpsteknikk» ved Institutt for Bygg, Energi og Material teknologi skal foreleses for første gang ved UiT Norges Arktiske Universitet våren 2023. For å utforme pensum i emnet vil denne oppgaven samle, analysere og søke å forbedre modeller fra følgende kilder og metoder:

- Data fra utgitte lærebøker, rapporter eller tilgjengelig materiale.
- Data fra aktuelle produsenter og leverandører.
- Normer og regler samt «kutyme» eller beste praksis i bransjen.
- Erfaringer fra undertegnede etter nærmere 30 år i industrien

Faget skal i hovedsak belyse dagens kjente og vurdere fremtidige metoder og modeller for transport og forflytning av vann. Det være seg drikkevann, forurenset spillvann eller regn og snesmeltevann. Emner som nødvendigvis også i denne sammenheng belyses vil være vannets innhold og hvilken effekt det har på transport, drift og vedlikehold. I tillegg belyses elementer som har utslagsgivende effekter på bærekraftbegrepet, miljø og klima. Miljø endringer og effekt på både systematisk bruk og valg av løsninger, samt gravefrie metoder eller «NoDig». Dette virker å kunne gi store ringvirkninger både i forhold til både kostnadsbesparelser og reduserte utslipp av CO₂ men også iht. drift, vedlikehold og utskifting av utstyr etter utgått levetid. Diskusjon rundt utfordringer i regelverk diskuteres sammen med beste praksis og modeller for utførelse av VA tekniske anlegg. Digitalisering innen vann og avløpsindustrien er så vidt startet, og det foregår mye arbeide for å samordne systemer og varierte modeller som omhandler SD anlegg med digitale målere, digitale kart med kontroll av avvik og hendelser. Bygnings Informasjons Modelling (BIM) som skal erstatte mye av dagens FDV systemer, hvor digitale kart skal inneholde informasjon om produkter, materialinnhold, og spesifikk informasjon angående disse.

Begrensinger.

Mange elementer som påvirker og er grunnlag for valg av materialer og systemer er bare enkelt belyst, da de er grunnleggende innført i andre kurs. Disse er:

- Strømningslære eller fluidmekanikk. Viser kun de normerte beregningsmetoder for VA
- Kilder , kvalitet av vann i kilder, klausulering og områderegulering.
- Rensing og desinfeksjon av drikkevann.
- Rensing av spillvann og resipientkontroll.
- Private stikk og ledninger fra kommunalt anlegg til abonnent.

Abstract

The subject "Transportation-systems for water and wastewater" at the Department of Building, energy and Materials Technology will be lectured for the first time at UiT, the Arctic University of Norway in the spring of 2023. In order to be able to design a syllabus for the subject, this thesis will collect, analyze and seek to improve models from the following sources and methods:

- Data from published textbooks, reports and other written available material.
- Data from current manufacturers and suppliers.
- Regulations and norms and as well as best practice in the industry.
- My own experience after close up to 30 years working in the industry.

The subject will mainly shed light on today's known and assess future methods and models for the transport and movement of water. Be it drinking water, contaminated waste water or rain and snowmelted water. Topics that must also be covered in this context will be the content of the water and the effect it has on transport, operation and maintenance. In addition, elements that have a decisive effect such as the concept of sustainability, environment and climate are highlighted. Environmental changes and their effect on both the systematic use and choice of solutions, as well as «No-Dig» methods. It can prove to have major ripple effects in relation to both cost savings, reduced emissions in relation to CO₂ and better systems for renewing equipment when lifecycle is at its end. Discussion around challenges in regulations are discussed together with best practice and models for the execution of VA technical facilities. Digitization in the water and wastewater industry has just started and a lot of work is being done to coordinate systems and models that deal with SD (Sentralized Controlling) systems with digital meters and maps with control of deviations and incidents. Together with BIM it will replace much of today's FDV (Management operations and maintenance) systems.

Limitations.

Many elements that influence and are the basis for the choice of materials and systems are only briefly explained, as they are fundamentally introduced in other courses and listed below:

- Theory of flow or fluid mechanics.
- Drinkingwater sources, waterquality parameters, clauses and area regulations
- Drinkingwater treatment and disinfection
- Treatment of waste water and recipient control
- Private pipes from municipality-pipes, will not be included.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	- 2 -
Abstract	- 4 -
Tabelliste	- 8 -
Figurliste.....	- 9 -
Ordforklaring og forkortelser	- 13 -
Symbolforklaringer	- 14 -
Oppgavetekst s 1 - 2	- 15 -
Oppgavetekst s 2 - 2	- 16 -
1 Norsk VA-sektor.....	- 17 -
2 Lov regelverk og myndighet.....	- 20 -
2.1.1 Standard abonnementsvilkår Administrative og tekniske bestemmelser	- 22 -
2.1.2 Eierskap av ledninger	- 22 -
3 Generell material teknologi og bruk i VA Teknikk.....	- 23 -
3.1 Termoplaster.....	- 25 -
3.1.1 PVC Polyvinylklorid PVC	- 27 -
3.1.2 Polyetylen PE	- 28 -
3.1.3 Polypropylen PP.....	- 29 -
3.2 Herdeplast - Glassfiberarmert polyester GRP.....	- 30 -
3.3 Betong	- 31 -
3.4 Jern / Stål.....	- 32 -
3.5 Egenskaper ledningsmaterialer.....	- 33 -
3.6 Korrosjon og nedbrytning	- 34 -
3.6.1 Kjemisk og biologisk korrosjon	- 34 -
3.6.2 Mekaniske effekter	- 36 -
3.6.3 Last på ledninger	- 37 -
3.6.4 Rør og rørtyper/ materialer.....	- 39 -
4 VANNFORSYNINGSSYSTEMER I NORGE.....	- 41 -
Vannforsyningssystemer i Norge kan grovt deles inn i følgende elementer:.....	- 41 -

4.1	Dimensjoneringskriterier Trykk systemer.....	- 42 -
4.1.1	Vannmengdebehov.....	- 42 -
4.1.2	Husholdningsforbruk Q_h	- 44 -
4.1.3	Industri Q_i	- 44 -
4.1.4	Annet forbruk institusjoner og offentlig forbruk Q_A	- 45 -
4.1.5	Brannvann	- 46 -
4.2	Variasjoner i forbruk over døgn og time	- 46 -
4.3	Fluidmekanikk – forenklede dimensjoneringsprinsipper	- 49 -
4.3.1	Energibetraktning	- 49 -
4.3.2	Tetthet.....	- 49 -
4.3.3	Trykk og hydrostatikk i vann	- 50 -
4.3.4	Viskositet.....	- 51 -
4.3.5	Friksjon og trykktap i ledninger	- 53 -
4.3.6	Colebrook og Moody’s nomogrammer og diagrammer - friksjonstap.....	- 54 -
4.3.7	Bernoulli – energibetraktninger.....	- 57 -
4.3.8	Singulærtap.....	- 58 -
4.4	Kilde.....	- 58 -
4.5	Inntaksløsninger forsyningsvann.....	- 59 -
4.5.1	Inntaksløsning i innsjø.....	- 59 -
4.5.2	Inntaksløsninger i elv, bekk eller oppdemmet vann	- 60 -
4.5.3	Inntaksledning i innsjø	- 60 -
4.5.4	Beregninger ved senking av sjøledninger.....	- 62 -
4.5.5	Rør uten lodd -.....	- 71 -
4.6	Grunnvannsinntak	- 71 -
4.7	Overføringsledning.....	- 72 -
4.8	Fordelingsnett.....	- 73 -
4.8.1	Kummer og tekniske installasjoner	- 74 -
4.8.2	Konsoller forankring av ventiler og sluser i kum	- 82 -
4.9	Vannledningsnett – Fordelingsnett - Nettanalyser	- 88 -
4.10	Høyde- Utjevning- og drikkevanns -basseng	- 90 -
4.10.1	Beregning av volum	- 92 -
4.11	Trykk økning og kapasitets økning –Pumper Vann og avløp	- 93 -

4.11.1	Dimensjonering av pumper	- 96 -
4.11.2	Trykkstøt	- 99 -
5	SPILLVANN, AVLØP og OVERVANN	- 101 -
5.1	Dimensjoneringskriterier trykkløse systemer.....	- 102 -
5.2	Dimensjonerende mengder spillvann og overvann	- 102 -
5.2.1	Spillvann fra husholdningsforbruk (Q_s)	- 102 -
5.2.2	Overvann tilført felles avløpsnett (Q _{O.F}).....	- 102 -
5.2.3	Lekkasjevann som belaster avløpsnett (innlekking) ($Q_{lekk-innlekk}$)	- 103 -
5.2.4	Øvrig fremmedvann tilført avløpsnett ($Q_{fremmed}$)	- 103 -
5.2.5	Overvann fra husdrenering og takrennedløp	- 104 -
5.2.6	Dimensjonerende mengder overvann, felt.....	- 105 -
5.2.7	Lekkasjer og direkteutslipp fra avløpsnett (Q_{utlekk}).....	- 111 -
5.2.8	Overløpsutslipp ($Q_{overløp}$)	- 111 -
5.2.9	Avløpsvann til rensing (Q_{rens}).....	- 111 -
5.3	Hydrauliske beregninger - trykkløse rørsystemer	- 112 -
5.3.1	Singulærtap i avløps- og overvanns ledninger	- 114 -
5.4	Oppsamling av spillvann, avløp felles og Overvann.....	- 115 -
5.4.1	Spillvann og avløp felles	- 115 -
5.4.2	Overvann	- 116 -
5.5	Trykkløse rørsystemer.....	- 117 -
5.5.1	DV Rør – plastrør med dobbeltvegget korrugert og konstruert vegg	- 117 -
5.6	Kummer.....	- 117 -
5.6.1	Overløp.....	- 118 -
6	Utslipp til resipient	- 120 -
7	Grøftesystemer og rørenes plassering.....	- 121 -
8	Gravefrie systemer, klima og bærekraft	- 122 -
8.1	Klimaregnskap og bærekraft	- 125 -
9	Diskusjon og konklusjon	- 127 -
	Referanseliste	- 129 -
	Johansen, Tor Are: "Under byens gater". Utg. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten. 2001.	- 129 -
	Thorolfson, Svein T. VA Teknikk GK, Institutt for Vann og Miljøteknikk, NTNU, 2008.....	- 129 -

Ødegård, H. (Red) VA Teknikk, Norsk Vann, 2012.....	- 129 -
VA handboken, Pipelife AS	- 129 -
Trykkørssystemer av Polyetylen, Hallingplast AS.....	- 129 -
Prefabrikkerte kummer skal være en sikker arbeidsplass,.....	- 129 -
Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2.....	- 129 -
Foredrag Ventiler og sluser, Kristian Drolsum, 2018, Ulefos AS.....	- 129 -
Foredrag Overvannssystemer, Nils Aaby, 2018, Miljø og Fluidteknikk AS	- 129 -
Standard abonnementsvilkår – Adm. bestemmelser, Kommuneforlaget, 2017	- 129 -
Standard abonnementsvilkår – Tekn. bestemmelser, Kommuneforlaget, 2008.....	- 129 -
VA-Miljøblad Nr 30 – Valg av rørmateriell, 2011.....	- 129 -
VA-Miljøblad Nr 46 – Utløp under vann, 2015	- 129 -
VA-Miljøblad Nr 74 – Regnvannsoverløp, 2008.....	- 129 -
Norsk Vann rapport nr 181 – Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbassenger, 2011	- 129 -
Norsk Vann rapport nr 193 – Veiledning dimensjonering utforming VA transportsystem, 2011 ..-	- 129 -

Tabelliste

Tabell 1 - Størrelse og mengde på VA anlegg i Norge (Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2).....	- 19 -
Tabell 2 - Personer per offentlig VA enhet sammenliknet med andre land (Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-29).....	- 20 -
Tabell 3 - Forenklet oversikt over lovverk og myndighet ((Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2))	- 21 -
Tabell 4 - Utvidelseskoeffisienter	- 26 -
Tabell 5 - Sammenheng mellom maksimum tillatt opptredende trykk, designfaktor og SDR verdi (Pipelife AS).....	- 27 -
Tabell 6 - Anvendelsesområde materialer.....	- 39 -
Tabell 7 – Enkel oversikt materialegenskaper positive og negative	- 40 -
Tabell 8 - <i>Lekkasje Rapport FHI vannforsyningssystemer 2020</i>	- 43 -
Tabell 9 - Kostnader pr. bolig ved lekkasjer i sanitæranlegget, dersom vannmåler er installert.....	- 43 -
Tabell 10 - Eget forbruk.....	- 44 -

Tabell 11 - Vannforbruk -Industri (Ødegård H (red), 2012, Vann og avløpsteknikk)	45 -
Tabell 12 - Vannforbruk -Industri (Norsk Vann rapport 193, 2012).....	45 -
Tabell 13 - Ruhetsverdier i praksis.....	56 -
Tabell 14 - Singulærtapskoeffisienter.....	58 -
Tabell 15 - Tillatt bøyeradius for PE-ledninger (Hallingplast AS)	64 -
Tabell 16 - Anbefalte bøyetall for senking av PE ledning	65 -
Tabell 17 - Maksimale veiledende senkingsdyp i meter , som funksjon av belastning, luftfylling i % og SDR klasse	(Hallingplast AS) 67 -
Tabell 18 - Styrkeklasser for prefabrikkerte vannkummer med angivelse av dimensjonerende testlast..	87 -
Tabell 19 - Avrenningskoeffisient ϕ (Mays, 2001).....	105 -
Tabell 20 - Snøsmeltemengde for enkelt Norske byer (Norsk Vann rapport 193, 2012))	109 -
Tabell 21 - Krav til skjærspenning (VA-Blad 79, 2015).....	112 -
Tabell 22 - Mannings tall for friksjon	113 -
Tabell 23 – Singulærtaps- koeffisienter (VA Blad 46, 2018).....	120 -
Tabell 24 - NoDig versus åpen grøft, økonomiske, miljømessige og samfunnsmessig sammenstilling (Porsgrunn kommune, 2010).....	126 -
Tabell 25 - Tjenestekvalitet på Norske VA tjenester (Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2).....	127 -

Figurliste

Figur 1 – Illustrasjon av Norsk VA Infrastruktur (VA Teknikk, H. Ødegård (red) 2012).....	17 -
Figur 2 - Eierskap av ledninger	22 -
Figur 3 - Sammenheng mellom spenning, tid og tøyning (Ødegaard H(red). 2012, Vann og Avløpsteknikk).....	23 -
Figur 4 - Veggtykkelse trykkrør.....	27 -
Figur 5 - Vegg tykkelse Trykkrør.....	27 -
Figur 6 - Sammenblanding av ulike stålkaliteter (Eget bilde).....	32 -
Figur 7- Korrosjon på betongledning (Ødegaard H (red), 2012, Vann og avløpsteknikk)	35 -
Figur 8 - Eksempel på avløpsledning som er deformert.....	36 -
Figur 9 - Reduksjonsfaktor termoplast ift. temperatur	37 -
Figur 10 - Last på stivt rør.....	37 -

Figur 11 - Last på stivt rør.....	37 -
Figur 12 - Last på stivt rør.....	38 -
Figur 13 - Betongrør på lager	38 -
Figur 14 - PE rør klar for leveranse.....	39 -
Figur 15 - Vannforbruk som funksjon av antall pe, under 1000 pe (Norsk Vann rapport 193, 2012)-	44 -
-	
Figur 16 - Verdier for døgnvariasjon f, som funksjon av antall pe tilknyttet.....	47 -
Figur 17 - Verdier for timevariasjon k, som funksjon av antall pe. tilknyttet	47 -
Figur 18 - Skjærkraft og viskositet i en veske.....	51 -
Figur 19 - Viskositet som funksjon av (dv/du) og τ	52 -
Figur 20 - Colebrook Nomogram - $k=0,5$	54 -
Figur 21 - Kinematisk viskositet som funksjon av temperatur(Ødegaard H(red), 2012, Vann og avløpsteknikk)	55 -
Figur 22 Moody's diagram (Vedlagt i full størrelse)	55 -
Figur 23 - Illustrasjon beregning av Energigradient, I	56 -
Figur 24 - Bernoullis ligning (store norske leksikon - CC BY SA 3.0)	57 -
Figur 25 - Prinsipptegning inntak i innsjø (Ødegård, H, (red) 2012- VA-Teknikk)	59 -
Figur 26 - Eksempler på inntaksløsninger(Ødegård, H, (red) 2012- VA-Teknikk)	60 -
Figur 27 Eksempel vanskelige traseer (Ødegård, H, (red) 2012- VA-Teknikk)	61 -
Figur 28 - Eksempel på flyteledning (Hallingplast AS).....	61 -
Figur 29 - Prinsipp undervannsledninger (Hallingplast AS).....	62 -
Figur 30 - Hovedprinsipper ved senking av sjøledning (Pipelife AS)	63 -
Figur 31 - senking av undervannsledning (Hallingplast AS)	63 -
Figur 32 - Viktige funksjoner for en undervannsledning i PE (Hallingplast AS)	64 -
Figur 33 - Balanse trykk ved senking av sjøledning (Hallingplast AS)	66 -
Figur 34 - Vesentlige faktorer ved senking av sjøledning(Pipelife AS).....	67 -
Figur 35 - Typiske belastningsmetoder for sjøledninger (Hallingplast AS)	68 -
Figur 36 - Eksempler på ulike betonglodd til sjøledninger (Skjæveland AS).....	70 -
Figur 37 - Borebrønn i fjell (Ødegaard(Red), 2012 VA-Teknikk).....	71 -
Figur 38 - Borebrønn i løsmasser (Ødegaard(Red), 2012 VA-Teknikk)	71 -
Figur 39 - Fordelingsnett i gate ved tettsted.....	73 -
Figur 40 - typisk vannkum med ventilkryss og forankring	74 -
Figur 41 - Oppbygging av betongkum av elementer (Beisfjord Sementvarefabrikk AS).....	75 -
Figur 42 - Sluseventil (Ulefos AS).....	75 -
Figur 43 - Ventilkryss (Ulefos AS).....	76 -

Figur 44 - Ventilkryss med mange muligheter for tilkoblinger.....	- 76 -
Figur 45 - Dreiespjeldventil (Ulefos AS)	- 77 -
Figur 46 - Vannføringskapasitet som funksjon av åpningsvinkel - Dreiespjeldsventil (Ulefos AS) ..	- 77 -
Figur 47 - Eksempler - flenserørdeleler (Ulefos AS).....	- 78 -
Figur 48 – Reguleringsventil/ seteventil (Ulefos AS).....	- 78 -
Figur 49 - Seteventil stengt med kraftanvisning.....	- 78 -
Figur 50 - Pilotsystem seteventil med trykkmåler montert	- 79 -
Figur 51 - Vingehjulmåler (Justervesenet)	- 79 -
Figur 52 - Prinsippskisse Venturimeter vannmengdemåler (Ødegaard H (red), 2012, Vann og avløpsteknikk)	- 80 -
Figur 53 - Lokk og tetting til ventil med kule (Ulefos AS).....	- 81 -
Figur 54 - Stengbar brannventil (Ulefos AS)	- 81 -
Figur 55 - Lufteventil (Ulefos AS).....	- 82 -
Figur 56 - Standard tilbakeslagsventil på vannledningsnett (Ulefos AS)	- 82 -
Figur 57 - Eksempler på forankringskonsoller til trykksatte vann armaturer.....	- 83 -
Figur 58 - Statisk modell for ugunstigste resultantkraft i vannkum	- 84 -
Figur 59 - Statikk vannkum mot jord	- 87 -
Figur 60 - Drikkevanns eller høydebasseng (Norsk Vann	- 90 -
Figur 61 - Gjennomstrømningsbasseng, plasseres på overføringsledninger.(Norsk Vann rapport 193, 2012).....	- 91 -
Figur 62 – Motbasseng, Ligger ofte på "andre" siden av forsyningsstedet (Norsk Vann rapport 193, 2012).....	- 91 -
Figur 63 - Sidebasseng, som og kan fungere som gjennomstrømningsbasseng(Norsk Vann rapport 193, 2012).....	- 91 -
Figur 64 - Sentrifugalpumpe (H.Ødegaard(red), 2012, VA Teknikk)	- 93 -
Figur 65 - Behov for pumpe i ledningsnettet - vannforsyning	- 94 -
Figur 66 - Trykkøkning med frekvensstyring 3 pumper (Xylem AS).....	- 96 -
Figur 67 - Illustrasjon av trykkehøyder avløpspumpe	- 96 -
Figur 68 - Driftspunkt for Pumpe Q-H Diagram (Norsk Vann Rapport 193, 2012).....	- 97 -
Figur 69 - Parallell og seriekobling av pumper (Norsk Vann, rapport 193, 2012).....	- 97 -
Figur 70 - Pumpeskjema alle verdier Q-H diagram (Norsk Vann rapport 193, 2012).....	- 98 -
Figur 71 - Historisk system for fellesledninger	- 101 -
Figur 72 - Typisk Sandfangkum Ø1000 mm (Beisfjord Sementvarefabrikk AS).....	- 101 -
Figur 73 - Takrennedløp og husdrenering	- 104 -
Figur 74 - IVF kurve for regnintensitet I, Narvik.....	- 106 -

Figur 75 - Tilrenningstid over felt t_i som funksjon av lengde felt og helling.....	- 108 -
Figur 76 - Regnhyetogram (Ødegaard H(red), 2012, Vann og avløpsteknikk).....	- 109 -
Figur 77 - Delfelt.....	- 110 -
Figur 78 - Summasjonskurve delfelt A1 og A2.....	- 111 -
Figur 79 - Delfylt rør (Pipelife AS).....	- 112 -
Figur 80 - Delfyllingskurve sirkulære rør(Pipelife AS)	- 113 -
Figur 81 - Økning i generell ruhet som funksjon av diameter (VAV P9).....	- 114 -
Figur 82 - Diverse kumløsninger betong og plast	- 118 -
Figur 83 - Høyt sideoverløp (Ødegaard H , 2012, Vann og avløpsteknikk)	- 119 -
Figur 84 - Virveloverløp lukket virvel (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk)	- 119 -
Figur 85 - Virveloverløp med lukket virvel (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk)	- 119 -
Figur 86 - Prinsipp utslippsledning (VA Blad 46, 2018)	- 120 -
Figur 87 - Illustrasjon av utløpskum og energitap (VA Blad 46, 2018).....	- 120 -
Figur 88 - Skisse grøftetverrsnitt (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk).....	- 121 -
Figur 89 - Grøfteutførelse for ledninger (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk).....	- 122 -
Figur 90 - Økonomi "Skjelsvik prosjektet (NoDig vs åpen grøft, 2010, Porsgrunn kommune)	- 125 -

Ordforklaring og forkortelser

Forkortelse	Betyr	Anmerkning
UiT NAU	UiT Norges Arktiske Universitet	
IVT	Fakultet for Ingeniørvitenskap og Teknologi	
IBEM	Institutt for Bygg, Energi og Materialteknologi	
VA	Vann og Avløp	
CO ₂	Karbondioxid	
FHI	Folkehelseinstituttet	
pe	Personekvivalent	Anses som en person
SD	Sentral driftsstyring – ekstern kontroll av anlegg	
BIM	Bygnings Informasjons Modelling	
FDV	Forvaltning Drift og Vedlikehold	
PN	Pressure Nominale klasse 10 kPa eller 16 kPa	Trykk klasse
HOD	Helse og omsorgsdepartementet	
KLD	Klima og miljødepartementet	
Mdir	Miljødirektoratet	
OED	Olje og energidepartementet	
KDD	Kommunal og distriktsdepartementet	
LMD	Landbruks og matdepartementet	
NVE	Norges vassdrags og energidirektoratet	
DSB	Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap	
SR	Sulfatresistent Sement	Tåler lavere pH
NaOH	Natriumhydroksid	Lut
NaCl	Natriumklorid	Koksalt
H ₂ C – CH ₂	Eten	
Fe	Jern	
C	Karbon	
Cu	Kobber	
Ni	Nikkel	
Cr	Krom	
Mn	Mangan	
Si	Silisium	
S	Svovel	
P	Fosfor	
Sn	Tinn	
GSK	Gütegemeinschaft Schwerer Korrosionsschutz von Armaturen und Formstücken durch pulverbeschichtung e.V.	Drikkevannsgodkjenning

Symbolforklaringer

Symbol	Betyr	Anmerkning
l/s	Liter pr. sekund	Vannmengde
m ³ /s	Kubikk meter pr. sekund	Vannmengde
m/s	Meter pr sekund	Hastighet
m	Meter	Lengde
m/s ²	Meter pr. kvadratsekund	Gravitasjon
kPa	Kilo Pascal	Trykk
mVs	Meter Vann søyle	Statisk vanntrykk
N/mm ²	Newton pr. kvadratmillimeter	Trykk
l/s*ha	Liter pr. sekund og hektar	Vannmengde pr. enhet
l/s*m ²	Liter pr. sekund og kvadratmeter	Vannmengde pr. enhet
mm ² /s	Kvadratmillimeter pr. sekund	Kinematisk viskositet
kg/m	Kilogram pr. meter	Vekt pr. enhet
m/s ²	Gravitasjon	På jordoverflaten = 9,81



MASTEROPPGAVE

Jostein Starbo

Studentnummer 170479

Høst 2022

Transportsystemer i vann og avløps -teknikk

Water and sewage conveyance

Bakgrunn

Faget «Transportsystemer for Vann og avløpsteknikk» ved Institutt for Bygg, Energi og Materialteknologi skal foreleses for første gang ved UiT Norges Arktiske Universitet våren 2023. For å kunne utforme pensum angående emnet vil denne oppgaven samle, analysere og søke å forbedre modeller fra følgende kilder og metoder:

- Data fra utgitte lærebøker.
- Tilsvarende tilgjengelige fag.
- Data fra aktuelle produsenter og leverandører.
- Normer og regler samt «kutyme» i bransjen.
- Erfaringer fra undertegnedes nærmere 30 år i industrien

Faget skal i hovedsak belyse dagens kjente og vurdere fremtidige metoder og modeller for transport og forflytning av vann. Det være seg drikkevann, forurenset spillvann eller regn og snesmeltevann. Emner som nødvendigvis også i denne sammenheng belyses vil være vannets innhold og hvilken effekt det har på transport, drift og vedlikehold.

I tillegg belyses elementer som har utslagsgivende effekt som bærekraftbegrepet, miljø og klima. Miljø endringer og effekt på både systematisk bruk og valg av løsninger, samt gravefrie metoder eller «NoDig», som kan vise seg og gi store ringvirkninger i forhold til både kostnadsbesparelser og reduserte utslipp ift. CO₂. Diskusjon rundt utfordringer i regelverk diskuteres sammen med beste praksis og modeller for utførelse av VA tekniske anlegg. Digitalisering innen vann og avløpsindustrien er så vidt startet og det foregår mye arbeide for å samordne systemer og varierte modeller som omhandler SD anlegg med digitale målere, digitale kart med kontroll av avvik og hendelser og BIM som skal erstatte mye av dagens FDV systemer, hvor digitale kart skal inneholde informasjon om produkter, materialinnhold, og spesifikk informasjon angående disse.

Begrensning av oppgaven

Fagets enorme spekter av delemner begrenses til å se kun å vurdere tekniske aspekter ved elementer som benyttes til vanntransport.

Oppgavetekst s 2 - 2

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Innledende arbeid/litteraturstudium med avgrensninger og definisjoner.
2. Beskrivelse av tekniske spesifikasjoner
3. Identifisere, avdekke og vurdere utfordringer og problemstillinger ved nevnte elementer.
4. Bestemme og validere beregningsmetoder, revurdere og prioritere standardiserte metoder.
5. Se på regelverk rundt utførelse og metode
6. Vurdere potensielle endringer i struktur som kan medføre bedre, billigere og mer bærekraftige systemer

UiT – Norges Arktiske Universitet
Institutt for bygg, energi og materialteknologi

Raymond Riise
Faglig ansvarlig/veileder

Generelt

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk og kildehenvisninger. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse o.l. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

Utleveringsdato:	01.08.2022
Innleveringsdato:	30.12.2022
Kontaktperson UiT	Førsteamanuensis: Raymond Riise E-post: raymond.riise@uit.no



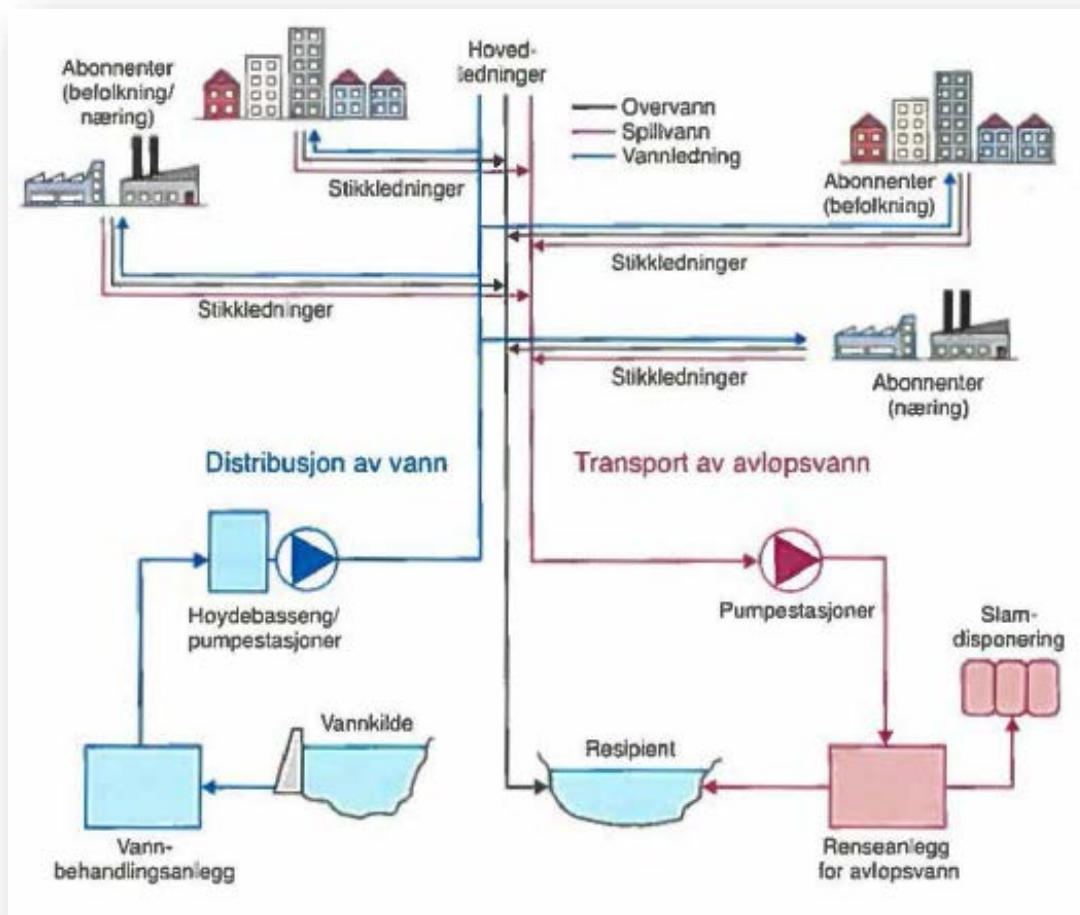
1 Norsk VA-sektor

Norsk vann- og avløps -infrastruktur kan forenklet inndeles i følgende enheter:

Illustrert i figur 1.

- Vannkilde (grunnvann eller overflatevann) med tilhørende nedbørfelt
- Vannbehandlingsanlegg
- Distribusjonssystem for vann (ledningsnett, tunneler, høydebasseng, pumpestasjoner)
- Transportsystem for avløpsvann (ledningsnett, tunneler, pumpestasjoner)
- Avløpsrensaneanlegg, inkludert slambehandlingsanlegg
- Resipient for rensset avløpsvann

Figur 1 – Illustrasjon av Norsk VA Infrastruktur (VA Teknikk, H. Ødegård (red) 2012)



De offentlige vann- og avløpstjenestene blir i all hovedsak fullfinansiert med vann- og avløpsgebyr etter selvkostprinsippet. En viktig egenskap ved gebyrfinansieringen er at det skjermer sektoren delvis

fra prioriteringer mot andre politikkområder, slik det ville vært ved skattefinansiering. Videre gir det en demokratisk kostnadskontroll med et kommunalt monopol. Samtidig kan lokalpolitikere være opptatt av å holde gebyrene nede og derfor være imot tiltak VA-etaten mener er nødvendige. Mens myndighetsansvaret for vannforsyningen er samlet hos Mattilsynet, er myndighetsansvaret for avløp med tilhørende forurensing og utslipp delt mellom kommunene og Miljødirektoratet, representert ved statsforvalterembetene eller fylket. Vannregionmyndigheten er lagt til fylkeskommunene, som dermed har ansvar for å koordinere prosessen med å gjennomføre planarbeidet i tråd med vannforskriften. I tillegg finnes det andre relevante myndigheter for oppfølging av plan- og bygningsloven (PBL), vass- og avløpslova og overvannshåndtering. Nåsituasjon i den Norske VA sektoren er stort sett god. Det er registrert bare 0,2 ikke planlagte vannforsyningsavbrudd pr. innbygger pr. år, mens for avløp og utslipp er bare 49 % av innbyggerne tilknyttet renseanlegg som overholder rensekrav gitt i forurensingsforskriften. Registrering av lekkasje og utslipp fra overløp er mangelfull og kan vurderes som grunnleggende mangelfull for å etablere god oversikt. (*Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2*) På kommunesiden kan de nevnte manglene i vann- og avløpssektoren forklares med kompetansemangel, motstand mot samarbeid, endret arealbruk og politiske ønsker om å begrense kostnader. Mangel på systematisk oppfølging og ressursbegrensninger kan forklare hvorfor statlig myndighet bare i begrenset grad har lyktes i å få kommunene til å etterleve lovbestemte krav. I mange kommuner skal kommunene selv være forurensningsmyndighet for den kommunale avløpstjenesten. Rolleblandingen forklarer hvorfor etterlevelse av rensekrav flere steder i landet ikke etterkommes. Når det gjelder kompetansemangel viser statistikken at antallet ingeniører og sivilingeniører i kommuner og interkommunale selskap har falt. Særlig de minste kommunene sliter med å rekruttere nødvendig kompetanse, i konkurranse med konsulentfirmaer og større kommuner. Kompetanseproblemet kunne nok løses gjennom samarbeid, som også kan gi en mer effektiv utnyttelse av vannkilder, resipienter og infrastruktur. Vann- og avløpsinfrastrukturen følger i stor grad kommunegrensene, i stedet for rasjonell utnyttelse av tilgjengelige naturressurser og begrenset tilgjengelig kompetanse. Det er tilnærmet like mange helhetlige, kommunale vann- og avløpsenheter i Norge som det er kommuner. Til sammenligning har Sverige og Danmark mer enn dobbelt så mange innbyggere per vann- og avløpsenhet. I Nederland er vannforsyningen regionalt organisert. I Skottland er tjenesten organisert i ett felles vann- og avløpssekskap.

Tabell 1 gir en oversikt over vann- og avløpsanlegg i Norge, både kommunal og privat infrastruktur. Gjenanskaffelsesverdien for hele vann- og avløpsinfrastrukturen er blitt beregnet til ca. 1 800 milliarder kroner hvorav den offentlige infrastrukturen utgjør 65 prosent. 35 prosent av verdien av infrastrukturen er privateid. Verdien av private stikkledninger står for mye av dette (Norsk Vann, Norconsult, SINTEF, 2021).

Tabell 1 - Størrelse og mengde på VA anlegg i Norge (Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2)

Kategori	Enhet	Kommunale og interkommunale	Private/ andels vannverk	Sum
Vannbehandlingsanlegg	antall	1 398	112 890	114 288
Vannledninger	km	48 655	2 590	51 245
Avløpsrenseanlegg	antall	2 260	331 501	333 761
Spillvannsledninger	km	38 874		38 874
Andel fellesledninger	km	6 653		6 653
Separate overvannsledninger	km	19 204		19 204
Pumpestasjoner	antall	10 425		10 425
Regnvannsoverløp i fellessystem	antall	3 903		3 903
Stikkledninger	km	94 786		94 786
Tilknytning vann	innbyggere	4 567 252	824 117	5 391 369
Tilknytning avløp	innbyggere	4 555 622	835 747	5 391 369

Det er 356 kommuner i Norge. Av disse har fire kommuner delegert totalansvaret for vann og avløp til ett interkommunalt selskap, GIVAS IKS. Det medfører at Norge har rundt 353 offentlige vann- og avløpsenheter med ansvar for tjenestene overfor abonnentene. Gjennomsnittlig antall innbyggere i Norge per offentlig VA-enhet er rundt 15 000. Tabell 2 viser at Norge har et lavt gjennomsnittlig antall personer per vann- og avløpsorganisasjon, sammenlignet med andre nord-europeiske land. Det finnes kommuner som ikke har kommunal forsyning. Der forsynes innbyggerne i tettbebyggelsene fra private abonnenteide vannverk. Om lag 15 prosent av innbyggerne i Norge har private avløpsanlegg, vannforsyning fra privateide vannverk (*samvirkeforetak*) eller egen privat forsyning. 85 prosent av innbyggerne i Norge var tilknyttet de kommunale vann- og avløpstjenestene i 2020. (*Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-29*)

Tabell 2 - Personer per offentlig VA enhet sammenliknet med andre land (Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-29)

Land	Antall offentlige enheter	Antall innbyggere	Personer per enhet
Norge	353	5,4 mill.	Ca. 15 000
Sverige	206	10,1 mill.	Ca. 50 000
Danmark	197 selskap 98 kommuner	5,8 mill.	Ca. 30 000 per selskap Ca. 60 000 per kommune
Nederland	10 offentlige drikkevannorganisasjoner 21 avløpsorganisasjoner 380 kommuner ansvarlig for avløpsnett	17,1 mill.	Ca. 550 000 per organisasjon Ca. 45 000 per kommune
Skottland	1 statlig selskap	5,4 mill.	5,4 mill.

Et godt ledningsnett skal sikre tilfredsstillende funksjonsevne og lave kostnader til vedlikehold og reparasjoner i et langt perspektiv (over 100 år). God forvaltning med hensyn til materialer og utførelse har som formål å sikre gode og langsiktige løsninger, og etablere forsvar mot billige mindreverdige løsninger og materialer. Ledningsmateriale som brukes i dag er generelt gode, og utfordringer ligger i stor grad på utførelse. På generelt grunnlag kan man si at noen materialer har mindre toleranse for feil i utførelsen enn andre. Derfor er sårbarhet mellom materiale og utførelse viktig. Den mest robuste løsningen mht. utførelse skal generelt foretrekkes. God forvaltning av ledningsanlegg krever dokumentasjon av anleggene. Dette bør også inkludere materialkvalitet og viktige materialegenskaper. Ofte blir utfasede anlegg liggende i bakken, men noen strekninger må forventes å bli gravd opp. For slike ledninger kan det bli stilt krav mht. gjenbruk og ev. å forhindre forurensning ved destruksjon.

2 Lov regelverk og myndighet

Lov om kommunale vass- og avløpsanlegg (Lovdata, 2020) angir at alle nye vann- og avløpsanlegg skal være kommunalt eide, med unntak av overvannsanlegg, mindre vann- og avløpsanlegg, samt anlegg som er tilknyttet annet offentlig organ eller næringsvirksomhet som ikke er tilknyttet kommunalt nett. Eksisterende vann- og avløpsanlegg som ikke er kommunale i dag, kan bare selges eller overdras til kommuner dersom den aktuelle kommunes regelverk er overholdt. Dvs. at alle produktdetaljer, krav og spesifikasjoner vedrørende tekniske og administrative krav er innfridd..

Videre stiller plan- og bygningsloven krav om at det skal foreligge en godkjent avløpsløsning før byggetillatelse kan gis. Kommunene håndterer kommunalt avløpsvann fra mindre og større tettbebyggelser etter kravene i forurensningsforskriften kapittel 13 og 14. Avløpsanleggene som behandler sanitært avløpsvann fra antall bolighus opptil 50 enheter, hytter ol., er i hovedsak private anlegg og kravene er gitt i forurensningsforskriften kapittel 12. I tillegg er det private avløpsanlegg fra større hyttefelt eller turistanlegg med utslipp over 50 pe som reguleres etter kapittel 13. Lovverket stiller ikke krav til kommunene om å etablere kommunal vannforsyning, selv om vannforsyningen i kommunale byer og tettsteder i all hovedsak er kommunal.

Tabell 3 - Forenklet oversikt over lovverk og myndighet
 ((Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2))

Hovedområde	Lov/ forskrift	Viktigste regulerte enhet	Myndighet ⁽¹⁾ (veileder/ klageinstans)	Ansvarlig ⁽¹⁾ i statsforvaltning	Viktigste EU-direktiv
Vannforsyning	Drikkevannsforskriften	Vannverkseier	Mattilsynet	HOD Mattilsynet	Drikkevannsdirektivet
Utslipp av avløpsvann	Forurensningsforskriften Kap. 12	Sanitært avløpsvann < 50 pe	Kommune (Statsforvalter/ kommunestyre)	KLD Mdir	Avløpsdirektivet
	Forurensningsforskriften Kap. 13	Mindre utslipp av kommunalt avløpsvann	Kommune (Statsforvalter)	KLD Mdir	
	Forurensningsforskriften Kap. 14	Større utslipp av kommunalt avløpsvann	Statsforvalter (Mdir)	KLD Mdir	
Vannforvaltning	Vannforskriften	Vannforekomstens tilstand	Fylkeskommune (som vann regionmyndighet)	KLD OED Mdir	Vanndirektivet
Vann- og avløpsanlegg	Plan- og bygningsloven	Kommune Byggherre	Kommune	KDD	
Vass- og avløpsanleggslova	Vann- og avløpsanlegg	(inkl. overvann anlegg)	Kommune	KLD	
Disponering av slam	Gjødselvareforskriften	Slam- produsentene	Kommune Statsforvalter	KLD, LMD, HOD	EUs slamdirektiv
Overvann	Flere forskrifter	Kommune	Kommune Statsforvalter NVE DSB	OED JBD KLD Mdir	

(1) Forkortelse iht. tabell «Ordforklaringer og forkortelser» side 13.

2.1.1 Standard abonnementsvilkår Administrative og tekniske bestemmelser

Standard abonnementsvilkår for vann og avløp består av administrative og tekniske bestemmelser – utgitt i hvert sitt hefte. De administrative bestemmelsene tar for seg juridiske og forvaltningsmessige forhold, mens de tekniske bestemmelsene fastlegger krav til teknisk utførelse. Vilkårenes formål er å ivareta det gjensidige ansvarsforholdet mellom kommunen og den enkelte abonnent i forbindelse med tilknytning til offentlig vann- og avløpsanlegg, og å sikre betryggende utførelse av sanitærinstallasjoner og private vann- og avløpsanlegg. *Standard abonnementsvilkår for vann og avløp* bør vedtas av den enkelte kommune for at de skal ha tilstrekkelig gyldighet. Vilkårene er utformet slik at de uforandret kan vedtas av kommunen. Det er imidlertid også mulighet for kommunen til å legge inn egne særbestemmelser. Bestemmelsene gis i hovedsak av kommunen som eier av hovedanleggene og leverandør av tjenestene innenfor vann og avløp. En del bestemmelser er i tillegg direkte eller indirekte hjemlet (Hjemmel = Tilhørende i) i lover og forskrifter som forurensningsloven, plan- og bygningsloven (PBL) og byggeforskriftene. Den foreliggende teksten er ment å utdype og konkretisere bestemmelsene i eksisterende lovverk og gi en kortfattet og lett tilgjengelig sammenfatning av de krav som gjelder. Det er imidlertid ikke meningen å presentere informasjon som finnes andre steder hvis dette ikke er nødvendig for sammenhengen i disse vilkårene. Det er brukt henvisninger til aktuelt regelverk der dette er naturlig. Den foreliggende revisjonen har tatt hensyn til endrede krav og bestemmelser og nye utfordringer som kommunene står overfor, blant annet når det gjelder klimaendringer, samt spesielle endringer i rettspraksis når det gjelder pkt. 3.14 om ansvarsforhold. Alle berørte parter, både huseiere, profesjonelle aktører og kommunalt ansatte, skal kunne ha nytte av å bruke vilkårene. Abonnementsvilkårene legger som regel grunnlag for kommunenes salgs og leveringsbetingelser.

2.1.2 Eierskap av ledninger

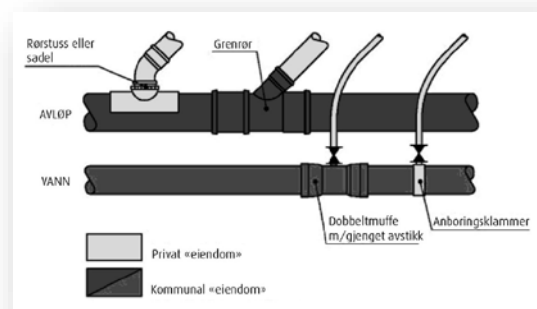
Regulering av tilkoblingsledninger til abonnent og eierskap til disse, er regulert i «Standard abonnementsvilkår – Administrative bestemmelser»

(*Kommuneforlaget, 2. utg. 2017*). For at dokumentet skal ha juridisk gyldighet bør det være godkjent i egen bystyre sak i aktuell kommune.

Eier til ledningsnett har hittil og stort sett i alle Norske kommuner vært fordelt som figur 2 viser.

Eierskap til de ulike elementene i ledningsnett har stor betydning for kostnader på driftsbudsjett og i tillegg kan måten systemet er bygget på vise seg å

Figur 2 - Eierskap av ledninger



være til hinder for fremtidige store besparelser ved rehabilitering og oppgradering. Lekkasje oppstår ofte i punktet hvor stikkledningen er koblet til. Da den er eiet av den private abonnenten, vil derfor alle kostnader ved oppgraving, tetting og fornying av ledningsnett og tilkoblingspunkt belastes abonnenten. Inndeling de fleste kommuner i Norge i dag har, medfører store besparelser for den enkelte kommune, men betydelige kostnader for abonnent eller huseier som eier et gammelt hus og plutselig får regning for en lekkasjetetting på kanskje opp mot 150 000,- – 250 000,- kroner. (Gjennomsnittlig pris på reparasjon av vannlekkasje ved stikkledning – egen erfaring) Ved oppgraving og fornying av ledningsnettet, har det vært tradisjon for å grave opp de gamle rør og kumsystemene for så å legge ned nye materialer.

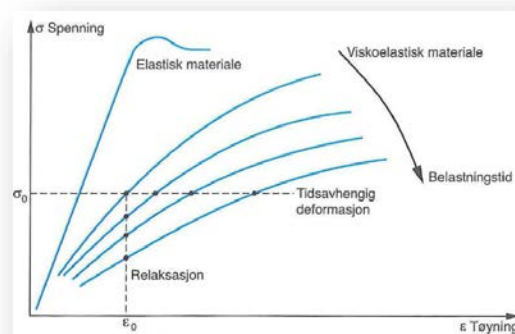
3 Generell material teknologi og bruk i VA Teknikk

Lite gjennomtenkt materialvalg kan føre til unødvendig høye monteringskostnader, dyre og tidkrevende reklamasjoner på produkter som ikke er iht. krav. I flere land er det forsøkt å få en oversikt over hva manglende materialkompetanse koster i form av tapt brutto nasjonalprodukt basert på blant annet havari, forkortet produktlevetid, høye vedlikeholdskostnader, produksjonstap, erstatningskrav for skader og opprydding etter utslipp. Omregnet til norske forhold kan det antas årlige tap på omtrent 12 milliarder kroner for materialbrudd og 10 milliarder kroner for korrosjon. (Johansen J, NTNU 2018- pdf forelesning). Mange av de mest brukte materialene produktene produseres av, blir brukt både innen vannforsyning og i avløpshandtering, gis en generell del med materiallære. Spesielle hensyn til de enkelte materialer i forbindelse med trykk, temperatur, spenninger, deformasjoner, etc tas opp under aktuelle tema, der det er behov. Hovedsakelig gjennomgang av tematikk rundt de mest brukte materialene til rørtransport, nemlig plastmaterialene PVC, PE, PP og GRP, samt betong og stål. Ser noe på mekaniske materialegenskaper produktenes sammensetning og levetidsbegreper.

De mekaniske egenskapene til rørmaterialer kan deles i

- Elastisk og viskoelastisk
- Seig og «sprø»

De elastiske egenskapene omhandler forholdet mellom spenning i rørmaterialet og den samsvarende tøyningen, som vist i figur 3.



Figur 3 - Sammenheng mellom spenning, tid og tøyning (Ødegaard H(red). 2012, Vann og Avløpsteknikk)

Elastiske materialer har en entydig sammenheng mellom spenning og tøyning, dvs. et lineært forløp ved på- og avlastning. Stål og støpejern er eksempler på elastiske materialer. E-modulen er en viktig parameter for å beskrive disse materialene. Den uttrykker forholdet mellom spenning og tøyning:

$$1) \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} [N/mm^2] \quad \text{\textit{E-Modulen}}$$

Hvor: σ = Spenning i rørveggen [MPa]

ε = Rørveggenes tøyning [%]

E-Modulen er konstant for elastiske materialer, mens Viskoelastiske materialer vil øke deformasjonen over tid ved konstant belastning (kryp, sig). Hookes lov dreier seg om forholdet mellom spenning og tøyning for et materiale og er sentral i mange sammenhenger når rør styrkeberegnes. Du kan for eksempel bestemme hvor mye tøyning du får når du påfører en viss kraft. Materialspenning er kraft per arealenheter – for eksempel i N/mm^2 (MPa) mens tøyning er en relativ størrelse – enten dimensjonsløs eller i m/m eller mm/mm. Når tøyningen er konstant avtar spenningen med tiden (relaksasjon) og når spenningen er konstant øker tøyningen med tiden (sig). Det betyr at E-modulen reduseres så lenge materialet er belastet. Fjernes belastningen for så å bli påført igjen, så har vi et nytt belastningstilfelle – vi begynner på null igjen. Belastningens varighet må man derfor vite noe om. E-modulen i plastmaterialer øker med tiden – materialet blir sterkere eller stivere og noen vil påstå sprøere. Denne egenskapen nyttes ikke ved lastberegning. Under belastningstiden vil det oppstå tøyning. Er tiden kort før belastningen fjernes, vil tøyningen gå helt tilbake og materialet har en tilnærmet elastisk oppførsel. Er belastningstiden lang nok, vil materialet ha en varig tøyning – det endrer form som en væske. Derav viskoelastisk – der «visko» henspiller på væske. Spenningen i rørveggen vil avta over tid hvis tøyningen holdes konstant (relaksasjon). Dette er egenskaper som er praktisk viktige også for vann og avløpsnett, bla ved at spenningen til en viss grad vil avta over tid etter at f.eks. en avløpsledning er lagt, evt. at materialet vil sige noe. Termoplast (PVC, PE, PP) er viskoelastiske. E-modulen avtar med belastningstiden for disse materialene. Det opereres i praksis med korttids E-modul beregnet på grunnlag av målinger ved belastning i 3 minutter. Denne er avgjørende for hvordan ledningen skal oppføre seg ved belastninger den første tiden etter at anlegget er utført. En langtids E-modul er beregnet ut fra akselererte forsøk der 50 års belastningstider er modellert. Denne brukes ved beregninger av virkning av lang tids belastning. E-modul oppgis vanligvis ved romtemperatur. Ringstivheten er en viktig parameter for beskrivelse av styrke for fleksible ledningsmaterialer.

Definisjon ringstivhet er:

$$2) \quad SN = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot D_y^3} \text{ [MPa]} \quad \textit{Ringstivhet rør viskoelsttiske rør}$$

Hvor: E = E-Modul [MPa]
e = Vegtykkelse [mm]
D_y = Utvendig diameter [mm]

Deformasjon over lang tid bestemmes mye av hvilke type gjenfyllingsmasser som brukes. Målinger (Ødegaard H(red). 2012, *Vann og Avløpsteknikk*) viser at friksjonsjordarter gir liten ekstra deformasjon over tid, men bl.a. leire og silt som omfylling kan gi deformasjonsøkning.

3.1 Termoplaster

En plasttype som blir myk ved oppvarming og dermed kan varmes formes flere ganger ved høy temperatur. Da er råmaterialet seigflytende. Siden kjøles produktene ned og materialet blir fast og hardt. Kasserte produkter av termoplast kan resirkuleres og materialet gjenbrukes i nye produkter. Det kan registreres at noen materialeegenskaper hos plastrør endres over tid. Dette kalles aldring – må ikke forveksles med nedbryting. Et fenomen er at stivheten øker. Dette er en positiv endring fordi økt ringstivhet bidrar til å motstå trykket fra massene rundt nedgravde rør. Likeså vil materialets styrke med hensyn på å tåle innvendig trykk øke. Samtidig som stivhet/styrke øker, reduseres slagfastheten noe. PVC har i utgangspunktet en del lavere slagfasthet enn PE og PP. Derfor merkes endringene i slagfasthet bedre hos PVC. Begrepet aldring kan oppfattes negativt, men det bør anmerkes at endringene over tid og kan ses på som positive, da materialet styrkes» over tid. Aldring går hurtigere ved utelagring pga. klimatiske påvirkninger - spesielt en varierende temperaturen som dessuten kan bli svært høy ved direkte soloppvarming. En liten andel kan tilskrives ultrafiolette stråler fra sola som påvirker det ytterste materialsjiktet på røret. Dette er mye omtalt i forbindelse med PVC-rør når de ”solblekes”. Det oppstår da et gråhvitt sjikt utvendig på røret som normalt er så tynt at man lett kan skrape det bort slik at den opprinnelige fargen kommer til syne. Ønsker man å begrense slagfasthetsreduksjonen ved lang tids utelagring, bør rørene lagres skyggefullt - først og fremst for å begrense påvirkningen pga. temperatur. Plastrør tåler lang tids lagring. Lagring i ett år er fullt tolererbart, og kvaliteten på rørene trenger heller ikke å være nevneverdig redusert ved lengre tids lagring. Nyere europeiske produktstandarder anbefaler maksimum lagringstid ute i ett år, men det er nok mer relevant i varmere strøk enn våre.

Det er allment kjent at ingen naturlig forekommende stoffer rundt nedgravde plastrør bryter ned eller korroderer plastmaterialene.

Slagfastheten reduseres også ved synkende temperatur, men gjenvinnes når temperaturen stiger igjen. Det er ingen krav til nedre grense ved behandling eller legging av plastrør og da spesielt PVC, men i streng kulde bør det utvises varsomhet. Selv om PVC-rør lagt i streng kulde vil, såfremt de er hele etter igjenfylling av grøft, ha like god kvalitet som om leggingen hadde foregått ved høyere temperatur. Vær spesielt oppmerksom på forhold omkring ekspansjon. Lengden på et rør oppgis normalt ved romtemperatur (ca. +20 °C). Når ett rør oppvarmes eller avkjøles vil det forandre lengde dersom det kan bevege seg uhindret. Ta hensyn til dette ved legging av lange lengder, da spesielt oppmerksomhet ved PE-materialet og ved montering av muffør (*tilpass innstikkslengde*).

$$3) \quad \Delta L = \alpha * L_0 * \Delta T \text{ [m]} \quad \textit{Lengdeutvidelse}$$

Tabell 4 - Utvidelseskoeffisienter

Hvor: ΔL = Lengdeutvidelse [m]
 α = Temperaturutvidelseskoeffisient [mm/m * °C]
 L_0 = Opprinnelig lengde [m]
 ΔT = Temperaturforskjell [°C]

Materiale	α [mm/m°C]
PVC	0,08
PP	0,13
PE 80	0,18
PE 100	0,16

I et rør som er fastspent og ute av stand til å bevege seg, vil en lengdeendring i stedet opptre som spenninger i rørveggen. Ved store og uunngåelige temperaturendringer bør man være spesielt oppmerksom og foreta nødvendige beregninger.

Trykkør produsert av termoplaster iht. NS i vedlegg 10, beskriver styrkeforhold som **SDR** klasser. SDR står for Standard dimensjonsforhold og er foretrukket benevnelse for trykkør.

$$4) \quad \textit{SDR} = \frac{D}{e_{min}} \quad \textit{Standard Dimensjon Rate}$$

Hvor: D = Utvendig diameter
 e_{min} = veggtykkelse

Designfaktoren C (Sikkerhetsfaktor), er for termoplastrør varierende og spenner fra 1,25 til 5. I andre europeiske land er den som regel lavere enn hva som tradisjonelt velges i Norge. Fokus på levetid og bærekraft bør medføre at høyeste designfaktor eller sikkerhets faktor velges. Som tabell 5 viser er C for PE-trykkør er 1,25 og 1,6 mens C for PVC-trykkør er 2,0 og 2,5.

Tabell 5 - Sammenheng mellom maksimum tillatt opptredende trykk, designfaktor og SDR verdi (Pipelife AS)

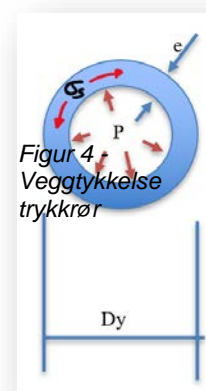
	MRS [MPa]	σ_s [MPa]	C	SDR 34,4	SDR 26	SDR 21	SDR 17,6*	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11
PE 80	8,0	5,0	1,6	-	PN 4	-	PN 6	-	-	PN 10
		6,4	1,25	-	PN 5	-	PN 7,5	-	-	PN 12,5
PE 100	10,0	6,3	1,6	-	PN 5	-	-	PN 8	-	PN 12,5
		8,0	1,25	-	PN 6,3	-	-	PN 10	-	PN 16
PVC	25,0	10,0	2,5	PN 6	-	PN 10	-	-	PN16	-
PVC \geq 110 mm	25,0	12,5	2,0	PN 7,5	-	PN 12,5	-	-	PN 20	-

For å beregne veggtykkelse i trykkrør:

$$5) \quad e_{min} = \frac{P * D_y}{(2 * \sigma_s) + P} [mm] \quad \text{Veggtykkelse trykkrør}$$

Hvor: P = Innvendig trykk [MPa]
 D_y = Utvendig diameter [mm]
 σ_s = Dimensjonerende spenning [MPa]

For trykkløse avløpsrør produsert i h.t. NS-EN 1401 (PVC) og NS-EN 1852 (PP) anvendes ringstivhetsklasse, SN som er målt ringstivhet i MPa. SDR begrepet for så vidt og nyttes, da f.eks. en 200*5,9 mm 200 mm ledning ville fått SDR verdi 34 (SN8 nominell Ringstivhet = 8 MPa)



Figur 5 - Vegg tykkelse Trykkrør

3.1.1 PVC Polyvinylklorid PVC

PVC var det første plastmaterialet som ble brukt til å produsere rør. Allerede på midten av 1930-tallet ble de første rørene produsert i Tyskland. Utgangspunktet var en spesiell type E-PVC. Rørene ble produsert ved hjelp av en "ramekstruder". I prinsipp anvendes et stempel til å presse den smeltede polymeren gjennom en dyse for å lage røret. Noen av disse rørene er fremdeles i bruk i Tyskland. PVC består av ca. 57 % klor og ca. 43 % organisk (olje) materiale. Klor kommer fra vanlig koksalt (NaCl). Dette løses i vann, og ved å lede strøm gjennom denne saltløsningen dannes klor (elektrolyse). Et biprodukt er lut (NaOH). Den organiske del av molekylet kommer fra olje eller gass. Først blir oljen eller gassen kjørt gjennom en "ovn" (cracker) hvor molekylene deles opp og danner etylen (H₂C=CH₂) og propylen, sammen med en rekke andre produkter i mindre mengder. Klor og etylen ledes så sammen for å lage vinylklorid monomer, som er råstoffet i PVC-produksjonen. For å få PVC må mange enheter vinylkloridmonomer kobles sammen. Denne prosessen kalles polymerisasjon og foregår i store autoklaver (trykktanker), der vinylklorid- monomer blandes sammen med vann og

nødvendige hjelpestoffer, og varmes opp til 50-70°C. På denne måten kobles mange enheter vinylkloridmonomer sammen (for PVC til rør: ca. 1000 enheter), og resultatet er PVC i form av partikler i vannfase. Dette tørkes så til et hvitt pulver med ca. 150 mikrometer partikkelstørrelse. For å kunne lage rør må det tilsettes forskjellige tillsatsstoffer som har som oppgave å optimalisere ekstruderingsprosessen, og gi rørene de rette egenskapene. Typiske tillsatsstoffer er varmestabilisator, fyllstoff, smøremiddel og fargestoff. PVC er en såkalt termoplast med lav krystallinitetsgrad (10-15 %), den er transparent og stiv med en E-modul på ca. 3000 N/mm². Den har dessuten et mykningspunkt på rundt 80° C. PVC-materialet til rør har i dag betegnelsen PVC-U (Polyvinylklorid – unplasticized). Med dette menes såkalt ”hard PVC”, som ikke er tilsatt mykner .

PVC (termoplast) har vært mye brukt til vann og avløpsrør i Norge og internasjonalt. Følgende tekniske og mekaniske egenskaper for PVC er viktige (*Pipelife, 2007, Hafskjold og Sægrov, 2007*):

- PVC er et sterkt materiale med lav vekt.
- PVC er svært stabilt og lite utsatt for kjemisk nedbrytning, med unntak er en del løsemidler.
- Materialet er egnet for temperatur opp til ca. 40-50 °C (for mer informasjon om reduksjon i styrke ved høy temperatur, se kapittel 13.3.3).
- PVC er under normale betingelser svært motstandsdyktig mot slitasje.
- Temperaturutvidelseskoeffisienten er 0,08 mm/m/ °C, som tilsvarer 1 cm for 20 °C for et rør på 6 meter. Ved legging under lave temperaturer skal det være minimum 1 cm ekspansjonsgap i skjøtene.
- Korttids E-modul er i området 3000-3200 MPa, og langtids E-modul er ca.1000-1300 MPa, dvs.et visst sig ved konstant spenning i rørveggen.

Leggingen er et sårbart område da PVC krever korrekt komprimering, og materialet er meget utsatt for slagskader ved lave temperatur.

3.1.2 Polyetylen PE

Polyetylen er i dag en fellesbetegnelse på mange forskjellige produkter med vidt forskjellige egenskaper. Utgangspunktet var polyetylen med lav densitet (LDPE), som for første gang ble produsert kommersielt like før andre verdenskrig. De første rørene av LDPE ble produsert midt på 1950-tallet. Mot slutten av dette tidsrommet ble den første store modifiseringen av dette plastmaterialet mulig, ved at en oppdaget en helt annen måte å produsere PE på. Det ble den såkalte høy densitets polyetylen (HDPE). Den er mye stivere enn LDPE og har gode sveisbare egenskaper. De første rørene av polyetylen for bruk i vannforsyningen ble produsert på slutten av 1950-tallet. Siden den tid har utviklingen fortsatt med stadig introduksjon av nye og forbedrede typer for produksjon av rør. Dette har skjedd ved videreutvikling av polymerisasjonsteknologien og tillsatsstoffene. I tillegg til

bedre katalysatorer, brukes ofte mindre mengder av andre monomerer (f.eks. *heksen og okten*) for å optimalisere egenskapene til produktet. Polyetylen er produsert utelukkende av organisk materiale. Utgangspunktet er olje eller gass. Første trinnet er det samme som beskrevet for PVC, nemlig ”cracking” av olje eller gass til etylen, propylen og diverse biprodukter. Etylen er råvaren i PE-produksjonen. Denne reaksjonen kan foregå i gassfase eller i ”slurry”. Dette er kontinuerlige prosesser hvor etylen kjøres inn i den ene enden av prosessen og polyetylen kommer ut i den andre enden. Under denne prosessen tilsettes stabilisatorer som for eksempel antioksidanter og eventuelle andre nødvendige stoffer. Som en avslutning på produksjonsprosessen er det en stor ekstruder som lager de granulatene som vi kjenner som polyetylen. Polyetylen brukt til rør er også en termoplast, men i motsetning til PVC har den mye høyere grad av krystallinitet - opp mot 70% for en HDPE. Det betyr at den er opak (*lyset blir spredt av krystallene*) og den vil derfor ha et melkehvitt utseende. Den har derfor også et forholdsvis godt definert smeltepunkt, i overkant av 130° C. E-modulen er på ca. 700-1250 N/mm². Polyetylen er motstandsdyktig mot de fleste organiske løsemidlene ved normale temperaturer. I dag benyttes to betegnelser for polyetylenrør:

- PE80 er PE-materiale med bruddspenning minimum 8 MPa.
- PE100 er PE-materiale med bruddspenning minimum 10 MPa.

PE100 RC er en videreutvikling av PE100 materialet og er ekstra motstandsdyktig mot langsom sprekkvekst.

3.1.3 Polypropylen PP

Polypropylen ble først produsert midt på 1950-tallet, og kommersiell produksjon kom i gang bare noen år senere. Det er de samme hovedtypene katalysatorer som brukes i både PP- og PE-produksjon, men forskjellene er likevel betydelige. Produksjonen kan foregå i ”slurry”, løsning eller gassfase. Råstoffet kommer fra samme kilde som for PE, nemlig ”crackert” olje eller gass. Propylen, som er et av hovedproduktene fra ”crackingen”, er råvaren i PP-produksjonen. Polypropylen finnes i mange forskjellige varianter både med hensyn til molekylvekt (kjedelengde) og molekylstruktur. Den finnes som homopolymer (bare propylen som råvare) eller kopolymer (der en også bruker andre råvarer enn propylen, f.eks. etylen). Disse mange variantene gjør at PP har mange anvendelsesområder, og den er i dag en av de mest utbredte polymerene. En ”ren” PP homopolymer er en krystallinsk termoplast med et smeltepunkt på ca. 160° C. Trykkløse rør produseres av PP kopolymer med E modul 1300 N/mm². PPHM (Polypropylen high modulus) har en E-modul på 1700 – 2000 N/mm². PP er meget motstandsdyktig mot de fleste løsemidler ved normale temperaturer.

Polypropylen er også en termoplast som brukes for overvanns og avløpsrør. Det kan sammenlignes med PVC, men har enkelte egenskaper som ligger nærmere PE. Sammenlignet med PE er PP sterkere

og noe stivere, og PP har den fordel at det tåler varme bedre enn både PE og PVC. Det er delvis derfor at PP benyttes mye for husinstallasjoner. I tillegg er kjemikaliebestandigheten bra. Følgende tekniske og mekaniske egenskaper for PP er viktige (*Pipelife, 2007, Hafskjold og Sægrov, 2007*):

- PP er egnet for temperatur opp til ca. 60 °C (for mer informasjon om reduksjon i styrke ved høy temperatur, se kapittel 13.3.2).
- Temperaturutvidelseskoeffisienten er 0,12 mm/m/ °C, som tilsvarer 1,5 cm for 20 °C for et rør på 6 meter.
- Korttids E-modul er i området 1600 MPa, og langtids E-modul er 400 MPa, dvs. en viss sig ved konstant spenning i rørveggen.
- Materialet er sammenlignbart med PVC, men har bedre slagfasthet.

3.2 Herdeplast - Glassfiberarmert polyester GRP

En type plast som ikke mykner ved oppvarming. Kan ikke varmes formes flere ganger. GRP-(*Glassfibre reinforced plastic (eller polyester)*) materialet ble utviklet i USA rett før siste verdenskrig. Det kom til Europa i slutten av 40-årene, og til Norge i 1953. GRP får stadig større anvendelse pga. materialets styrke og lave vekt, kombinert med å være korrosjonsfritt. Første båt, en mindre jolle, ble produsert i GRP i Norge i 1955, og dagens utvikling er GRP er en av mange betegnelser som benyttes på materialet, andre kan være:

- **GUP** Glassfiberarmert umettet polyester
- **GAP/AP** Glassfiberarmert polyester/armert polyester
- **GRVe** Glassfibre reinforced vinylester
- **GRE** Glassfibre reinforced epoxy

Alt er betegnelser på en herdeplast som har fått sin endelige form med kryssbundne molekyler i et tredimensjonalt nettverk. GRP kan derfor i motsetning til termoplastene PE, PVC, PP, (som har en ubunden molekylstruktur) ikke omformes etter at det har fått sin endelige form. GRP bygges hovedsakelig opp av polyester og armeres med glassfiber. Kompositten inneholder også ofte fyllstoff som bl.a. sand, og kan med variasjon i råvarene komponeres til de egenskaper en ønsker. Innenfor polyester finnes det mange forskjellige typer, men de mest vanlige for rør til vann og avløp er en variant av ortoftalsyrepolyester eller noen ganger isoftalsyrepolyester og tereftalsyrepolyester. I rør til industriformål benyttes også vinylestere og epoksy. Glassfiberen (*armeringsmaterialet i «limet»*) finnes i flere varianter. Mest brukt er E-fiber, men også ECR-fiber anvendes (*kjemisk resistent*). Glassfiberen har på samme måte som armeringsjern, en overflatebehandling (*sizing*) slik at den skal få

best mulig vedheft til polyesteren. Glassfibertrådene (*monofilamentene*) er i seg selv svært tynne, 6-25 mikrometer, eller 0,006-0,025 mm. De er imidlertid buntet sammen til anvendelige tykkelser.

Betegnelsen på glassfiber i bunter er gitt i tex (g/km), eksempelvis 4800 tex som betyr 4800 g/km.

GRP-rør brukes mye til overføringsledninger for vannforsyning, blant annet på grunn av at de er økonomisk konkurransedyktige for store dimensjoner. Rørene brukes også til avløpsledninger i store dimensjoner > 300 mm. Rørene er bygget opp som to rør med et mellomliggende sjikt som kan være fylt med sand. Følgende tekniske og mekaniske egenskaper for GRP er viktige:

- Temperaturutvidelseskoeffisienten i lengderetning er 0,03 mm/m * °C, som tilsvarer 0,4 cm for 20 °C for et rør på 6 meter (*ringretning 0,008*).
- GRP er egnet for alle praktiske temperaturer (*fra - 60° C til + 100 °C*).
- E-modul avhenger av konstruksjonen, men er gjennomgående høyere enn andre plastmaterialer.
- Røret har relativt lav vekt i forhold til styrken.
- GRP er generelt svært motstandsdyktig mot korrosjon.
- Utvendige støt kan forårsake innvendige «stjernesprekker» som er vanskelig å oppdage, men som kan forårsake skader på røret.
- Det stilles høye krav til legging og omfylling for å sikre god sidestøtte.

Rørene er lette å håndtere og installere, men sårbare for feil som tilbakefylling med stor stein. Tillatt tøyning er lav sammenlignet med andre termoplastrør.

3.3 Betong

Betong lages ved å blande sement og vann med sand, stein og tilsetningsstoffer. Sementen reagerer kjemisk med vann og prosessen kalles hydratisering. Materialet er meget allsidig og er et av de mest brukte byggematerialene i verden i vår tid. Materialet kan produseres med meget variable egenskaper tilpasset bruk. Til vann og avløpsformål benyttes først og fremst betong som har meget høy fasthet. Normalt ligger s.k. kommuallbetong (*eldre begrep om betong til VA teknisk bruk*) rundt fasthetsklasser fra B45 og opp til B70 – tilsvarende trykkfasthet i MPa. Det er betongens trykkfasthet som bestemmer hvor store dimensjoner en betongkonstruksjon må ha for å klare de lastene den skal bære. Desto større trykkfasthet betongen har, desto mindre dimensjoner trenger konstruksjonen å ha.

Betong er det historisk mest anvendte rørmaterialet for avløpsnett . Det er i dag blant de mest anvendte materialene for større diameter (over 400-3000 mm), men benyttes også noe for mindre diametere, spesielt i de største byene og til vei og jernbanebygging. Betongrør produseres som oftest uten armering opp til 600 mm innvendig diameter, og med armering fra 600 mm og oppover. I store

dimensjoner (DN 1000 ~ 3000 mm) leveres de normalt med asymmetrisk (oval) armering for bedre å ta opp kreftene fra ytre laster. Det benyttes oftest sirkulære betongrør, men i enkelte dimensjoner kan det leveres ulike variasjoner av eggformede rør som har bedre hydraulisk funksjonsevne (*bedre selvreising ved små vannføringer, BASAL 2007*). I enkelte kommuner ligger fremdeles armerte betongrør som overføringsledninger til vannforsyning. Dette er rør hvor armeringen er forspent, såkalte Bonna-, Sentab- eller Premorør. Disse rørene produseres ikke lengre og vil ikke bli omtalt ytterligere i denne rapporten.

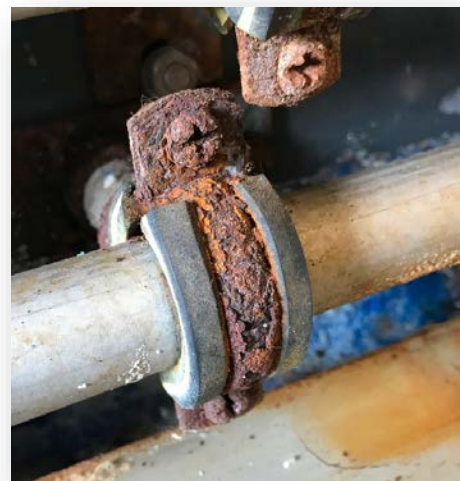
Når det gjelder tekniske og mekaniske egenskaper for betongrør, skal det nevnes at:

- Betongrør kan produseres i styrke som tilpasses den aktuelle situasjonen.
- Betong har minimal utvidelse ved temperaturendringer.
- pH verdier under 5 løser opp sementlimet og kan medføre korrosjon

Betong er sårbart for kjemisk nedbrytning ved generelt korrosivt miljø/lav pH, ved septiske eller anaerobe forhold (*fare for dannelse av svovelsyregasser - H_2S*) og ved påvirkning av kjemikalier med lav pH verdi i sulfatholdig grunn (*alunskifer*). Det kan være sårbart for skader ved uforsiktig håndtering eller slag skader. Det kan produseres betong som tåler alunskifer og surere miljø. Betongen må da tilsettes stoffer som beskytter sementlimet. (Sulfat Resistent). Produseres ved bruk av s.k. SR Sement. Dette er et materiale som er på tur å bli byttet ut av andre tilsetningsstoffer som gir samme effekt.

3.4 Jern / Stål

Ikke noe annet legeringssystem kan by på så mange nyttige reaksjoner og mikrostrukturer som det der jern (Fe) og karbon (C) er hovedkomponenter. Jern eller stålprodukter spenner over mange kvaliteter og forskjellige egenskaper. Bløte, duktile, stål benyttes bl.a. for trekkstansing av deler for bilkarosserier, kjøleskap panel og lignende. Ekstremt harde stål kan benyttes til å skjære andre stål til slitesterke stål som tannhjul og gravemaskiner. Noe stål har stor motstand mot korrosjon mens andre har egenskaper som gjør dem egnet som materiale i f.eks transformator-kjerner. Det er ståltyper som kan lages umagnetiske og med minimal termisk utvidelse for bruk i presisjons-instrumenter etc. Det er ikke mulig å oppnå optimalisering av



Figur 6 - Sammenblanding av ulike stål-kvaliteter (Eget bilde)

alle egenskaper i rene Fe-C legeringer. Fe og C er viktige bestanddeler i alle stål. I de tilfeller der mengden av andre elementer er liten og strukturen i det store og hele er dominert av Fe og C, prater vi om ulegert stål og ulegert støpejern. Disse legeringene kan behandles under ett som et binært fasediagram system. Diagrammet justeres for mindre forandringer i struktur og reaksjonshastigheter, som forårsakes av elementer som mangan (Mn), silisium (Si), svovel (S), og fosfor (P) som alltid er til stede i små mengder. Det lages også store mengder stål av skrap. Vi må da regne med at det finnes elementer som kobber (Cu), nikkel (Ni), krom (Cr), og tinn (Sn) i mengder opp til 0,1%. Når elementer ut over Fe og C finnes i større mengder, påvirker de strukturen i merkbart grad. Det er da leget stål og støpejern. De absolutt viktigste egenskaper til ulike jern og stålmaterialer anvendt i vann og avløpsindustrien er korrosjonsbestandighet. Alle anlegg bygget for håndtering av vann i en eller annen sammenheng er for det meste stort sett meget korrosive, og det er da essensielt å velge de riktige jern materialene og ikke minst vurdere sammensetning av materialer i forhold til korrosjon. Stort sett skal det velges rustfritt og sjøvannsbestandige stålmaterialer i VA tekniske anlegg. Ved sammenblanding av ulike stålmaterialer i denne type anlegg vil den dårligste legeringen eller det stålet med lavest kvalitet begynne å korrodere, eller ruste. Kunnskap om de ulike egenskapene og dokumentasjon av riktige stålsammensetninger er essensielt ved material valg.

3.5 Egenskaper ledningsmaterialer

Noen av de viktigste egenskapene til materialer brukt i ledningsanlegg kan enkelt listes opp:

- Korrosjon
- Slitasje
- Statisk og dynamisk styrke
- Hydrauliske egenskaper
 - Ny ledning
 - Over tid – redusert hydraulisk kapasitet
- Branntekniske egenskaper
- Miljømessig fotavtrykk
- Transportsystemer og mottakskontroll
- Leggeteknisk kompetanse
- Kompatibilitet mellom materialer og systemer
- Mulighet for enkel reparasjon
- Dokumenterbar levetid
- Sertifisering og målbar kvalitet

3.6 Korrosjon og nedbrytning

Det finnes ulike fysisk/kjemiske/ mekaniske prosesser som kan bryte ned materialene i ledningsanlegg. Uttrykket ledningsanlegg impliserer betraktninger rundt både rør- og kummateriale. Disse er vist oversiktsmessig i tabell 8 og 9. Det understrekes at alle materialene har vært gjenstand for kontinuerlig utvikling for å redusere mulig nedbrytning, og at moderne materialer er langt mindre utsatt enn materialer som ble brukt for 30 år siden eller mer.

3.6.1 Kjemisk og biologisk korrosjon

Rør av grått eller seigt støpejern og stålrør har vært mye utsatt for korrosjon. Korrosjon foregår som en todelt reaksjon, katode og anodereaksjonen. Typer korrosjon som kan forekomme er som følger:

Luftningscellekorrosjon. Her bruker katodereaksjonen vann, oksygen og frie elektroner og danner hydroksidioner (OH⁻). Anodereaksjonen løser opp metallet til metallioner og frigir elektroner. Metallionene reagerer med hydroksider til komplekse jernhydroksider, som er korrosjonsproduktene. Katode og anodereaksjonen virker altså sammen. For at de skal fungere må det være forhold for å transportere elektroner fra anoden til katoden (god ledningsevne), og det bør være variasjoner i oksygen og fuktighetstilgangen på overflaten.

Dette kan typisk forekomme utvendig dersom:

- » røret ligger i fuktig grunn, særlig leire
- » fuktigheten langs røromkretsen varierer (ved grunnvannsspeilet)
- » oksygentilgangen varierer (variasjoner i tilbakefyllingsmaterialene).

Innvendig kan korrosjon forekomme under sedimenter i vannledninger.

Galvanisk korrosjon skyldes uheldig kobling mellom materialer med ulikt spenningspotensiale. Hvis kobber og støpejern kobles, vil støpejern bli anode og kan starte å ruste. I praksis må også katodearealet være betydelig større enn anodearealet, og det må være forhold for transport av elektroner (fuktig grunn). Galvanisk korrosjon opptrer derfor relativt sjelden på vannledninger.

Likestrømskorrosjon forekommer ved likestrømsanlegg (som trikkeskinner), og kan være betydelig. Korrosjonen skjer ved at strøm lekker fra likestrømsanlegget til vannledninger og skader ledningen på et Punkt hvor den vandrer ut av ledningen. Dette forhindres ved passiv korrosjonsbeskyttelse som belegg av Polyetylen (PE) eller polyuretan (PUX).

Metalliske vannledninger blir nå alltid beskyttet. Ved påføring av aktivt beskyttende belegg som stanser katodereaksjonen, og derved også utløsning av metall i anoden. Korrosjonen kan også

reduseres ved behandling av vannet. Ved tilsetning av kalk og kullsyre eller natriumsilikat (vannglass) kan det bygges opp tynne belegg i ledningen som beskytter mot korrosjon. Innvendig rengjøring og regelmessig fjerning av sedimenter kan også være et viktig tiltak.

Sulfidkorrosjon.

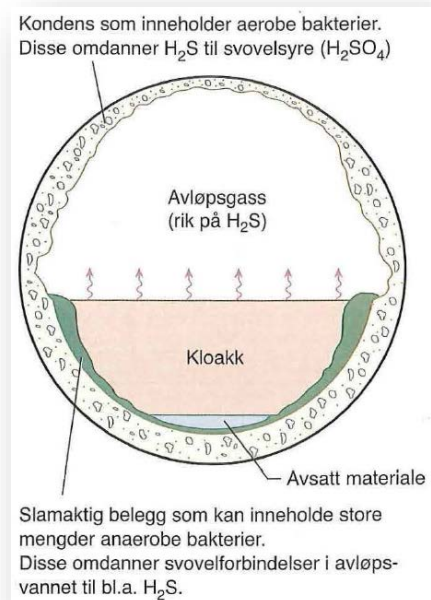
Dette er mest aktuelt for eldre betong ledninger.

Sulfidkorrosjon forekommer der det av ulike årsaker har oppstått oksygenfrie forhold i ledningene. I lange trykkledninger vil biologiske omsetninger i avløpsvannet forbruke all oksygen. Sulfat vil da erstatte oksygen i det biologiske stoffskiftet for bakterier og reduseres til sulfid. Når hydrogensulfid blandes med luft over vannspeilet og kondenseres på rørveggen, vil det igjen dannes konsentrert svovelsyre med pH nær 1. Denne sterke syren vil angripe betongen som vist på figur 7. Dersom hydrogensulfid er til stede, må derfor betongen beskyttes innvendig med et plastbasert belegg. Forekomsten av hydrogensulfid i avløpsnettet er sterkt uønsket av hensyn til driftspersonellets helse. Dannelse av hydrogensulfid må derfor stoppes, for eksempel ved tilsetning av produkter som inneholder nitrat, som virker som oksidasjonsmiddel og derved forhindrer dannelse av

hydrogensulfider. Betongrør kan også brytes ned hvis overflatevannet er spesielt surt eller grunnen inneholder sulfater. Blant annet gir alunskifer sulfatholdig grunn. Under slike forhold har det vært brukt rør med sulfatresistent sement (SR-Sement), noe som ikke er nødvendig lengre. Det har kommet nye tilsetningsstoffer som erstatter s.k. SR Sement. Det er sammenheng mellom rørmaterialets permeabilitet og motstandsevnen mot kjemisk korrosjon. Ved tett betong vil angrepene bare kunne foregå på overflaten, bortsett fra i ekstreme tilfeller vil de avta med tiden. Et viktig mål ved den tekniske utviklingen av betongrør har derfor vært å redusere permeabiliteten. Dette oppnås ved bedre betongresepter og ved bedre tilpasset etterherding av rørene. Nyere betongrør er derfor lite utsatt for nedbrytning, unntatt under ekstreme forhold med spesielt lav pH.

Armeringskorrosjon

For større diametere (typisk over 600 mm) produseres betongrør med armering. Armeringen i armerte rør er naturlig beskyttet av omliggende betong med en høy pH som hindrer oppstart av korrosjon. Rørkontroll av nylagte armerte betongledninger har i noen tilfeller avdekket rustutslag på overflaten. Dette kan skyldes at armeringsoverdekningen er opprisset. Dermed er den naturlige beskyttelsen mot



Figur 7- Korrosjon på betongledning (Ødegaard H (red), 2012, Vann og avløpsteknikk)

korrosjon brutt og korrosjon starter på grunn av et fuktig miljø. Dersom det skal brukes armerte betongrør, er det derfor avgjørende at disse ikke produseres med for lav overdekning eller legges med for høy ytre belastning, slik at skader oppstår og korrosjon kan starte. I de senere årene er overdekningen over armering øket og armeringen plassert asymmetrisk med oval armering i rørtverrsnittet for å redusere faren for riss.

3.6.2 Mekaniske effekter

Sprekkvekst. Generelt er trykkledninger mye mer utsatt for sprekkvekst enn trykkløse ledninger (Jansson, 2003). De fleste rørmaterialer kan i gitte tilfeller bli utsatt for riss om vokser til sprekker og til slutt ender i brudd. Opprinnelsen til rissene kan være skader på røroverflaten ved produksjon, under transport eller ved rørlegging. Dersom belastningen i tillegg er stor, oppstår det en konsentrert høy spenning i rørveggen ved spissen av risset. Dersom denne overstiger en materialspesifikk kritisk spenning, vil risset vokse (spenningskorrosjon). Materialets bruddseighet er viktig for sprekkvekst. Et seigt materiale som f.eks. PE og duktilt støpejern, har mye mindre sannsynlighet for sprekkvekst enn et sprøtt materiale som grått støpejern. Sprekkvekst med etterfølgende brudd er observert for trykkledninger av grått støpejern og PVC (Ødegård H(red), 2012 Vann og avløpsteknikk). Gjelder særlig dersom rør er lagt i grunnen på en slik måte at det oppstår lokale ekstrabelastninger, f.eks. at rørene er bøyd for å få til retningsjusteringer (PVC), eller at rørene er lagt på sviller (støpejern). Dersom det anbores på røret, vil spenningen øke i anbringstverrsnittet, både på grunn av konsentrerte belastninger ved selve anbringingspunktet og fordi tverrsnittet faktisk reduseres. Dersom det i tillegg er mindre riss i overflaten på røret, for eksempel på grunn av transport eller håndtering i grøfta, øker faren for sprekkvekst på slike steder.

For avløpsledninger er det særlig pumpeledninger av PVC som er utsatt for sprekkvekst. Ved gjentatte endringer i spenningen i rørveggen på grunn av trykkstøt, vil sprekken vokse, og såkalte utmattingsbrudd kan oppstå. Dette må forebygges ved trykkutjevne tiltak, for eksempel luftputekammer på ledningen. For vannledninger er det særlig ledninger av grått støpejern (lagt før 1970) og til dels PVC lagt før 1980 som er utsatt for sprekkvekst.

Deformasjon

Fleksible trykkløse ledninger utsettes for deformasjon ved tilbakefylling av masse over rørene. Graden av deformasjon bestemmes av materialets E-modul, rørets slankhet og omfyllingsmasser, for ikke å snakke om måten



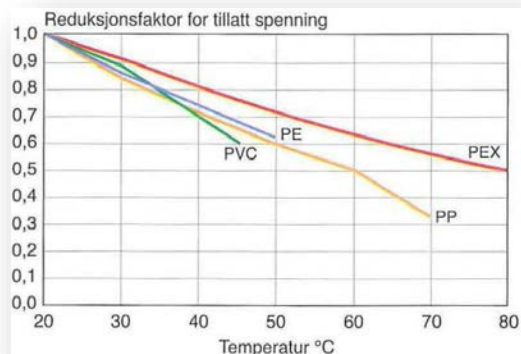
Figur 8 - Eksempel på avløpsledning som er deformert

omfylling utføres på. Ved bygging av grøfter i friksjonsmasser opptrer nesten hele deformasjonen i løpet av kort tid etter tilbakefylling (*dager*). De kan derfor umiddelbart etter legging kontrolleres ved rørinspeksjon. Ved tilbakefylling med leirmasser kan det ytre jordtrykket bygge seg opp over flere år, på grunn av leirens karakter som plastisk materiale. Uønsket deformasjon kan forebygges ved å øke materialstyrken (*velge materialer med høyere E-modul*) eller øke veggtykkelsen (*redusere SDR-forholdet*) eventuelt ved anleggstekniske tiltak.

Temperaturbestandighet

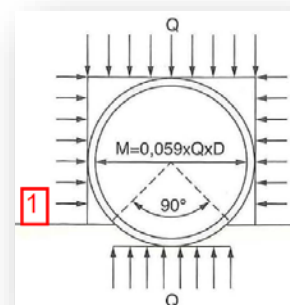
Plastmaterialer mister styrke når temperaturen øker. Dette er illustrert i figur 8. Ved økende temperatur blir termoplastene gradvis svekket. Dette skyldes et forbruk av antioksidanter (*tilsetningsstoff til termoplastrør*). Plastmaterialer bør derfor ikke utsettes for høye driftstemperaturer. Av plastene er det PP som tåler temperaturer best.

Figur 9 - Reduksjonsfaktor termoplast ift. temperatur

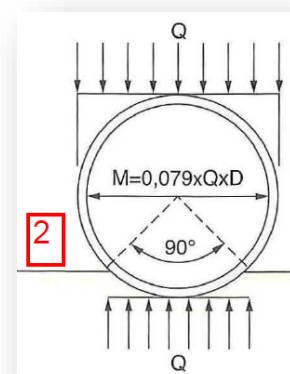


3.6.3 Last på ledninger

Generelt bærer stive rør en større last enn vekten av massene over røret. Det skyldes at massene ved siden av røret vil komprimeres noe. Friksjonskrefter vil da fordele noe av vekten av massene ved siden av røret slik at disse belaster røret. Denne ekstrabelastningen er avhengig av hvor store setningene er ved siden av røret, og derved av utførelsen. Målinger har vist at belastning på stive rør på grunn av ytre last øker med ca. 60 % hvis massene ikke er komprimert, mens belastningsøkningen er ca. 15 % ved god komprimering av massene. Belastningen på ledningen fører til et moment i rørveggen som vist på figurene 9, 10 og 11. Momentet setter opp spenninger i rørveggen som kan sammenlignes med rørets kapasitet til å ta opp strekkspenninger. Illustrasjonene viser at måten røret er lagt på, har stor betydning for opptredende spenningen. Figur 10- viser at ledning er lagt på hardt fundament. Siden kontakt flaten mellom ledning og underlag er liten, blir reaksjonskraften stor. I figur 11, er fundamentet løsgjort slik at ledningen støttes av en større flate mot fundamentet. Dette gir lavere spenning i rørveggen. Ved å sørge for god fundamentering og sikre god



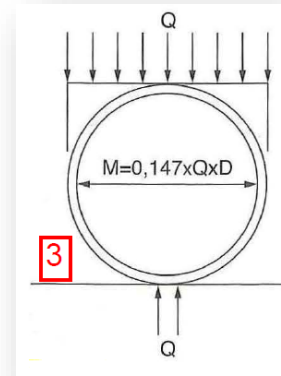
Figur 10 - Last på stivt rør



Figur 11 - Last på stivt rør

støtte for røret under nedre kvartssirkel, vil spenningen vist i figur 12, bli ytterligere redusert. Støpejernsrør har stor strekkapasitet, over 200 MPa. Betongs styrke ligger i evne til å ta trykk. Strekkkapasiteten for uarmerte rør er vesentlig mindre, for betongrør typisk ca. 10 MPa.

(Alle lastillustrasjonene figur 10,11 og 12, er hentet fra Ødegard H, (red), 2012, VA Teknikk)



Figur 12 - Last på stivt rør

Avlastning ved store leggedybder

Stive rør er dimensjonert for å ta opp store ytre laster og er totalt sett de mest robuste ved store belastninger. Ved å følge produsentenes leggeanvisninger kan imidlertid også termoplastrør med ringstivhet SN8, legges ned til 10 meter. Det forutsettes i alle tilfeller ekstra varsomhet ved legging av ledningene, dvs. løst fundament, gode omfyllingsmasser og nøyaktighet ved komprimering. Dersom ledningen legges på store dybder kan den ytre belastningen bli så stor at den går ut over bæreevnen til ledningen. I slike tilfeller kan en avlastende plate legges over ledningen slik at hele ledningskonstruksjonen virker som en fleksibel konstruksjon. Derved kan en oppnå en betydelig avlastning, selv om ledningsmaterialet er «stivt», som f.eks. betongrør.

Last på fleksible rør

I motsetning til stive rør bærer fleksible rør en mindre last enn vekten av massene over røret. Dette skyldes friksjonskrefter i omfyllingsmassene som gir omlagring av trykket. Hvis røret deformeres mer enn massene ved siden, så vil en del av vekten føres til massene ved siden av røret. Dette forutsetter at massene er godt komprimert og slik at de ikke deformeres like mye som røret. Ved legging av fleksible rør er en derfor helt avhengig av samspillet mellom rør og omfyllingsmasser. Avlastning på grunn av friksjonen i omfyllingsmassene er større for pukk og andre friksjonsjordarter enn for leire og typiske kohesjonsjordarter.

Figur 13 - Betongrør på lager



3.6.4 Rør og rørtyper/ materialer

Forenklet oppstilling av materialkvalitet og mest anvendte område for de enkelte systemer

Tabell 6 - Anvendelsesområde materialer

Gruppe rør	Dimensjoner	Betegnelse	Anvendelse
Termoplast	110 mm - 315 mm - Utvendig	PVC – Polyvinylkloridklorid	Vann-Gråblå Spillvann-Rødbrun Overvann-Sort
	110 mm – 250 mm - Utvendig	PP - Polypropylen	Spillvann-Rødbrun Overvann-Sort
	25 mm – 2000 mm Utvendig	PE - Polyetylen	Vann-Sort m/blå stripe, blå Spillvann-Rødbrun Overvann-Sort m/rød stripe
Herdeplaster	100 mm – 3000 mm Innvendig	GRP / GUP	Vann
Støpejern	100 – 1000 mm - Innvendig	Duktilt - Mange ulike typer inn og utv. foringer	Vann-Sort, blå
Betong	100 – 3000 mm – Innvendig		Spillvann-Rød Overvann-grå
Stål	300 – 3600 mm	Korrugert *	Overvann

Figur 14 - PE rør klar for leveranse



Tabell 7 – Enkel oversikt materialegenskaper positive og negative

Material	+	-
PVC	<p>Sterk. Lav vekt - , lett å legge ned. Stabilt materiale som tåler kjemikalier (<i>ikke kreosot</i>) Tåler slitasje. Lav temperatur- utvidelseskoeffesient 1cm /6 m rør 0,08 mm/m/°C Komplett delspekter</p>	<p>Tåler ikke temp over 50° C Følsom for monteringskader ved montering i kulde Sig i langtids e-modul. Leggeteknisk utfordrende. Utsatt for sprekkvekst.</p>
PP*	<p>Bra styrke. Tåler varme bedre enn PVC 60° - opp mot 100° C korte perioder. Tåler kulde uten å bli sprøtt, lett å legge, komplett delspekter. PP deler anvendes i stor grad til PVC rør.</p>	<p>1,5x utvidelse ift. PVC Sig i langtids e-modul Kan ikke limes – Må sveises. Leggeteknisk utfordrende. Utsatt for deformasjon.</p>
PE*	<p>Bra styrke. Lange lengder, kan sveises, kan lages som kontinuerlig lange ledninger. Komplett delspekter sveisemuffer.</p>	<p>Tåler ikke temperaturer over 50° Stor utvidelseskoeffesient 4 cm/6 m rør NB, ikke diffusjonstett Diverse tilsetningsstoffer som brukes som mykner er forbundet med diskusjoner ift. drikkevann. Utsatt for sprekkvekst</p>
GUP / GRP	<p>Meget høy styrke Ikke temperaturavgengig Meget stor kjemisk motstandsdyktighet</p>	<p>Tunge rør. Leggeteknisk utfordrende</p>
Stj	<p>Meget høy styrke Tåler høyt trykk Lav temperaturkoeffesient</p>	<p>Må beskyttes mot korrosjon (VL)</p>
Stål	<p>Høy styrke, Store dimensjoner</p>	<p>Utsatt for korrosjon Leggeteknisk utfordrende</p>
Betong	<p>Meget høy styrke. Ingen temperaturpåvirkning Tåler slitasje Kan benyttes billige tilbakefyllingsmasser.</p>	<p>Tunge Leggeteknisk utfordrende Utsatt for korrosjon ved spillvannsledninger.</p>

* Vedrørende materialene PP og PE produseres det s.k. dobbeltveggede rørsystemer. Disse bør vektlegges stort fokus vedrørende leggetekniske egenskaper, da de mangler styrke i lengderetningen.

4 VANNFORSYNINGSSYSTEMER I NORGE

Vannforsyningssystemer i Norge kan grovt deles inn i følgende elementer:

- Vanntilsigsområde med kilde og inntaksløsninger
- Overføringsledninger
- Vannbehandlingsanlegg (VBA)
- Transportsystemer med fordelingsnett og tekniske installasjoner
- Stikkledning til forbruker/ abonnent

Regulering av drikkevann er hjemlet i «Lov om matproduksjon og mattrygghet mv». - Matloven, «Lov om helsemessig og sosial beredskap.» - Helseberedskapsloven og «Lov om folkehelsearbeid» - Folkehelseloven. Noen av nøkkeltallene som fremkommer for vannmengder i Norge er:

(Folkehelseinstituttet, FHI, 2020 Vannforsyningssystemer til mer enn 50 fastboende)

- 1 354 vannforsyningssystemer
- Ca. 88 % av Norges befolkning forsynes
- Vi har ca. 54 600 km rør som i stor grad er av plast, lagt i perioden 1971-2000.
- 0,71% av det totale ledningsnettet for drikkevann er fornyet
- Det ble produsert ca. 750 millioner m³ drikkevann i 2020
- Det ble anslått at anslagsvis 30 % eller ca. 220 millioner m³ drikkevann lekket ut av vannledningsnettet på vei til abonnentene
- Ca. 99 % av befolkningen får drikkevann med tilfredsstillende hygienisk kvalitet

Følgende funksjoner og krav må tilfredsstilles i denne sammenheng:

- Lvert vann til forbruker skal oppfylle drikkevannsforskriftens krav i alle situasjoner, også under branntapping.
- Drikkevannssystemene skal ha en teknisk kvalitet som resulterer i at rent vann kan leveres til enhver tid. Det skal bygges inn tilstrekkelig sikkerhet til at utfall av at enkeltelementer ikke skal resultere i brudd i forsyningen.
- Vannverk skal ha flere hygieniske barrierer før leveranse til forbruker.
- Overføringsledninger skal sikres spesielt mot uønskede hendelser som kan gi avbrekk i forsyningen. Risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser) skal avdekke slike mulige hendelser.
- Høydebassenger skal ha tilstrekkelig volum for å sikre forsyningen i et visst antall timer. Sikkerhetsreserven er normalt satt til 0,5 - 2 døgn forbruk.

- Trykkforholdene på distribusjonsnettet bør være minimum 15 - 20 mVs ved tilknytningspunktet, og skal være tilstrekkelig til å sikre at alle deler av forsyningsnettet har godt nok trykk til å sikre brannvann i alle situasjoner.
- I spesielle situasjoner (for eksempel høye bygg) må det vurderes eget hydroforanlegg. Overføringsledninger bør ha et minimum trykk på 10 mVs.
- Pumpestasjoner som skal sikre nok vann og tilstrekkelig trykk, og bør ha dublerter pumper for å sikre forsyning og trykk selv om en pumpe faller ut.
- Det skal være lagret ”vanlige” reservedeler (rør, ventiler, pumper) i tilstrekkelig omfang til å sikre tilnærmet uavbrutt forsyning selv om delelementer bryter sammen og må byttes hurtig. For reservedeler som ikke er hensiktsmessig å ha på lager, bør det vurderes samarbeid med andre om lagerhold, eller leveringsavtaler med leverandør. Større komponenter som tavler etc. kan kreve ny leveranse eller fabrikasjon, og gir derfor lang leverings- og reparasjonstid.

4.1 Dimensjoneringskriterier Trykk systemer

4.1.1 Vannmengdebehov

Vannmengde behov for et forsyningssystem består av

- Q_t Totalt vannbehov (inkl. tap gjennom lekkasjer etc)
- Q_h Husholdningenes behov (forbruk til mat og drikke, vask og toalettspyling etc)
- Q_i Industribehov (*forbruk til produksjon og arbeidsstokk i arbeidstiden*)
- Q_{off} Offentlig behov (forbruk i skoler, sykehus, svømmehaller, VA-verk etc)
- Q_a Annet behov (*forbruket til hagevanning, gatespyling, fontener etc*)
- Q_{tap} Tap (gjennom lekkasjer, sløsing etc)

Det produseres ca. 780 mill m³ vann til Norske forbrukere. Derav 750 mill m³ til drikkevann. Norges Vassdrags og energidirektorat (NVE) estimerer at det er rundt 400 milliarder m³ fornybare vannressurser tilgjengelig i Norge. Det betyr at 1,9 % av tilgjengelig vann benyttes til forsyning. For å få nøyaktige tall på eksakt forbruk er det nødvendig å måle den enkelte forbruker. De norske kommunale vannverk har ikke hatt tradisjon for å måle mengder hos forbruker, da det har vært ansett at det er mer enn nok vann og at det dermed ikke behov for å måle og belaste abonnenter med ekstra kostnader. Lekkasje fra ledningsnettet er fremdeles en betydelig del av forbruket, rundt 30 % som tilsvarer en mengde på ca. 225 millioner m³. Kostnader for å rense vannet er regnet til gjennomsnittlig pris på mellom kr. 1,- og 3,- per m³ (*Tall fra Narvik Vann KF 2021*) En lekkasjeprosent på 30 % og

750 mill. m³ drikkevann produsert til snitt kr. 2,- per m³, koster samfunnet 450 mill. kr. per år i unødvendig rensert vann, I tillegg beskrives (Ødegaard H(red), 2012, Vann og Avløpsteknikk) at ca. 50% av lekket drikkevann infiltreres tilbake inn i avløpsledninger og går til renselanlegg for avløpsvann. Kostnader for primærrensing som er den mest brukte rens metode for avløpsvann i Norge er mellom kr. 1,- og 3,- per år. (Tall fra *Narvik Vann KF 2021*) 50% av 225 mill. m³ medfører en kostnad på 225 mill. kr. I sum utgjør dette 675 mill. kr. / pr år i unødvendige kostnader. Kostnadene kan dessverre ikke bare fjernes over natten.

Tabell 8 - Lekkasje Rapport FHI vannforsyningssystemer 2020

Region	Antall VF	Distribuert vannmengde (m ³) ⁷	Vannmengde lekket (m ³)	Andel estimert lekket vann (%)
Nord	356	102 695 900	32 432 900	32 %
Midt	311	118 968 300	29 184 700	25 %
Sør og Vest	325	185 657 300	49 940 900	27 %
Øst	275	127 717 900	43 397 000	34 %
Stor-Oslo	70	194 549 700	61 393 900	32 %
Hele landet	1 337	729 589 200	216 349 400	30 %

* I tabellen inngår data for 1237 av 1337 VF som har oppgitt data om distribuert vannmengde. 100 av disse har ikke oppgitt data om lekkasje.

Kostnader ved lekkasje i husholdningen og vannmåler

Når det ikke brukes vann i huset, skal det ikke registreres forbruk på vannmåleren, dersom det er montert. Dersom en av de små viserne på måleren fortsatt beveger seg, er det lekkasje på det interne nettet, i huset eller i industrien. Et rennende toalett vil kunne bety ekstra utgifter på flere tusen kroner i året, (se tabell). Vannforbruk gjennom måler, som skyldes lekkasje på privat sanitæranlegg, er huseiers ansvar og må utbedres for eiers regning. Ved mistanke om lekkasje på sanitæranlegget bør rørleggerfirma kontaktes. Det viser seg (Ødegaard H(red), 2012, VA Teknikk) at ved montering av vannmåler går forbruket umiddelbart ned med ca 30%.

Tabell 9 - Kostnader pr. bolig ved lekkasjer i sanitæranlegget, dersom vannmåler er installert.

Installasjon	ca. m ³ /år	ca kr/år
Dryppende kran (ca 1 drypp per sekund)	9	325
Rennende kran (ca 2mm stråle)	45	1600
Hull på rør (diameter ca 0,5 med mer)	175	6300
Lekkasje i WC (ikke synlig)	100	3600
Lekkasje i WC (synlig)	200	7200
Lekkasje i WC (uroelig overflate)	400	14400

4.1.2 Husholdningsforbruk Q_h

Det er likevel utført en rekke målinger og prosjekter i regi av enkelte kommuner, Norsk Vann og undertegnede. Norsk Vann (Rapport 193/2012) har kommet til at dimensjonerende vannforbruk pr. husholdning er $q_{spes} = 150 \text{ l/pe} \cdot \text{d}$, annet vann Q_a og lekkasjevann Q_{tap} tilsvarende og øvrig forbruk som offentlig spyling av ledninger, drikkevannsbasseng, brannslukking og gatespyling kan utgjøre ca $10 \text{ l/pe} \cdot \text{d}$. Totalt forbruk fra kilde blir da ca $160 \text{ l/pe} \cdot \text{d}$.

Siden 2010 har undertegnede målt eget forbruk med kun 2 voksne personer i egen bolig. Målingene startet da det var måler i boligen, og var i utgangspunktet ikke tenkt brukt. Resultater fra disse målingene kan ses i tabell 9. Målingene viser et husholdningsforbruk snitt over 12 år på $115 \text{ l/pe} \cdot \text{d}$.

Tabell 10 - Eget forbruk

År	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Pr. pe og dag
ltr / år	65000	90000	75000	83000	87000	78000	95000	90000	71000	89000	90000	95000	115

Dette stemmer veldig bra hvis man legger til 30% lekkasje (*Snittverdi hele landet FHI rapport 2020*) som er den offisielle lekkasje andelen i ledningsnett, og må leveres av det kommunale vannverket. Forbruket blir da $115 \text{ l/pe} \cdot \text{d} + 30\% = 150 \text{ l/pe} \cdot \text{d}$. Dette stemmer godt med Norsk Vanns anbefalinger .

Ved veldig små tettsteder under 1000 pe, er døgnvariasjonen betydelig større. (*Norsk Vann rapport 193, 2012*). Vannforbruk for dimensjonering av ledninger og utstyr bør hentes direkte ut fra figur 12 iht. antall pe som skal tilknyttes, da bruk av kun f_{maks} og k_{maks} verdier, kan gi noe for lite forbruksverdier, og dermed underdimensjonerte systemer.

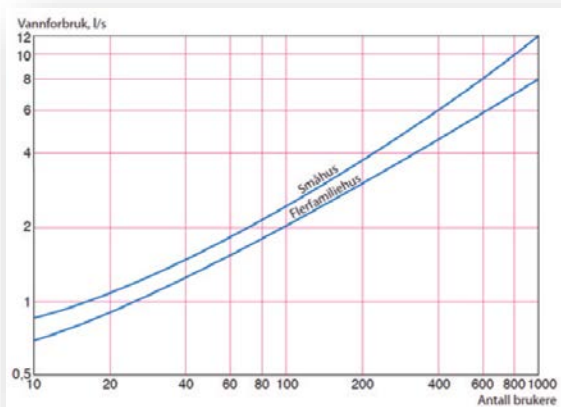
4.1.3 Industri Q_i

Industriforbruk kan variere mye. Om det er behov for spesielt store mengder ift.

vannverket's kapasitet må det vurderes

hvorvidt det må bygges inn ekstra kapasitet og eventuelt kan eller må industrien være med på å betale for utbygging. Løsningen kan f.eks. være høyde- eller drikkevannsbasseng (*se kap 4.10- Høyde- og drikkevannsbasseng*) Den type problemstilling må tas direkte mellom aktuell industri og aktuell VA etat i forbindelse med etablering. Vanligvis melder industrien hvilke behov de har. Deretter vil det

Figur 15 - Vannforbruk som funksjon av antall pe, under 1000 pe (*Norsk Vann rapport 193, 2012*)



være en vurdering av hvordan kostnader skal fordeles, dersom det er behov som krever store investeringer og oppgraderinger. Kostnadsoverslag kalkuleres av VA etat.

Normalt industriforbruk kan relateres til verdiene i Tabell 11:

Tabell 11 - Vannforbruk -Industri (Ødegård H (red), 2012, Vann og avløpsteknikk)

4.1.4 Annet forbruk institusjoner og offentlig forbruk Q_A

Annet forbruk fra institusjoner og øvrige flyter om mulig noe over i industriforbruk, og sammenfattende tabellverdier finnes dokumentert i flere ulike rapporter og bøker. Vedlagt tabell fra Norsk Vanns Rapport 193 – Veiledning i dimensjonering av VA-transportssystem er en og har enkelte tabellverdier sammenfallende med tabellverdien i tabell 11 for industri ovenfor.

Virksomhet	Vannforbruk per produsert enhet
Bakerier	2 m ³ / tonn produkt
Bryggerier	7 m ³ / m ³ øl
Kjøtt- og grønnsak- konserverfabrikker	30-35 m ³ / tonn produkt
Plastikkfabrikker	9-23 m ³ / tonn produkt
Fargerier	83 m ³ / tonn tøy
Fiskeprodukter med pakking produkt	8,5 m ³ / tonn
Vaskerier	20 m ³ / tonn vask
Slakterier	5 m ³ / tonn dyr
Meierier melkeproduksjon	3 m ³ / m ³ melk
Brusfabrikker	7 m ³ / m ³ brus
Små butikker og kontorer	40-60 liter / ansatt og dag
Sykehus	350-500 liter / seng og døgn
Hoteller	350-400 liter / hotellseng
Bilverksted	35 liter 7 ansatt og dag
Frisor	170 liter / ansatt og dag
Celluloseindustri, papirfabrikk	300 - 800 m ³ / tonn masse
Garverier	100 m ³ / tonn ferdig skinn
Butikksenter	7-10 liter / m ² og dag

Tabell 12 - Vannforbruk -Industri (Norsk Vann rapport 193, 2012)

Type virksomhet	Hydraulisk belastning
Barneskoler, ungdomsskoler og videregående skoler ¹	40 l/elev·døgn
Arbeidsplasser	80 l/ansatt·døgn
Sykehus inkl. betjening	625 l/seng·døgn
Pleiehjem, sanatorium ²	450 l/seng·døgn
Hoteller, høy standard ²	500 l/overnattingsdøgn
Hoteller, midlere standard, pensjonater ²	275 l/overnattingsdøgn
Hytter, høy standard (dusj, WC, oppvaskmaskin)	150 l/gjestedøgn
Hytter, innlagt vann, uten WC	75 l/gjestedøgn
Restauranter, kafeer	100 l/stol
Svømmehaller	100 l/besøkende
Forsamlingslokaler	6 l/sitteplass

1) Skoler og forsamlingslokaler med svømmehaller vil gi en hydraulisk tilleggsbelastning som må spesielt vurderes.

2) Ansatt som bor fast, regnes som 1 pe og kommer i tillegg til de oppgitte tabellverdier.

Annet forbruk kan, i stedet for å beregnes v.h.a. tabell 11 og 12, beregnes som et sjablongmessig tillegg og settes lik følgende verdier:

- Småhusbebyggelse 20 l/pe*d
- Annen boligbebyggelse 60 l/pe*d

4.1.5 Brannvann

Brann er i og for seg tatt med under husholdningsforbruk, men bør tillegges særskilt oppmerksomhet. Ved brann er forbruket vesentlig større enn ved daglig bruk. Ledningsdimensjoner og type materialer bør velges ut fra en eventuell brannhendelse. Risiko og sikkerhets eller sårbarhets analyser (ROS) bør utføres av kommunen, i forhold til hensyn til brann. Ansvar for brannvann ligger hos kommunens ledelse. Det er ofte delegert til kommunens VA etat. Mengder til slukkevann har vært satt til og er preaksepterte som dimensjonerende: (Teknisk forskrift 2017 -TEK 17) til Plan og Bygningsloven (PBL) 1997 – Utgått):

- 20 l/s i boligfelt med mindre enn 8 meter mellom husene
- 50 l/s for næringsområder, sentrumsområder og institusjoner

Dette kravet er nå endret til «Det skal være tilstrekkelig mengde slukkevann med minimum 1 kPa trykk, tilvarende 10 meter Vann søyle (mVs) i hht. TEK 17. (Teknisk forskrift til PBL)

Øvrig punkter som må hensyntas i forbindelse med planlegging av brann spesielt i forbindelse med at brannvesenet pumper eller «suger» vannet ut brannvann fra drikkevannsledninger:

- Undertrykk med fare for innsug av forurenset vann, etter brann
- Høye vannhastigheter kan medføre en spyleeffekt der innvendig belegg i vannrørene løsner og virvles opp slik at drikkevannskvaliteten forringes
- Trykkbølger som oppstår ved hurtig endring i strømningsmengde i trykksatte rørsystemer
- Ved undertrykk i vannledningen dersom trykket blir lavere enn vannets damptrykk, medfører dannelse av dampbobler. Når dampboblene passerer en pumpe vil de pga. trykkøkningen kollapse og medføre belastninger og eventuelt skade på pumpe systemet.

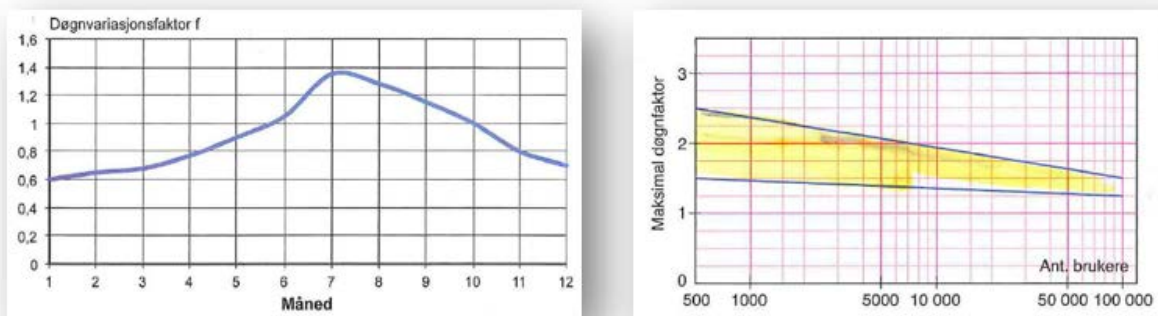
Man kan for øvrig og gjøre vurderinger gjennom ROS-analyser om hvorvidt det er nødvendig å legge til rette for brannvann gjennom drikkevanns systemet, da det kan være nærliggende å se på andre løsninger. Spesielt i spredte bebyggelser med lavt forbruk og små ledningsdimensjoner. Det kan f.eks. være en innsjø eller tilsvarende i nærheten som kan nyttes som brannvannkilde. I disse tilfellene må vinter og frost spesielt vurderes, da tilgjengeligheten til vannet skal gjelde 365 dager pr. år. Det er uansett kommunens ansvar å sørge for tilstrekkelig brannvann.

4.2 Variasjoner i forbruk over døgn og time

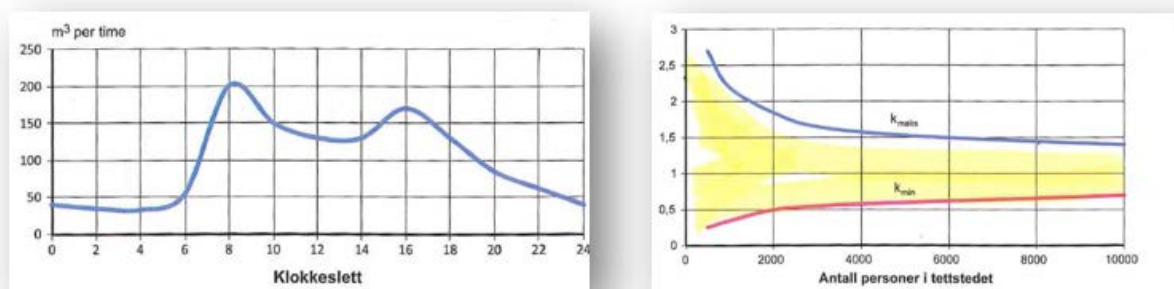
Vannforbruk variere stort både over året og over døgnet. I løpet av året er det størst forbruk i løpet av sommermånedene, og i løpet av døgnet er det største forbruket på morgenen under morgenstellet og i løpet av ettermiddagen. Forbruksvariasjoner medfører at det er behov større ledninger f.eks. mellom

08:00 og 09:00 på morgenen enn det er på natten. For å finne denne variasjonen er det lagt inn en døgnfaktor (f) og en timefaktor (k). Ved å sette variasjonene i sammenheng med antall personer som er tilknyttet får man og et forhold ift. hvor stor denne variasjonen er. Forbruk og mengde har og stor betydning for trykk og trykktap og er avgjørende for å vurdere riktige materialvalg.

Figur 16 - Verdier for døgnvariasjon f, som funksjon av antall pe tilknyttet



Figur 17 - Verdier for timevariasjon k, som funksjon av antall pe. tilknyttet



I enkelte tilfeller må man og se på minimumstilfeller av forbruket, og man behøver derfor både maksimums og minimumsverdier. For å uttrykke både maks og minimums verdier kan man sette:

6) $f_{maks} = \frac{\text{Maksimalt døgns forbruk}}{\text{forbruk i det midlere døgns}}$ **Maks døgnfaktor**

7) $f_{min} = \frac{\text{Minimum døgns forbruk}}{\text{forbruk i det midlere døgns}}$ **Min døgnfaktor**

8) $k_{maks} = \frac{\text{Maksimalt time forbruk}}{\text{forbruk i den midlere time}}$ **Maks timefaktor**

9) $k_{min} = \frac{\text{Minimale time forbruk}}{\text{forbruk i den midlere time}}$ **Min timeforbruk:**

Normalområdene til f og k ligger i de gule feltene som funksjon av antall pe, i figur 13 og figur 14. De fleste kommuner har ikke eksakte målinger døgn- og timefaktor. Nevnte figurer kan da gi et anslag på hvilken verdi som bør anvendes. Dog vil det selvfølgelig være nyttig å foreta målinger for å vite eksakte verdier. For Maks døgnfaktor er formelen:

$$10) \quad f_{maks} = \frac{Q_{maks\ døgn} - m_{\text{ålt}}}{(Q_{total\ \text{år}} - m_{\text{ålt}})/365} \quad \text{Maks Døgnfaktor}$$

Tilsvarende for øvrige faktorer.

Formler for vannforbruk kan settes opp som følger:

$$11) \quad Q_{midl} = \frac{q_{spes} * pe}{24 * 60 * 60} [l/s] \quad \text{Midlere forbruk}$$

(24*60*60 = 86 400 sekunder i ett døgn)

$$12) \quad Q_{døgn} = Q_{midl} * f_{maks} [l/s] \quad \text{Døgnmaks}$$

$$13) \quad Q_{dim} = Q_{midl} * f_{maks} * k_{maks} [l/s] \quad \text{Dim. Husholdningsforbruk}$$

Brannvann

Tettbygget strøk, avstand mellom hus minimum 8 m

$$Q_{BR} = 20 [l/s]$$

Industri, tettere bebyggelse, institusjoner og tilsvarende

$$Q_{BR} = 50 [l/s]$$

Q_i = forbruk fra tabell 11 eller 12 * antall enheter [l/s]

Obs: Produksjon foregår ofte f.eks. bare over f.eks. 8 timer.

Q_A = Annet forbruk [l/s]

$$14) \quad Q_{tot} = Q_{dim} + Q_{BR} + Q_i + Q_A [l/s] \quad \text{Dimensjonerende forbruk}$$

Det må hele tiden gjøres vurderinger ift. de ulike problemstillinger etter hvilke mengder som skal anvendes. Dersom f.eks. en overføringsledning fra inntak i kilde til høydebasseng skal dimensjoneres kan det være tilfredsstillende å beregne midlere forbruk eller bør man vurdere døgnmaks? Skal forsyning fra høydebasseng til forbruker beregnes må nok både døgn, timemaks, industri, annet og tap tas med i betraktning. F.eks kan det være et lite tettsted veldig langt fra kilde, hvor det skal etableres et fiskemottak som er avhengig av store mengder vann med drikkevannskvalitet. Fra tidligere ligger en liten ledning som har god nok kapasitet til å forsyne tettstedet. Men om ledningen skal forsyne fiskemottaket, vil det ikke være kapasitet. Mottaket produserer kun 8-12 timer hver dag tirsdag til torsdag. Det ville i et slikt tilfelle sannsynligvis være mest korrekt å dimensjonere et lite høydebasseng som fylles opp i løpet tiden mottaket ikke produserer.

4.3 Fluidmekanikk – forenklete dimensjoneringsprinsipper

Fluidmekanikk er detaljert forelest i faget Strømningslære ved masterutdanningen i bygg og miljø, UiT Norges Arktiske Universitet, campus Narvik. Det er bare enkelte elementer innen strømningslærebegrepene og som er mest relevant for VA industrien som derfor tas med.

4.3.1 Energibetraktning

Når vann skal forflyttes kan man som regel og i store deler av Norge bruke gravitasjon som kraft for å flytte vann fra A til B. Norge er et fjell land og naturlige kilder ligger stort sett høyt over bebyggelse. Det gjør at det i de fleste tilfeller går å løse transport av vannet uten tilførsel av annen kraft enn gravitasjon. Naturlover som kan bidra med forflytting av vann uten tilførsel av energi er fysikkens betraktning om at **energi** ikke går tapt. Den bare endrer tilstand.

Energibetraktninger som er av interesse for VA-hydraulikken er

- Bevegelses energi (*kinetisk energi som er molekylene indre energi*)
- Trykk energi
- Stillingsenergi (den høyde vannet ligger på)
- Varme (friksjonstap)

Kontinuitet: Masse går ikke tapt -> Vannmengde inn = vannmengde ut

$$15) \quad Q=v*A [l/s] \quad \textit{Kontinuitetslikningen}$$

Hvor: $Q =$ vannmengden [l/s]
 $v =$ vannets hastighet [m/s]
 $A =$ Ledningens tverrsnitt [m^2]

Kraftbalanse: Kraft = masse x akselerasjon (Newtons 2. lov)

4.3.2 Tetthet

For at vann skal flyttes ved gravitasjons kraft, må man vite vannets massetetthet. Det er essensielt å skille mellom masse, tetthet og vekt. Masse vann, som f.eks. 1 kg har samme masse uansett hvor i universet den plasseres. Tettheten til en masse avgjør hvor mye den veier, og kan beskrives som masse per volumenhet. Vekten er sammensatt av tetthet og volum, og er og samtidig avhengig av temperatur. Vannets tetthet eller densitet ved 4^0 C er $0,99997$ kg/l, ved $15,56^0$ C er $0,99901$ kg/l og ved 25^0 C $0,99704$ kg/l. Som disse verdiene viser er det liten forskjell og av minimal betydning for VA tekniske anlegg. En fordel for vannet som oftest har maks densitet ved 4^0 C, altså høyest mulig vekt som gir

mest fallenergi. Vannets temperatur i rør i grunnen ofte holder rundt $4^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}$. Forskjellen fra 4°C til 25°C er på bare ca 3 %. Vannets densitet settes derfor forenklet til $\rho = 1,0\text{ kg/l}$ eller 1.000 kg/m^3 .

For å finne spesifikk vekt eller massetetthet γ eller densitet ρ , tetthet for vannet:

$$16) \quad \gamma = \rho * g \text{ [N/m}^3\text{]} \quad \textit{Spesifikk vekt}$$

$$17) \quad \rho = \frac{m}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad \textit{Densitet}$$

Hvor; $\gamma =$ Massetetthet $[\text{N/m}^3]$

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

$g =$ Gravitasjonen, ved jordoverflaten $[\text{9,81 m/s}^2]$

$m =$ Vekt $[\text{kg}]$

$V =$ Volum $[\text{m}^3]$

For vann på jordens overflate blir da massetetthet:

$$18) \quad \gamma = 1.000 * 9,81 \text{ N/m}^3 = 9.810 \sim 10.000 \text{ N/m}^3$$

4.3.3 Trykk og hydrostatikk i vann

Trykk kan uttrykkes som;

$$19) \quad P = \frac{F}{A} \text{ [Pa] [N/m}^2\text{]} \quad \textit{Trykk}$$

Hvor: $F =$ Kraft normalt på et areal $[\text{N}]$

$A =$ Areal $[\text{m}^2]$

Vanlige benevnelse for trykk innen VA - bransjen er ofte: $1\text{ bar} = 1,0 * 10^5\text{ Pa} = 100\text{ kPa} = 1\text{ atm} = 1\text{ kp/cm}^2 = 10\text{ mVs}$. Vannets trekkes ned av gravitasjonskraften og medfører ett øket trykk iht. aktuell dybde. Trykket i en gitt dybde h , under vannspeilet er:

$$20) \quad P = h * \gamma \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \textit{Trykk ved gitt dyp}$$

Hvor: $P =$ Trykk $[\text{Pa}] [\text{mVs}]$

$h =$ En gitt dybde h under vannspeilet $[\text{m}]$

$\gamma =$ Massetetthet $[\text{N/m}^3]$

Som formelen viser, er altså det statiske trykket kun avhengig av høyden på vannet over et gitt areal.

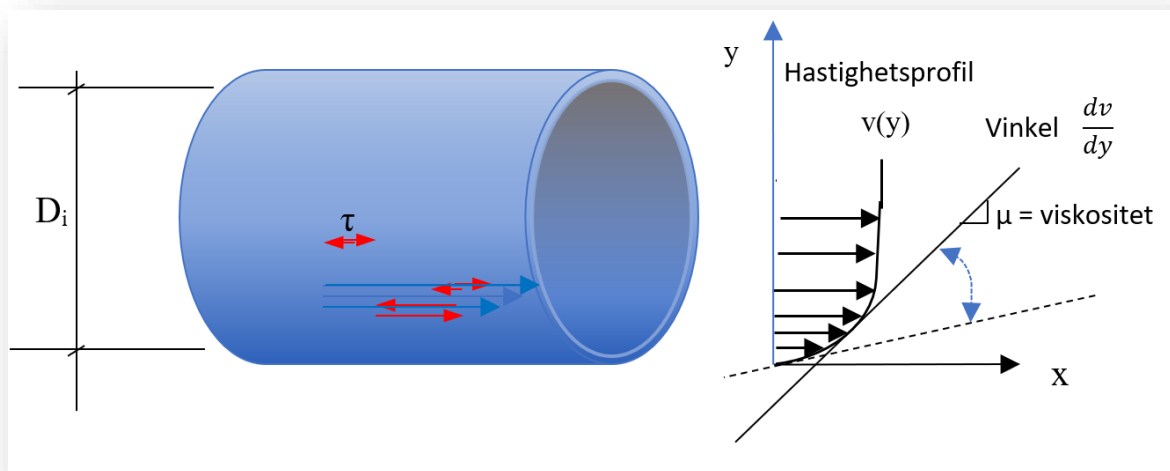
Som det vises til ovenfor er trykk angitt som mVs som står for meter vann søyle, gitt over et angitt

areal. Det er derfor mulig å angi trykket som mVs , noe som er meget vanlig i VA industrien. Kreftene finnes ved å multiplisere ut arealet med trykket i angitt punkt.

4.3.4 Viskositet

Vannets bevegelse spesielt i rør, er avhengig av vannets viskositet eller treghet om man vil. Jo mer «viskøs» eller «tykkere» en veske er, jo tregere vil vesken bevege seg i et rørsnitt. Vannet kan tenkes å bevege seg lagvis, og det laget som er nærmest rørveggen nesten står i ro. Det neste laget går litt fortere og det neste ennå litt fortere osv., oppstår en hastighetsprofil som illustrert nedenfor.

Figur 18 - Skjærkraft og viskositet i en veske



Mellom hvert «sjikt» vil det oppstå skjærkrefter som bremser hastigheten i vesken. Skjærkraften er sterkt avhengig av temperatur og veskens viskositet. Hvis det trekkes en linje tangentialt en eller annen plass på hastighetsprofilet til vannet vil man for hvert punkt kunne få en vinkel på stigningen til hastigheten. Vinkelen eller hellingen på tangenten er et uttrykk for hastighets endringen internt i vesken. Skjærkraften mellom lagene er illustrert med røde piler og er en funksjon av hastighetsendringen i y retningen og kan uttrykkes som dv/dy .

Den dynamiske viskositeten (intern viskositet μ [Pa*s]) og kan uttrykkes som:

$$21) \quad \tau = \mu \frac{dv}{dy} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \textit{Newtons viskositets lov - Skjærkraft}$$

Hvor: τ = Skjærkraft [N/m²]
 μ = Dynamisk viskositet [Pa*s]
 dv = hastighetsøkning [Δ m/s]

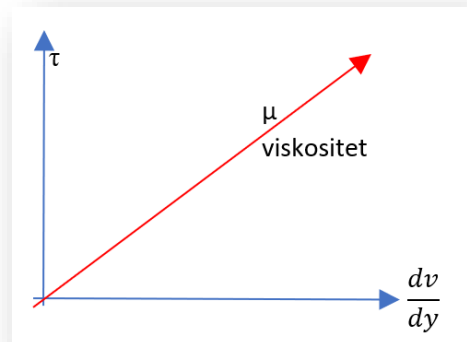
Skjærkraften mot veggen kan forstås som en slags friksjon eller bremsekraft mellom veggen og vannet. Kraften forårsaker hastighetsreduksjon og trykktap i ledningen, og er en viktig parameter når dimensjoner og materialer for ledninger skal velges. Figur 15 viser typisk ledning med hastighetsprofilens utvikling fra rørvegg mot senter av røret. Et lite stykke inn mot senter av røret nærmer friksjonskraften seg null, og vinkelen på (dv/du) er 90 grader på x-aksen.

Økningen i hastighet pr. lag er tilnærmet null. Det betyr at hastigheten for vannet et lite stykke fra rørvegg og mot senter av røret i prinsipp holder samme hastighet. I de fleste tilfeller kan man si at viskositet som funksjon av hastighetsprofilen og skjærkraften er lineær. Ved dimensjonering av rør, for å finne korrekte verdier, må man og se på forholdet mellom vesken og det materialet som vesken skal gli mot. Dette forholdet kalles kinematisk viskositet og er forholdet som beskriver veskens dynamiske viskositet og dens tetthet eller treghet. Forenklet beskrevet hvor fort en veske spres utover, når det helles på en flate. Altså hvor fort vesken kan bevege seg over et materiale.

Kinematisk viskositet kan uttrykkes slik:

$$22) \quad \nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ [m}^2\text{/s]} \quad \textit{Kinematisk viskositet}$$

Hvor: ν = Kinematisk viskositet [m²/s]
 μ = Dynamisk viskositet [m²/s]
 ρ = Densitet [kg/m³]



Figur 19 - Viskositet som funksjon av (dv/du) og τ

4.3.5 Friksjon og trykktap i ledninger

Som allerede beskrevet under punkt for viskositet er det friksjon mellom vann og rørvegg som medfører trykktap gjennom ledningens lengde. Trykktapet kan medføre at vannet som skal flyttes fra A-B kun ved hjelp av gravitasjon ikke kommer frem til tenkt destinasjon, dersom trykktapet er for stort ift. valgte rørdiameter, lengde og terreng utforming. Trykktap som funksjon av friksjon mot rørvegg uttrykkes ofte i form av: Darcy-Weisbach (DW) likning:

$$23) \quad h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \text{ [m]} \quad \textit{Trykktap Darcy-Weisbach}$$

Hvor:
 h_f = Vannets trykktap over ledningens lengde [m]
 f = Friksjonskoeffisient dimensjonsløs
 L = Ledningens lengde [m]
 D = Ledningens innvendige dimensjon [m]
 v = Vannets hastighet i rørtverrsnittet [m/s]
 g = Gravitasjonskonstanten [9,81 m/s²]

Friksjonskoeffisienten f , kan finnes på flere måter. Normalt er ikke f oppgitt men teoretisk ruhet på materialet som vannet skal gli inntil. Ruhet er oppgitt av leverandører og produsenter. Ukjent faktor ved dimensjonering vil ofte være hastighet i rørtverrsnittet. Ved å kombinere DW ligningene med kontinuitetslikningen er dette mulig å unngå. Det oppstår da flere mulige løsninger for finne ukjente faktorer og løse de. For de ulike faktorer kan man sette opp følgende likninger:

$$24) \quad Q = \sqrt{\frac{hf * D^5 * \pi^2 * g}{f * L * 8}} \text{ [l/s]} \quad \textit{Vannmengde}$$

$$25) \quad D = \sqrt[5]{\frac{f * L * Q^2}{12,1 * hf}} \text{ [m]} \quad \textit{Diameter}$$

$$26) \quad f = \frac{12,1 * D^5 * hf}{L * Q^2} \text{ [dimensjonsløs]} \quad \textit{Friksjonskoeffisient}$$

$$27) \quad L = \frac{12,1 * D^5 * hf}{f * Q^2} \text{ [m]} \quad \textit{Lengde}$$

Det er verdt å legge merke til at beregning av h_f må tillegges særdeles oppmerksomhet, da det i denne sammenhengen ikke er høydeforskjellen fra start til stopp for ledningen, men trykklinjen til vannet i røret.

4.3.6 Colebrook og Moody's nomogrammer og diagrammer - friksjonstap

Colebrook formel for friksjonskoeffisient er betraktet som relativt uhandterlige pga. sin relativt kompliserte form.

$$28) \quad f^{\frac{1}{2}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re * f^{\frac{1}{2}}} + \frac{k}{3,71 * D} \right] \quad [\text{dimensjonsløs}] \quad \text{Colebrook's formel}$$

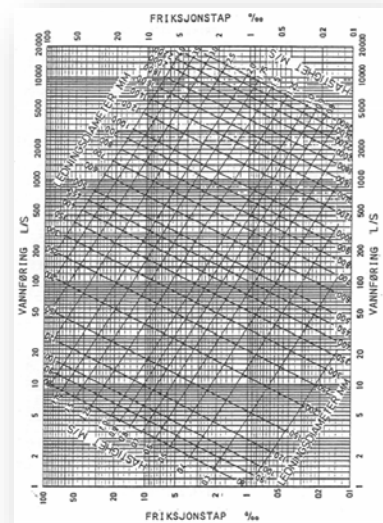
Hvor: f = Friksjonskoeffisient [mm/m, %]

k = Absolutt ruhet [mm]

D = Diameter [m]

Re = Reynolds tall

Figur 20 - Colebrook Nomogram - $k=0,5$



Colebrook brukes for det meste i form av ferdige nomogrammer for hver enkelt tilgjengelig ruhet av materialene. I et Colebrook nomogram (eksempel figur 17) kan man finne vannmengde, hastighet, diameter og energigradient. Ved å ha to av faktorene kan to av de andre finnes. Det må likevel nevnes at nomogrammet detaljering er noe lite oppløst og det kun bør brukes for å gjøre overslagsberegninger. Bør alltid kontrolleres med formler.

Reynolds tall

Reynolds tall beskriver om vannet strømmer laminært eller turbulent. Grenseverdien for laminær strømning er $Re = 2300$. Større verdier medfører turbulent strømning. Ved laminær strømning bestemmes friksjonskoeffisienten ved:

$$29) \quad f = \frac{64}{Re} \quad \text{Friksjonskoeffisient } v/\text{laminær strømning}$$

Hvor: Re = Reynolds tall

$$30) \quad Re = \frac{d_i * v}{\vartheta} \quad \text{Reynolds tall}$$

Hvor: v = middelhastigheten i rørtverrsnittet [m/s]

d_i = innvendig diameter [m]

ϑ = kinematisk viskositet [m²/s]

Moody's diagram

Relativ ruhet er absolutt ruhet dividert med innvendig diameter. Relativ ruhet og Reynolds tall trenger du for å finne friksjonskoeffisienten i Moody's diagram.

$$31) \quad \varepsilon = k/d_i \text{ [dimensjonsløs]}$$

Relativ ruhet

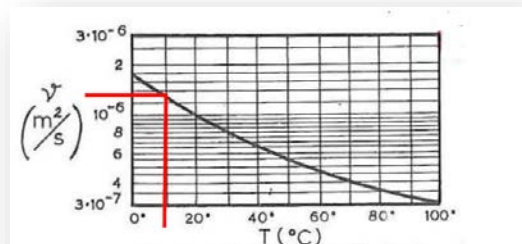
Hvor: k = Absolutt ruhet [mm]
 d_i = Innvendig diameter [mm]

Det kan nyttes turbulent strømning i alle rørberegninger innen VA teknikk. Bruk av Moody's diagram nyttes formel 32), og settes verdi på høyre side av diagrammet. Trekker så en strek horisontalt over mot venstre og finner friksjonskoeffisienten. Reynolds tall for vann og avløp kan settes til :

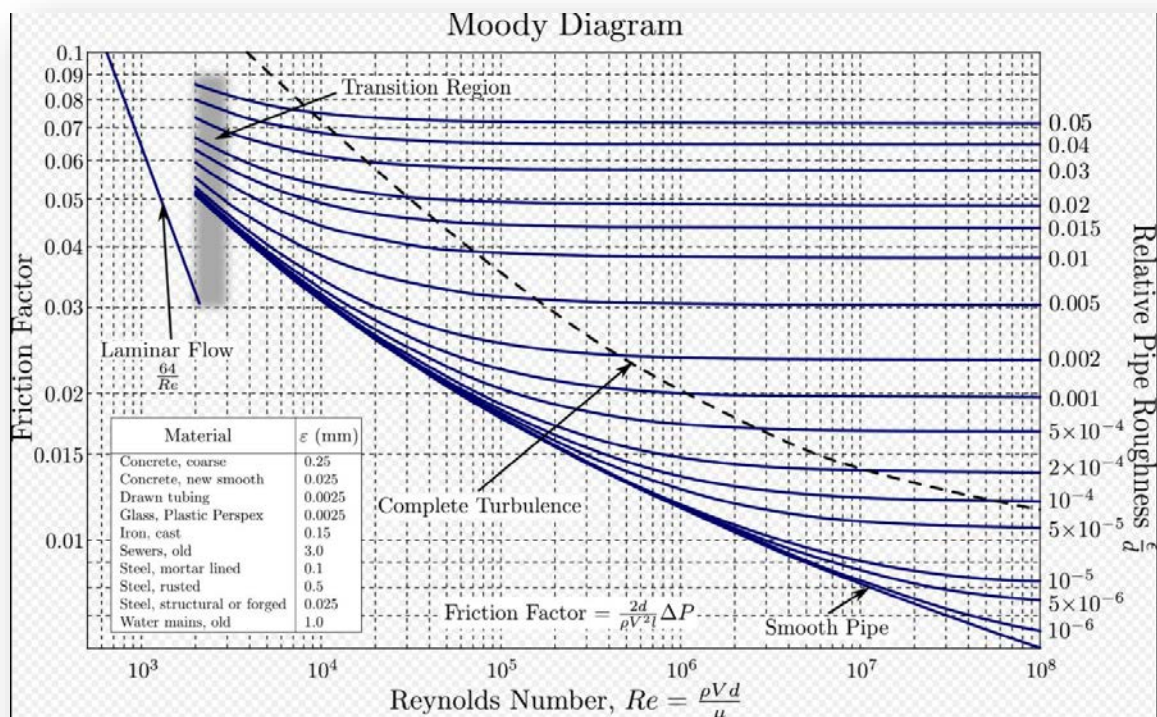
Drikkevann normalt ca. 5 °C $Re = 1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$

Avløpsvann normalt ca. 10 °C $Re = 1,0 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$

Figur 21 - Kinematisk viskositet som funksjon av temperatur (Ødegaard H(red), 2012, Vann og avløpsteknikk)



Figur 22 Moody's diagram (Vedlagt i full størrelse)



32) $k = k_r \cdot \alpha \cdot T$ **Ruhet etter gitt tid . Bruksruhet**

Hvor: k_r : ruhet etter tiden t (bruksruhet)
 k : ny ruhet [mm]
 α : ruhetstilvekst pr. år [mm/år]
 T : antall år [år]

Virkelig ruhetsverdi er meget vanskelig å anslå. Dessuten er det for innfløkt å dimensjonere anlegg helt i detalj. Derfor benyttes anbefalte bruksruhetsverdier avhengig av anleggets beskaffenhet.

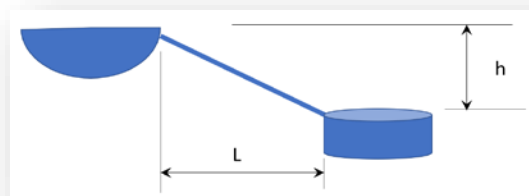
Tabell 13 - Ruhetsverdier i praksis

Ledningsmateriale	Teoretisk ruhet	Ofte brukte ruheter enkeltledninger
Plastrør (PVC, PP og PE etc)	0,002-0,007	0,1-0,4
Betongrør	0,3-1,0	1,0
Nye støpejernsrør med betongforing	0,3	0,5
Eldre støpejernsrør	0,8-1,5	1-1,5
Gamle rustne støpejernsrør*	1,5-2,5*	1-1,5*
Glassfiber rør	0,002-0,007	0,1-0,4

- Gamle rustne støpejernsrør kan ha betydelig høyere ruhet

Energigradient

Forenklet dimensjoneringsprinsipp som ser på fysisk høydeforskjell mellom utgangspunktet til vannet – det trykk vannet har i et gitt punkt, til neste punkt. Høydeforskjellen deles så med lengde på ledningen. Dett tallet utgjør energigradienten som trykket i ledning vil følge i hele ledningens lengde.



Figur 23 - Illustrasjon beregning av Energigradient, I

33) $I = \frac{h}{L} [mm/m, m/km, \%]$ **Energigradient**

Hvor: h = Høydeforskjell mellom start og stopp punkt
 L = Ledningens lengde

Energigradient - eller tilgjengelig fall - er en særdeles viktig opplysning ved dimensjonering av ledninger. Ved å tegne et snitt av ledningstraseen forutsatt at profilet er kjent, får man i tillegg detaljkunnskap om høybrekk og lavbrekk. Selve beregningsmetodikken er ikke egnet for detaljdimensjonering men gir godt grunnlag i kalkyler og overslagsberegninger.

4.3.7 Bernoulli – energibetraktninger

Væskemekanikkens mest sentrale likning er nok den utgaven av arbeid–energi-setningen som kalles Bernoullis ligning. Denne naturloven som beskriver sammenhengen mellom trykket i og farten til en væske som strømmer i et rør, ble oppdaget og modellert matematisk av sveitseren Daniel Bernoulli allerede omkring 1738. Energibegrepet var den gangen ikke oppfunnet, så Bernoulli baserte sin modell på empiriske forsøk. Vi formulerer vanligvis Bernoullis likning som en bevaringslov. For en stasjonær strøm i rør der en væske med trykket p og tettheten ρ strømmer med farten v har vi at:

$$34) \quad P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad \text{Bernoullis ligning (1)}$$

Hvor: P = trykk [Pa] [mVs]
 ρ = veskens (eller gassens) tetthet
 h = vertikal høyde i gravitasjonsfeltet
 g = gravitasjon

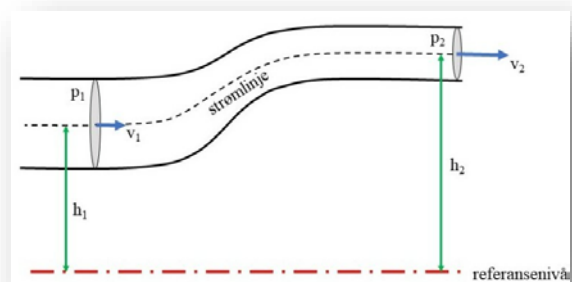
Eller uttrykket ved:

$$35) \quad \frac{P_1}{\gamma_1} + h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\gamma_2} + h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_{tap} \quad \text{Bernoullis ligning (2)}$$

Hvor: P = Trykk [Pa] [mVs]
 γ = Massetetthet [kg/m^3]
 h = Høyde [m]

Bernoullis ligning brukes lite ved beregninger av fordelingsnett. Da er det hovedsakelig varianter av Darcy-Weisbach ligning og tilhørende Colebrook nomogrammer som anvendes. Ved bygging av vannbehandlingsanlegg og renseanlegg for avløp må rørføringer og strømbildet kontrolleres ved bruk av Bernoulli. Ligningen består av elementene:

- Bevegelsesenergi kinetisk energi
- Trykkenergi Trykket i vannet
- Stillingsenergi høyden til vannet
- Varme Friksjonstap



Figur 24 - Bernoullis ligning (store norske leksikon - CC BY SA 3.0)

4.3.8 Singulærtap

Ved endringer i strømningsretning eller innsnevring som f.eks. sluser, ventiler, bend, og annet teknisk utstyr oppstår et tap i høyde eller trykk i form av et singulærtap.

Singulærtap kan skrives som:

$$36) \quad h_s = k_s * \frac{v^2}{2g} [m] \quad \text{Singulærtap}$$

Hvor: k_s = Singulærtapskoeffisient (hentes fra tabell 14)

v = hastighet [m/s]

g = gravitasjon [m/s²]

Type element eller utløp	k_s
T-kryss hvor strømlinjen går rett gjennom	0.2
T-kryss hvor strømlinjen går vinkelrett ut i siderøret	1.0
Bend med flenser 90o	0.3
Bend med muffeør 90o	1.5
Bend med muffeør 45o	0.4
Sluseventil - helt åpen	0.15
Sluseventil - 1/4 stengt	0.26
Sluseventil - 1/2 stengt	2.1
Sluseventil - 3/4 stengt	17
Brå innsnevring fra diameter D til diameter d og $d/D = 1/4$	0.9
Brå innsnevring fra diameter D til diameter d og $d/D = 1/2$	0.6
Brå innsnevring fra diameter D til diameter d og $d/D = 3/4$	0.2
Utløp inn i et basseng	1.0
Skarpkantet utløp fra et basseng og inn i en ledning	0.5
Avrundet utløp fra et basseng og inn i en ledning	0.2

Tabell 14 - Singulærtapskoeffisienter

4.4 Kilde

Som drikkevannskilder i Norge benyttes følgende:

Overflatevannkilde:

- Store dype innsjøer, dypere enn 20 m med sprangskikt
- Innsjøer og tjern grunnere enn 15-20 m
- Elver og bekker

Grunnvannskilde:

- Grunnvann i løsmasser
- Grunnvann i oppsprukket fjell
- Grunnvannsoppkomme

I tillegg bør også nevnes:

- Kunstig infiltrert grunnvann
- Avsaltet sjøvann
- Oppsamlet overvann/ snesmeltevann
- Resirkulert avløps eller spillvann

Overflatevann er den mest brukte kilden i Norge. Ca 80% av alt drikkevann hentes fra overflatevann kilder. For å gjøre vannet hygienisk betryggende må det renses gjennom mange ulike prosesser. Disse elementene belyses ikke i denne oppgaven. Kilden skal ha tilstrekkelig kapasitet til å forsyne nok vann

med god margin gjennom alle langvarige tørkeperioder, eventuelt skal det være mulighet for å kople over til annen kilde (reservekilde) i slike perioder for å sikre tilstrekkelig vannforsyning. Inntaket (eventuelt grunnvannsbrønn) skal ha tekniske installasjoner som sikrer mulighet for tilfredsstillende vedlikehold under alle forhold, også vinterstid.

4.5 Inntaksløsninger for forsyningsvann

Inntaksløsning fra kilde er et viktig element spesielt ift. drift. Feil utformet inntaksløsning kan medføre at drikkevannet får dårligere kvalitet eller vesentlig mer driftstid og vedlikehold enn nødvendig. Analyse av vannkvalitet og ikke minst mengde og type partikler, og deres binding til vannet er avgjørende for hvordan inntaksløsningen bør utføres. Primært skal inntak sørge for tilstrekkelig mengde vann og hindre større partikler og følge med inn til vannbehandlingsanlegget (VBA). Vi snakker da om å hindre partikler ned mot 1- 4 mm. Kalles gjerne for grov siling av vannet. Ved selve inntaket er det viktig at ikke hastigheten blir for stor, slik at oppsamlet slam rundt inntaksåpning ikke dras med vannet til VBA.

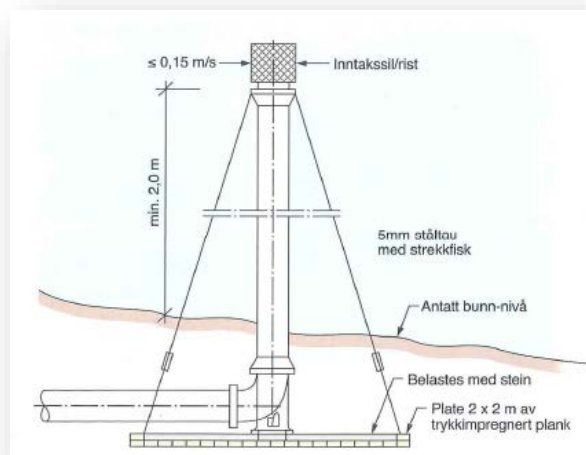
4.5.1 Inntaksløsning i innsjø

Dypet på inntaket bør ligge mellom 20 og 40 meter dyp. Inntakssilen må monteres slik at den står 2 – 5 meter over bunnen for å unngå at bunnsedimenter dras inn i ledningen, se eksempel i figur 22. Innløpshastigheten til inntakssilen bør ikke overstige 0,15 m/s, og vannhastigheten i inntaksledningen bør være 0,9-1,2 m/s for å sikre selvrensing i ledningen. (Thorolfsen, 2008, TVM4125 VA Teknikk)

Størrelse på inntaksrist eller sil og vannmengde vil avgjøre størrelsen på ledning ift. denne hastigheten. Beregning av inntakssil eller

inntaksløsning må foretas før løsning velges. Beregningen kan enkelt utføres vha.

kontinuitetslikningen (Ligning 15) Vannmengde og innvendig diameter på rør er kjent. Hastigheten som nå finnes må og fordeles over åpningsarealet i silen, alt etter hvilken silløsning som monteres.



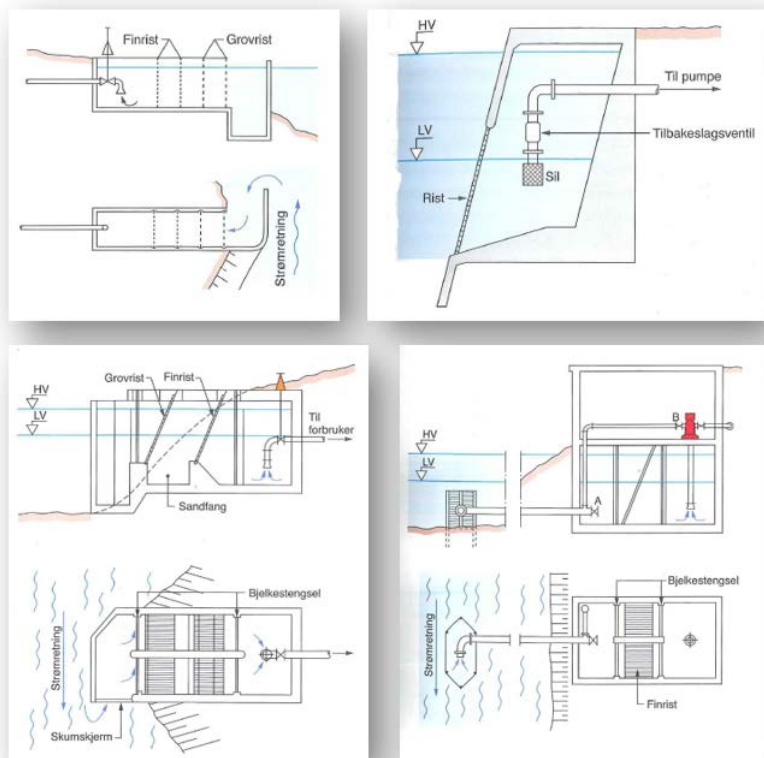
Figur 25 - Prinsipp tegning inntak i innsjø (Ødegård, H, (red) 2012- VA-Teknikk)

4.5.2 Inntaksløsninger i elv, bekk eller oppdemmet vann

Elveinntak bør normalt ikke bygges, dersom man evt. har mulighet å bygge inntak i ovenforliggende innsjø. Det kan være store utfordringer ved bruk av drikkevann fra elv, med store mengder slam i siltig størrelse helt ned mot 0,002 – 0,006 mm. Slammet vil følge vannet til vannbehandlingsanlegget.

Enkelte oppløste finere slampartikler kan medføre større utfordringer for renseprosessen i vannbehandlingen. Forutgående prøver av elvevann over minimum et helt år bør prioriteres, dersom det vurderes drikkevann fra og inntak i elv. Elveinntak kan plasseres i hovedstrømmen, men også ved elvebredden dersom

strømforholdene ligger til rette for dette, dvs. at det ikke kan oppstå bunnfrysing eller isproblemer under lavvannsføringen om vinteren. Som eksemplene i figur 23 viser, må elveinntak beskyttes av rister og inntak plasseres slik at gjenstander og fisk ikke fanges opp. Det kan være aktuelt å benytte sandfang i inntakskammeret. Dette er særlig benyttet i sterkt slamførende elver. Inntak i elver bør, dersom det er mulig demmes opp, slik at det dannes et slamfang nedstrøms ift. inntaket. Da rekker vannet å stilne noe, og flere partikler kan synke mot bunnen.



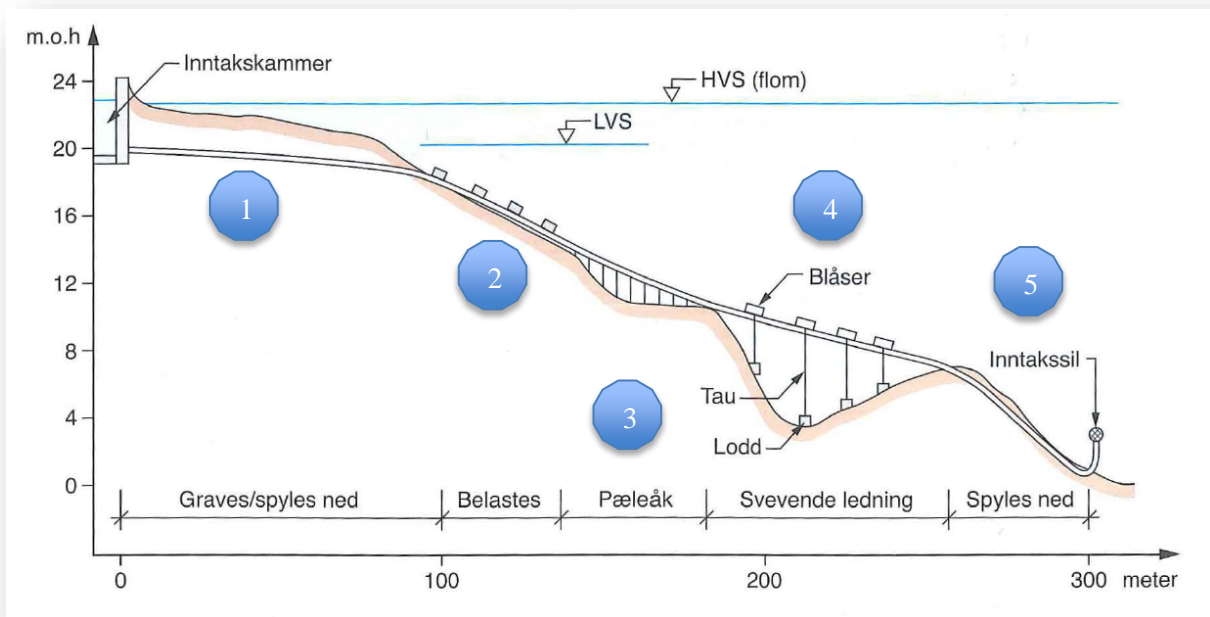
Figur 26 - Eksempler på inntaksløsninger (Ødegård, H, (red) 2012-VA-Teknikk)

4.5.3 Inntaksledning i innsjø

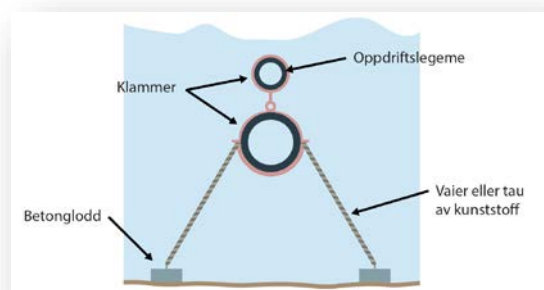
Inntaksledningen må legges langs bunnen i innsjøen helst ned til mellom 20 og 40 m dyp. Ikke mindre enn 2 meter fra overflaten for å være beskyttet mot bølgekrefter og is. Traseen langs bunnen kan være utfordrende og i strandsonen må ledningen graves ned for å unngå bølge- og strømrefter samt iskrefter på vinteren. Derfra blir den ofte lagt opp på terrenget på bunnen og påført betonglodd for å unngå at den flyter opp eller forskyver seg. Den kan i tillegg måtte legges «flytende» over juv eller svanker i terrenget under vann. Dette løses ved forankring med tau e.l. og flyteelementer spent fast

rundt rørene. Det er spesielt viktig at ikke ledningen legges med høybrekk som medfører fare for luftansamling i ledningen som medfører risiko for å flyte opp. I tillegg ville luft i ledningen medført betydelig redusert kapasitet. Ledningsmateriale er for det meste plastmaterialet polyetylen (PE) som kan leveres som en hel lengde. Risiko for lekkasjer i skjøter er da minimale. Kvalitet til ledningene omtales ytterligere under kap. 3 Materialteknologi.

Figur 27 Eksempel vanskelige traseer (Ødegård, H, (red) 2012- VA-Teknikk)



Selv om gode traseer for undervannsledningen etableres, vil det i mange tilfeller oppleves at ledningen blir svevende i vannet mellom opplagspunkter. Normalt vil en svevende PE ledning med belastning tåle lange sjev, men det er grenser for hvor lange de kan være uten at det oppstår for høye spenninger i rørveggen. Dette må beregnes i det konkrete tilfellet enten som en «bjelkebelastning» eller som en «svevende kabel». Dersom avstanden fra ledningen til sjøbunnen ikke er for stor $<1\text{m}$, kan man bygge opp en understøttelse med betongsekker som legges i forbandt og forbindes med armeringsjern. I tilfeller hvor avstanden til sjøbunnen er større, kan man avlaste ledningen ved bruk av klammer og oppdriftslegemer, som antydnet i figur 27 – punkt 4 og figur 28. Oppdriftslegemene kan enten



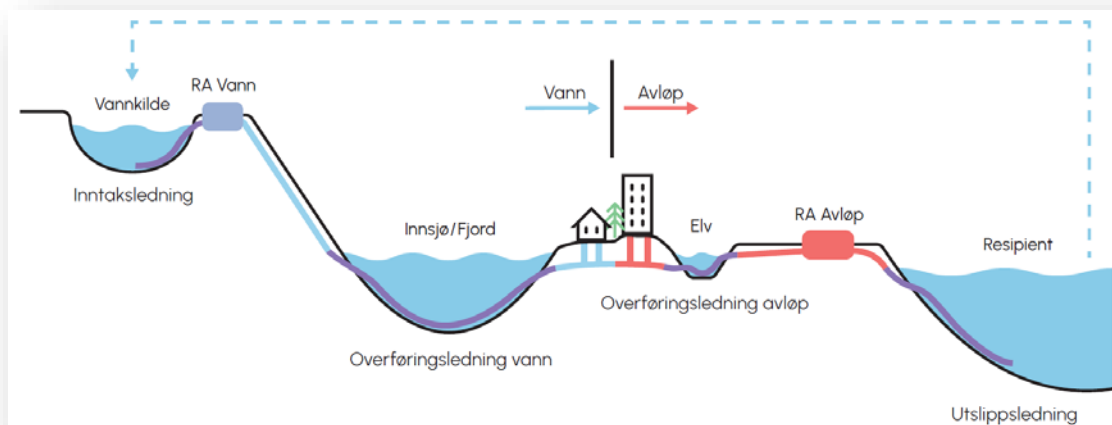
Figur 28 - Eksempel på flyteledning (Hallingplast AS)

være trålekuler eller luftfylte rørelementer. Oppdriftslegemene må tåle trykket fra det aktuelle vanddypt uten å bukle, eller klappe sammen. Som eksempel vil et luftfylt PE100 SDR11 rør med atmosfære trykk kunne bukle på ca. 20 m vanddypt etter 100 år. Tilsvarende for SDR9 er ca. 40m. Klammer som anvendes på rørene i forbindelse med oppdriftslegemer, kan være i rustfritt stål. Alternativt kan klammerne og boltene lages i PE. Virer og metalliske innfestinger må være i syrefast utførelse eller bedre.

4.5.4 Beregninger ved senking av sjøledninger.

Da teknikken med sjøledninger i prinsipp er likt for både vann og avløpsledninger vil denne seksjonen være for alle typer vann i rørene, både drikkevanns-, avløps og overvannsledninger.

Figur 29 - Prinsipp undervannsledninger (Hallingplast AS)



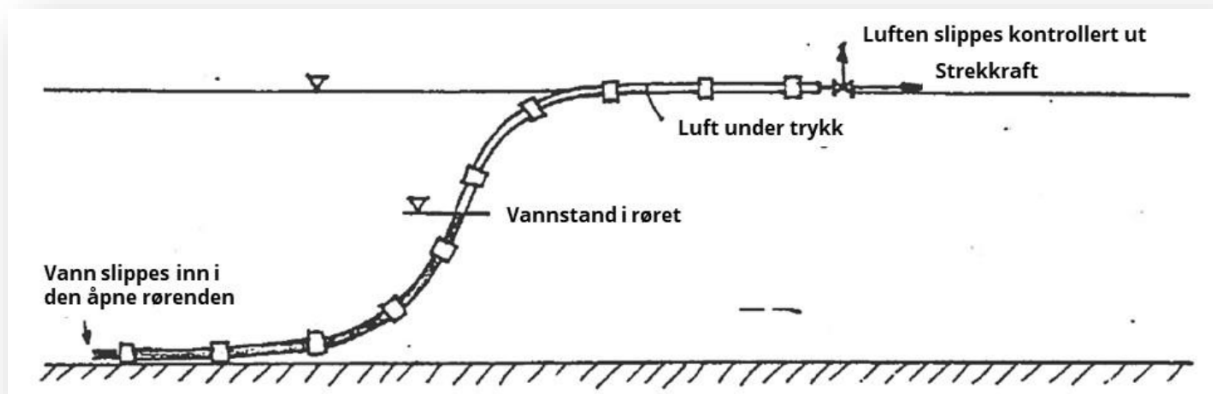
Polyetylen har vært og er det dominerende ledningsmaterialet i undervannsrør på grunn av sin styrke, sin strekkfasthet og sin fleksibilitet. Bruk av PE ledninger under vann har hittil gitt de teknisk og økonomisk beste løsningene ift sjøledninger. I dag anvendes nesten utelukkende kvalitet PE100 RC, men flestparten av undervannsledningene, som er i drift i Norge, har kvaliteten PE80. I noen tilfeller benyttes en utvendig beskyttelseskappe av PP for å gi en ekstra beskyttelse mot dannelse av riper i anleggsfasen, samt ekstra styrke mot gnagskader ved bevegelig ledning mot fjellgrunn i strøm og bølgeutsatte områder i ledningstraseen. De viktigste fysiske egenskapene til PE-materialet er vist i vedlegg 8 og egenskaper iht. figur 29

Senkeprosedyre ved senking av sjøledning skal minimum inneholde:

- Innledning med generelle opplysninger om anlegget
- Beregning av tekniske data og senkeparametre for senking
- Organisering av senkingen, hvem har ansvaret for hva?

- Utstyr og bemanning Forberedende arbeider i forkant av senking og på selve "senkedagen"
- Nødvendig varsling Beskrivelse av senking
- Tidsplan for senking
- Nødprosedyre hvis noe ikke går etter planen
- Dokumentasjon
- Kommunikasjon

Figur 30 - Hovedprinsipper ved senking av sjøledning (Pipelife AS)



Det er hovedsakelig to senkemetoder som benyttes:

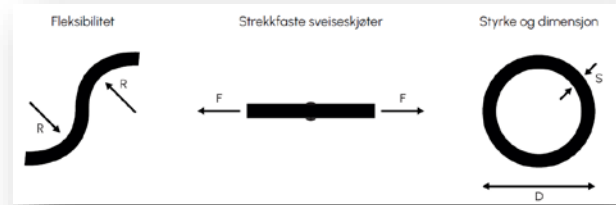
- Mest vanlig er gravitasjonsmetoden - der vannet strømmer inn i den åpne rørenden og tilfører vekt som gjør at ledningen synker. Senkehastigheten justeres ved å evakuere luften gjennom en regulerbar ventil på en blindflens.
- En sjelden brukt metode, som ikke omtales nærmere, er å pumpe vann inn i ledningen. Men mange av de samme beregningene brukes. Blindflenser monteres i hver ende med påkoblede ledninger for kontrollert innpumping av vann og evakuering av luft. Metoden er mest aktuell for mindre dimensjoner fordi nødvendig pumpekapasitet da er av en rimelig størrelse. Denne metoden er mer skånsom når den gjøres riktig.

Undervannsledninger av polyetylen kan benyttes til mange ulike formål. Det mest vanlige er at de transporterer vann, avløp og overvann. Utover dette benyttes undervannsledninger som varerør for kabler, som gassledninger i mindre dimensjoner, som oksygenrør til fiskemærer og som transportrør for ulike typer av slurry og avgangsmasser fra gruveindustrien. Ved hvert anlegg må man ta hensyn til prosjektspesifikke forutsetningene, men hovedelementene i de tekniske løsningene er som regel alltid de samme. Når røret bryter overflaten og når det

Figur 31 - senking av undervannsledning (Hallingplast AS)



treffer sjøbunnen vil det bøye seg. Hvis det bøyer seg for mye vil røret kollapse. Men ved å trekke i røret med riktig kraft vil vi ha kontroll på rørets bøyeradius. Vi må derfor beregne tillatt bøyeradius og nødvendig strekkraft for å kontrollere denne for det aktuelle røret. For store rør vil nødvendig trekkekraft bli for stor for vanlige taubåter og belastningsgrad, sjødybden og senkehastighet blir avgjørende for bøyeradien. Praktiske forsøk viser at rør med høy SDR-klasse kolliderer når deformasjonen er cirka 8 %. For mer tykkvegga rør er materialspenning i rørveggen dimensjonerende for bøyeradius.



Figur 32 - Viktige funksjoner for en undervannsledning i PE (Hallingplast AS)

Avstivningsringer i form av betonglodd og innvendig støttetrykk bidrar positivt. Normalt tar vi ikke hensyn til effekten av støtten fra stive ringer og innvendig overtrykk – og beregner tillatt bøyeradius med en sikkerhetsfaktor på 2,0. Grunnen til dette er at det kan oppstå problemer som fører til en midlertidig stans under senkingen og at det vil oppstå planlagt stans under start- og slutfasen. Slik stans er en tilleggsbelastning for et viskoelastisk materiale der spenning og tøyning er tidsavhengig. Stans under senkeprosessen må derfor tidsbegrenses.

Rørmaterialets temperatur er også en faktor. En sjøledning på overflaten en soldag kan bli temmelig varm på oversiden. Men normalt vil sikkerhetsfaktoren ved beregning av bøyeradius, stive avstivningsringer i form av betonglodd og innvendig støttetrykk samlet gi tilfredsstillende sikkerhet. Beregningene forutsetter derfor maksimum 20°C i rørveggen. For rør med høy SDR-klasse (slanke rør – SDR 17 og høyere) er deformasjonen som oppstår ved bøying bestemmende for bøyeradius. Forsøk viser at rør kolliderer ved cirka 8 % deformasjon. Vi beregner tillatt bøyeradius med en sikkerhetsfaktor 2,0 – altså ved 4 % deformasjon. For undervannsledninger vil påkjenninger under senking av røret være dimensjonerende. Ved bøying av PE rør må tillatt korttids- og langtids bøyeradius ikke overskrides. Tillatt bøyeradius skal oppgis av rørprodusent, men generelt brukes:

Tabell 15 - Tillatt bøyeradius for PE-ledninger (Hallingplast AS)

Korttids bøyeradius (anleggsfase)	Alle rør	30*D
Langtids bøyeradius (ferdig lagt)	Trykk rør	60*D
	Trykkløse rør	30*D

For undervannsledninger kan det i senkefasen tillates mindre radius enn $30 \cdot D$, men dette er avhengig av rørets SDR klasse og av at senkingen foregår kontinuerlig med en maksimal senkingshastighet på

0,3 m/s. På grunn av utfordringer med indre spenninger i rørveggen under nedkjølingen av PE-røret i produksjonsprosessen, kan maksimal godstykkelse ikke overskride ca. 100 mm. Dette gjør at maksimal diameter på PE rørene ved høye trykk blir begrenset. Følgende formel kan anvendes til å bestemme den maksimale ledningsdiameteren for PE rør som funksjon av dimensjonerende trykk:

$$37) \quad D_{maks} = s * \frac{2 * \sigma}{P} \quad [m]$$

Hvor: s = godstykkelsen ($= < 100$ mm)

σ = dimensjonerende spenning [6,3 MPa for PE100]

P = dimensjonerende trykk [MPa]

For rør med lav SDR-klasse (tykkvegget rør – SDR 17 og lavere) er tøyningen i aksial retning dimensjonerende. Tillatt tøyning for PE er 5 % – og her benytter vi fortsatt en sikkerhetsfaktor på 2,0 og beregner bøyeradius ved 2,5 % tøyning. Bøyeradien er avhengig av rørdimensjonen og for PE-rør med homogen rørvegg er dette forholdet konstant for hver SDR-verdi. Denne konstanten kaller vi bøyetall (k).

$$38) \quad k = \frac{R}{D} \quad [Dimensjonsløst] \quad \text{Bøyetall}$$

Hvor: R = Bøyeradius [m]

D = Utvendig diameter [m]

For å finne bøyeradius:

$$39) \quad R = k * D \quad [m] \quad \text{Bøyeradius}$$

Ved ulike SDR klasser vil bøyetallet og dermed radius endres, som funksjon av diameter.

Tabell 16 - Anbefalte bøyetall for senking av PE ledning

Rørklasse	SDR 33	SDR 26	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4
Bøyetall, $k=R/D$	40	31	25	20	20	20	20	20

For å forhindre at bøyeradiene blir for krappe trekker vi i rørledningen med en strekkraft F_s .

Bøyeradiene ved overflaten og ved sjøbunnen vil være ulike og den minste vil være dimensjonerende. Høye

belastningsgrader kompliserer senkeprosessen. Og er rørledningen dimensjonert med loddbelastning for mer enn 100 % luftfylling vil den synke når den er helt luftfylt. I slike tilfeller må ledningen påmonteres oppdriftselementer som fjernes etter at rørledningen er senket – eller ytterligere vekt, i form av flere lodd eller betongmadrasser, ettermonteres.

Balansetrykk og drivende trykk

Senkehastigheten justeres ved å slippe luften ut, kontrollert slik at vannet fyller røret og den vannfylte delen av røret med belastningslodd synker. Det skal være et visst lufttrykk i røret for at forholdet mellom tyngde (neddrift) og oppdrift er riktig og rørledningen senkes kontrollert. Lufttrykket øker lineært med sjødybden. Ved balansetrykket er det likevekt mellom neddrift og oppdrift og rørledningen vil stå helt i ro. Det drivende trykket er et lite undertrykk, i forhold til balansetrykket, som tillater at vannet strømmer inn. Det må også kobles til en luftkompressor slik at luft kan fylles inn i røret ved behov – for eksempel hvis senkeprosessen må avbrytes og røret må heves igjen. Det er viktig at rørledningen beveger seg og står minst mulig i ro. Lufttrykket måles med et manometer. Det er en omfattende manøver å etablere trykket i ledningen for å hindre at vannet fyller ledningen for raskt i startfasen.

Balansetrykk

Nødvendig innvendig overtrykk for å balansere ledningen, balansetrykk:

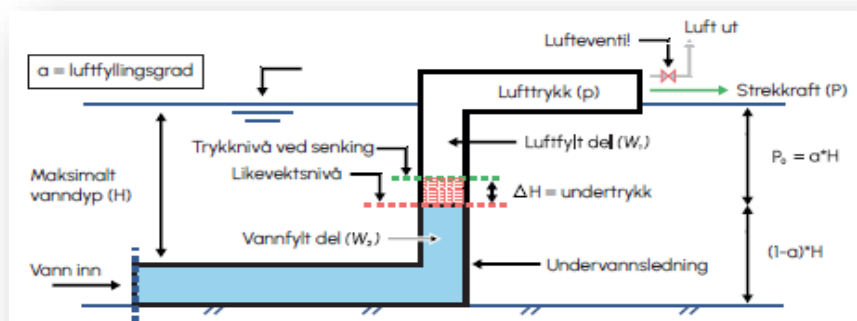
$$40) \quad P = a \cdot H \text{ [mVs]} \quad \text{Balansetrykk}$$

Hvor: $P = \text{Balansetrykket [mVs]}$

$$a = \text{Ledningens luftfyllingsgrad [\%]} \left\{ a = \frac{\text{vekt av lodd i sjø} + \text{vekt av ledning i luft}}{\text{oppdrift luftfylt ledning}} \right\}$$

$H = \text{Vanndyp [m]}$

Beregning av a, Vi tar utgangspunkt i den luftfylte delen av røret og beregner oppdriftskraften (*WI-figur 34 – s. 67*) av denne seksjonen. I beregningen neglisjeres forskjellen i egenvekt mellom



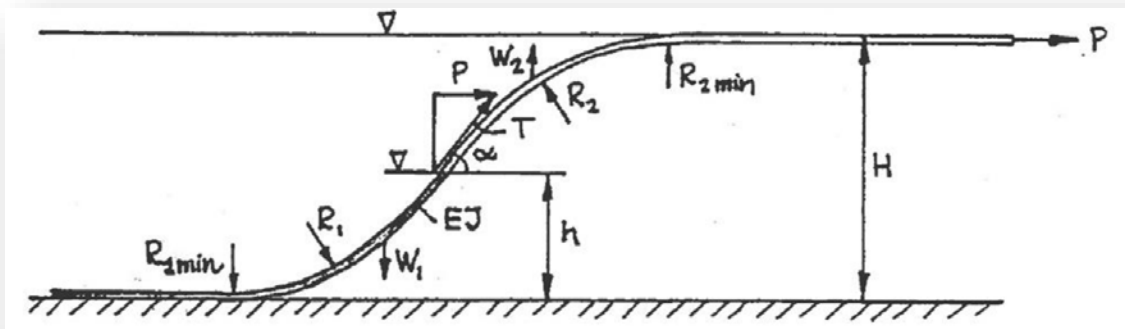
Figur 33 - Balanse trykk ved senking av sjøledning (Hallingplast AS)

resipient/kilde og vannet inne i røret. Vi ser også bort fra vekten av luften inne i ledningen, da disse elementene for praktiske formål ikke har noen betydning.

Tabell 17 - Maksimale veiledende senkingsdyp i **meter**, som funksjon av belastning, luftfylling i % og SDR klasse (Hallingplast AS)

Dimensjonerende luftfyllingsgrad	SDR Klasser				
	7,4	9	11	13,6	17
15 %	2258	1680	1270	963	732
20 %	1694	1260	953	723	549
25 %	1355	1008	762	578	439
30 %	1129	840	635	482	366
35 %	968	720	544	413	314
40 %	847	630	476	361	274
45 %	753	560	423	321	244
50 %	677	504	381	289	220
55 %	616	458	346	263	200
60 %	565	420	318	241	183
65 %	521	388	293	222	169
70 %	484	360	272	206	157
75 %	452	336	254	193	146
80 %	423	315	238	181	137

Figur 34 - Vesentlige faktorer ved senking av sjøledning (Pipelife AS)



- H: Sjødybde [m]
- h: Vannstanden i røret [m]
- W1: Vekt av vannfylt rør i sjø [N/m]
- W2: Oppdrift av luftfylt rør i sjø [N/m]
- R: Bøyeradier [m]
- T: Aksiell strekkraft i vendepunktet [N]
- P: Horisontal strekkraft [N]
- α : Rørets vinkel i vendepunktet [°]
- EJ: Rørets stivhet

Det er utarbeidet en enkel metode som gjengis her for å vise prinsippene. Metoden kan brukes ved enkle senkeprosesser ved dimensjoner opp til cirka 500 mm. (Pipelife AS, Rørhandbok, 2007)

Enkel metode:

Horisontal strekkraft ved gitt minimum tillatt bøyeradius ved sjøbunnen: $P = R_{1\min} \cdot W_1$ [N]

Horisontal strekkraft ved gitt minimum tillatt bøyeradius ved overflaten: $P = R_{2\min} \cdot W_2$ [N]

Hvis rørledningen er dimensjonert for en belastningsgrad mindre enn 50 % vil oppdriften (W_2) være større enn «neddriften» (W_1) og minimum bøyeradius vil oppstå ved overflaten – og denne strekkraften (P) blir den største. Vekten («neddriften») av den vannfylte delen av røret (W_1) kan tilnærmet bestemmes av uttrykket:

$$41) \quad W_1 = a * \frac{\pi}{4} * D^2 * \varphi_{sjø} \text{ [N/m]} \quad \text{Neddrift}$$

Hvor: a = Luftfyllingsgrad [%]
 D = Utvendig diameter [m]
 $\varphi_{sjø}$ = Sjøvannets tyngdetetthet [N/m³]

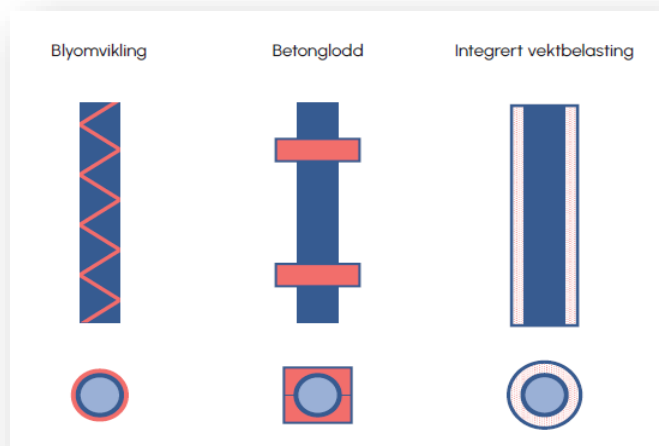
Sammenheng mellom likevekt og oppdrift og den nederste vannfylte delens «neddrift» når luftfyllingsgraden er større enn 20 %:

$$42) \quad W_2 = W_1 * \frac{1-a}{a}$$

4.5.4.1 Betonglodd

Det produseres mange ulike typer betonglodd for å hindre ledninger å flyte opp fra bunnen. De vanligste har vært lodd som omslutter røret og settes fast med bolter og muttere. Det har etter hvert kommet lodd som monteres med klemringer i stive gummimaterialer, og med plast strips i mindre dimensjoner. Figur 35 viser typisk noen varianter og måtene som har vært vanlig .

Figur 35 - Typiske belastningsmetoder for sjøledninger (Hallingplast AS)



Beregning av loddbelastning.

Et PE-rør som legges i sjø eller ferskvann må belastes slik at det ikke flyter opp. Oftest benyttes betonglodd. Man må ta hensyn til rørets oppdrift, maksimal andel luft i røret (luftfyllingsgrad, belastningsgrad) samt strøm- og bølgekrefter. I det etterfølgende vil vi se på beregning av nødvendig belastning kun som følge av rørets oppdrift og luftfyllingsgrad. Vi benytter Arkimedes lov om at oppdriften er lik vekten av den fortrenkte væskemengde minus vekten av røret med innhold. Ved luftfylling/belastningsgrad over 90 % bør man utføre mer nøyaktige beregninger.

Formler:

Vekt av fortrenkt væskemengde (oppdrift) pr meter rør:

$$43) \quad M_{sjø} = \rho_{sjø} * L * \frac{\pi * D_y^2}{4} \text{ [kg/m]} \quad \text{Oppdrift}$$

Hvor: $\rho_{sjø}$ = Densitet sjøvann [kg/m]
L = Ledningens lengde [m]
 D_y = Utvendig diameter [m]

Densitet $\rho_{sjø}$ er :

- 1 035 kg/m³ for sjøvann med høyt saltinnhold
- 1 025 kg/m³ for sjøvann med lavt saltinnhold
- 1 000 kg/m³ for ferskvann

Vekt av rør med innhold:

$$44) \quad M_{rør} = m_{rør} + Lu^{luft} * m_{luft} + \rho_{vann} * L(1 - Lu^{luft}) * \frac{\pi * D_i^2}{4} \text{ [kg/m]}$$

Hvor: $m_{rør}$ = Rørets produksjonsvekt [kg/m]
 m_{luft} = Vekten av luften i røret er neglisjerbar og kan settes lik null
 ρ_{vann} = 1 000 kg/m³ for ferskvann
L = Ledningens lengde settes lik 1 m for å finne vekt pr meter
 Lu^{luft} = Luftfyllingsgrad * [%]
 D_i = Innvendig diameter [m]

*Normale luftfyllingsgrader:

- Vannledninger og inntaksledninger: 20 - 40 % (P: 0,2 - 0,4)

- Utslippsledninger: 30 - 50 % (P: 0,3 - 0,5)
- Spillvann med jevn belastning, kort oppholdstid: 30 - 70 % (P: 0,3 - 0,7)
- Spillvann med ujevn belastning, lang oppholdstid: Må vurderes i hvert enkelt tilfelle

Valg av luftfyllingsgrad er avhengig av blant annet maksimum mengde luft i røret, strømkrefter og bølgekrefter må vurderes nøye. I spesielle tilfeller må man belaste ledningen for mer enn 100% luftfylling.

Nødvendig belastning pr meter rør (vekt i luft):

$$45) \quad M_{bel} = O_f \cdot M_{sjø} - M_{rør} \text{ [kg/m]} \quad \text{Nødv. Bel. Ledning}$$

Hvor: O_f = Omregningsfaktor fra vekt i vann til vekt i luft

- 1,76 for sjøvann med høyt saltinnhold
- 1,75 for sjøvann med lavt saltinnhold
- 1,72 for ferskvann

$$46) \quad O_f = \frac{\rho_{btg}}{\rho_{btg} - \rho_{sjø}} \quad \text{Omregningsfaktor fra vekt vann til luft}$$

Senteravstand mellom loddene (c-c):

$$47) \quad c - c = \frac{M_{lodd}}{M_{bel}} \text{ [m]} \quad \text{Senteravstand lodd}$$

Senteravstanden bør normalt være mellom 2,0 og 8,0 meter avhengig av blant annet dimensjon og belastningsgrad - minst på de minste dimensjonene. I enkelte tilfeller må dette vurderes nærmere. For krav til betonglodd, samt alternative utforminger, se "BLF-norm for belastningslodd av betong til undervannsledninger".



Figur 36 - Eksempler på ulike betonglodd til sjøledninger (Skjæveland AS)

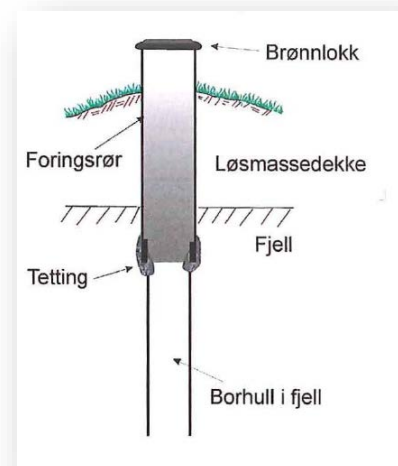
4.5.5 Rør uten lodd -

En norsk produsent kalt Hallingplast benytter mineralfylt PP, hvor støv av barytt blandes med Polypropylen (PP) slik at det får en egenvekt på linje med armert betong. Barytt har egenvekt på linje med jernmalm, ca 4500 kg/m³. Dette medfører at behovet for lodd elimineres, og man kan senke ledningen uten den ekstra kostnaden og tidsbruk som montering og sikring av betonglodd normalt utgjør. I tillegg oppnås sikrere og lengre levetid, da korrosjon på betonglodd og monterings-elementer som Stålbolter og skrueforbindelser ofte medfører kortere levetid.

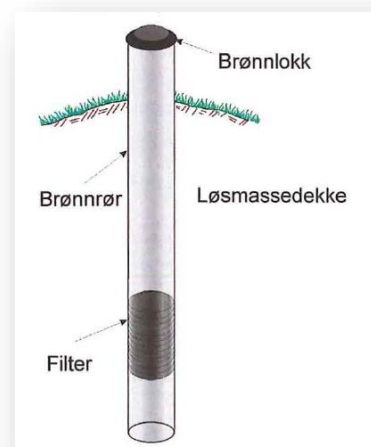
4.6 Grunnvannsinntak

Borebrønner benyttes både i løsmasser og fjell. Grunnvannsbrønner i løsmasser gir normalt de største vannmengdene (1-100 l/s) og den beste kvaliteten, men det finnes områder som ikke har egnede løsmasser, og boring i fjell kan være eneste mulighet for uttak vann. Borebrønn benyttes vanligvis dersom det skal tas ut grunnvann som ligger dypt. Før brønnen kan plasseres er det nødvendig med befaring for å finne en egnet lokalitet. Deretter foretas sonde boringer for å kartlegge løsmassefordelingen på utvalgte punkter. Der boringene viser permeable masser som sand og grus, følges det opp med nedsetting av en undersøkelsesbrønn (sandspiss) som pumpes for å teste hvor store vannmengder som kan tas ut. En borebrønn i fjell er ofte eneste mulighet og et godt alternativ, dersom man ønsker å benytte grunnvann som vannforsyning til spredt bosetning eller hytter. Kapasiteten på fjellbrønner i Norge varierer oftest mellom 0,05 og 2 l/sek, med en middelvei på 0,15 l/s. Forskjellige bergarter har ulik evne til å holde sprekker åpne mot dypet. Harde og sprø bergarter (f.eks. granitt, gneiser, kvartsitt) kan ha åpne sprekker på stort dyp. Brønner i slike bergarter gir derfor som oftest mer vann enn brønner i mykere og mer formbare bergarter (f.eks. fylitt, glimmerskifer, grønnstein), som sjelden har åpne sprekker dypere enn 50 meter under overflaten. De fleste bergartene i Norge er tette, og en borebrønn må derfor krysse en eller flere vannførende sprekker i fjellet for å gi vann. Kartlegging

Figur 37 - Borebrønn i fjell (Ødegaard(Red), 2012 VA-Teknikk)



Figur 38 - Borebrønn i løsmasser (Ødegaard(Red), 2012 VA-Teknikk)



av sprekkesystemer kombinert med geologisk kunnskap ved etablering av fjellbrønner er derfor viktige faktorer for å sikre brønncapasitet, ved at brønnen kan bores gunstig i forhold til berggrunnens oppsprekking. Det hender imidlertid at sprekker, uavhengig av bergart, kan være fylt med leire slik at de er tette. Det bør helst ikke være synlig fjell der borebrønnen skal plasseres fordi dette gir dårlig beskyttelse mot forurensning. Derimot kan det være greit å unngå altfor tykke løsmasser for å redusere borekostnadene (*dyrere å bore i løsmasser enn i fjell*). Kvartærgeologiske kart kan gi informasjon om løsmassenes omfang. Borebrønner i løsmasser gir betydelig bedre sikkerhet mot mikrobiologisk forurensning enn borebrønner i fjell, der vannet ofte kan sammenlignes med overflatevann. Undersøkelser (*Gaut, 2005, Factors influencing microbiological quality of groundwater from potable water supply wells in Norwegian crystalline bedrock aquifer*) tyder på at brønnene har større sjanse for å oppfylle kravene til mikrobiologisk kvalitet om de ligger mer enn 100 m fra jordbruksområder og elver eller bekker. Det er også ønskelig at tykkelsen på løsmassene i området der brønnen bores er minimum 2,5 m. Tilsvarende er 2,5-3 m umettet sone ønskelig som et minimum når det gjelder borebrønner i løsmasser.

4.7 Overføringsledning

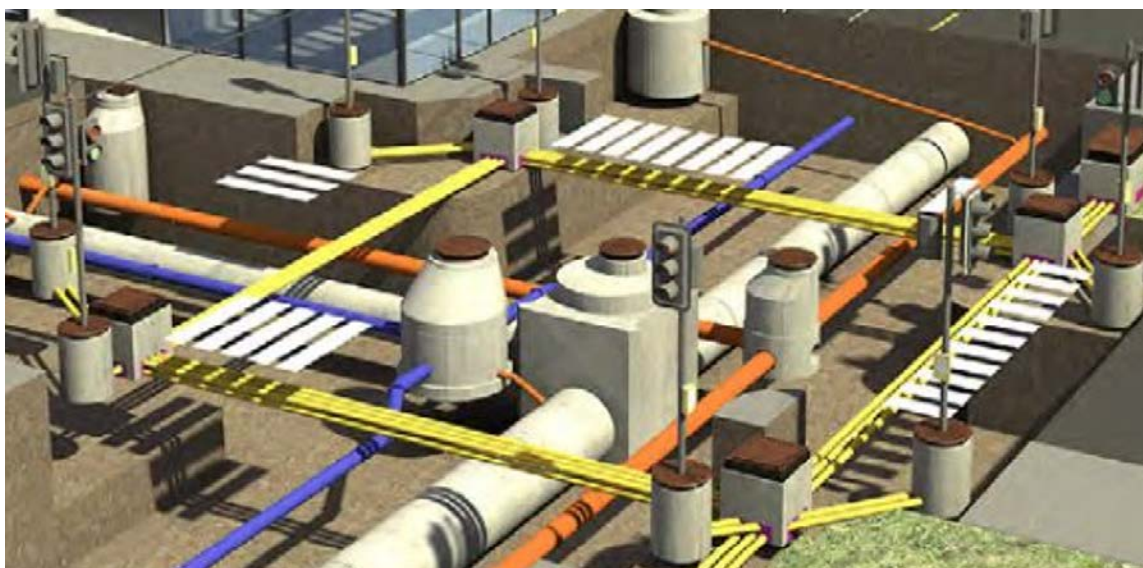
Overføringsledningene transporterer vann fra kilde via behandlingsanlegg og eventuelle basseng til distribusjonsnett og forbrukerne. Overføringsledningene kan være flere mil lange, avhengig av kildens eller vannbehandlingsanleggets nærhet til forsyningsområdet. Sikkerhet mot brudd i overføringsledningene er særdeles viktig. Et brudd kan få dramatiske konsekvenser og være årsak til alvorlige hendelser og tap av liv. Et eksempel her kan være et sykehus som blir uten vannforsyning. Alternativ forsyning eller bassengreserve kan bedre sikkerheten i slike tilfeller. Overføringsledninger bør plasseres i terrenget slik at antall høy- og lavbrekk minimaliseres. Det bør installeres mulighet for tapping (for spyling og reparasjon) på utvalgte lavbrekk, og lufteventiler på høybrekk for å minimalisere tid til vedlikehold og utbedringer. Det må også vurderes å installere vannmålere på overføringsledningene for å overvåke lekkasjer. I tillegg kommer målere ved inntak, på vannbehandlingsanlegget, ved høydebasseng og i distribusjonsnett. Det er større fare for trykkstøt jo lengre en overføringsledning er. Dersom det monteres utstyr for demping av trykkstøt, reduseres faren. Trykkstøt kan for eksempel oppstå hvis en pumpe stopper for brått, en ventil stenger for fort eller i situasjoner hvor det oppstår raske hastighetsendringer i vannet. Tiltak som kan etableres kan være f.eks. sikkerhetsventiler mot overtrykk, tunge svinghjul på pumpeakslene som kan hindre for raske endringer i turtall og trykktanker som demper trykkstøt eller lignende.

Som overføringsledninger benyttes trykkledninger, som er de samme ledninger som brukes til fordelingsnett. Viser derfor til detaljerte beskrivelser av ledningstyper, materialer og funksjon i kap. 3

4.8 Fordelingsnett

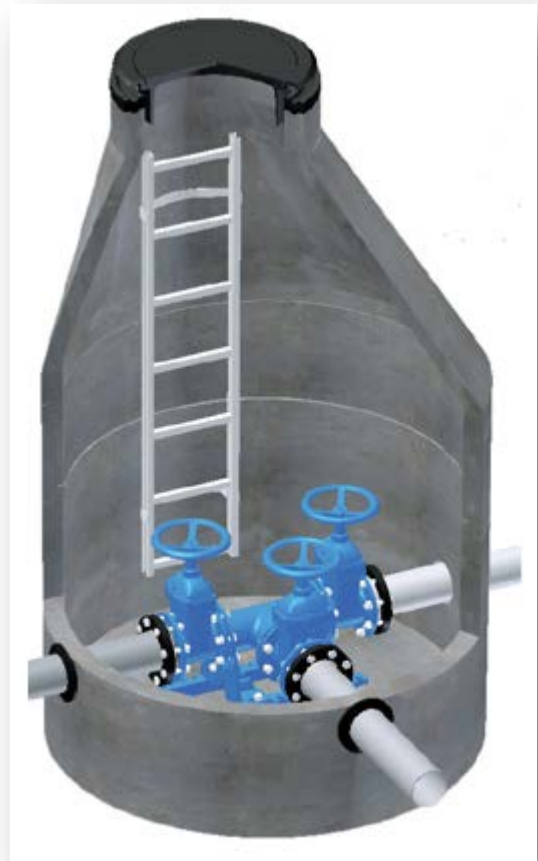
Allerede tidlig på 1600 tallet ble de første vannledningsrør etablert i Oslo. De aller første vannledninger i Norge var laget av tre i litt forskjellige former. Både uthulede trestammer og teknikker som likner den man bruker på å lage tønner og stamper. Først på 1840 tallet begynte man å legge vannledninger produsert av grått støpejern støpt horisontale sand former. Etter hvert ble produksjonen forbedret, og fra ca. 1920 ble rørene støpt vertikalt i roterende former. Dette ga en jevnere og derfor noe mindre vegtykkelse (Oddevald og Hansen, 2004). Såkalte seige støpejernsrør kom på markedet ca. 1960 og kunne støpes med vesentlig mindre vegtykkelse enn forløperne. Etter hvert viste det seg at korrosjon var et stort problem, det førte til brudd på rør av grått støpejern og gjennomtæring på rør av seigt støpejern. Fra ca. 1970 ble derfor rør av seigt støpejern beskyttet med innvendig belegg av sementmørtel og senere også utvendig med påføring av et sinkbelegg. Etter hvert ble det kombinert med sink/aluminiums belegg eller ulike typer plastbelegg. Asbestsementrør ble brukt i en periode fra 1960 til 1985. Dårlig leggeteknikk og nedbrytning av rørene har ført til mange skader. Rør av asbest ble forbudt ca. 1985 på grunn av sykdomsrisiko ved produksjon og reparasjon av disse rørene. Disse rør typene belyses derfor ikke i denne oppgaven. Fra ca. 1970 har rør av termoplast (PVC og PE) dominert for små og mellomstore diametere. Rør av termoplaster lagt i de første årene har vært utsatt for bruddskader. Materialene har etter hvert blitt mer motstandsdyktige mot brudd, og ledninger lagt etter ca. 1980 har hatt få skader. For store dimensjoner har armert betong, støpejern, stål, polyetylenrør og glassfiberarmert polyester blitt brukt. Generelt er det få feil på disse ledningene, men en spesiell type betongrør (Premo – forspente betongrør for trykk) har vist seg å ha en rekke skader på enkelte anlegg bygget på 1950- og 1960-tallet. Disse produseres ikke lengre og tas derfor heller ikke med i rapporten.

Figur 39 - Fordelingsnett i gate ved tettsted



4.8.1 Kummer og tekniske installasjoner

Kummer brukt i vannforsyning er et relativt særnorsk fenomen. I Norge har det vært tradisjon for å legge inn de fleste fordelingspunkter i vannkummer slik at ventiler, sluser og øvrige tekniske installasjoner er tilgjengelige ift. drift og vedlikehold. Historisk sett og frem til ca år 2000 har i all hovedsak vannkummer i Norge vært betongkummer. De siste 10 til 20 årene har plastmaterialet polyetylen (PE) kommet mer inn på markedet som en konkurrent til betongkummer. Det virker som betongkummer noen steder lokalt har fått ett noe frynsete rykte pga. dårlig kvalitetskontroll og følgende dårlig kvalitet på produktene. Det viser seg bl.a. at kummer montert i flo sone blir fylt opp av sjøvann hver gang det flør. Dette er en stor utfordring spesielt i Nord Norge hvor høydeforskjellen på flo og fjære er ca. 3 meter. Det er flere årsaker til at kummene fylles med vann. Først og fremst er de fleste vannkummer montert med tilkoblet drenering. Disse skal lede vann som renner inn i kum fra gate og veg ut. Når drenering er montert under høyvann, uten mottiltak, sier det seg selv at sjøvann trenger seg inn i kumsystemet. Det er forsøkt med mange ulike varianter av tilbakeslagsventiler, manuelle og automatiske lukkeventiler, for å stoppe innlekking. I flosonen vil det være sterk begroing pga. saltvann og organiske organismer som medfører at det er særdeles utfordrende å lage varige tette løsninger.



Figur 40 - typisk vannkum med ventilkryss og forankring

Vannkummer i betong reguleres av VA- Miljøblad 112 (Norsk Vann). VA-Bladet skal sikre riktig kravspesifikasjon til prefabrikkerte kum løsninger. Mange produsenter av betongkummer har vært og er små, spredd over hele Norge. Det har vært sterk konkurranse, noe som ofte medfører høy grad av kreativitet. Dette har over tid ført til mange ulike løsninger, både gode og mindre gode dokumenterte løsninger. I 2001 ble Basal AS stiftet, hvor betongvareprodusentene ble enige om å standardisere kum og rørsystemer. Over mange år har det vært jobbet mot en standard som sikrer enhetlig produksjon og korrekt montering, spesielt for vannkummer hvor montert utstyr er utsatt for store krefter.

Betongbransjen ble enige om standard for vannkummer og testmetoder for 16 kPa trykk. Men det var fremdeles noen eksterne aktører med løsninger som ikke nødvendigvis har vært eller er i tråd med regelverket. Det medførte at Arve Hansen i firmaet VA Teknikk AS, via organisasjonen Rørinspeksjon Norge, satte i gang et større arbeide sammensatt av en arbeidsgruppe på 13 større kommuner, 10 private produsenter og en rådgiver. I 2015 kom heftet «Prefabrikkerte kummer skal være en sikker arbeidsplass». Heftet inneholder detaljerte kravspesifikasjoner og egenskapsbehov til vannkummer, og ledet til nevnte VA-Miljøblad nr 112 og overordnede funksjonskrav:

I en vannkum skal det være mulig å:

- Skifte deler.
- Montere stengeventil for hver ledningsstreng.
- Drenerer fremmedvann.

I tillegg bør det legges til rette for å kunne:

- Tømme ut spylevann, montere brannventil.
- Montere lufteventil.
- Foreta desinfeksjon, ta ut vannprøve, tetthetsprøve/måle trykk, montere evt. stikkledninger.
- Føre inn renseplugg.

4.8.1.1 Ventiler og sluser

Ventiler i kum blir brukt til å stenge og regulere retning til vannet i tettbygde strøk. Det finnes et utall av varianter og systemløsninger. Å gå gjennom alle i en enkel rapport er ikke mulig. I den videre gjennomgangen belyses kun hvilke typer ventiler som normalt brukes og anbefalte materialsammensetninger og spesifikasjoner. Sluse ventiler, ventil T og kryss Fordelene med sluseventiler er fritt gjennomløp, ikke noe trykk tap i ventilen og vi kan kjøre plugg igjennom og utføre spyling ved rengjøring av vannrør. Den egner seg meget godt som av/på ventil som enten er helt åpen eller helt stengt. Egner seg ikke til regulering, men mange ventiler leveres med s.k. aktuator (*elektrisk motorstyring*) som gir mulighet for fjernstyring. Lukke tiden settes da gjerne til ca 1 minutt eller mer uavhengig av størrelse ventil. Dette er for å forhindre trykkstøt



Figur 41 - Oppbygging av betongkum av elementer (Beisfjord Sementvarefabrikk AS)



Figur 42 - Sluseventil (Ulefos AS)

oppstrøms ventilen . Dimensjoner er normalt fra 35 mm og opp til 600 mm. Varierende typer og spesifikasjoner. Monteres gjerne sammen med Flensedeler vist i figur 47(s.78). Slusen som anvendes inne i ventilen er i dag produsert av 2 ulike typer materialer. Gummiert støpejern- og syrefast stål (AISI 316 – se vedlegg. Materialkoder stål)

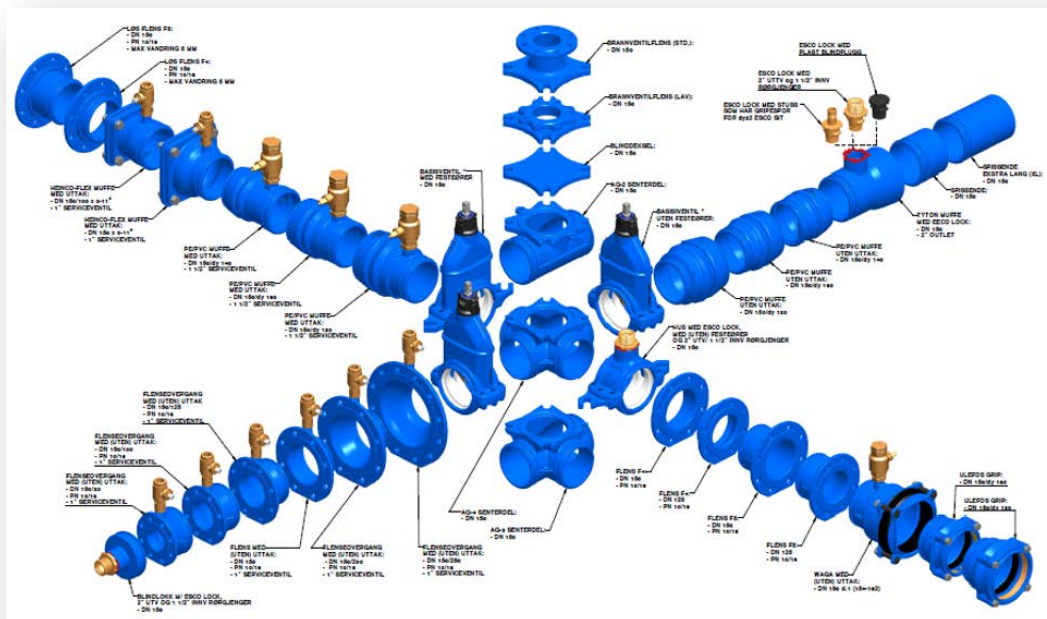
Fordeler med syrefast stål:

- Korrosjonsbestandighet
- Lengre levetid
- Større presisjon
- Motstår høyere trykk
- Motstår ytre påkjenninger
- Tåler pukk i tetningsområdet



Figur 43 - Ventilkryss (Ulefos AS)

Figur 44 - Ventilkryss med mange muligheter for tilkoblinger

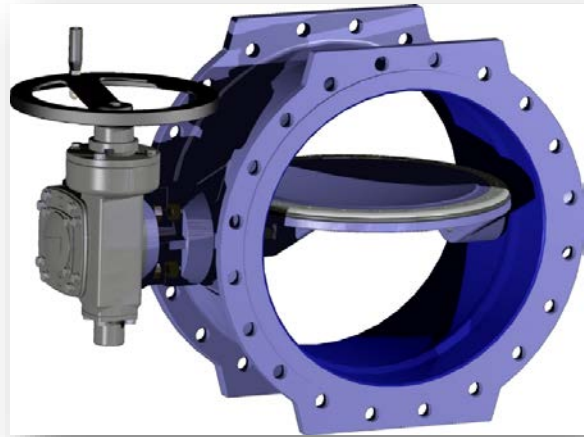


Det finnes i dag et utall av koblingsmåter og modeller for tilpasning til både gamle og nye systemer. Ventilene er også utviklet for å ha muligheter til bytte ut enkeltkomponenter dersom det skulle være behov. En levetid på 100 år som er beregnet for alle komponenter i VA industrien, og kan sette de fleste materialer på prøve. Selv de aller beste produktene kan få utfordringer av ulike typer vannkvalitet, utførelsesfeil og fremmedelementer i vannet som kan ødelegge en sluse på veldig kort tid.

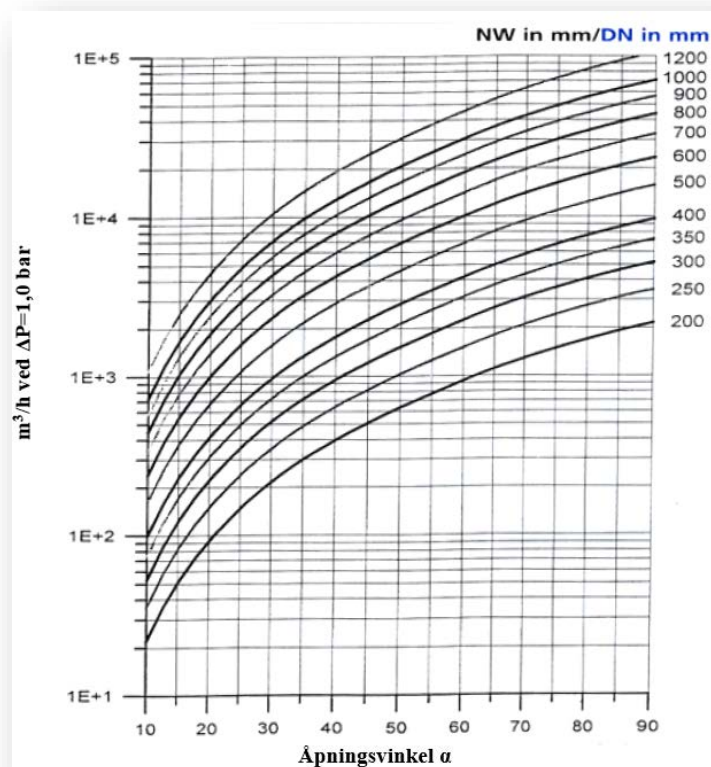
Dreiespjelds ventiler

Sentriske ventiler er billige ventiler som har noen begrensninger. Brukes mest på vannbehandlings anlegg der det er lave hastigheter og lite trykk.

Dobbelt eksentriske ventiler, er de som blir brukt i VA i dag. Finnes i dimensjonene 150 mm til 2000 mm. Så der det er behov for store dimensjoner, blir denne typen ofte brukt. Ventilhus og spjeld er behandlet utvendig med epoxy, med en tykkelse på min. 250 μ m GSK-godkjent (*Tysk godkjeningsordning av epoxy i kontakt med drikkevann*), eller med emalje DIN51178. Teflonbelagte foringer som er helt tett innvendig og utvendig. Det er doble tetninger, en s.k. "Blow-out-proof" design. Det betyr at det ikke er fare for at spindel kommer ut av huset under drift. Alle monterings overflater er tettet, inkludert akselgjennomføring i spjeldet og låsebolt på dreieakselen. Krav til trykktest er 1,1 x trykk klasse. (PN). Ventilene kan settes sammen og ha kombinerte løsninger for å styre vannet til eller i den retning man ønsker. Som kryss eller T eller kun avvinkling.



Figur 45 - Dreiespjeldventil (Ulefos AS)



Figur 46 - Vannføringskapasitet som funksjon av åpningsvinkel - Dreiespjeldsventil (Ulefos AS)

Flensedeler

Flenserørdele og flense muffedeler finnes i et utall varianter og dimensjoner. Det er ingen grunn til å gjennomgå de enkelte, men poengterer at det finnes varianter for å koble i prinsipp alle mulige rør og rørdeler sammen med en hvilken som helst sluse eller ventil. Delene er standardisert i trykk klasse PN6 og PN16. I Norge er det vanlig med PN10 og PN 16, men alle flensedeler i PN16 går overens med PN10. Figuren til høyre viser et lite utvalg av diverse flensedeler og tilhørende muffekoblinger.

Figur 47 - Eksempler - flenserørdele (Ulefos AS)



4.8.1.2 Trykkreduksjon regulerings ventiler og rørbruddsventiler

Reguleringsventiler bygges til mange funksjoner med utgangspunkt i s.k. «seteventil».

Disse ventilene egner seg som :

- Trykk reduksjons ventiler
- Sikkerhetsventil
- Nivåregulering av høydebassenger
- Mengderegulering

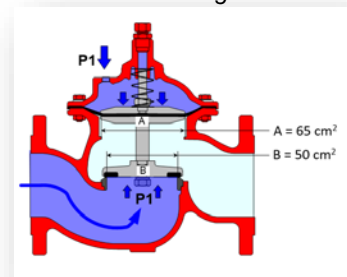
Seteventiler egner seg ofte mindre bra som av og på ventil. I tillegg er det stor fare for kavitasjon ved stor vannføring og/ eller store trykkreduksjoner. Beregningsmetodikken er for så vidt enkel, men pga av at strømningsmønster kan variere mye fra minutt til minutt, kan innstilling av denne type ventiler ofte by på utfordringer.

Ventilen iht. figur 49 har en spindel i senter, som er festet i en membran i punkt A og en tetteflate B. Vannet kommer fra venstre inn i ventil og trykket måles og sendes via små rør inn til oversiden av membranplaten og trykket P1, er større enn P2, medfører at ventilen stenger Ved 10 k/cm² trykk:

Figur 48 – Reguleringsventil/ seteventil (Ulefos AS)



Figur 49 - Seteventil stengt med kraftanvisning



Lukkekraften (A): $10 \text{ kg/cm}^2 \times 65 \text{ cm}^2 = 650 \text{ kg}$

Åpningskraften (B): $10 \text{ kg/cm}^2 \times 50 \text{ cm}^2 = 500 \text{ kg}$

Δ Lukkekraft = 150 kg

Regulering av vannstrømmen gjennom ventil er montert på pilotsystemet og er de små rørene på yttersiden av ventilen. Systemet kan styre mengde og trykk videre inn i den øverste delen av ventilen over membranen og kan således gi jevn mengde eller redusere trykk. Den kan settes opp slik at den stopper gjennomstrømming ved plutselige hendelser som vannlekkasje etc. Det er dog denne type ventiler noe mindre egnet til.



Figur 50 - Pilotsystem seteventil med trykkmåler montert

4.8.1.3 Vannmålere

Det bør enkelte steder være vannmålere i ledningsnettets som viser både øyeblikkelig vannføring og vannmengder oppsummert over en gitt tid, for eksempel hvis man driver lekkasjeundersøkelser i visse soner. Slike vannmålere kan også være plassert flere steder, for eksempel ved utløp fra kilder, høydebassenger og pumpestasjoner samt ved større uttaksledninger og forgreninger. Dersom man har flere vannmålere ulike steder, kan man bl.a. oppdage lekkasjer mye hurtigere enn uten vannmålere. Totalt sett gir en større mengde målere bedre data og grunnlag for både beslutninger og drift.



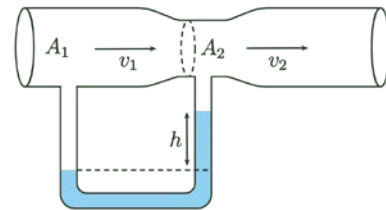
Figur 51 - Vingehjulsmåler (Justervesenet)

Ofte brukte måletyper er venturimeter, elektromagnetiske målere eller roterende målere. En Woltmannsmåler er en vingehjulsmåler (figur 51)

som fungerer som et vannhjul. Inne i måleren er det montert et skovlehjul som roterer når vannet beveger seg. Hastigheten som dette hjulet roterer med er proporsjonal med gjennomstrømningshastigheten. Disse målerne er sårbare for partikler som kommer inn i målehuset og påvirker eller ødelegger vingehjulet. Det er ofte montert filter for å fjerne partikler som kan påvirke måleren.

Woltmannmålere krever som regel en rettstrekning foran måleren på 3 x rørdiameter. En elektromagnetisk måler fungerer etter prinsippet til Faradays lov. Væsken som renner igjennom måleren fungerer som en leder som føres gjennom et magnetfelt. Når væsken strømmer gjennom røret oppstår det en elektrisk strøm som fører til en potensialforskjell. Denne potensialforskjellen måles og

den er proporsjonal med vannhastigheten gjennom måleren. En elektromagnetisk måler trenger ofte mindre rettstrekning foran seg enn mange andre typer målere. Disse målerne krever også lite vedlikehold. Elektromagnetiske vannmålere har et stort måleområde, og i dag er det den vanligste måleren i norske vannverk. Venturimeter brukes og i pumpestasjoner og lignende vannanlegg. Bernoullis formel om energibevarelse i alle snitt langs en strømlinje er basis for vannmengdemålingen. På grunn av arealinnsevringen i venturimeteret (A_2/A_1) øker vannhastigheten v i innsnevringen:



Figur 52 - Prinsippkisse Venturimeter vannmengdemåler (Ødegaard H (red), 2012, Vann og avlønsteknikk)

$$48) \quad h = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

Hvor: v_1 og v_2 = hastighet [m/s]
 g = gravitasjonskonstant [9,81 m/s²]

Trykkforskjellen h , tverrsnittsarealene A_1 og A_2 er kjent og derfor er også forholdet mellom vannhastighetene V_1 og V_2 kjent. Gravitasjonskonstanten $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Det er da mulig å beregne vannføringen gjennom venturimeteret med følgende formel:

$$49) \quad Q_{th} = \frac{A_2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Hvor: A_1 = Areal 1 [m²]
 A_2 = Areal 2 [m²]
 h = Høyde forskjellen i veskenivået mellom A_1 og A_2 [m]

4.8.1.4 Brannarmaturer, ventiler og hydranter

De eldre brannventilene hadde en fjærbelastet kjegle av metall eller plast, eller de hadde en flytekule av tre. Ved undertrykk på ledningen kunne disse åpne og slippe inn forurenset vann. Brannventiler med flytekule er de farligste i så henseende, fordi de åpner med en gang vannet blir borte under kulen. Brannventiler med fjærbelastet kjegle er vanligvis beregnet for et maksimalt utvendig overtrykk på 3 meter vannstand i kummen før de åpner. Brannventiler med doble fjærbelastede kjegler er tette også ved undertrykk. For eksisterende brannventiler bør man derfor vurdere risiko for forurensning av drikkevannet via brannventilene ved undertrykk på ledningsnettet. For brannventiler med kule finnes

et eget lokk som monteres på brannventilen. Det anvendes i mindre grad i dag. Ventiler med kule bør monteres med tettesystemet vist i figur 54. Lokket tetter fullstendig og slike brannventiler bør derfor alltid ha slikt lokk. I figur 53 ser man en stengbar brannventil. Både figur 53 og figur 54, viser tilkoblingshakene hvor brannvesenet vrir innpå sine medbrakte brannstendere. Fordelen med de stengbare brannventilene er at den ved siden av å være mer hygienisk trygg, minker muligheten for lekkasjer ut av brannventilen når denne ikke er i bruk. Ventiler som kan bli dykket i forurenset grøftevann, da særlig særlig brannventilene, representerer en fare



Figur 54 - Stengbar brannventil (Ulefos AS)

for forurensning av drikkevannet. Å installere stengbare brannventiler er et viktig tiltak for å redusere faren for drikkevannsforurensning. I tillegg bør det og monteres brannventilsikring. Denne sikrer at ikke fremmedvann trenger inn i nettet via brannventilen. Brannventilen bør ha automatisk drenering, for å sikre produktet mot frost, da den gjerne blir stående høyest og mest frostsatt i kummen. Brannventiler med kule har så høyt trykktap at det er vanskelig å tappe så mye vann at det blir undertrykk på ledningsnettet. Mange vannverk bruker derfor bare ventiler med kule. Stengbare brannventiler kan utstyres med en strupeplate som sikrer et tilstrekkelig høyt trykktap.

Utløpet fra brannventilen skal, når det gjelder dimensjon og tilkopplingsløsning, være utført i henhold til det lokale brannvesenets krav. Brannventilens kapasitet settes vanligvis til $Q_{\min} = 35$ l/s med et opprettholdt tappetrykk i vannledningen på 1 bar (0,1 MPa eller 10 mVS). Brannventiler bør plasseres der det er behov for brannslukningsvann eller vann for uttak til kommunens egen drift. Brannslanger kan legges inntil 250 m langs kjørbar vei fra brannventilen til en brannbil. I brannbilen er det høytrykkspumper som sørger for en trykkforsterkning. Videre kan det være for eksempel 100 m fra brannbilen til brannobjektet. Iht. til lovverket skal brannkum/hydrant plasseres innenfor 25 - 50 m fra inngang til hovedangrepsvei, og ligge inntil kjørbar adkomst. Mange kommuner synes dette kravet er strengt, og tillater eksempelvis opp mot 75 meter avstand, basert på at avstand mellom brannvannsuttak ikke bør overstige 150 m. Det anbefales å ta kontakt med det lokale brannvesen for å få oppgitt maksimal avstand mellom brannuttak. I spredt bebyggelse kan brannvann baseres på tankbil, eller andre kilder. Mulighet for førsteinnsats med tankbil bør uansett alltid være til stede.



Figur 53 - Lokk og tetting til ventil med kule (Ulefos AS)

4.8.1.5 Lufteventil

I såkalte høybrykk på overføringsledningen, dvs. punkter på ledningen som ligger klart høyere enn ledningsstrekningene foran og bak, vil det kunne samle seg luftlommer i ledningen. Slike luftlommer er ugunstige fordi de medfører ekstra trykktap og kan forsterke trykkstøtene i ledningene. Denne luften slippes automatisk ut av lufteventiler. Fordelingsnettene i norske vannverk forsterkes gradvis ved at de bygges opp med ring ledninger. Dette reduserer faren for trykkforhold som gir luft i fordelingsnettet. Behovet for automatiske lufteventiler er derfor mindre nå enn det var tidligere, noe som er gunstig ettersom slike ventiler er utsatte for frost.



Figur 55 - Lufteventil (Ulefos AS)

4.8.1.6 Tilbakeslagsventil

TEK 10 2016, §15.6 sier at «innvendige vanninstallasjoner skal sikres mot tilbakestrømming eller innsuging av urene vesker, stoffer eller gasser. Gjelder og for tilbakesug og tilførsel av vann fra annen kilde». Det betyr i realiteten at beste sikring mot forurensning av vannforsyningsanlegget på grunn av tilbakestrømming eller inntrenging, oppnås ved at det etableres et luftgap mellom tappestedet og avløpet/forurensningskilden. Der det ikke er praktisk mulig å oppnå luftgap, må annen beskyttelse mot tilbakestrømming av forurenset vann brukes. Tilbakeslagsventiler trengs når man ikke ønsker at vannet i en ledning skal kunne gå tilbake, dvs. at vannet bare skal kunne renne en vei. Dette vil normalt være i pumpestasjoner hvor man ikke ønsker at pumpet vann skal kunne renne tilbake når pumpen er slått av. Videre vil det mellom ulike trykksoner i et nett kunne stå tilbakeslagsventiler hvis man ikke ønsker at vann skal kunne renne fra en overliggende trykksone til en underliggende trykksone. Man kan også tenke seg at man installerer en tilbakeslagsventil på en ledning tilknyttet et høydebasseng, hvis man ikke ønsker at vannet skal renne ut av denne bestemte ledningen.



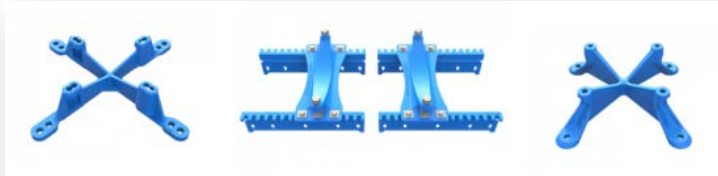
Figur 56 - Standard tilbakeslagsventil på vannledningsnett (Ulefos AS)

4.8.2 Konsoller forankring av ventiler og sluser i kum

I vannkummer monteres det armaturer og tekniske installasjoner som allerede nevnt. Da det er trykksatte ledninger medfører de enorme belastninger på konstruksjonen. Det har historisk sett vært mange hjemmesnekrede løsninger på utførelsen av disse forankringspunktene. Noen bedre enn andre, men det har ikke vært standardiserte løsninger før VA-Miljøblad nr. 112 - Kumsikkerhet, kom ut i 2015. Bransjen som helhet hadde vært klar over denne svakheten og mange lokale leverandører jobbet hardt for å lage gode løsninger. Det er viktig å merke seg at dette VA-Bladet kun gjelder for

vannkummer i betong. VA-Bladet beskrev en helt annen styrkemessig situasjon enn de krav mange leverandører hadde produsert iht. Dette medførte helt andre forankrings modeller enn det som frem til da hadde vært vanlig. Verifiserbare statiske modeller ble tatt frem og brukt som grunnlag for å utvikle nye og forbedrede forankringsmodeller.

Figur 57 - Eksempler på forankringskonsoller til trykksatte vann armaturer



Prefabrikkerte vannkummer har tradisjonelt vært dimensjonert statisk ut fra et prøvetrykk tilsvarende 1,5 eller 1,3 ganger nominelt trykk (PN) og en

retningsendring på vannstrømmen i kummen tilsvarende 90° avvinkling. Kreftene som påvirker forankringen er:

- Tverrkontraksjonskrefter
- Termiske krefter
- Montasjekrefter

Basert på disse forutsetningene og en ytterligere sikkerhetsfaktor har man kunnet beregne statisk kraft:

$$50) \quad K_R = s * \frac{\sqrt{2} * \pi * D_i^2}{4 * 1000} * P \text{ [kN]} \quad \text{Resultantkraft pga. innvendig trykk}$$

Hvor: K = Dimensjonerende resultantkraft iht. figur 53 [N]
s = Sikkerhetsfaktor (1,8 for PN10 og 1,56 for PN16)
D_i = innvendig diameter [m]
P = Vanntrykk [MPa]

Kraften virker langs en linje som danner 45° med rørenes hovedakser og går gjennom sentrum av ventil T-rør eller ventilkryss i rørets senterlinje som vist i figur 53. Denne fremgangsmåten har imidlertid hatt en del mangler, da den ikke har tatt hensyn til alle opptredende krefter som kan virke på rørdelene i kummen. Beregningsmetoden forutsetter at koplingene mellom rørene i kummen og rørene utvendig i grøfta ikke er strekkfaste. Nyere ledningsmaterialer med strekkfaste skjøter påfører en prefabrikkert kum ytterligere

krefter, utover de hydrauliske som tidligere er lagt til grunn. I mange sammenhenger er det også vanlig å legge inn dimensjonsoverganger innvendig i kummen for å redusere størrelsen på ventilarrangementet (pga. kostnader). Denne løsningen gir en hydraulisk tilleggskraft som må inkluderes i den

dimensjonerende kraften. Utover dette må man også ta høyde for trykkstøt som kan opptre ved stenging av ventiler. Avhengig av vannkummens konstruksjon med

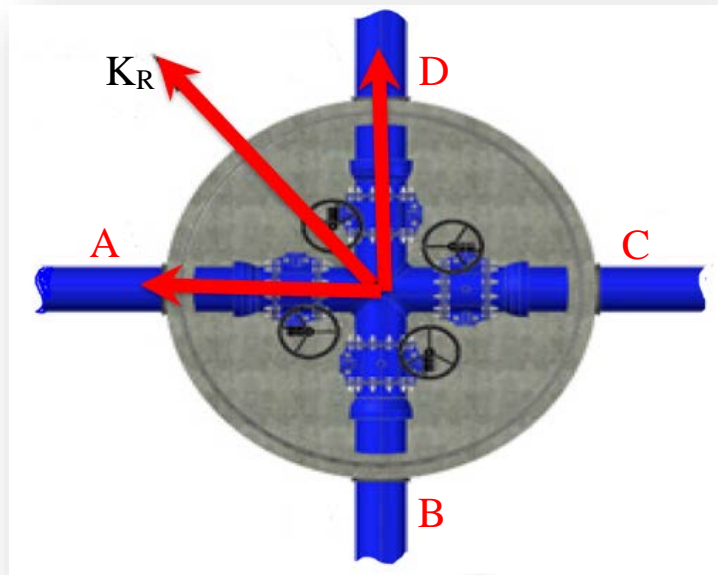
hensyn på trykk, ledningsdimensjoner, rørmaterialer og koblinger, vil kombinasjonen av samtidig opptredende krefter være varierende. F.eks. vil trykkrefter i bend og stengte ventiler, samt tverrkontraksjonskrefter ikke virke i samme retning samtidig. Den maksimalt ugunstigste kombinasjon av samtidig virkende krefter er resultantkraften av:

- Trykkprøving
- Termiske krefter
- Montasjekraft

For å beregne korrekte opptredende krefter må følgende formelverk benyttes, i tillegg til resultantkraften som oppgitt i formel 51).

Impulskraften

Impulskraften vil og virke langs den samme halveringslinjen for vinkelen α og kan beregnes av formelen:



Figur 58 - Statisk modell for ugunstigste resultantkraft i vannkum

$$51) \quad K_I = \frac{\rho * \pi * D_i^2 * v^2}{2} * \sin \frac{\alpha}{2} \text{ [kN]} \quad \text{Impulskraft - trykkforandring}$$

Hvor: ρ = Densitet [kg/m³] (1000 kg/m³)

D_i = innvendig diameter [m]

v = Hastighet [m/s]

$\alpha = 90^\circ$ (Obs – om ikke avvinklingen er 90 grader, nyttes korrekt vinkel)

$$52) \quad K_T^\Delta = \frac{E * \beta * \Delta T * \pi * (D_y^2 * D_i^2)}{2} * \sin \frac{\alpha}{2} * \text{ [kN]} \quad \text{Termisk kraft}$$

Hvor: E = Materialets krypmodul etter 1 års drift [MPa]

β = Termisk Utvidelseskoeffisient [1/°C]

ΔT = Temperaturendring [°C]

D_y = Utvendig diameter [m]

D_i = Innvendig diameter [m]

Tverrkontraksjonskraften oppstår som følge av at et trykksatt rør, som fastholdes, ønsker å utvide seg i diametral retningen. I dette tilfellet oppstår en strekkspenning i lengderetningen. Denne kraften vil bare opptre når ventilene A og D i figur 58 er åpne. I dette tilfellet vil tverrkontraksjonskreftene (*fra rorledningene tilkoblet ventil A og D*) virke mot trykkresultantkraften dersom ventilene B og C er lukket. Størst påkjenning på konsollen gir tverrkontraksjonskreftene når alle ventilene er åpne og koblingene B og C ikke er strekkfaste.

$$53) \quad K_v = \frac{\nu * P * (SDR - 1) * (D_y^2 * D_i^2)}{4} * \sin \frac{\alpha}{2} * \text{ [kN]} \quad \text{Tverrkontraksjons kraft}$$

Hvor: ν = Poisson tall

P = Vannets trykk i røret [MPa]

SDR = Materialets trykk klasse

$\alpha = 90^\circ$ (Obs – om ikke avvinklingen er 90 grader, nyttes korrekt vinkel)

D_y = Utvendig diameter [m]

D_i = Innvendig diameter [m]

Montasjekrefter ved flenseskjøt

Denne spenningen er ut fra erfaring satt til $\sigma_m = 0,2$ MPa. Det antas at samme montasjespenning virker på både rørstreng A-C og B-D.

$$54) \quad K_m = \frac{\sigma_m * \pi (D_y^2 * D_i^2)}{2} * \sin \frac{\alpha}{2} * [kN] \quad \text{Montasje kraft ved flenseskjøt}$$

Hvor: σ_m = Materialspenning ved montasje [MPa]

$\alpha = 90^\circ$ (Obs – om ikke avvinklingen er 90 grader, nyttes korrekt vinkel)

D_y = Utvendig diameter [m]

D_i = Innvendig diameter [m]

$$55) \quad K_o = \frac{P * \pi (D_{1i}^2 * D_{2i}^2)}{2} * \sin \frac{\alpha}{2} * [kN] \quad \text{Montasje kraft dimensjonsovergang}$$

Hvor: P = Vannets trykk [MPa]

$\alpha = 90^\circ$ (Obs – om ikke avvinklingen er 90 grader, nyttes korrekt vinkel)

D_y = Utvendig diameter [m]

D_i = Innvendig diameter [m]

Dersom det benyttes dimensjonsovergang utenfor vannkum, må den forankres særskilt i egen forankringsblokk eller lignende konstruksjon. Forankring av denne skal dokumenteres av prosjekterende.

Trykkstøt

Trykkstøt må beregnes særskilt i rørsystemer der dette kan være en utfordring. I utgangspunktet skal man benytte trykkstøtreduserende tiltak i pumpestasjoner og i forbindelse med manøvrering av kritiske ventiler med rask lukketid. For å få oversikt over størrelsen av trykkstøtkraften, er det vanlig å relatere denne til en viss andel (ω) av kraften fra driftstrykket.

$$56) \quad K_o = \frac{\omega * \pi * D_i^2}{2} * \sin \frac{\alpha}{2} * [kN] \quad \text{Trykkstøtkraft}$$

Hvor: ω = Andel av driftstrykket settes til 0,3 for overslagsberegninger

D_i = Innvendig diameter [m]

På bakgrunn av formelverk for å beregne kraftvirkning i sammenkoblingspunkt for armaturer, er det regnet ut verdier for ferdige styrkeklasser for prefabrikkerte betong vannkummer. De er:

Tabell 18 - Styrkeklasser for prefabrikkerte vannkummer med angivelse av dimensjonerende testlast

Største Nominelle Diameter ledning (mm)	Veiledende innvendig kumdiameter (mm)	Styrkeklasse (tonn)
100	1200 / 1400*	10
150	1200 / 1400*	15
200	1400 / 1600	25
150	1400 / 1600	30
300	2000	45
400	2400 / 1500 / 3000	65

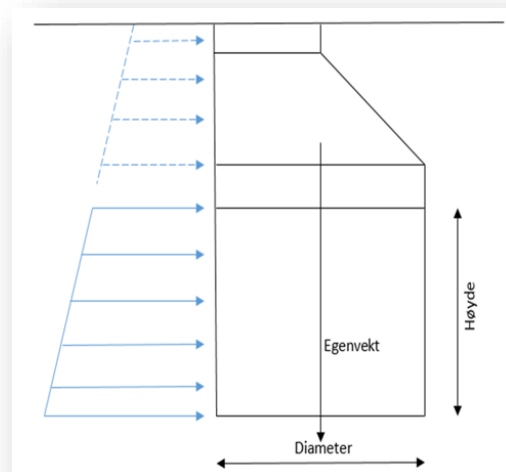
*Alle dimensjoner kan nyttes. Plass avgjør valget

Armaturet er satt fast i betongbunn som igjen virker sammen med betongkum vegg, og kumvegg skal i tillegg virke sammen med omkringliggende jord/ gravitasjonsmasser. Det er den prosjekterende som har ansvaret for å vurdere det passive jordtrykket som kan mobiliseres for å stabilisere kummen i

grunnen. Dersom det projiserte arealet av kummens bunnseksjon ($D \cdot H$) ikke er tilstrekkelig for å oppnå stabilitet, må den prosjekterende rådgiver angi ekstra sikringstiltak mot forskyving av kummen i

grunnen. Det er kun bunnseksjonens (NB! Ikke hele kumsøylen) utvendige diameter D_i og utvendige høyde H som skal anvendes i beregningen. Ved normale norske grunnforhold vil et passivt jordtrykk variere i området fra 10 tonn/m² til 20 tonn/m². Den aktuelle verdien skal alltid verifiseres av ansvarlig prosjekterende. Det skal utføres en meget god komprimering av massene i byggegropa mellom

kumvegg og uforstyrret jord, tilsvarende en komprimeringsgrad på minimum 95 % standard proctor. Trykkprøving må ikke finne sted før kummen er fullstendig omfylt med komprimerte masser helt til topp kjegle. I vedlegg 12, er det gjengitt veiledende verdier for nødvendig effektiv høyde for ulike diameter bunnseksjoner og for standard betongkummer basert på passive jordtrykk tilsvarende verdiene 10 tonn/m², 15 tonn/m² og 20 tonn/m². Det er og antatt en friksjonskraft mellom kummens bunn og underliggende jord på 0,4.



Figur 59 - Statikk vannkum mot jord

4.9 Vannledningsnett – Fordelingsnett - Nettanalyser

For å kunne planlegge framtidige ledningsarbeider teknisk og økonomisk optimalt, må man vite hvor nettet har kapasitetsreserver, hvor trykktapene er, hvordan nettet reagerer på nye prosjekterte tiltak osv. Videre er det viktig å vite hvordan nettet reagerer i ulike situasjoner, som for eksempel ved maksimale vannbehov, brannvannsuttak, avstengninger pga. spyling av nettet, brudd på ledninger eller pumpehavari. Utbygning eller forsterkning av eksisterende ledningsnett kan være aktuelt bl.a. på grunn av økende folkemengde, ved fortettinger i eksisterende bebyggelse eller nye utbyggingsområder. Det kan oppstå nye store punktbelastninger som ny industri, kjøpesentre, nye sykehjem eller andre offentlige institusjoner eller nye innmatningspunkter fra nye kilder eller nye reservevannkilder. For øvrig kan vurderinger ift. minkende kapasitet i nettet på grunn av aldrende ledninger med framskreden korrosjon eller mindre effekt av eldre pumper etc. være kritisk. For å få gode svar på denne typer utfordringer er det behov nettanalyser. Fullstendige nettanalyser må utføres på datamaskiner. Det er ikke mulig pga. ledningsnettets kompleksitet å få til gode nok analyser med manuelle beregninger. I en analyse av ledningsnettet må det gjøres idealiseringer og forenklinger. Dette består bl.a. i:

- ledninger med små diametere og grenledninger som ikke betyr noe særlig for trykket i hovedsystemet kan utelukkes.
- knutepunkter (*engelsk: node*) legges der to eller flere ledninger møtes
- knutepunkter legges der ledningen forandrer diameter, materiale, alder, eller ved andre forhold som endrer den hydrauliske kapasiteten.
- Knutepunkter legges ved pumpestasjoner, ventiler som påvirker trykksituasjonen, høydebassenger, kilder, store uttapninger o.l.

Det forutsettes at normale mindre uttak langs en ledning mellom to knutepunkter bare skjer i knutepunktene. Denne forenklingen betyr normalt svært lite for de beregnede trykkene.

Beregning av flere ledninger.

Kirchhoffs lover eller Kirchoff's regler er egentlig regler for konservering av elektrisk ladning og elektrisk energi i strømkretser. De brukes for å finne forhold mellom strøm og spenning i slike kretser, og er derfor sentrale i elektroteknikk. Reglene kan og direkteoverføres til å beskrive mengde vann i forhold til trykket.

$$57) \quad \sum Q_i = 0 \quad \text{Kirchoffs 1. lov}$$

Summen av alle vannføringer inn til et knutepunkt er lik summen av alle vannføringer ut fra knutepunktet.

$$58) \quad \sum H_i = 0 \quad \text{Kirchoffs 2. lov}$$

Summen av alle enkeltledningenes trykktap rundt i en ledningsnettsløyfe, regnet med fortegnet (+) med urviseren og fortegnet (-) mot urviseren, skal være null.

Hardy Cross metoden

Den klassiske analysemetoden, som gir en fin pedagogisk innsikt i kompleksiteten ved det å beregne vannføringer i alle ledninger slik at Kirchoffs ligninger stemmer, kalles Hardy-Cross-metoden.

Denne metoden kan brukes både til manuelle beregninger og som beregningskjerne i et dataprogram.

Det er i praksis umulig å beregne vannføringene og trykkene direkte, så man må bruke en iterasjonsmetode inntil man har fått en så liten feil i trykkene at iterasjonsberegningene kan stoppe.

Falltap i en ledning kan beregnes ut fra Darcy-Weisbach (*ligning 24*) i kombinasjon med:

$$59) \quad h_f = r * Q^2 [m] \quad \text{Falltap i en ledning}$$

Hvor: $Q = \text{Vannføring [m}^3/\text{s]}$

$r = \text{rørkonstant – gitt i ligning 61)}$

$$60) \quad r = \frac{L * f}{12,1 * D^5} \quad \text{Rørkonstant } r - \text{Hardy Cross}$$

Hvor: $L = \text{Lengden på ledningen}$

$f = \text{Friksjonskoeffisienten i Darcy Weisbach ligningen}$

$D = \text{Diameter på ledningen}$

$g = \text{Gravitasjonskonstant}$

Beregningsmetodikken kombinerer ligning 58) og 59) og beregner ved hjelp av iterasjonsmetoder frem trykkehøyde på vannet i hvert enkelt knutepunkt. Starten går på å anta vannmengde i alle ledninger. Ligning 58) er oppfylt. Ligning 59) er da ikke oppfylt, og det er nødvendig med flere gjennomganger og korreksjonsberegninger for å få ned feilmarginen.

I praksis vil det være uhensiktsmessig å gjøre denne type beregninger. Det vil med stor sannsynlighet være fordelaktig å måle spesifikt hvilke mengder og trykk som faktisk er ved ulike knutepunkt, og derigjennom få god oversikt over nettets tilstand. Dette kan gjøres med portable målere som kan nyttes over enkelte perioder, og flyttes rundt for å skaffe oversikten

4.10 Høyde- Utjevning- og drikkevanns -basseng

Høydebassenger eller drikkevannsreservoar, har flere funksjoner. Hovedsakelig utjevner de trykk i ledningsnett og benyttes både for å ha reservevann og brannvann tilgjengelig. Høydebasseng kan og nyttes for å utjevne forbruk over lengre tidsaspekter. Aspekter som er viktige å forholde seg til ved planlegging og utførelse av drikkevannsbassenger er:

- Riktig volum
- Riktig plassering ift. trykk og selvfall. (*Bruk av pumper er energikrevende*)
- Innløpets utforming for å sikre at alt vannet har lik oppholdstid
- Terrorsikring av luftesystemer og øvrig tilgjengelighet.
- Godkjente materialer i kontakt med vannet

Som tidligere nevnt varierer forbruket over døgnet mye fra time til time. Ved å legge inn nødvendig utjevningvolum i et basseng på overføringssystemet (gjennomstrømningsbasseng eller sidebasseng), er det mulig å unngå å måtte oppdimensjonere ledninger og pumpestasjoner for det høyeste timeforbruket. Et basseng dimensjoneres da slik at bassenget fylles opp når forbruket er lite (vanligvis om natten), og volumet forbrukes når forbruket er høyt.

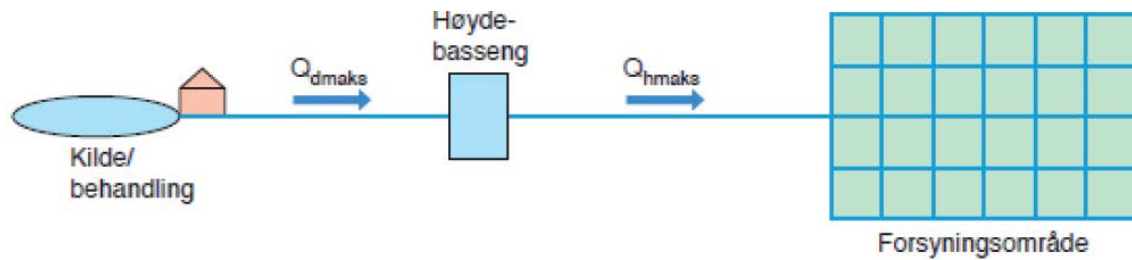
Normalt bygges høydebassenger enten som prefabrikkerte betong eller glassfiberbassenger, eller plass støpes i betong. Enkelte drikkevannsbasseng har vært sprengt inn i fjell, men de har vist seg å være utfordrende å drifte, da fjell ofte har lekkasje både ut og inn, og drikkevannskvaliteten fort kan bli forringet samt de er utfordrende å gjøre rene.

Figur 60 - Drikkevanns eller høydebasseng (Norsk Vann)

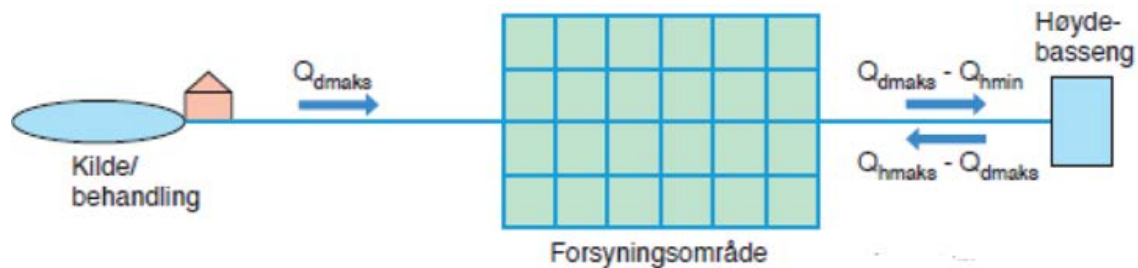


Det bygges hovedsakelig 3 hoved typer drikkevannsbasseng. De er:

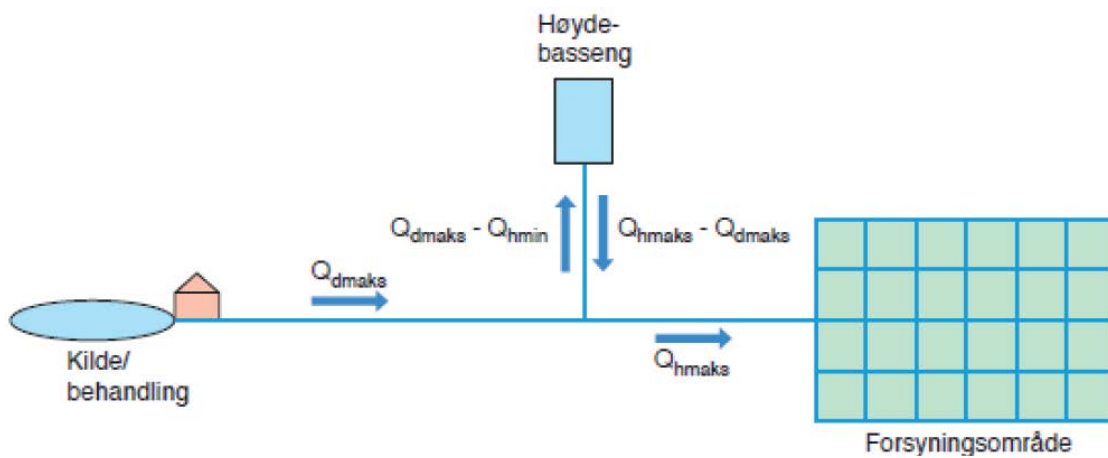
Figur 61 - Gjennomstrømningsbasseng, plasseres på overføringsledning. (Norsk Vann rapport 193, 2012)



Figur 62 – Motbasseng, Ligger ofte på "andre" siden av forsyningsstedet (Norsk Vann rapport 193, 2012)



Figur 63 - Sidebasseng, som og kan fungere som gjennomstrømningsbasseng (Norsk Vann rapport 193, 2012)



Dimensjonerende vannmengder for de ulike ledningene vil være iht. figur 56, 57 og 58:

61) $Q_{d maks} = \text{Største døgnsforbruk}$

62) $Q_{h maks} = \text{Største timeforbruk}$

63) $Q_{h min} = \text{Minste timeforbruk}$

Ved planlegging ønsker mange kommuner på bakgrunn av erfaringer å kun nytte midlere vannforbruk inn til drikkevannsbasseng, i stedet for døgnmaks, da det er store besparelser ved å gå ned på bassengstørrelsen. Da må det vurderes hvilke andre systemer som er tilgjengelig til f.eks. brannvann.

4.10.1 Beregning av volum

Det er hodesaklig 3 volumer som må beregnes.

$$64) \quad M_u = 20\% - 35\% \text{ av } Q_{dim}^{HB} \quad \textit{Utjevningsvolum (VA-Blad nr 122, 2017)}$$

Hvor: $M_u = 0,35 * Q_{dim}^{HB}$ for maks døgnforbruk mindre enn 1000 m³

$M_u = 0,25 * Q_{dim}^{HB}$ for maks døgnforbruk 1000 m³ – 4000 m³

$M_u = 0,20 * Q_{dim}^{HB}$ for maks døgnforbruk mer enn 4000 m³

$$65) \quad M_s = Q_{dim}^{HB} * (7 \text{ til } 48) \text{ timer} \quad \textit{Sikkerhetsvolum (VA-Blad nr 122, 2017)}$$

$$66) \quad Q_{BR} = 20 \frac{l}{s} \text{ eller } 50 \frac{l}{s} \text{ i } 2 \text{ til } 4 \text{ timer} \quad \textit{Brannvolum (VA-Blad nr 122, 2017)}$$

Hvor Som et utgangspunkt anbefales at brannvannsreserven settes til 200 m³ - 400 m³ til forsyningsområder med 1000-5000 personer. For mindre forsyningsområder med liten brannspredningsfare kan en vurdere å sette brannvannsreserven lavere, men ikke under 50 m³. (VA-Blad nr 122, 2017). Dimensjonerende bassengvolum blir da:

$$67) \quad M_{tot} = M_u * M_s * M_{BR} \text{ [m}^3\text{]} \quad \textit{Totalvolum drikkevannsbasseng}$$

Utforming av innløpsledning har som nevnt stor betydning for vannets kvalitet over tid. Det er viktig fordi strålen fra innløpsrøret får nok energi i vertikal retning til blande seg med vannet i bassenget. Strålen er avhengig av bassengets geometri ift. hvordan den skal virke. Normalt er strålen blitt så «erodert» etter $L = 6 * d_u$ opprinnelig strålediameter at vannhastigheten i strålens sentrum er redusert. Hastigheten i sentrum av strålen kan regnes etter følgende formel:

$$68) \quad u_m = \frac{6,4 * d_u * u_o}{L} \text{ [m/s]} \quad \textit{Hastighet innløpsstrålen i basseng}$$

Hvor: d_u = Innløpsstrålens diameter (innløpsrørets diameter) [m]

u_o = Utløpshastigheten [m/s]

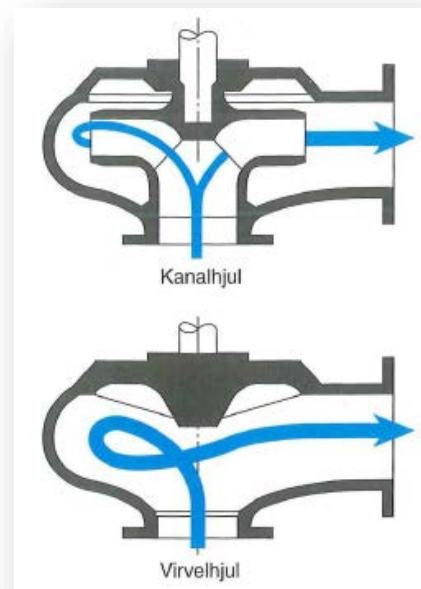
L = Avstand fra utløp [m]

Det anbefales en utløpshastighet 1,0 m/s eller at senterlinjehastigheten er 0,1 m/s etter $d_u/2$

4.11 Trykk økning og kapasitets økning –Pumper

Vann og avløp

Norge er et land med særdeles store høydeforskjeller over korte avstander. Ved dimensjonering og design av pumper er det en del essensielle elementer som må hensyntas. Trykkvariasjoner nedstrøms og oppstrøms pumpen påvirker pumpet vannmengde og virkningsgrad kraftig. Dersom det er behov for en meget stor trykkøkning i en pumpe, kan man velge en pumpe med flere sammenkoblede løpehjul i serie. På en overføringsledning kan det være behov for flere pumpestasjoner for å få nok vann uten at det blir undertrykk noe sted på ledningsnett. Videre er det ofte behov for flere pumpestasjoner i et distribusjonsnett for å skaffe nok trykk i alle situasjoner, og for f.eks. å kunne fylle et høydebasseng. Sentrifugalpumper er den mest brukte pumpetypen. I en sentrifugalpumpe transporteres væsker ved hjelp av rotasjonsenergi som vanligvis dannes av en motor eller en elektrisk motor. Den andre hovedpumpetypen er pumper med positiv fortregning. I pumper med positiv fortregning avhenger strømmingen av pumpens hastighet. Disse pumpene er ofte bedre egnet til å pumpe tykkere væsker enn vann.



Figur 64 - Sentrifugalpumpe
(H.Ødegaard(red), 2012, VA Teknikk)

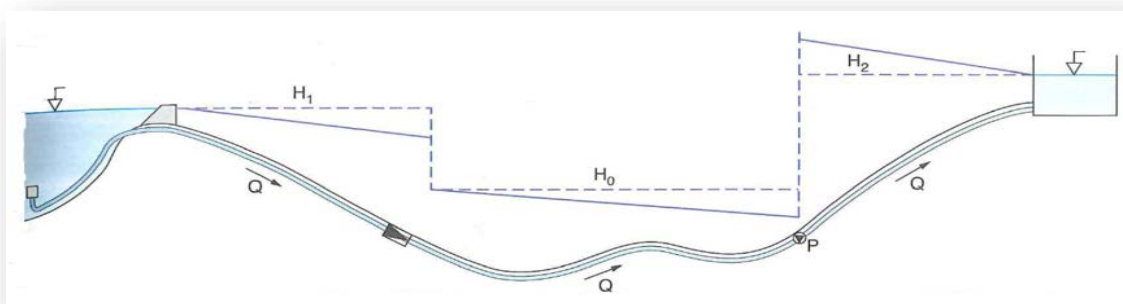
De øvrige vanligste pumpene.

- Endesugepumper er de mest brukte sentrifugalpumpene på tvers av alle bransjer. De kalles endesugepumper fordi sugepunktet er på enden. Endesugepumper kan deles inn i to grupper: små endsugepumper brukes til trykksystemer i boliger, og store endesugepumper brukes til vanning, vannforsyning og industrielle prosesser.
- Inline-pumper karakteriseres ved at suging og utslipp er i tråd med hverandre – derav navnet. Inline-pumper brukes ofte som sirkulasjonspumper når vann som strømmer gjennom et rørsystem, må trykkes. Inline-pumper brukes vanligvis til varmtvannssirkulasjon eller nedkjølte systemer i næringsbygg. Som navnet antyder er nedsenkbare pumper utformet for å fungere med hele pumpen og motor nedsenket i vann. Nedsenkbare pumper brukes til både boliger, kommersielle og industrielle bruksområder, og de har evnen til å pumpe faste stoffer

samt en rekke væsker. En flertrinnspumpe består av en rekke enkelttrinn til en sentrifugalpumpe montert på en vanlig aksel.

- Flertrinns-pumper er ideelle for nedsenkbare borehull og for å øke eller overføre vann i områder der det er store høydevariasjoner. Sammenlignet med standard sentrifugalpumpe har jetpumper en jet og en venturi. Når vann passerer gjennom jeten, øker hastigheten og trykket synker, noe som skaper en sugeeffekt.
- Selv om dette er en optimal løsning for sugehøyde på opptil 6 meter, kan jetpumper lage mye støy. Jetpumper brukes vanligvis i bruksområder til boliger, som trykkøkning og hagevanning, eller i mindre næringsbruksområder. Deretter har vi delvis nedsenkbare pumper. I motsetning til nedsenkbare pumper er det bare pumpen som er nedsenket i væske i en delvis nedsenkbar pumpe, mens motoren er luftkjølt.
- Delvis nedsenkbare pumper er godt egnet til industrielle bruksområder som maskinbearbeiding, vaskesystemer og temperaturstyring. Så har vi doseringspumper. Doseringspumper er bygget for å levere en bestemt mengde av et stoff ved uregelmessige intervaller.
- Positiv fortregning. Det finnes tre forskjellige typer pumpemekanismer i doseringspumper – plungerpumper, stempelpumper og membranpumper. Dette er pumper med positiv fortregning. Doseringspumper brukes ofte i industrielle vannbehandlingsprosesser som krever kjemisk dosering, som blandesløyfeløsninger.
- Pumper med delt pumpehus. De ligner på endesugepumper, men pumper med delt pumpehus har fôring, sugedyse og utslippsdyse i ett og samme kammer. Videre er fôringsdesignet bygget på en måte som gjør pumper med delt pumpehus ideelle for bruksområder med høye vannstrømningskrav.

Figur 65 - Behov for pumpe i ledningsnett - vannforsyning



Pumpetypen som vanligvis brukes innen overføring og distribusjon er sentrifugalpumper. Følgende elementer og installasjoner bør finnes i en pumpestasjon for drikkevann:

- Tilbakeslagsventiler. Hvis det er fare for at pumpen kan tømmes for vann når den er ute av drift, må tilbakeslagsventilen plasseres på sugesiden av pumpen.
- Utstyr for trykkstøtdemping:
- Vindkjel/trykktank
- Svingmasse/svinghjul på pumpeaksel
- Sikkerhetsventil
- Frekvensomformer for å kunne turtallsstyre pumpene
- Vannmåler
- Trykkmålere foran og bak pumpen
- Stengeventiler foran og bak alle installasjoner som må kunne løftes ut for reparasjon
- Nødstrømaggregat i viktige pumpestasjoner
- Utstyr for turtallsregulering/frekvensomformer
- Motorkontroll/elektrisk utrustning
- Styrings- og kommunikasjonssystemer (PLS)
- Alarm og sikkerhetsutstyr
- Eventuelt omløp rundt pumpen (en bypass som forbinder inngående og utgående ledning kan være nyttig, trykket på sugesiden vil da forplante seg gjennom stasjonen).

Andre krav til pumpestasjoner kan være:

- Pumpeutrustningen skal dimensjoneres for det maksimale forbruket i planperioden
- Høydebassengs innvirkning skal tas hensyn til
- Antall pumper bør bestemmes slik at den dimensjonerende vannføringen kan leveres med en pumpe ute av drift
- Ved pumping mot høydebasseng skal pumpene kunne styres av nivåsensorer i bassenget
- Pumpestasjonen må ikke avgi sjenerende støy for nabolaget og tilfredsstillende støykravene til et forsvarlig arbeidsmiljø
- For små områder kan brannvann være dimensjonerende, og det vil ofte da være hensiktsmessig med en egen brannpumpe installert

Det er ofte vanlig å ha flere pumper i en pumpestasjon. Dette er nyttig bl.a. som en sikkerhet hvis en pumpe skulle svikte. Av hensyn til slitasje, er alternerende drift viktig. Ved å ha flere pumper med ulik kapasitet, kan man lettere tilpasse behovet til et optimalt valg av pumper. Dette vil gi en bedre virkningsgrad og dermed lavere energiutgifter.

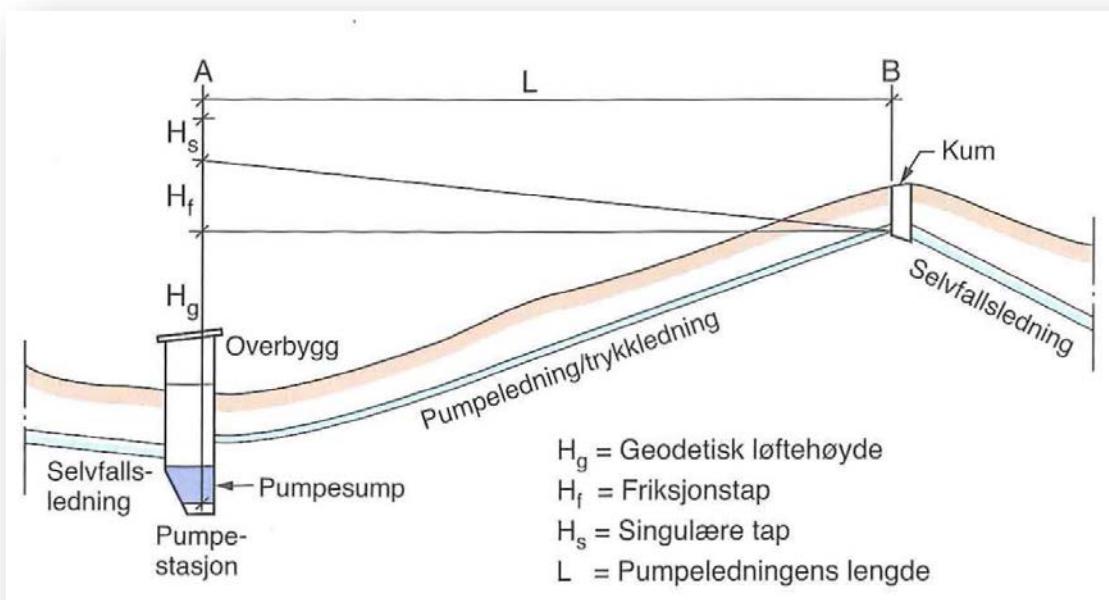
Viktige kriterier ved valg av pumpe kan f.eks. være:

- At pumpe gir nødvendig løftehøyde og vannføring
- At pumpe eller pumpene har maksimal virkningsgrad i nærheten av driftspunktet
- Mulighet for frekvensregulering
- Driftssikkerhet
- Materialvalg
- Innkjøpspris.



Figur 66 - Trykkøkning med frekvensstyring 3 pumper (Xylem AS)

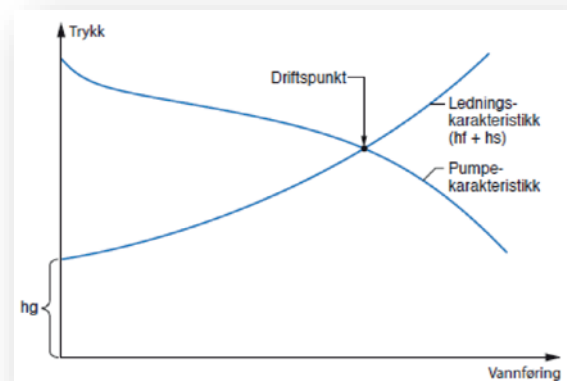
4.11.1 Dimensjonering av pumper



Figur 67 - Illustrasjon av trykkhøyder avløpspumpe

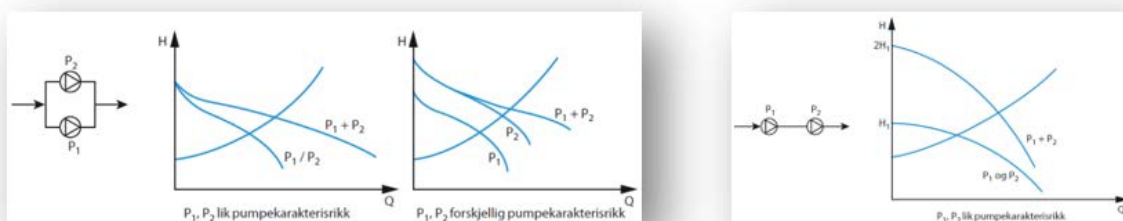
Pumpehuset og løpehjulet i sentrifugalpumper må være fylt med vann for å kunne virke. En såkalt selvsugende pumpe kan, til en viss grad, suge opp vannet selv om det er noe luft i sugeledningen. Den er imidlertid avhengig av at det finnes vann i selve løpehjulet. Dersom det kan være fare for at vannet i pumpehuset kan tømmes, f.eks. hvis vannforekomsten eller bassenget det pumpes fra ligger lavere enn pumpen (bør unngås), må det finnes utstyr for å fylle pumpehuset. Dette kan være en vakuumpumpe koblet til sugeledningen, som medfører at vannet kan suges opp i pumpen når dette er nødvendig. En pumpekarakteristikk viser pumpens løftehøyde (H) som funksjon av vannmengden (Q) ved en konstant effekt tilført løpehjulet. Løftehøyden avtar med økende vannmengde. I tillegg til løftehøyde (H), er det vanlig at pumpe-diagrammer også viser virkningsgraden (η) og effektbehovet (P) som funksjon av vannmengden (Q), samt tillatt sugehøyde. Pumpe-stasjonens driftspunkt finnes ved å sette opp pumpekurven og ledningskarakteristikken i et Q - H diagram som vist i figur 68. Pumpenes driftspunkt er skjæringspunktet mellom de to kurvene som vist i figuren.

Er det flere pumper i en pumpe-stasjon, kan de koples i parallell eller i serie. Parallellkopling gir økt kapasitet, mens seriekopling gir økt trykk. Figurene nedenfor viser de prinsipielle forskjellene. Parallellkopling gir økt vannmengde og de enkelte pumpenes karakteristikk (vannføring) legges sammen horisontalt. Seriekopling gir økt trykk; og de enkelte pumpenes karakteristikk (trykkbidrag) legges da sammen vertikalt.



Figur 68 - Driftspunkt for Pumpe Q - H Diagram (Norsk Vann Rapport 193, 2012)

Figur 69 - Parallell og seriekobling av pumper (Norsk Vann, rapport 193, 2012)



Ved dimensjonering av pumper er pumpenes virkningsgrad η viktig å ta hensyn til.

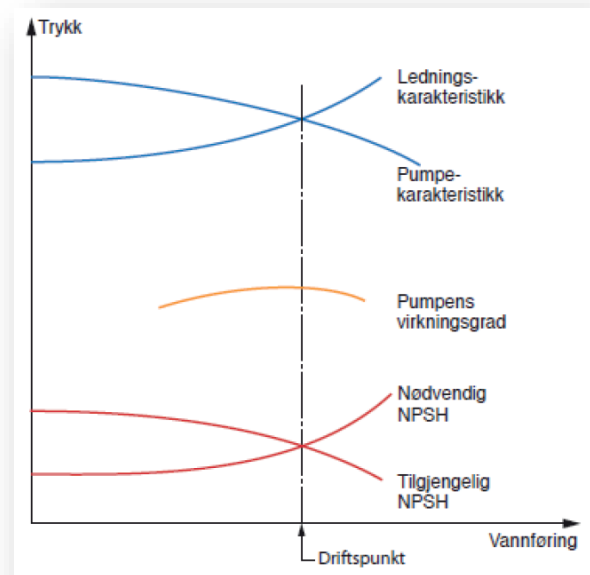
Driftspunktet (der ledningskarakteristikken og pumpekararakteristikken krysser hverandre) bør ligge der pumpene har best virkningsgrad.

Figur 70 viser at ledningskarakteristikken krysser pumpekararakteristikken innenfor pumpas beste virkningsgradområde, noe som gir god driftsøkonomi. Ved valg av pumper må det tilstrebes å velge pumper med høyest mulig virkningsgrad. Det kan være vanskelig å få balansert en pumpes kapasitet (evt. flere pumper) med variasjonen i vannforbruk, hvis stasjonen er installert på en overføringsledning og pumpene ikke styres av nivået i et basseng. Pumpen(e) kan da

turtalls reguleres og styres av innlagt trykkurve eller vannmengde, eventuelt pumpe mot strupete ventiler (dårlig løsning pga. dårlig virkningsgrad og energiforbruk).

På sugesiden og inne i selve pumpen er det ofte lavt trykk, og man kan derfor risikere at det oppstår dampblærer i vannet. Når dampblærene kommer over på pumpens trykkside, stiger imidlertid trykket meget raskt, og dampblærene vil klappe sammen, dvs. implodere. Dette kan skade pumpen og kalles kavitasjon. For å unngå kavitasjon må trykket på sugesiden av pumpen være større enn en bestemt verdi på NPSH. *NPSH = Net Positive Suction Head*. NPSH-kurver viser tilgjengelig NPSH ved ulike vannføringer i pumpe og minstekravet til NPSH for å hindre kavitasjon i pumpe. NPSH kurven angir hvilket minimum absolute vanntrykk som må være på innløpsstussen av pumpen uten at det skal oppstå kavitasjon. NPSH-verdien til en pumpe vil avhenge av vannføringen som pumpes. Figur 70 viser en prinsippskisse for en pumpekararakteristikk og en ledningskarakteristikk i et pumpesystem. NPSH-kurvene er de to nederste kurvene. Den ene viser tilgjengelig NPSH ved ulike vannføringer i pumpe og den andre viser minstekravet til NPSH for å hindre kavitasjon i pumpe.

Hver enkelt pumpe har sin egen pumpekararakteristikk. Denne oppgis av produsenten. En ledningskarakteristikk uttrykker den totale nødvendige trykkehøyden som funksjon av vannføringen i en pumpe. Ledningskarakteristikken er spesifikk for den aktuelle ledningen, og fremstilles vanligvis i et QH-diagram. Ledningskarakteristikken finnes ved å beregne total trykkehøyde (HT) ved aktuelle vannføringer (Q).



Figur 70 - Pumpeskjema alle verdier Q-H diagram (Norsk Vann rapport 193, 2012)

Total trykkehøyde vil være en sum av statisk løftehøyde (h_g), friksjonstap (h_f) og singulærtap (h_s):

$$69) \quad H_T = h_g + h_f + h_s \text{ [m]} \quad \text{Total løftehøyde for pumpe}$$

Hvor: h_g = Geodetisk løftehøyde [m]

h_f = Friksjonstap [m]

h_s = Singulærtap [m]

Friksjonstapet beregnes ved hjelp av Darcy-Weisbachs ligning. Singulærtapene må inkludere alle tap i f.eks. vannmålere, bend og ventiler. Siden friksjonstapet øker med økende vannføring, vil ledningskarakteristikken være stigende (dvs. motsatt av pumpekarakteristikken).

Virkningsgraden (η) til en pumpe er forholdet mellom pumpens avgitte og tilførte effekt:

$$70) \quad \eta = \frac{P_{ut}}{P_{inn}} \text{ [Dimensjonsløs]} \quad \text{Pumpens Virkningsgrad}$$

Hvor: P_{ut} = Trykk ut [mVs, kPa, etc]

P_{inn} = Trykk inn [mVs, kPa, etc]

Effektbehovet til en pumpe kan skrives som:

$$71) \quad P_{effekt} = \frac{q_{pumpe} * H_T}{102 * \eta} \text{ [kW]} \quad \text{Effektbehov pumpe}$$

Hvor: q_{pumpe} = Vannføring [l/s]

H_T = Total løftehøyde [m]

η = Virkningsgrad

4.11.2 Trykkstøt

Raske trykkendringer på en overføringsledning eller i et fordelingsnett kan gi trykksvingninger som resulterer i høyere eller lavere trykk enn det systemet tåler, eller føre til uønskede driftssituasjoner.

Trykkstøt kan også føre til materialtretthet. Typiske eksempler på hva som kan resultere i slike uønskede trykkendringer er start/stopp av pumper, ventillukking/åpning, rørbrudd, strømbrydd hvor pumper eller motorstyrte ventiler faller ut etc.

Avgjørende for størrelsen på trykksvingningene er

- hvor rask endringen av vannhastigheten i røret er
- trykkbølgens forplantningshastighet i røret
- lengden på røret

Fullt utviklet trykkendring beregnes av følgende formel:

$$72) \quad \Delta H = a \cdot (v_1 - v_2) / g \text{ [m]} \quad \textit{Trykkendring trykkstøt}$$

Hvor: ΔH = trykkendring [mVs]
 a = trykkbølgens forplantningshastighet [m/s]
 $v_1 - v_2$ = endring i vannhastighet [m/s]
 g = gravitasjonskonstanten [m/s²]

Trykkbølgens forplantningshastighet beregnes etter følgende formel:

$$73) \quad v_t = \sqrt{\frac{g}{\gamma \left(\frac{1}{E_v} + \frac{D_i}{e \cdot E_r} \right)}} \text{ [m/s]} \quad \textit{Trykkbølgens forplantningshastighet}$$

Hvor E_v = vannets elastitetsmodul [N/m²] = $2,3 \cdot 10^9$ N/m² = $2,3 \cdot 10^8$ kp/m²
 E_r = rørmaterialets elastisitetsmodul [N/m²]
 γ = veskens spesifikke vekt [vann: 10^3 kp/m³ = 10^4 N/m³]
 D_i = innvendig rørdiameter [m]
 e = tykkelse på rørveggen (m)

Rørmaterialets E-modul oppgis av rørprodusentene. Noen eksempler er vist nedenfor:'

- | | | | |
|--------|------------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| • PVC | $3 \cdot 10^9$ N/m ² | • PE100 | $1 \cdot 10^9$ N/m ² |
| • PP | $1,25 \cdot 10^9$ N/m ² | • Stål | $2,2 \cdot 10^{11}$ N/m ² |
| • PE80 | $0,8 \cdot 10^9$ N/m ² | • Dukt. Stj. | $1,7 \cdot 10^{11}$ N/m ² |

Tiltak ved utfall av pumper (ved strømstans) kan være:

- Svingmasse/svinghjul på pumpeakselen for å hindre rask stopp av pumpene
- Installere trykktank som demper trykkstøt og trykkfall
- Sikkerhetsventil som hindrer for høyt eller for lavt trykk

Andre tiltak som må vurderes, men som er avhengig av strømtilførsel, er:

- Frekvensomformere
- Kontrollert ventilstengning i pumpestasjon før pumpene stoppes
- Lang lukketid på motorstyrte ventiler på nettet
- Motorstyrte lufteventiler i høybrekk

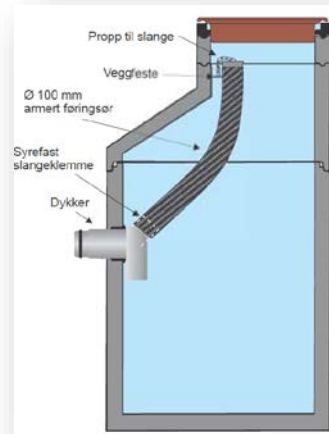
5 SPILLVANN, AVLØP og OVERVANN

Avløpsvann og spillvann blir samlet opp fra husholdning, gater og veier. Oppsamlingssystemet består av stikkledninger fra hus og bygninger samt de lokale gateledninger. Gateledningen består av ledninger og kummer. Stikkledninger samler opp spillvann fra husinstallasjoner, WC, vaskemaskin, kjøkken etc., og overvann fra tak, gårdsplass og plen, og drensvann fra husdreneringen samt overvann og drensvann fra kjørearealer og biloppstillingsplasser. I veier, gater, plasser, grøfter etc. plasseres sluk og inntak for å samle overvannet. Overvannet passerer ofte et sandfang (Figur 72) før det ledes til avløpssystemet.

Minimum fall på stikkledninger fra bolig er 15-20 promille. I fellessystemet fører stikkledningen både spillvann, takvann og drensvann i samme ledning, og blandes i en utvendig drenskum. I torørs separatsystemet føres spillvannet fra bolig i egen stikkledning direkte til spillvannsledningen i gata, mens takvann og drensvann kobles sammen i en utvendig drenskum før videre transport. I Norge har det vært tradisjon for å bygge avløpsnett hvor man samler alt vann fra husholdningen sammen med takrennedløp og dreneringsvann fra uteområder i en ledning. Det ble vurdert slik at den økede mengden vann i ledningen pga. regn og snesmeltning medførte forbedret rensing av ledningen og skyllet bort partikler og urenheter. Etter hvert som utbygging er knyttet til det samme ledningsnettet, samtidig som nedbørmengder er endret til mer intense mengder, har det etablerte nettet blitt for lite og som en følge av det, har det oppstått kapasitetsproblemer. Kjeller oversvømmelser, flom med påfølgende skader



Figur 71 - Historisk system for fellesledninger



Figur 72 - Typisk Sandfangkum Ø1000 mm (Beisfjord Sementvarefabrikk AS)

både på infrastruktur og eiendommer er resultatet. Ved å erkjenne disse fakta måtte VA etater landet rundt, begynne å tenke annerledes. I løpet av 1980-tallet ble etter hvert nye anlegg stort sett lagt ned som separate ledninger med spillvann fra husholdningen i eget rør og overvann fra takrenne og drenering for seg. Likevel er ikke problemet blitt spesielt mindre da de nye ledningene som blir lagt, ofte ender opp i fellesledninger med kapasitetsproblemer.

5.1 Dimensjoneringskriterier trykløse systemer

Separatavløpssystem er et avløpssystem som har separate avledninger for spillvann og overvann. Fellesavløpssystem har et avløpsnett som transporterer både spillvann fra husholdninger, næringsliv, offentlige institusjoner, samt drensvann og overvann fra overflatene i samme ledning. Ved utbygning av nye områder skal separatsystemet velges. Det bør i tillegg tilstrebes å håndtere mest mulig av overvannet på overflatene med såkalte LOD-anlegg (*lokal overvannsdisponering*) slik at overvannsledningene kan sløyfes helt eller anvendes i minst mulig grad. Man bør dessuten koble bort overvann som allerede er koblet på fellesavløpssystemet slike som takrenne nedløp og sluker i gater og veier, der dette er hensiktsmessig. Kanskje spesielt søke om bekker o.l. er lagt i rør og koblet mot avløpsnettet. Videre bør man vurdere om det er riktig å separere eksisterende fellesavløpssystem etter en kortsiktig eller langsiktig plan. Avløpssystemet skal ha kapasitet til å transportere dimensjonerende vannføring. Systemet skal være selvrensende, blokkering skal ikke oppstå, og avløpssystemet skal være tett mot inn- og utlekking. Avløpsledningsnett og installasjoner skal utføres slik at forurensningslovens krav og gjeldende utslippstillatelser kan oppfylles. Ledninger skal ikke lekke forurensinger ut i utette skjøter og sprekker, og kummer skal være tette og ikke utformet slik at spillvann kan strømme over til overvannsledningen eller omvendt.

5.2 Dimensjonerende mengder spillvann og overvann

5.2.1 Spillvann fra husholdningsforbruk (Q_s)

Spillvann fra forbruk er forbruksvann som tilføres avløpsnettet fra husholdninger, næringsvirksomhet og offentlig virksomhet. Mengdene er de samme ut av husholdning og industri som de er inn ift. punkt 4.1.2 foran om vannmengdebehov. Settes dog ofte lik $200 \text{ l/pe}\cdot\text{d}$. Dimensjoneringskriterier må vurderes i hvert enkelt tilfelle..

5.2.2 Overvann tilført felles avløpsnettet (Q_{O-F})

Overvann tilført avløpsnettet fra fellesledninger. Strengt tatt er ikke overvann fra fellesledninger fremmedvann, da felles avløpsnett er bygget og dimensjonert for å håndtere både spillvann og overvann. Det er imidlertid blitt normalen at dette overvannet inngår i det utvidede begrepet fremmedvann. Argumentene for dette er at overvann uansett er uønsket på renseanleggene, at fellesledninger ofte renner inn i områder med separatsystem og at hovedandelen av fellesledningene uansett bør separeres i løpet av en ikke alt for fjern framtid. Det er imidlertid et poeng å skille mellom denne typen «fremmedvann» og annet fremmedvann.

5.2.3 Lekkasjevann som belaster avløpsnett (innlekking) ($Q_{\text{lekk-innlekk}}$)

Lekkasjevann som belaster avløpsnett er den delen av lekkasjevannet som lekker ut fra vannledningsnett og deretter lekker inn på avløpsnett. Et forhold, som er spesielt for Norge, er det betydelige vanntapet fra vannledningene. Man regner at ca 200 l/pe*d forsvinner i grunnen på veien til forbrukerne (*Ødegaard(Red), 2012, VA-Teknikk*). Målinger tyder på at 50 % av utlekket vann tilføres avløpsledninger som ligger i samme grøft som vannledningene. Infiltrasjon og innlekking på avløpsnett varierer sterkt fra område til område, og bør vurderes særskilt aller helst ved målinger. Forenklet anslag vil da bety innlekking av lekkasjevann på rundt 100 l/pe*d.

5.2.4 Øvrig fremmedvann tilført avløpsnett (Q_{fremmed})

Øvrig fremmedvann tilført avløpsnett vil typisk være innlekking av grunnvann via utettheter i ledninger og kummer (offentlige og private), overvann tilført via taknedløp eller drens-systemet, bekkeinntak, overløp felleskummer (SP og OV i samme kum) og feilkoblinger. Alt vann som tilføres avløpsnett/ avløpsrensaneanleggene som ikke er spillvann, kan defineres som fremmedvann. Infiltrasjons- og lekkasjevannmengden til et eksisterende avløpsnett avhenger av avløpsnettets tilstand, grunnens permeabilitet og grunnvannsnivået. Ved sterk nedbør stiger gjerne grunnvannsnivået. Dette kan medføre en kraftig økning av infiltrasjonen. Derfor må det foretas målinger av tilløpet dersom et eldre fellessystem skal tilknyttes et nytt separatsystem nedstrøms fellessystemet. For overslagsberegninger er det i det følgende angitt verdier som gjennomsnittstall. Ved ellers like betingelser, vil infiltrasjonsvannmengden være avhengig av ledningslengde og ledningsdiameter. Normalt angis infiltrasjonsvannmengder som vannmengde pr. km ledningslengde. Dersom det ikke foreligger tilstrekkelig data for ledningsnett, kan infiltrasjonsvannmengden beregnes på grunnlag av rensedistriktets befolkning. For nye ledninger bør man ikke forutsette lavere infiltrasjonsvannmengde enn 0,2 l/s pr. km ledning dersom man ikke har målinger som viser at infiltrasjonen er mindre. Normalt tilsvarende denne infiltrasjonen ca. 100 l/p·d. Ved eldre ledningsnett varierer infiltrasjonsvannmengdene mye. Det er ikke uvanlig at den kan komme opp i 1,0 l/s pr. km ledningslengde eller tilsvarende ca. 500 l/p·d. Dersom det ikke foreligger målinger, bør det ikke velges verdier under 0,4 l/s pr. km. ledningslengde. Normalt tilsvarende dette ca. 200 - 300 l/p·d, avhengig av urbaniseringsgrad. (*Ødegaard(Red), 2012, VA-Teknikk*). På grunn av de store vanskelighetene med å beregne infiltrasjonsvannmengde, anbefales det at målinger utføres. Bruk av kontinuerlige målere for måling av vannføring i avløpsrør er mest hensiktsmessig. Også enkle målinger gir bedre grunnlag enn gjetninger. Som eksempel på grove metoder for å måle infiltrasjonsvannmengder kan nevnes ”stikkprøvemålinger” av avrenningen nattetid. Når infiltrasjonen bare måles noen få ganger, er det viktig å være klar over at infiltrasjonen kan variere mye over året. Nedbørsavhengig innlekking er ikke mulig å beregne. Det må derfor gjøres observasjoner av vannføring i spillvannsledningen i samband

med nedbør. Den nedbøravhengige innlekkingen kan være meget stor, i størrelsesorden 3-30 ganger spillvannsavrenningen. Der hvor man har et driftsovervåkingssystem og data fra pumpestasjoner, bør man analysere data og benytte disse for dimensjonering av vannmengder.

5.2.5 Overvann fra husdrenering og takrennedløp

Husdrenering og takrenne nedløp tas ofte med i feltberegninger. I noen tilfeller kan det kanskje være aktuelt å se på mengder fra tak alene, for å vurdere denne mengden noe mer spesifikt. Fra tak er ofte privatboliger tilknyttet felles avløp. I Norge er boliger for det meste og frem til 89-90 tallet bygget etter ca 120 m² størrelse. Gjerne fordelt på 2 etasjer. Det medfører at de fleste hus har en grunnflate på rundt 60 m². Mengde overvann fra hver enkelt husholdning vil da fra en vurdering på 100 års returperiode og 5 minutters varighet, gitt en regnintensitet fra IVF kurve og den rasjonelle metoden (kap. 5.2.5) dimensjonerende mengde tilsvarende ca. $Q = \Phi A \cdot I = 0,75 \cdot 0,06 \cdot 150 \cdot (5 \cdot 60) = 0,025$ l/s fra boligen eller abonnenten.

Figur 73 - Takrennedløp og husdrenering



Mengde drenering fra boliger varierer. Det er mange gamle hus bygget før 1970 som ikke har laget egen drenering tilknyttet avløpsvannet. Drenering er ofte godt synlig ved at det utført med oppstikkende drenskum som ser ut som et flatt 40 cm rødt, rødbrunt eller sort plastlogg over en s.k. korrugert rørende. (se figur 73)

Mengde dreneringsvann er avhengig av grunnvannets tilstedeværelse og høyde ift. dreneringsledningens beliggenhet og lengde. Tilstrømmingen er og avhengig av hvilke masser og grunnforholdene generelt. I Svensk undersøkelse i 2004 (H. Ødegaard (red), 2012, VA Teknikk) angis orienterende mengder fra drening som :

Grunnforhold	Grunnvannet høyde	Drensvannmengde	q =
Sand og morene	0,5	$Q > 1000$ l/time *	0,28 l/s
Morene og	1,0	100 l/time **	0,03 l/s

5.2.6 Dimensjonerende mengder overvann, felt

Overvann oppstår når det kommer nedbør eller snø smelter. Overvannet renner av på overflatene på tak, veier og andre flater. Dette vannet kan håndteres lokalt, med infiltrasjon eller tilbakeholdelse i dammer lokalt, eller føres bort i avløpsledninger.

Den rasjonelle formel for beregning av overvannsavrenning er:

$$74) \quad Q = \Phi A \cdot I \text{ [l/s]}$$

hvor Q = Avrent vannføring fra feltet i liter pr. sekund (liter / sekund)

Φ = Forholdet mellom avrent nedbør på overflaten og nedbørmengde

A = Området innenfor vannskillene for feltet (ha)

I = Nedbørintensitet (l/s*ha) iht. IVF kurve

1 ha = 10 000 m².

Den rasjonale formel egner seg best ved grove overslagsberegninger og for mindre områder under 50 hektar (ha). Ved dimensjoneringen ønsker man å finne maksimal overvannsføring og vi setter varigheten for regnskyllent lik konsentrasjonstiden t_k for nedbørsfeltet. Det vil si at i regnintensitetskurver (IVF-kurver) setter man: $t_k = t_r$, der t_r = regnvarigheten i minutter. I enkelte felt kan det forekomme at dimensjonerende regnvarighet blir kortere enn konsentrasjonstiden.

Avrenningskoeffisienten Φ

Avrenningskoeffisienten Φ angir forholdet mellom avrenningen fra et område og nedbøren over samme område. Avrenningskoeffisienten benyttes mye for å beskrive volum- og spissavrenningen både fra store avløpsfelt (km²), urbane felt (ha), og små flater som tak og parkeringsplasser. Volumavrenningskoeffisienten Φ_{vol} angir forholdet mellom avrent vannvolum og tilhørende nedbørvolum. Spissavrenningskoeffisienten Φ_{spiss} angir forholdet mellom maksimalt avløp fra et område og midlere regnintensitet over området.

Avrenningskoeffisienten er avhengig av overflatens permeabilitet og beskaffenhet, fall forhold, nedbørintensitet og nedbørsvarighet. I håndbøker finnes detaljerte opplysninger om verdier for avrenningskoeffisienter for forskjellige flater. I tabell 19 angis det noen maksimale avrenningskoeffisienter.

Type flater	Φ_{spiss}
Tak	0,8 - 0,9
Asfalterte veier og gater	0,7 - 0,8
Grusveger	0,4 - 0,6
Plen	0,05 - 0,1
<i>Sammensatte flater:</i>	
Bysentrum	0,7 - 0,9
Blokkbebyggelse	0,4 - 0,6
Rekkehusområder	0,3 - 0,4
Åpne eneboligstrøk	0,2 - 0,3

Tabell 19 - Avrenningskoeffisient ϕ
(Mays, 2001)

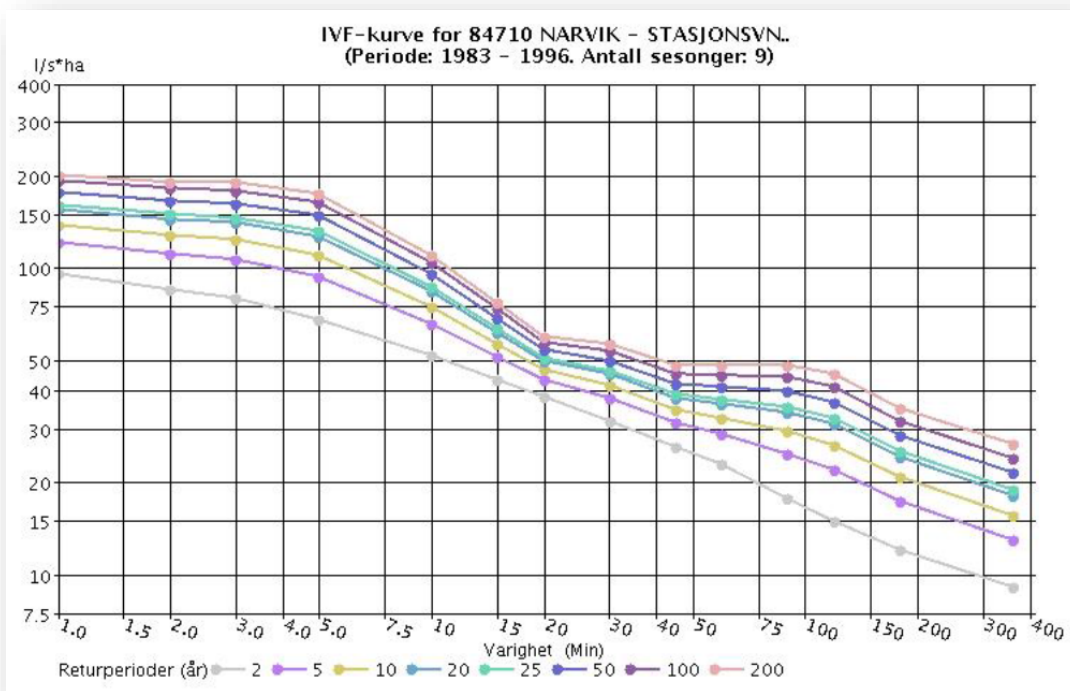
De lokale forholdene bør vurderes nøye ved valg av avrenningskoeffisienter. De kan være:

- Arealets størrelse
- Andel tette flater
- Fallforhold
- Grunnvannsstand
- Grunnforhold
- Langvarig regn
- Frossen mark

Dersom hovedfeltet har flere mindre delfelt som har ulike avrenningskoeffisienter, kan midlere avrenningskoeffisient beregnes etter formelen:

75)
$$\Phi_{midl} = \frac{\Phi_1 + \Phi_2 + \dots}{A_1 + A_2 + \dots A}$$
 Midlere avrenningskoeffisient

Figur 74 - IVF kurve for regnintensitet I, Narvik



Konsentrasjonstiden for et avløpsfelt

Konsentrasjonstiden (t_k) er tiden en regndråpe bruker fra den faller helt i ytterkant av feltet til den når frem til utløpet gjennom rør og på overflaten. For å finne dimensjonerende regnmengder benyttes konsentrasjonstiden og IVF kurven for aktuelt sted. Kommunal VA etat har som regel standard returperiode anmerket i sine VA Normer. Kurven angir etter en tid dimensjonerende mengde vann ut av feltet etter den gitte tiden. I prinsippet skal den absolutt lengste strømmingstiden fra ytterst i avløpsfeltet til det punktet man skal beregne benyttes. Tiden består av tiden på overflaten, tilrenningstiden t_t - fram til gatesluket og strømmingstiden i rørsystemet t_s

Tilrenningstider på overflatene

Man må anslå tilløpstiden fra ytterste punkt i feltets vannskille til nærmeste sluk. Denne er proporsjonal med strømningsavstanden, minker med regnintensiteten og terrengfallet og er avhengig av overflatens beskaffenhet. Den anslås ofte til ca. 5 - 7 minutter i felt av begrenset størrelse i urbaniserte områder. Dersom man vil beregne den mer nøyaktig kan man bruke nomogrammer som viser tilrenningstiden som funksjon av strømningslengde, midlere helning og markens beskaffenhet. (Se for eksempel SFTs TA-550, 1979 – Utgått – figur 74)

Konsentrasjonstiden t_k er:

$$76) \quad t_k = t_t + t_s \text{ [s]} \quad \textit{Konsentrasjonstiden}$$

Hvor: t_t = Strømmingstid på overflaten til et sluk
 t_s = Strømmingstiden i rør.

Beregning av strømmingstiden i ledningene:

$$77) \quad t_s = \frac{L}{v} \text{ [s]} \quad \textit{Strømmingstid i ledningene}$$

Hvor: L = Lengde på rørstrekket (m)
 v = Vannets hastighet - Må antas (m/s)

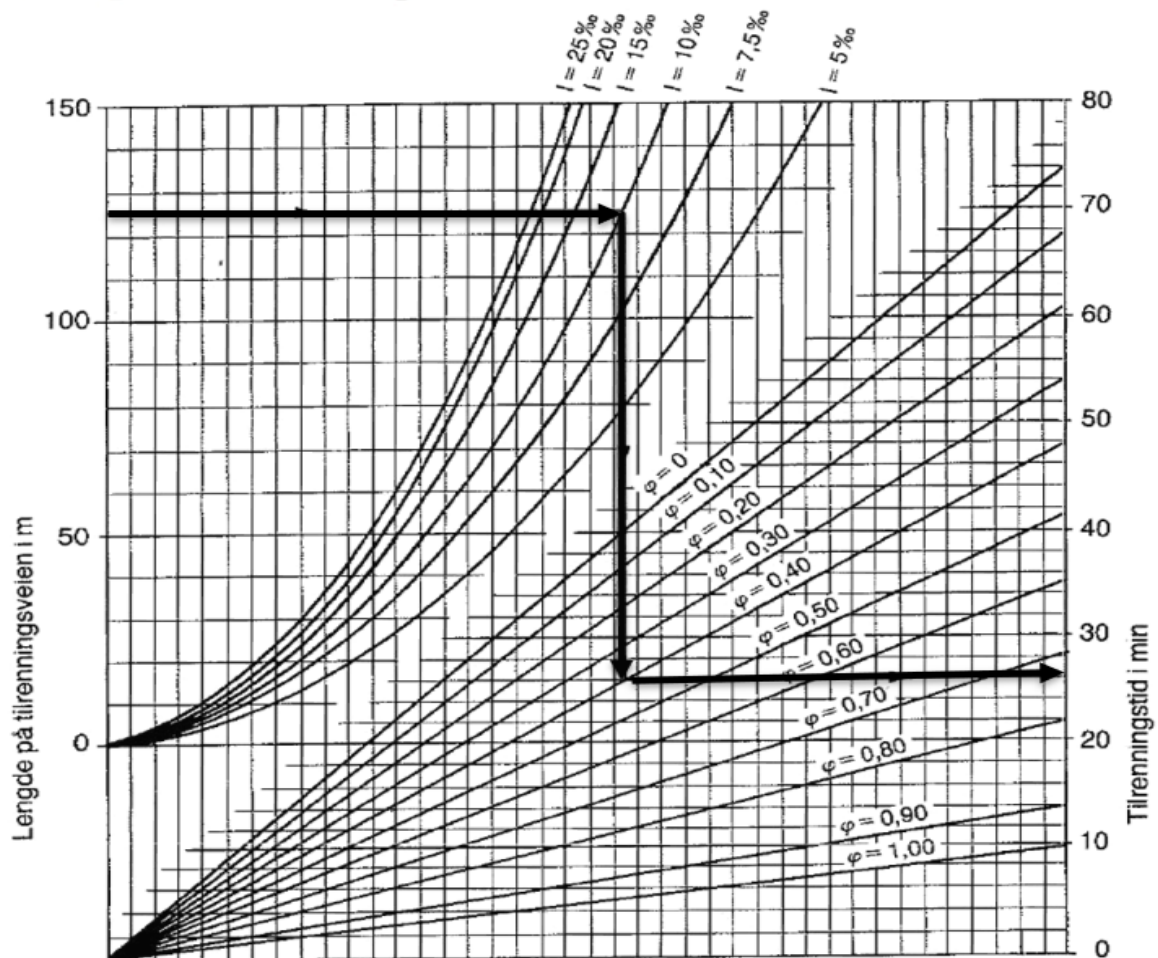
Strømningshastigheten i ledninger kan settes til 1,5 - 2 m/s. Etter beregningene er gjennomført, kan man sjekke om vannhastigheten virkelig ble som antatt. Hvis det er store avvik bør man gjenta beregningene med de nye tallene.

Svensk vattens (2004) veiledning P90 oppgir følgende for strømningshastigheter:

- Avløpsledninger = 1,5 m/s
- Grøfter og rennestener = 0,5 m/s
- Tunnel og store ledninger = 1,0 m/s
- Mark = 0,1 m/s

Figur 75 - Tilrenningstid over felt t_t som funksjon av lengde felt og helling

Ved benyttelse av nomogrammer er det behov for helning av terrenget i promille og avrenningskoeffisient for terrenget.



Northern Virginia BMP Handbook (1992) angir følgende tilrenningstider:

- Forretningsstrøk, sentrumsområder = 5 minutter
- Boligområder med flerfamiliehus = 5 – 10 minutter
- Eneboligområder = 10 – 15 minutter

Snøsmelting

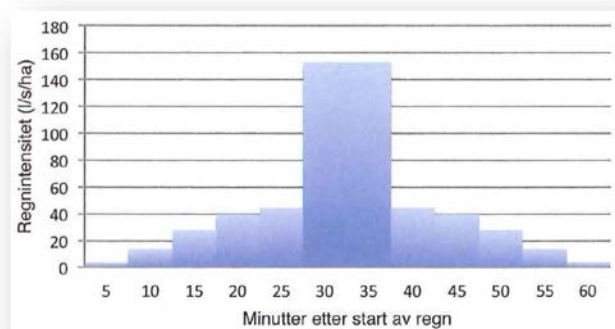
Snøsmelting er resultatet av varmeutveksling mellom snødekket og omgivelsene. Smelteenergien kommer mest fra lufttemperaturer over smeltepunktet (0°C) og fra stråling. Smelting er en komplisert prosess og smelteintensiteten eller hastigheten er avhengig av flere forhold. I urbane områder kan omgivelsen bidra med mye smelteenergi. De største smelteintensiteter forekommer gjerne ut på ettermiddagen, når solen står høyt på himmelen, og gjerne i mars eller april. Tabell 20 viser noen angitte snøsmelteintensiteter i norske byer. For eksempel ser man at Narvik en gang hvert 5. år kan forvente i gjennomsnitt å ha en snøsmelteintensitet på 32 mm vann fordelt over 12 timer på dagtid, noe som tilsvarer $7,4\text{ l/s*ha}$. Svensk Vatten, 2004, har gjennom målinger vist at det i Nord-Sverige er mellom $5,2\text{ l/s*ha}$ og $8,3\text{ l/s*ha}$, mens det i Sør-Sverige er målt en 10 års avrenning på 4 l/s

Tabell 20 - Snøsmeltemengde for enkelt Norske byer (Norsk Vann rapport 193, 2012))

Sted	mm/12 h	l/s ha	mm/12 h	l/s ha	mm/12 h	l/s ha
	z = 2 år		z = 5 år		z = 10 år	
Kristiansand	19	4,4	27	6,2	33	7,6
Sandnes	20	4,6	25	5,8	30	6,9
Bergen	18	4,2	24	5,5	28	6,5
Oslo	19	4,4	27	6,2	32	7,4
Trondheim	19	4,4	39	9,0	33	7,6
Mosjøen	20	4,6	30	6,9	35	8,1
Narvik	22	5,1	32	7,4	35	8,1
Tromsø	20	4,6	30	6,9	38	8,8
Gjennomsnitt	19,6	4,5	28,1	6,5	33,0	7,6

Omdanning av IVF-kurver til hyetogram

Ved hjelp av en spesiell prosedyre kan de opplysninger som ligger i en IVF-kurve omdannes til et såkalt symmetrisk regnhyetogram. Begrunnelsen for å bruke et regnhyetogram er at regn som er så sterke at de er dimensjonerende, sjelden har en konstant regnintensitet. De har tvert imot ofte en høy toppintensitet en tid etter regnet startet.



Figur 76 - Regnhyetogram (Ødegaard H(red), 2012, Vann og avløpsteknikk)

De viktigste fordelene ved bruk av regnhyetogrammer er:

- Regnforløpet og dermed avrenningsforløpet og maksimal avrenning blir mye mer realistisk enn ved bruk av "kasseregn"
- I en region med ensartede meteorologiske forhold kan det samme regnhyetogrammet brukes til alle ledningsnettstørrelser uansett konsentrasjonstid
- Dimensjonerende vannføringer i alle deler av avløpsledningsnett i en og samme beregning. Grunnen til dette er at regnhyetogrammet i sin mest intense del inneholder virkningen av korte regn, som er dimensjonerende for de øvre deler av ledningsnett som har korte konsentrasjonstider, mens hele hyetogrammet vil virke dimensjonerende for de nedre deler av nettet som har lengre konsentrasjonstider.

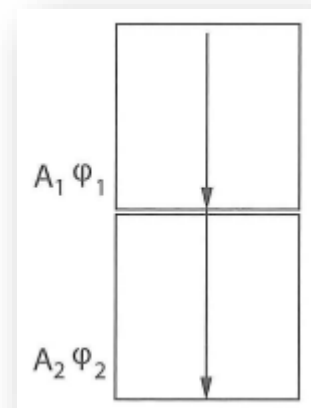
Prinsippene bak konstruksjonen av et nedbørshyetogram konstrueres på basis av en vanlig IVF-kurve. Det antas at hyetogrammet er symmetrisk om sin midtakse (*figur 75*). Konstruksjonsprinsippet er at regnvolumet innenfor de X mest intensive minuttene ($X/2$ minutter på hver side av midtlinjen) i hyetogrammet nøyaktig skal tilsvare regnvolumet i et "kasseregn" av varighet X minutter. Hensiktsmessig beregningssteg vil for de fleste tilfeller være ca. 2 -5 minutter. Steg på bare 1 minutt gir en meget høy spissintensitet. Som grunnlag for beregningene kan man lese av verdiene direkte fra en grafisk IVF- kurve eller regne ut fra en matematisk ligning for IVF-kurven hvis tilgjengelig.

Summasjonskurvemetoden

Den rasjonelle metoden, slik den er beskrevet her, er ikke anvendbar dersom man vil ha fram betydningen av mange ulike delfelters innvirkning på den samlede avrenningen. Den manuelle metoden som er mest brukt i et slikt tilfelle, er summasjonskurvemetoden, som beskriver tidsforløpet av den stigende og synkende delen til avløpshydrogrammene. Forutsetninger i summasjonskurvemetoden er:

- Ikke tidsvariable strømningshastigheter på overflater eller i ledninger
- Lineær superposisjon legges til grunn for de ulike delfeltbidragene

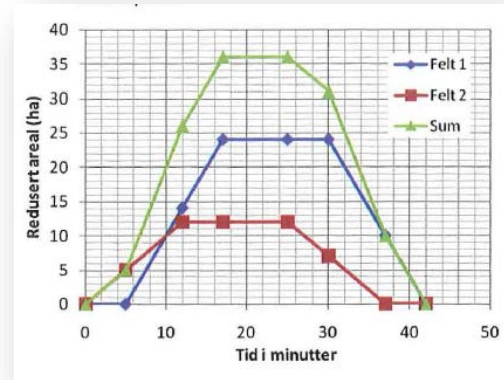
Figur 77 - Delfelt



Resultatene av beregningene er vist i figur 77.

Figuren viser at delfelt 2, som ligger nærmest utløpet, bidrar straks, mens bidraget fra delfelt 1 først når fram etter 5 minutter, som er strømnings tiden i ledningen nedstrøms dette feltet. Jo lenger fra utløpet et delfelt er, jo senere vil bidraget komme til utløpet, og jo senere vil siste dråpe nå fram fra et slikt felt. Den øverste kurven i figuren, er summen av vannføringene fra de to feltene.

Dette representerer den vannføringen man vil kunne måle i utløpet av det sammensatte feltet. Vi ser at maksimalt redusert areal er 36 ha.



Figur 78 - Summasjonskurve delfelt A1 og A2

5.2.7 Lekkasje og direkteutslipp fra avløpsnett (Q_{utlekk})

Lekkasje og direkteutslipp fra avløpsnett vil typisk være utlekking via utettheter i ledninger og kummer (offentlige og private), «overløp» i felleskummer (SP og OV åpent i samme kum) og feilkoblinger. I tillegg kan det fremdeles eksistere ledningsnett som fores direkte ut i resipient uten at vannet renses. Det eksisterer ikke noen eksakte tall for mengden dette er, og det finnes lite tilgjengelig litteratur om skadevirkningene lekkasjene medfører.

5.2.8 Overløpsutslipp (Q_{overløp})

Overløpsutslipp er utslipp av avløpsvann via definerte overløp, som regel knyttet til nedbørshendelser eller driftsproblemer på avløpsnett (pumpehavari, kloakkstopp o.l.). Overløpsutslippet føres som regel til nærmeste resipient urensset. Krav til mengdemåling og krav til rensegrad på overløp har vært mangelfull, noe som har medført at VA Etatens etterlevelse har vært og fremdeles er bare «akkurat». Kravet er at overløp skal måles på tid. Noe som ikke gir mening, da det ikke gir annet enn antall overløpstilfeller og tiden. Ingen mengder eller rensegrader kan leses ut av denne type målinger.

5.2.9 Avløpsvann til rensing (Q_{rens})

Avløpsvann til rensing er den avløpsmengden som tilføres avløpsrenseanlegget for rensing, for det rensede avløpsvannet tilføres resipient. Ofte er det et overløp i tilknytning til avløpsrenseanlegget. Det kan også være at deler av den tilførte avløpsmengden ikke blir fullrenset når tilførselene overstiger kapasiteten for fullrensing. Om deler av den tilførte avløpsmengden ikke blir fullrenset når tilførselene overstiger kapasiteten for fullrensing kan det være hensiktsmessig å skille ut denne delen.

5.3 Hydrauliske beregninger - trykløse rørsystemer

Ved dimensjonering av trykløse selfallssystemer, må hovedkrav være at ledningen har tilfredsstillende kapasitet og er selvrensende. Dimensjoneringens første steg er nødvendigvis å finne dimensjonerende mengder vann som skal transporteres, for å finne kapasitet. Deretter må det gjøres vurderinger ift. når røret har minst mulig vannføring, som er en kritisk verdi, siden vannet transporterer store mengder partikler fra toalett, vask, dusj etc. Dimensjonerende mengde vann beregnes iht. elementer i kap. 5.2. Dimensjoneringskriterier for beregning av dimensjon på ledning kan deretter utføres delvis tilsvarende metode som trykksatt ledninger. Energigradienter, Colebrook Nomogrammer og formler fra kap. 4.3, nyttes for å finne ledningens diameter. Det som er ulikt fra trykksatte ledninger vil være at ledningene store deler av døgnet går med delfylte tverrsnitt. Med lavere hastighet og mindre vannføring med en betydelig andel partikler er det fare for oppstuvning eller gjentetting av røret. Rørruhet som i trykksatte ledninger har i denne sammenheng kanskje enda større betydning. Colebrook med angivelse av k verdi kan nyttes. Beregninger for ikke trykksatte rørsystemer handler både om å se på maks kapasitet for ledningen men og å se på absolutt minste vannføring over en gitt tid og forekomst. Dette er nødvendig for å sjekke ledningens evne til å transportere bort partiklene, slik at de ikke utgjør fare for avleiring og skape driftspunkter.

Sjekk av selvrens for avløps og overvannsledninger

Krav til selvrens varierer noe, og er satt noe avhengig av type vann og ledningens materiale. Generelt kan det sies at:

Tabell 21 - Krav til skjærspenning (VA-Blad 79, 2015)

Krav til skjærspenning	Betong *	Plast *
Fellesavløps ledninger	3-4 N/m ²	3-4 N/m ²
Spillvannsledninger	2 N/m ²	2 N/m ²

*Minimum skjærspenning som skal oppnås minst en gang pr dag alle dager i året

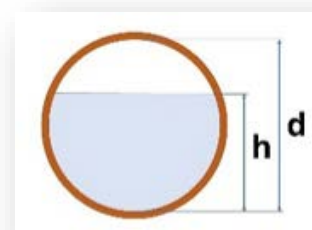
Ved å kontrollere maks og min verdier for døgn og time, kan minimumsverdier for mengde vann i ledningen nå finnes. Når det er fri vannflate inne i et rør, kan Mannings formel anvendes.

$$78) \quad v = M * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \text{ [m/s] Mannings formel}$$

Hvor: M = Mannings tall (se tabell 22)

R = Hydraulisk radius [m]

I = Energigradienten [m/m]



Figur 79 - Delfylt rør (Pipelife AS)

Tabell 22 - Mannings tall for friksjon

Type materiale	Minimum	Normal	Maksimum
Treplanker i kanal	71	83	100
Betongkulvert som er rett uten sedimenter	77	90	100
Betongavløpsledning med kummer, innløp, etc	60	67	77
Pukk-kanal uten sedimenter eller avfall	33	40	45
Gresskledd kanal eller grøft	30	33	40
Fjellgrøfter eller kanaler i fjell. Ganske godt rensket	25	29	40

Hydraulisk radius er definert som arealet av vått tverrsnitt delt på lengden av neddykket tverrsnitt:

$$79) \quad R = \frac{A}{P} \text{ [m]} \quad \textit{Hydraulisk Radius}$$

Hvor: A = Arealet [m²]
P = Lengden av vått område [m]

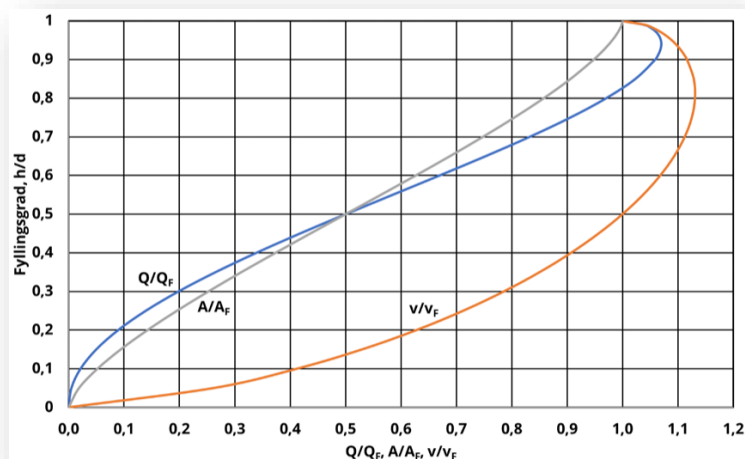
For et rør fylt med avløpsvann, vil hydraulisk radius være

$$80) \quad R = \frac{r}{2} = \frac{D}{4} \text{ [m]} \quad \textit{Hydraulisk Radius for fylt rør}$$

Hvor: r = Radius [m]
D = Diameter [m]

Formelrekken som vist kan nyttes sammen med Colebrook Nomogram, kontinuitetslikningen for å finne rørdiameter og vannmengde ved fylt rør. Minimum vannmengde som nevnt tidligere, en gang pr. dag gir grunnlag for å finne vannhøyden inne i røret. Det finner man i delfyllingskurven. Det finnes mange typer rør og kulverttverrsnitt. Det er kun sett

Figur 80 - Delfyllingskurve sirkulære rør (Pipelife AS)



på sirkulære tverrsnitt i denne oppgaven. Legger og ved delfyllingskurver og nomogrammer for ovale rørtverrsnitt. Metodikk og fremgangsmåter for ulike tverrsnitt vil være lik.

Fremgangsmåte ved dimensjonering av selvrens

kravet til skjærspenning må settes av prosjekterende eller sjekkes i aktuelle regelverk. Deretter beregnes maks skjærspenning i bunnen av ledningen. Denne verdien må være større enn kravet.

$$81) \quad \tau_{maks} = \tau_{fylt} * \left(\frac{h}{D}\right) * \left(1 - \frac{h}{D}\right) [N/m^2] \quad \text{Maks skjærspenning}$$

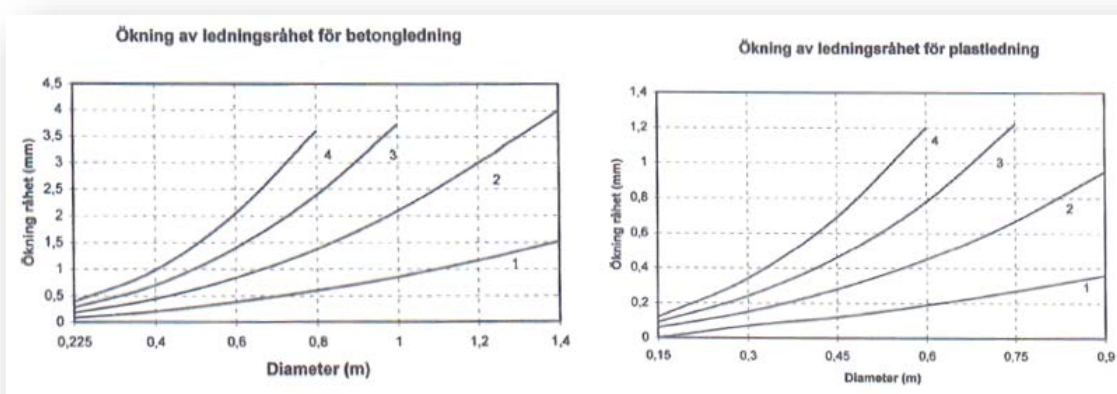
Hvor: τ_{fylt} = Skjærspenning ved fylt rør [N/m²]

h/D = Verdi fra delfyllingskurven

5.3.1 Singulærtap i avløps- og overvanns ledninger

I manuelle beregninger kan man bestemme kumtapet i den enkelte kum, ved å anvende singulærtaps koeffisienten i tabell 14 (s.58). Det enkleste er likevel å beregne kumtapene som en økning av rørfriksjonen. Her kan man for eksempel bruke de anbefalte økningene i rørfriksjonen som vist i Svensk Vattens P90-veiledning «Dimensjonering och analys av almanna avloppsledningar, 2004». Se diagrammene i fig 81. Diagrammene gjelder hhv. for betongrør og for plastrør. Svensk Vatten sier om disse diagrammene følgende: "Ved mindre ledningsdimensjoner og ved vel gjennomførte renner, kan kumtapene tas hensyn til ved at rørenes hydrauliske ruhet økes. Ved større ledningsdimensjoner, ved sidetilførsler som ikke er små sammenlignet med hoved vannføringen og ved dårlig renneføring og renner, bør nøyaktigere analyser utføres."

Figur 81 - Økning i generell ruhet som funksjon av diameter (VAV P9)



Verdier på og under linje 1:	<i>Rett gjennomgående ledning. Renner med full dybde lik diameter på røret. ks = 0,25</i>
Verdier mellom linje 1 og 2:	<i>Innkommende sideledning med liten vannføring sammenlignet med hoved vannføringen. Renner med full dybde. ks mellom 0,25 og 0,5.</i>
Verdier mellom linje 2 og 3:	<i>Innkommende sideledning med mer påtagelig vannføring. Renner med full dybde. ks mellom 0,5 og 0,75</i>
Verdier mellom linje 3 og 4:	<i>Sidevannføring. Påtagelige dårlige renner og renneføring ks mellom 0,75 og 1,0.</i>

5.4 Oppsamling av spillvann, avløp felles og Overvann

5.4.1 Spillvann og avløp felles

Spillvannet skal kunne avledes uten stopp selv ved meget kraftig regn, og tilbakeslag bør ikke forekomme. Innslipp av overvann og infiltrasjonsvann skal unngås mest mulig. Sedimentavlagringer som kan føre til ”kloakkstopp”, inntrengning av trerøtter og feilkoblinger med annet avløpssystem må ikke forekomme. Fremmedvannmengden må holdes så lav som mulig, da fremmedvann øker utslippet fra avløpsrenseanlegg og nødutløp. Dersom det er fellessystem som en del av avløpssystemet øker også utslippet via regnvannsoverløpene. Fremmedvann medfører dessuten økte pumpeutgifter og økte behandlingkostnader i avløpsrenseanlegg. Det kan medføre at økt rensekapasitet må bygges ut selv om det kanskje ikke er nødvendig. Ledninger som ligger under grunnvann medfører at fremmedvannmengden blir stor. Fremmedvann fra bekkeinntak skal ikke tas inn i avløpssystemet. Dersom spillvannet avledes i fellesavløpssystem fra bosetninger langs en fjord, innsjø eller elv, benyttes ofte avskjærende ledninger som fanger opp avløp fra mange tidligere direkte utslipp. Avskjærende ledninger fører som regel avløpsvannet til avløpsrenseanlegg. Det vil ofte være nødvendig å anlegge overløp ved større påslipp. Overløpene i fellessystemet er forurensende utslippspunkter. Det bør være regelmessig tilsyn med overløpet. Ved springflo og/eller stormflo kan sjøvannstanden stige så høyt at sjøvannet trenger inn i overløp, nødutløp eller kummer. Dette kan redusere den hydrauliske kapasiteten i systemet. Det skal sjekkes om oppstuvning til kjellergulv eller annet kritisk nivå, som følge av sterk nedbør eller snøsmelting, ikke skjer oftere enn det som er kravet i kommunen. Dersom det tillates at abonnentene installerer kjøkkenavfallskverner må man være ekstra sikker på at selvrensingskriteriene er oppfylt. Kjøkkenavfallskverner medfører at forurensningsutslippene via overløp vil øke, da betydelig mer organisk stoff tilføres avløpsrenseanleggene og faren for H₂S gassdannelse i avløpssystemet øker. Dette er en liten problemstilling i Norge, da det ikke tillates kjøkkenavfallskverner i de fleste norske kommuner.

5.4.2 Overvann

Overvannet bør planlegges og behandles som en helhet. Denne måten å se på overvannet på krever sterk kobling mellom overvannshåndtering og areal- og landskapsplanlegging. Den vanligste og tradisjonelle måten er å føre vannet ned i gatesluk og bort i rør som ligger nedgravd i alle gater. Det har vist seg at det overvannet som kommer fra sterkt trafikkerte områder og belastede sentrale bystrøk, kan inneholde miljøgifter og andre forurensninger som det ikke er ønskelig å sende direkte ut i følsomme vannforekomster. Denne delen av overvannet bør behandles i egnede renseanlegg for overvann. Det er dessuten en viktig oppgave å bidra til at overvannet ikke tilføres de forurensende stoffene i utgangspunktet. Vann er attraktivt og oppleves som et positivt element i nærmiljøet. Ved å planlegge for avledning av mer overvann gjennom åpne vannveier og dammer kan en oppnå et bedre bomiljø, og i visse tilfeller også lavere kostnader for bortskaffelse av overvann. God overvannshåndtering innebærer at metodene skal tilpasses lokale forhold og behov. Løsningene skal være bærekraftige og tilføre kvaliteter til omgivelsene. De valgte løsningene må fungere godt både sommer og vinter, samt ved vanlig nedbør, ved flom og i tørrvær. Visjonen er å håndtere overvannet i størst mulig grad på overflaten som en synlig del av vassdraget og bybildet

Norsk Vann treledd's strategi handler om at overvannet deles inn i kategorier:

1. Regn fra 0-20 mm i feltet – fanges opp og infiltreres.
2. Regn mellom 20 og 40 mm – forsinkes og fordrøyes.
3. Regn over 40 mm – sikre trygge flomveier

Prinsippet er at man i første ledd klarer å infiltrere eller holde tilbake vannet, ved små regnhendelser. Når regn faller med større intensitet, vil det overskytende renne videre til åpne anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen. Noen få regn har imidlertid så store vannvolum at de normale systemene ikke kan håndtere avrenningen alene. Da må det anlegges åpne flomveier som kan avlede disse sjeldne regnene på en trygg måte.

5.4.2.1 Overvannskostnader

Beregnet etter metode beskrevet i NOU 2015:16. I nevnte NOU ble overvannskostnader beregnet til en størrelsesorden på 1,6 til 3,6 milliarder (2014-) kr per år, som vil si ca. 700 – 1 500 kr per husstand per år, siden det er 2,4 millioner husstander i Norge. Overvannsskader skyldes flere forhold og er ikke bare knyttet til vann- og avløpssystemets evne til å håndtere store nedbørsmengder rask.

5.5 Trykkløse rørsystemer

Flere av materialene brukt innen trykk systemer er også benyttet i avløps og overvannssystemer. Materialeegenskapene er like, men rørtyper og spenningsbetraktninger er ikke like, da trykkrørsystemer utsettes for betydelig større krefter fra innsiden. Se overordnet beskrivelse av de ulike materialeegenskapene under kapittel . Rørtyper og utstyrstyper brukt i VA teknisk anlegg beskrives enkelt i tabell 6, kapittel 3.6.4 foran.

5.5.1 DV Rør – plastrør med dobbeltvegget korrugert og konstruert vegg

Korrugerte og dobbeltveggede rør er konstruert med sikte på å oppnå en tilstrekkelig ringstivhet med minst mulig bruk av materiale. De brukes kun til avløp og overvann. Det fins en stor mengde korrugerte og dobbeltveggede rør på markedet. De tre hovedtypene er:

- 1) rene korrugerte rør, som består av kun ett lag med plast som er korrugert. Røret er derfor korrugert på begge sider
- 2) et glatt rør som er forsterket med et utvendig korrugert rør, og er dermed innvendig glatt men utvendig korrugert
- 3) to glatte, utenpåliggende rør, hvor mellomrommet er fylt med et korrugert rør (eller en annen konstruksjon).

Det er en svakhet at det finnes en stor mengde rør med store kvalitetsvariasjoner som går under denne betegnelsen, da man kan miste oversikten ved kjøp. Det er fare for at deler og rør ikke passer sammen på tvers av produsent/type rør. Kumløsninger kan være lite utviklet, og helt fraværende. Rørene har svært liten lengdestivhet som stiller generelt store krav til utførelse, spesielt for små fall. Produseres hovedsakelig av materialene PP og PE, for det norske markedet, men finnes og produsert i PVC. De mange varianter av denne type rør må tillegges stor oppmerksomhet, da ingen av de ulike produsentenes rørtyper passer sammen. Det betyr at innkjøpte systemer basert på en produsent's s.k. DV rør ikke går å bytte ut uten store og veldig dyre tiltak. Innkjøp vil og være en stor utfordring, da det ikke er mulig på en fornuftig måte å lage produktuavhengige innkjøp, når de ulike produktene ikke passer overens.

5.6 Kummer

Kummer innen avløp og overvann er brukt i de fleste knutepunkter. Historisk sett er det primært brukt betongkummer, men i løpet av 70 og 80 tallet begynte det å komme løsninger av plastmaterialer. Det finnes en mengde ulike varianter og modeller både i plast og betong. Hovedsakelige dimensjoner er i betong fra $D_i = 400$ mm opp til $D_i = 3000$ mm. For plastmaterialer finnes det kumsystemer fra $D_u = 160$

mm og opp til $D_u=1000$ mm. (D_i = Innvendig Diameter, D_u = Utvendig diameter) Varianter og spesifikasjoner er så omfattende at kumtabeller som viser størrelser og kombinasjonsmuligheter legges som vedlegg.

Figur 82 - Diverse kumløsninger betong og plast



5.6.1 Overløp

Overløpets oppgave er å hindre overbelastning av nedstrøms ledningsnett og avløpsrenseanlegg under regn, snøsmelting og eventuelle driftsstopp i f.eks. pumpestasjoner. Overløp er særlig aktuelle der fellessystem kobles til en avskjærende ledning for avlastning i regn- og/eller smelteperioder. Slike overløp kalles regnvannsoverløp. Overløp benyttes også på separatsystem, spesielt i tilknytning til renseanlegg for å avlaste deler av anlegget for svært høye belastninger. For eksempel belastninger større enn maksimalt dimensjonerende vannmengde for renseanlegget. Avløpsvann som går i overløp er ikke noe annet enn avløpsvann fortynnet med overvann, og det kan følgelig være betydelig forurenset og representere en svært vesentlig del av belastningen på en resipient. Har vi å gjøre med en følsom resipient der videregående renseanlegg er installert, vil forurensningen fra overløp kunne overstige forurensningene som det rensede vannet representerer, selv om overløp kun er i funksjon i deler av året. Nettopp av denne grunn er overløp særdeles viktige elementer i avløpssystemet, og de må derfor utformes og dimensjoneres slik at mest mulig av forurensninger blir fraktet til renseanlegget og ikke avlastet ut i en lokal resipient. I Norge er det benyttet følgende typer overløp som kan sies og være partikkelavskillende.

Høyt sideoverløp - Denne overløpstypen har variabel terskelhøyde er godt egnet for store vannmengder. Gir god kontroll på overløp, spesielt egnet der det er områder med lavtliggende kjellere. Det er liten høydeforskjell mellom innløp og utløp og overløpet krever liten plass utover selve rørgroften. Overløpskammeret er lenger enn overløpskanten (*terskelen*), så det dannes en

flytestoffene etter overløpskanten. Overløpet er utstyrt med rist og skumskjerm. Vannet kommer først inn i overløpskammeret hvor flytestoffer kan flyte opp til overflaten og holdes tilbake av et skumbrett. Deretter går det over overløpsterskelen ved vannføring større enn dimensjonert mengde. Foran terskelen er det plassert rist for å forhindre større flyte- stoffer å bli med overløpsvannet.

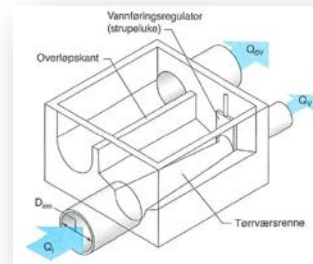
Utløpsåpningen skal være så stor at utløpet ikke blokkeres, dvs. $d > 100 \text{ mm}$.

Virveloverløp med lukket virvel - Overløpskammeret er sirkulært og vannet føres inn tangentielt langs ytterveggen i kammeret, så innkommende vannføring blir tvunget i en sirkel- bevegelse. I starten følger alt innkommende vann ytterveggen, men når en omdreining er fullført, styrer en strømløper ved innløpet den nedre delen av strømmen inn mot sentrum i overløpskammeret.

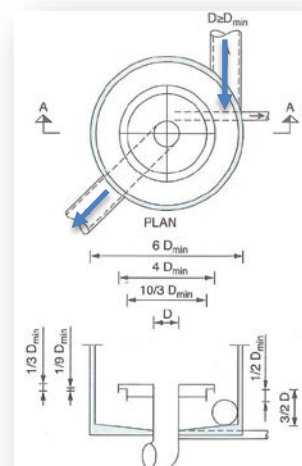
Utløpsåpningen er plassert nær sentrum av utløpskammeret. Men bare noe av det vannet som bøyes av mot sentrum, transporteres gjennom utløpsåpningen og videre til den avskjærende ledningen. Hovedtrekkene i strømningsbildet blir slik at vannet strømmer langs ytterveggen med forholdsvis stor hastighet og føres rundt i kammeret minst en gang. Oppholdstiden blir så lang at grovere, suspendert materiale skiller seg fra strømmingen, og pga sentripetalkraft trekkes mot sentrum der det er betydelig lavere hastighet.

Virveloverløp med åpen virvel - I et virveloverløp med åpen virvel kommer vannet rett inn i et indre sirkulært overløps- kammer som tvinger vannet i sirkulær bevegelse. Partikulært materiale vil da falle til bunns og bli dratt mot utløpet i sentrum av bunnen, mens flytestoff stiger opp og fanges opp av skumskjermen og føres kontinuerlig mot åpningen i virvelen og videre til utløpsledningen. Overløpsterskelen er plassert på en fjerdedel av ytterdelen av overløpskammeret etter at vannet har svingt over $270\text{-}360^\circ$.

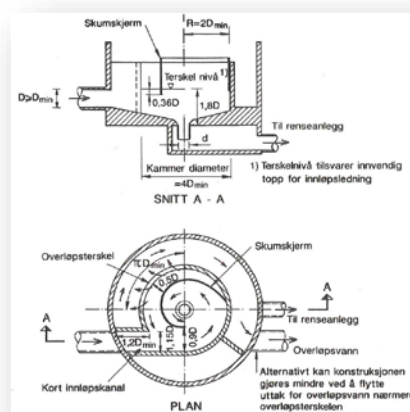
Utskillingsegenskapene til virveloverløp med åpen virvel er mindre følsomme overfor høye innløpshastigheter enn høyt overløp, tverroverløp og virveloverløp med lukket virvel.



Figur 83 - Høyt sideoverløp (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk)



Figur 84 - Virveloverløp lukket virvel (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk)



Figur 85 - Virveloverløp med lukket virvel (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk)

6 Utslipp til resipient

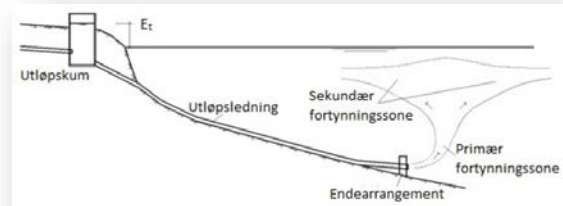
En utslippsledning skal utformes slik at den har beste forutsetninger for 100 års levetid.

Utløpskum utformes slik at den gir tilstrekkelig trykkehøyde, slik at vannet presses korrekt ut av utløpsledningen.

Utløpsarrangementet må være slik utformet at det ikke dras med luft ut i ledningen.

Endearrangementet plasseres slik at ikke partikler fra avløpsvannet sedimenterer like utenfor ledningsenden.

Ledningsendens retning og plassering har funksjonen at den skal blande avløpsvannet med resipientvannet på beste mulige måte. Energitalpsberegninger fra utløpskum. Det samlede energitapet er lik summen av friksjonstap, tetthetstap og singulærtap. Dette kan skrives som, og kombineres med Darcy-Weisbach 24)



Figur 86 - Prinsipp utslippsledning (VA Blad 46, 2018)

$$82) \quad E_t = h_f + \frac{\Delta\gamma}{\gamma_0} * Y + K * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Totalt energitap}$$

Hvor: h_f = Friksjonstap[m]

$\Delta\gamma$ = Differanse i egenvekt mellom avløpsvannet og resipientens [kg/m^3]

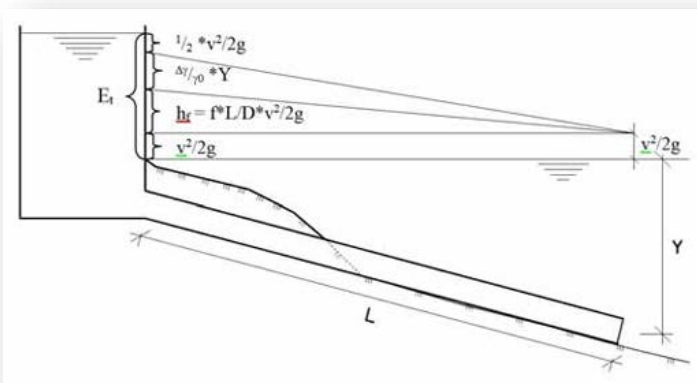
γ_0 = Avløpsvannets egenvekt [kg/m^3]

Y = Vanddyb [m]

K = Sum av singulærtapskoeffisienter (Se tabell 23)

v = Vannets hastighet [m/s]

Figur 87 - Illustrasjon av utløpskum og energitap (VA Blad 46, 2018)



Utløpstap (ende ledning)	1,0
Bend 90 grader	0,3
Bend 45 grader	0,1
Utløpstap (i kum)	0,5

Tabell 23 – Singulærtapskoeffisienter (VA Blad 46, 2018)

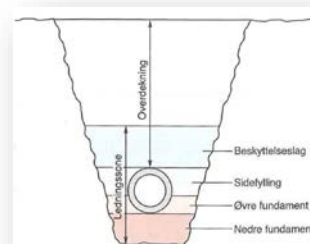
Endearrangementet skal sikre at utløpet holdes borte fra bunnen.

Det må være stabilt, minimum avstand fra bunnen bør være 0,5 m. Utløpet skal helst være i en

oppadgående vinkel som sørger for at avløpsvannet fortynnes i resipientvannet. Primærfortynningen forårsakes av strålens hastighetsenergi idet den kommer ut i resipienten, samt av egenvektsforskjellen mellom avløpsvannet og resipientvannet, som vil føre til at avløpsstrålen stiger opp fra utløpspunktet. Under oppstigningen vil avløpsvannet fortynnes med tyngre saltvann, og egenvekten på blandingen vil øke. Finnes det sprangsjikt, i resipienten med lettere vann øverst, vil blandingen av avløpsvann og saltvann kunne nå et punkt under overflaten hvor egenvekten er lik med vannet i resipienten. Da har avløpsstrålen mulighet for å innblandes uten å nå overflaten, slik som illustrert i figur 86 (s120).

7 Grøftesystemer og rørenes plassering

Figur 88 viser en skisse av et grøftetverrsnitt. Det stilles ulike krav til oppbygging og komprimering av fundament, sidefylling og overdekning. Nedre fundament må være løsgjort for å unngå at reaksjonslasten på røret nedenfra bare virker på en liten flate. Ved øvre fundament er det særlig viktig å sikre god støtte til rørets nederste halvdel. Sidefyllingen må være komprimert for å mobilisere sidekrefter fra gjenfyllingen. Beskyttelseslaget må være fritt for store steiner og komprimeres forsiktig. Over

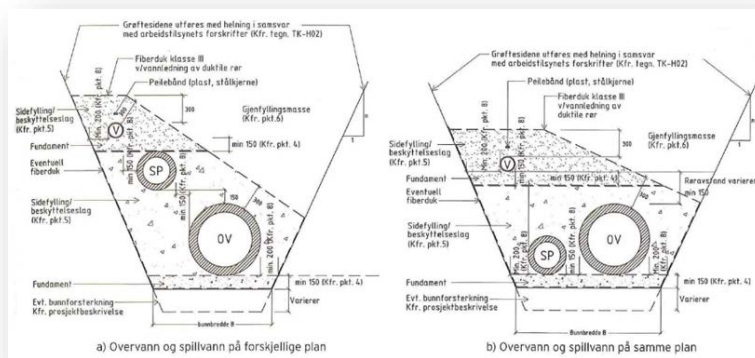


Figur 88 - Skisse grøftetverrsnitt (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk)

ledningssonen brukes masser som er tilpasset overflatebruken (veg, parkområde etc). I figur 89 (s122) er typiske grøftesnitt vist. Merk at disse inneholder bruk av fiberduk for å hindre materialvandring (innblanding av finkornet i grovkornet masse) og bruk av peilebånd av metall for gjenfinning av ledningstrase. En rekke ulike standarder og retningslinjer gjelder for bygging av ledninger:

- NS 3458:2004; *Komprimering - Krav og utførelse* (Standard Norge, 2004)
- NS-EN 476:2011; *Generelle krav til komponenter brukt i avløpsledninger* (Standard Norge, 2011)
- NS-EN 805:2000; *Vannforsyning. Krav til systemer og komponenter utenfor bygninger* (Standard Norge, 2000b)
- *Veibygging - Normaler*. Håndbok N200. Statens vegvesen 2018
- Forskrifter fra arbeidstilsynet

Figur 89 - Grøfteutførelse for ledninger (Ødegaard H, 2012, Vann og avløpsteknikk)



8 Gravefrie systemer, klima og bærekraft

NoDig-metoder er en fellesbetegnelse på teknikk for fornyelse av gamle vann- og avløpsledninger med ingen eller minimalt med graving. Metodene, som også kan brukes ved etablering av nye ledning har vært benyttet når:

- graving er kostbart
- graving er samfunnsmessig uakseptabelt
- graving er umulig som følge av felles eksisterende bygningsmasse eller infrastruktur, dybde eller grunnforhold

Renoveringsmetoder deles i tre kategorier. I det følgende omtales kun aktuelle NoDig-metoder for hovedledninger for vann og avløp. Flere av metodene blir også benyttet for private stikkledninger, og andre installasjoner som kabler, fjernvarmerør etc. For dimensjonering etc. henvises det til NoDig-håndboken (Scandinavian Society for Trenchless Technology (SSTT), 2008), eller til den enkelte leverandør.

Ifølge statistikk utført av Oslo Economics 2021, er utskiftingstakten på vann- og avløpsnettet i snitt på ca. 0,7 % pr. år. Det kommunale vannledningsnettet har en total lengde som tilsvarer jordas omkrets ved ekvator, i underkant av 43 800 km. Om den lave fornyelsestakten opprettholdes og vi ser bort fra nyanlegg, vil det ta 160 år å fornye det norske ledningsnettet. Enkelte kommunale ledningseiere har etter hvert oppdaget at det finnes gode, økonomiske og tidsbesparende metoder som kan bidra til å øke fornyelsestakten. Bruk av NoDig metoder vil i tillegg gi en miljømessig og samfunnsmessig gevinst (se kap. 8.1), i tråd med en bærekraftig utvikling. Ulike anleggsmetoder basert på konvensjonell graving er kjent for de fleste i VA-bransjen, men det er større usikkerhet og mindre kunnskap om

NoDig-metodene. De fleste kjenner til at NoDig-metoder er gunstige å bruke dersom man skal krysse jernbanelinja eller E6. Det som er mindre kjent, er at NoDig- metodene er konkurransedyktige med konvensjonell graving i svært mange tilfeller, der graving tradisjonelt velges. For å sikre framtidige generasjoner, er det derfor viktig at ledningseiere i langt større grad gjennomfører metodevurdering ved ledningsfornyelse og tilegner seg kunnskap om tilgjengelige metoder. Kommunal vannforsyning får tilstandskarakter 3 i RIFs tilstandsrapport (Norges tilstand, 2015, State of the nation). Rapporten konkluderer med at fornyelsestakten er for dårlig, og må å økes. For å få til dette, er det i første omgang behov for å skaffe en oversikt over ledningsnettet gjennom opprettelse av hovedplaner og saneringsplaner. Med overordnede planer som kartlegger framtidens behov for ledningsnett, etableres et godt grunnlag for å foreta strategiske, bærekraftige og kostnadseffektive tiltak for fornyelse. NoDig kan deles inn i 3 typiske metoder.

Strukturelle rør - Det nye røret, kan alene motstå opptredende krefter i hele levetiden

Semi-strukturelle rør – Det nye røret er delvis avhengig av støtte fra det eksisterende røret, for å kunne motstå opptredende krefter i hele levetiden.

Ikke-strukturelle rør – Det nye røret er helt avhengig av støtte fra det eksisterende røret, for å kunne motstå opptredende krefter i hele levetiden.

Rørtrykking - Ved rørtrykking etableres et nytt medierør direkte i urørt terreng, eller som et varerør for innføring av nytt medierør. Det er mange varianter av denne metoden. Den enkleste er rørtrykking av helsveiset stålrør med åpen front, under veier, jernbane eller over kortere strekninger, normalt mindre enn 60 meter. Massene tas inn i stålrøret, og fjernes fortløpende ved naverboring, eller ved trykkluft/spyling etter installasjonen. Normalt foretas rørtrykkingen fra en trykkegrop og til en mottakgrop. Som rørtypen benyttes både betongrør, glaserte leirrør, GRP-rør og stålrør.

BOREMETODER - Ved boring i løsmasser etableres et nytt medierør direkte i urørt terreng, ved styrt framføring av stålstreng og opprømming / inntrekking av nytt rør. Denne metoden kan med fordel brukes i vernede områder, bymiljø og boligområder, under elver, veier og jernbaner, på store dyp og i myrområder. Grunnundersøkelser er en viktig del av planleggingen. Metoden omtales som «styrt boring i løsmasser». Ved boring i fjell eller kombinasjonsmasser bores et hull direkte, eller med fortløpende innføring av stål varerør, for etterfølgende innføring av nytt medierør. Fjellboring utføres med en fjellborekrone påmontert en borestreng. Borelengder kan variere fra 10 til 600 m. Boring i kombinasjonsmasser, det vil si både fjell og løsmasser på samme strekning, utføres ved «hammerboring». Boringen foregår som i fjell, men det bores alltid i front av et stål varerør med fortløpende rørtrykking. Borelengde er normalt mellom 10 og 90 meter. Retningen kan delvis

korrigeres under boring, med kontinuerlig posisjonsmåling. AT-boring (All Terrain) er en videreutvikling av tradisjonell retningsstyrt boring. Metoden kan benyttes ved boring i kombinasjonsmasser med både fjell og løsmasser. Den kan også benyttes i morenemasser og sprengstein.

RØRINNFORING («RELINING») - Ved denne metoden foretas det en direkte innføring av nytt rør i det gamle røret. Ved etablering av nytt rør kan aktuelle rørtypen være:

- PE-rør i rette lengder, som sammensveises til en kontinuerlig lengde før innføring.
- PE-rør levert på kveil, for å unngå sveising og begrense innføringsgropens lengde.
- Rørseksjoner av PE, PP eller GRP, som sammenkoples fortløpende under innføring.
- Duktile støpejernsrør med strekkfaste skjøter, som føres inn på et stabilt underlag.

UTBLOKKING - Ved denne metoden skjæres det gamle røret ut med et utblokkerhode av stål, påmontert nytt rør for fortløpende innføring. Ved innføring av nytt rør er de mest benyttede rørtypen:

- PE-rør i rette lengder
- PE-rør levert på kveil
- Duktile støpejernsrør med strekkfaste skjøter

Utblokkning er den eneste metoden hvor eksisterende rør kan oppdimensjoneres

STRØMPERENOVERING - Ved denne metoden føres det inn en strømpeforing i det eksisterende røret, som trykkes og legger seg ut mot eksisterende rørvegg. Strømpeforingen leveres normalt som glassfiber- eller filtstrømpe, og er mettet med polyester eller epoksy-harpiks. Strømpeforingen herdes med varmt vann, damp eller ultrafiolett lys. Slike strømper krever liten plass ved innføring, utføres fra kum til kum eller med såkalt blind ende. Tilkoplinger gjenåpnes ved robotstyrt fres. Strømpeinstallasjoner har hittil primært blitt benyttet i avløpsledninger, men tas etter hvert også i bruk i vannledninger.

Tettisluttet rør - Ved denne metoden føres det inn et foldet eller innsnevret rør i det gamle røret. Det innførte røret trykkes og legger seg ut mot eksisterende rørvegg. Denne metoden benyttes i tre varianter:

- Sammenfoldet fra fabrikk: På fabrikk produseres røret med umiddelbar sammenfolding og oppkveiling.

- Slange fra fabrikk: Utforing med en armert slange som enten blir formet til et permanent rør etter inntrekking eller som trykkes ut mot rørveggen n r vann transporteres under trykk.
- Dimensjonsreduksjon på anleggsstedet: PE-rør sammensveises og umiddelbart f r innføring, føres PE-røret gjennom en tverrsnittsreduksjon med mekanisk påvirkning. Det «innsnevrede» PE-røret føres inn i det gamle røret, tilføres trykk og varme, og utvider seg mot rørveggen.

Belegg - Ved denne metoden foretas påsprøyting med en to-komponent, direkte på eksisterende rørvegg i det gamle røret. Stoffet herder umiddelbart. Et roterende dysehode trekkes med konstant hastighet gjennom røret som skal fornyes. Tilkoblede slanger transporterer belegg-komponentene fra pumperiggen til dysehodet. Folkehelseinstituttet må godkjenne produktet f r bruk i drikkevannsledninger.

8.1 Klimaregnskap og bærekraft

I rapport NoDig versus åpen grøft, 2010, Porsgrunn Kommune, er det utført omfattende analyser ift.  konomiske, juridiske, miljø og samfunn. NoDig har enkelte utfordringer ift. regelverk og eierstruktur, da stikkledninger på selve ledningen mellom kumpunkter spesielt på vannledninger, ikke enkelt kan la seg byttes ut ved hjelp av NoDig systemer. Likevel er konklusjonen fra rapporten tydelig.

Figur 90 -  konomi "Skjelsvik prosjektet (NoDig vs åpen grøft, 2010, Porsgrunn kommune)

	Kr	Kr / m
Graving (kalkulert)	8,1 mill.	8 400,-
NoDig-utførelse	4,3 mill.	4 500,-
Besparelse	3,8 mill.	3 900,-



Foto 14: Boliggate, Skjelsvik

Resultatene viser store både økonomiske, miljømessige og samfunnsmessige besparelser.

Tabell 24 - NoDig versus åpen grøft, økonomiske, miljømessige og samfunnsmessig sammenstilling (Porsgrunn kommune, 2010)

Indikator	Parameter	Enhet	Metode	
			Graving/åpen grøft	NoDig/utblokking
1 Påvirkning klima og luft	CO ₂ -utslipp fra anleggsaktivitet	Tonn	101,1	13,1
	Lokal luftforurensing	PM10 / NO ₂	Ikke beregnet	Ikke målt
2 Beslaglagt areal	Totalt oppgravd / beslaglagt areal	m ²	9690	935
3 Massebehov	Behov for ny masse tilkjørt	m ³ pukk	682	49,3
		m ³ fyllmasse	0	0
		m ³ asfalt	82,5	5,5
4 Støy	Støy fra anleggsmaskiner	dB/subjektiv beskrivelse	Intervju (ikke utført)	Intervju (ikke utført)
5 Energibruk	Totalt energiforbruk	MJ / kWh	Ikke beregnet	Ikke målt
	Beslaglagt trafikkareal	m ² / 100 m	0	0
6 Trafikkulemper	Økt anleggstrafikk	Antall lastebilur	162	13
7 Anleggstid	Antall dager fra anleggsstart til stopp	Dager	120	60
8 Helse og sikkerhet	Opplevde helseplager og følelse av redusert sikkerhet	Subjektiv beskrivelse	Intervju (ikke utført)	Intervju (ikke utført)
9 Boforhold	Inngrep / påvirkning relatert til bosted / eiendom / adkomst	Subjektiv beskrivelse	Intervju (ikke utført)	Intervju (ikke utført)
10 Anleggs-kostnader	Kostnader direkte knyttet til utførelsen av arbeidet	1000 NOK	8 100	4 300
11 Indirekte kostnader	Kostnader som indirekte knyttes til et prosjekt	1000 NOK	Ikke beregnet	Ikke beregnet
12 Nærings-kostnader	Tapte inntekter for berørt næringsvirksomhet	1000 NOK	Ikke beregnet	Ikke beregnet

Tabellen viser helt klare fordeler og vinninger ved bruk av NoDig. Både billigere å bygge, mindre utslipp og lite utfordringer i form av tomtearealer som må overtas, brukes og kjøpes ut da det skal etableres VA tekniske anlegg. Reduksjon i CO₂ utslipp på hele 87,1 % og en besparelse på 3,9 mill kr på dette anlegget alene.

9 Diskusjon og konklusjon

Tabell 25 - Tjenestekvalitet på Norske VA tjenester (Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2)

Mål for vann og avløp	Status	For ulike kommunestørrelser, etter antall innbyggere		
	Norge	> 20 000	5 000 – 20 000	< 5 000
God tjenestekvalitet for brukeren:				
Hygienisk vannkvalitet, % tilk.innb.	99%	100%	96%	95%
Ikke-planlagte avbrudd, t/tilk. innb./år	0,22	0,21	0,25	0,37
Hygienisk barrieresikring, egenrap. %	~100%	~100%	~100%	Ukjent
Reservevannforsyning, % tilkn. innb.	~67%	64%	73%	Ukjent
Lekkasje fra ledningsnettet, % prod.	30-40%	37%	~41%	Ukjent
Kjelleroversvøm., antall/1000 tilk. innb.	0,05	0,05	0,07	0,08
God tjenestekvalitet for miljøet:				
God økologisk tilstand vannforekomster	74%			
Overholdelse av rensekrav, % overh.	49%	48%	53%	51%
Fremmedvann i avløpsnettet	~59%	62%	~51%	Ukjent
Urenset utslipp fra overløp	~4%	5%	~<2%	Ukjent
Gjenbruk av slam/biorest	77%	86%	82%	41%
Energiproduksjon, % av forbruk	~29%	39%	~5%	Ukjent
Klimagassfottrykk, tonn CO ₂ ekv.	~737 000			
Lave kostnader for samfunnet:				
Komm. VA-gebyr (snitt), kr/std.bolig/år	10 200	8 600	9 700	11 200
Variasjon i VA-gebyr, kr/std.bolig/år	3 400-21 800	4 300-14 300	3 400-19 300	4 900-21 800
Overvannsskadekostnader, kr/hush./år	1 400-2 400			
Øvrige samfunnskostnader	Kostnader av stengte gater, graveskader mv. (ikke prissatt)			
Indikator som er relevant for flere mål:				
Årlig fornyelse av VA-nettet (% av sum)	0,7%	0,9%	0,8%	0,4%

Som det fremkommer av Tabell 25, er den grunnleggende vannforsyningstjenesten til abonnentene tilsynelatende i tråd med krav. Den hygieniske vannkvaliteten er god for nesten samtlige innbyggere, og ikke-planlagte avbrudd er kun ~0,2 timer per innbygger per år i snitt. En stor andel av store kommuner oppgir å ha tilstrekkelig barrieresikring for samtlige innbyggere, men få kan vise til objektiv vurderingsmetodikk. Små kommuner mangler data og rapportering på barrieresikring. 33 % av norske innbyggere som er tilknyttet kommunalt nett, mangler alternativ vannforsyning. Denne andelen vil reduseres til nærmere 20 prosent når Oslo får ny alternativ forsyning i 2028. Kun 74 % av norske vannforekomster har god økologisk tilstand. Hovedårsaken til dette er at kun 49 prosent av innbyggerne er tilknyttet renseanlegg som overholder rensekravene og/eller at rensekravene ikke har vært tilstrekkelige. Dette har igjen sammenheng med mengden fremmedvann som tilføres renseanleggene (anslagsvis 59 prosent – basert på tall fra de største kommunene). I tillegg skjer utslipp

av urensset avløpsvann via overløp i fellessystem for overvann og spillvann, når avløpsnettets overbelastning ved kraftig nedbør og snøsmelting. Når det gjelder øvrige miljømål gjenbrukes om lag 77 prosent av slam/biorest fra norske avløpsanlegg til jordforbedringsformål.

Energiproduksjonen/gjenvinningen tilsvarer anslagsvis 29 prosent av energiforbruket på vann- og avløpsanleggene i landet som helhet. Klimagassfotavtrykket til sektoren er beregnet til 737 000 tonn CO₂-ekvivalenter for 2019 og omfatter både direkte og indirekte utslipp.

Forskjellene på tjenestestandarden i store og små kommuner er betydelig. Små kommuner har noe dårligere vannkvalitet og leveringsstabilitet enn større kommuner. Det mangler samlede data på små kommuners barrieresikring og reservevannforsyning. Problemer med utslipp av urensset avløpsvann fra overløp er størst i de store kommunene med stor andel fellessystem for overvann og spillvann. Utslipp av urensset spillvann fra små kommuner er overveiende. Ledningsfornyelsen klart lavest i små kommuner, og gebyrene betydelig høyere. Sistnevnte forhold kan skyldes både ikke-påvirkbare (få innbyggere per km ledning og per behandlingsanlegg) og påvirkbare forhold (f.eks. mangel på kompetanse og effektiv organisering). Forskjeller i gebyrer skyldes også forskjell i rensekraft og i standarden på tjenesten, herunder sikkerhet i vannforsyningen og grad av ledningsfornyelse.

Etter 30 år i bransjen i ulike industrier, er erfaringen at det ikke alltid er de optimale løsningene som velges. Mye av prosjektering av VA tekniske anlegg går på klipp og lim, da fokus på økonomi og regler om offentlige anskaffelser kveler faglig kompetanse og fokus på beste løsninger. Vane og standardiserte løsninger gjentas uten faglige vurderinger ift. levetid og miljø. Tallene fra «Mulighetsstudien gir ganske tydelige signaler om at det må meisles en annen både vei og metode for VA tekniske anlegg i fremtiden. Bransjen lider nok under manglende statlig regelverk, da hele 11 direktorater styrer hverdagen, og fokus på økonomi og avgifter har styrt hvordan ledningssystemet er bygget opp. Endringer for å få til et mer holdbart både regelverk og strukturelt system, krever mange år og politisk vilje. Størrelsen på VA etatene har og stor betydning ift. påvirkningskraft. Større enheter vill hatt større faglige miljøer og derigjennom vært mer involvert i oppbygging av regelverk.

Målet med oppgaven var å se på transportsystemer til drikkevann og avløpsteknikk som er nytt masterfag ved UiT IBEM, våren 2023. Oppgaven har hatt som fokus å se på produkter, materialer og tekniske spesifikasjoner og metode beskrive beregningsmodeller som grunnlag for vanntransport av ulike typer.

Rapporten danner grunnlag for kompendium i faget BYG 3609 – Vann og avløpstransportsystemer.

Referanseliste

Johansen, Tor Are: "Under byens gater". Utg. Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, 2001.

Thorolfson, Svein T. VA Teknikk GK, Institutt for Vann og Miljøteknikk, NTNU, 2008

Ødegård, H. (Red) VA Teknikk, Norsk Vann, 2012

VA handboken, Pipelife AS

Trykkrørsystemer av Polyetylen, Hallingplast AS

Prefabrikkerte kummer skal være en sikker arbeidsplass,

Mulighetsstudie for VA-sektoren med samfunnsøkonomiske analyser OE-rapport 2022-2

Foredrag Ventiler og sluser, Kristian Drolsum, 2018, Ulefos AS

Foredrag Overvannssystemer, Nils Aaby, 2018, Miljø og Fluidteknikk AS

Standard abonnementsvilkår – Adm. bestemmelser, Kommuneforlaget, 2017

Standard abonnementsvilkår – Tekn. bestemmelser, Kommuneforlaget, 2008

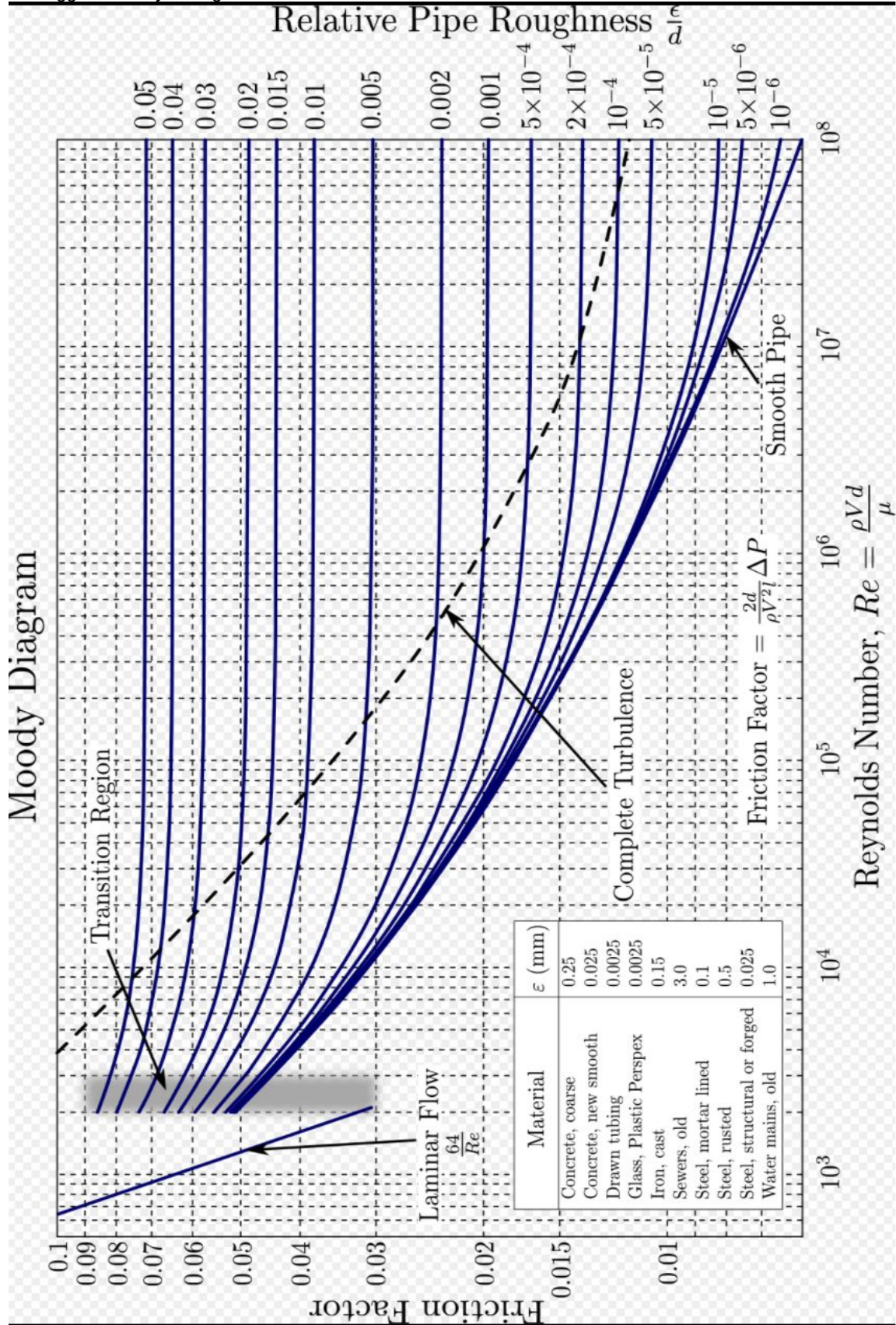
VA-Miljøblad Nr 30 – Valg av rørmateriell, 2011

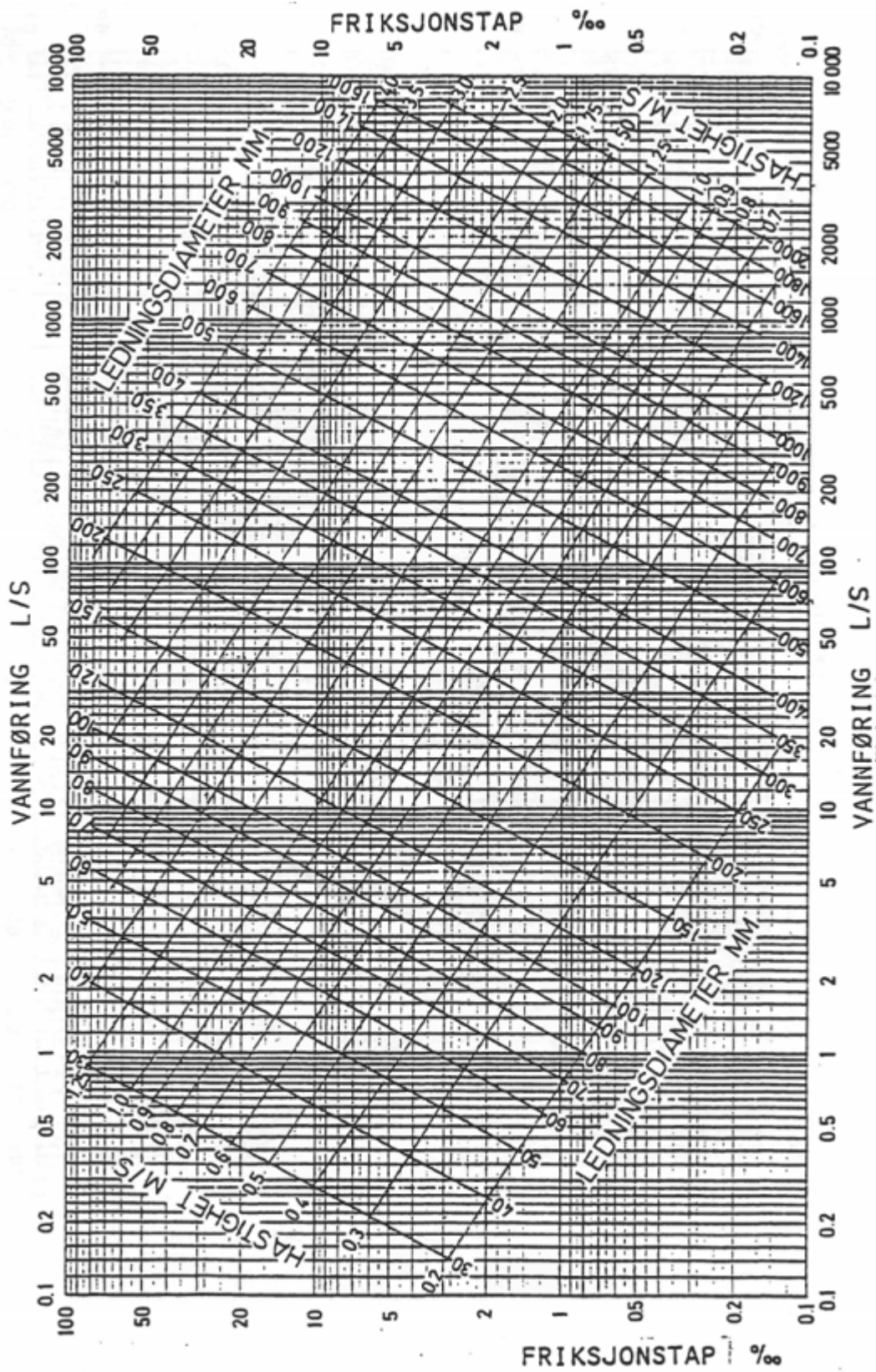
VA-Miljøblad Nr 46 – Utløp under vann, 2015

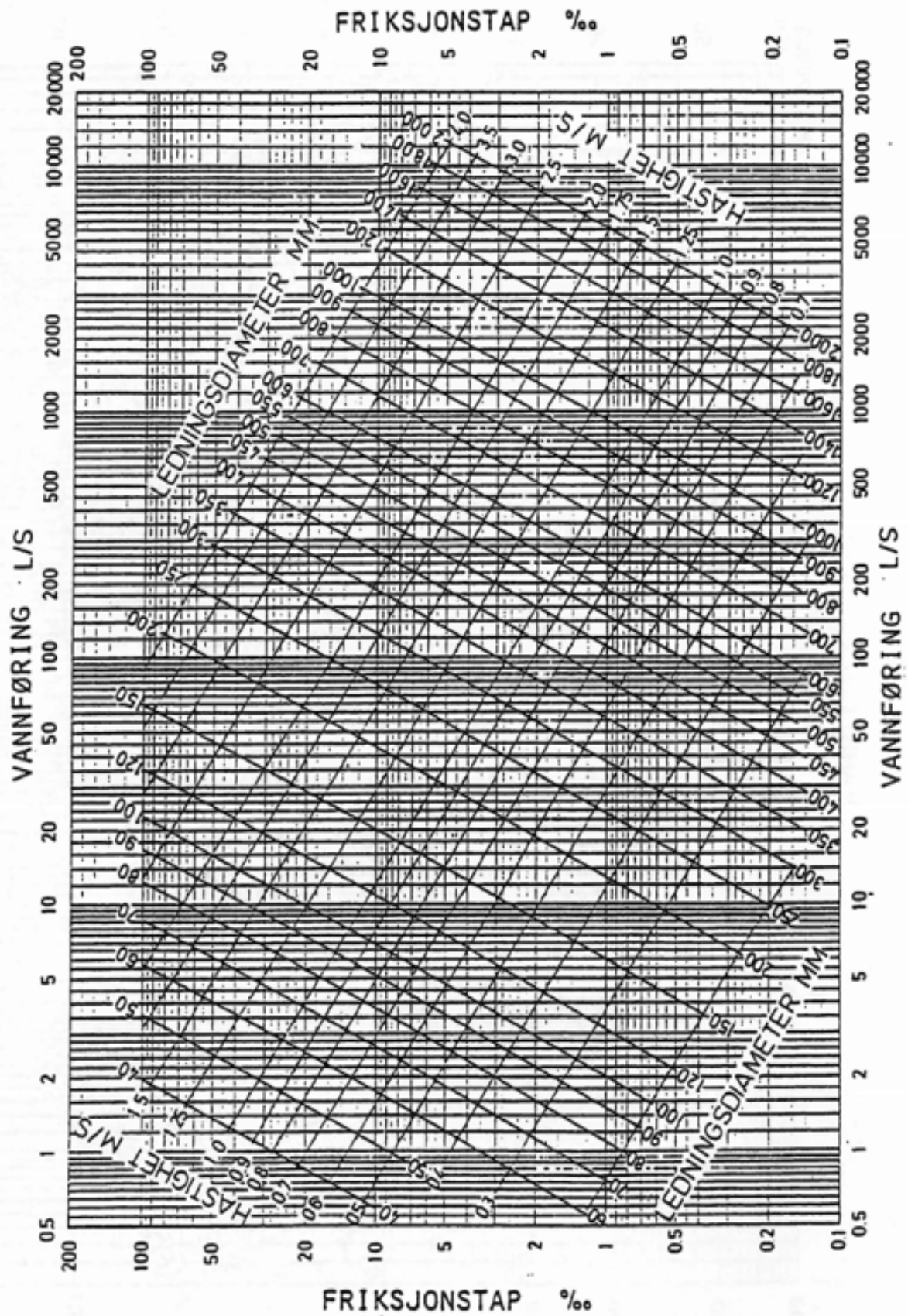
VA-Miljøblad Nr 74 – Regnvannsoverløp, 2008

Norsk Vann rapport nr 181 – Veiledning i bygging og drift av drikkevannsbassenger, 2011

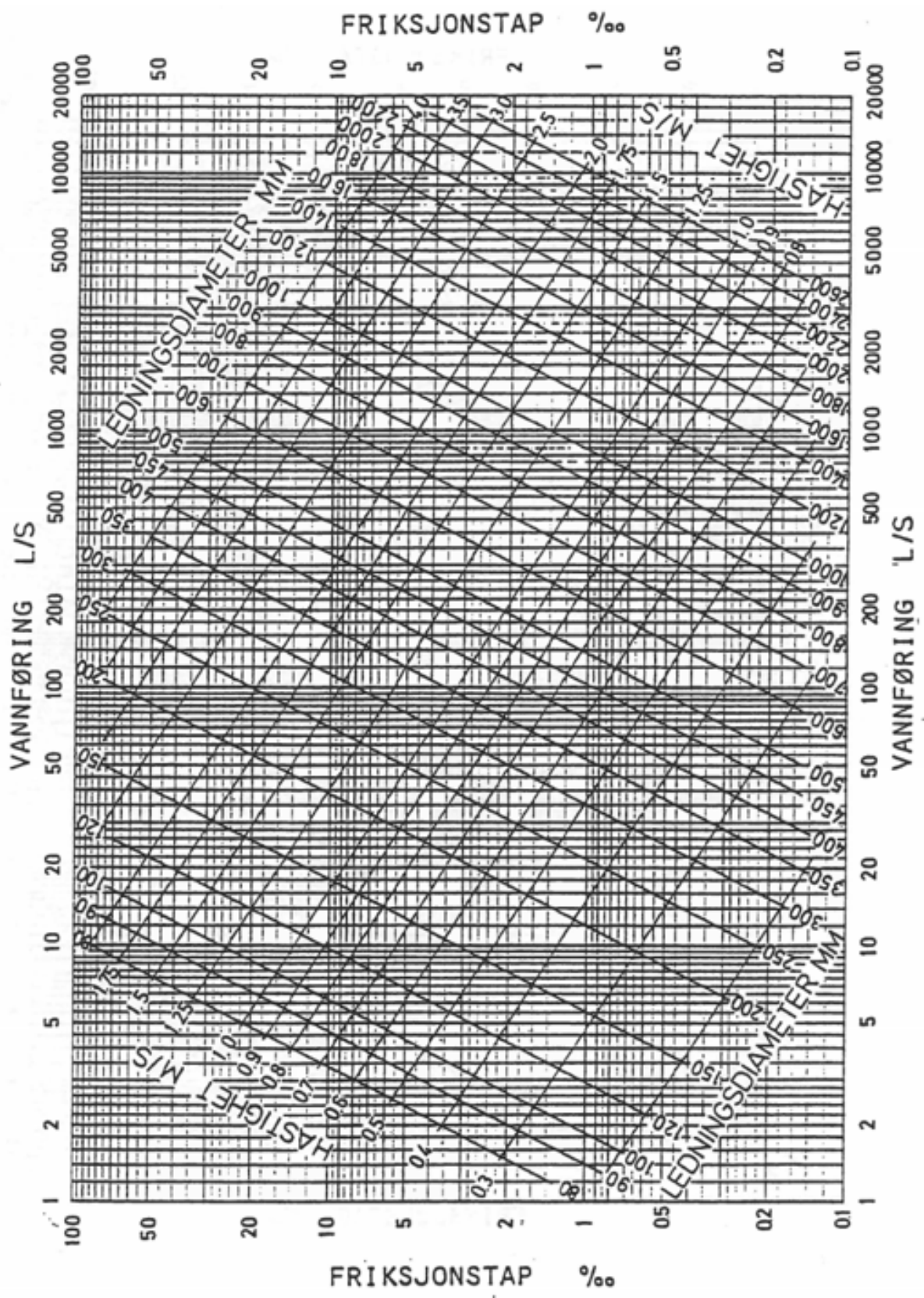
Norsk Vann rapport nr 193 – Veiledning dimensjonering utforming VA transportsystem, 2011

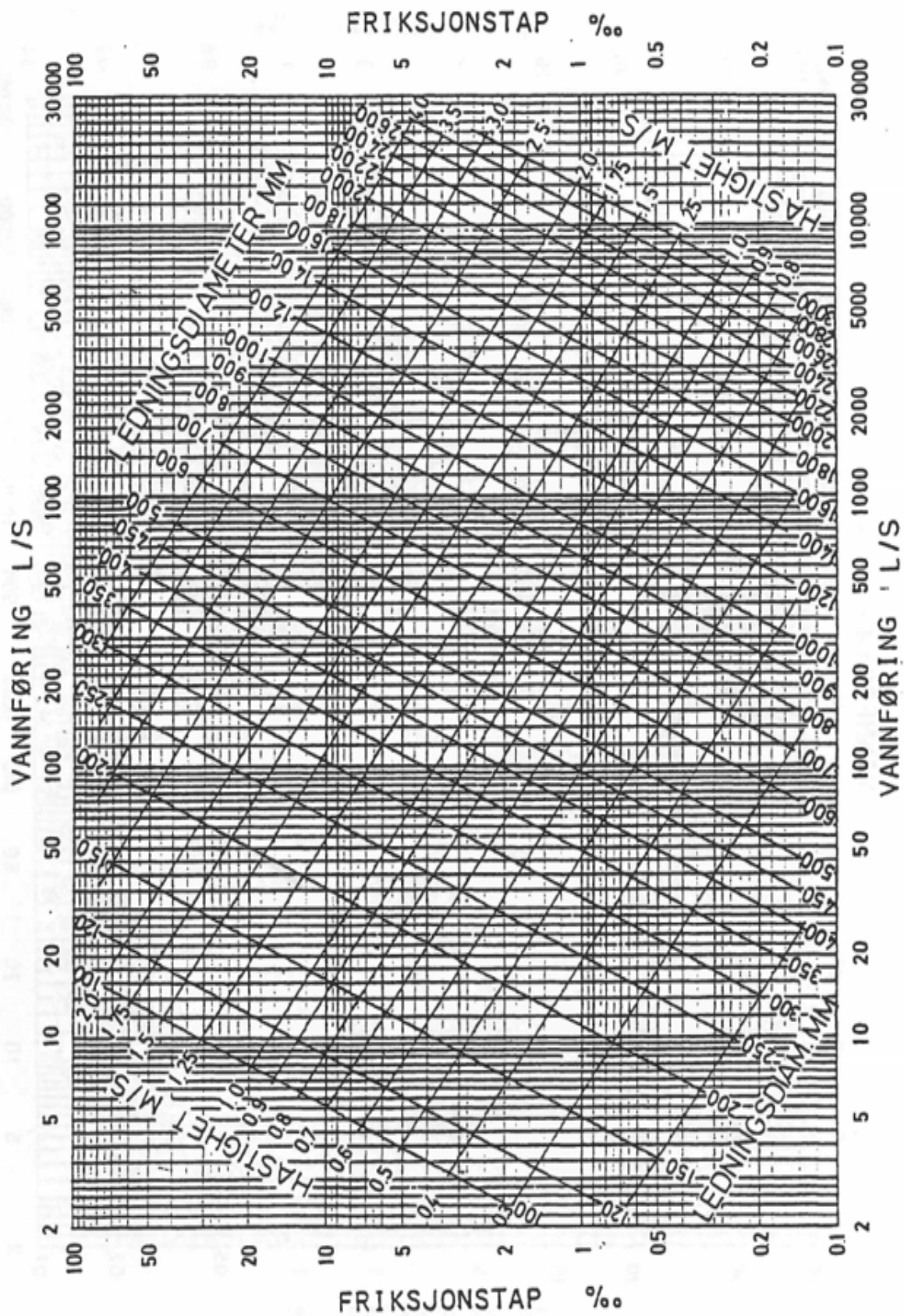


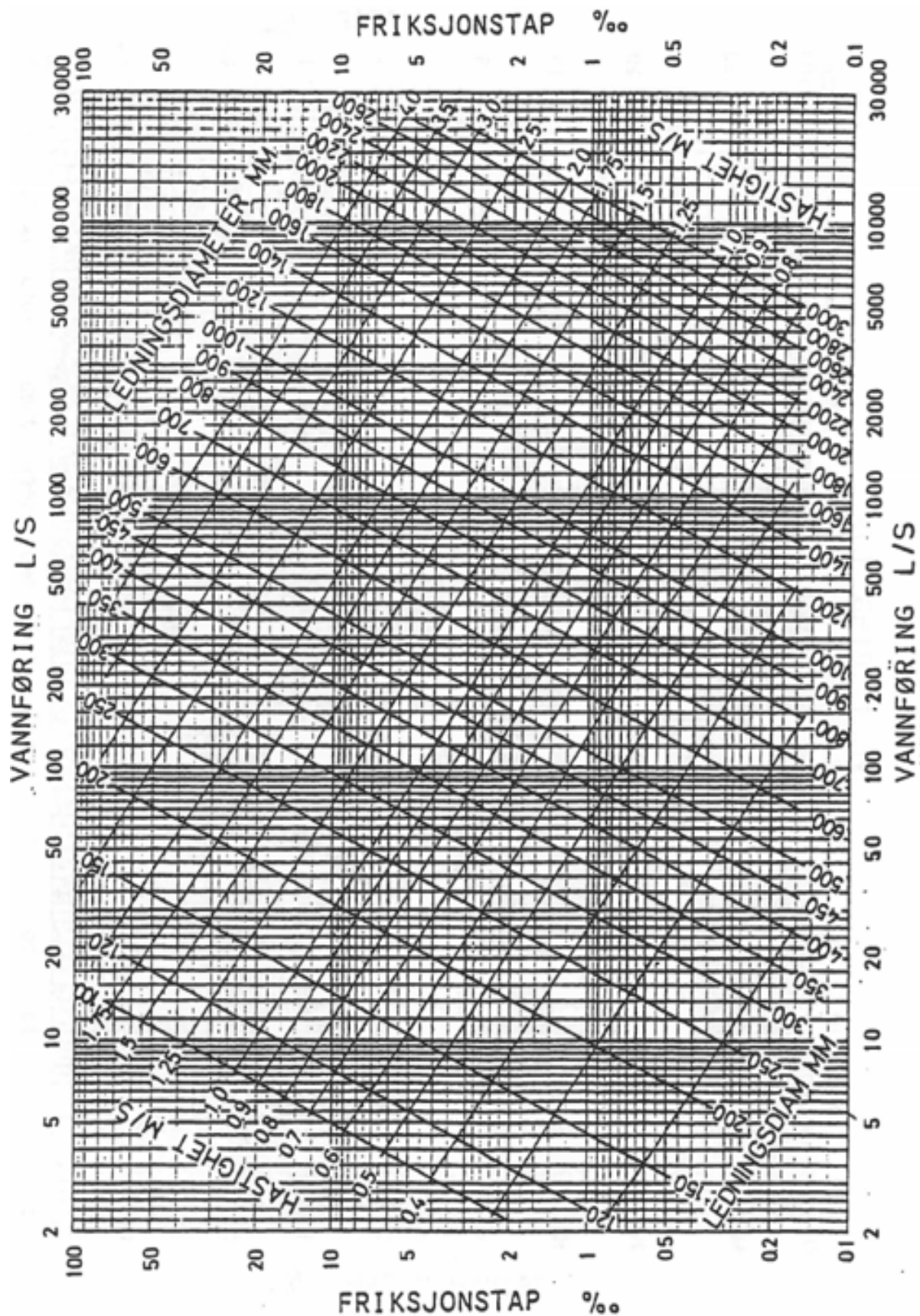


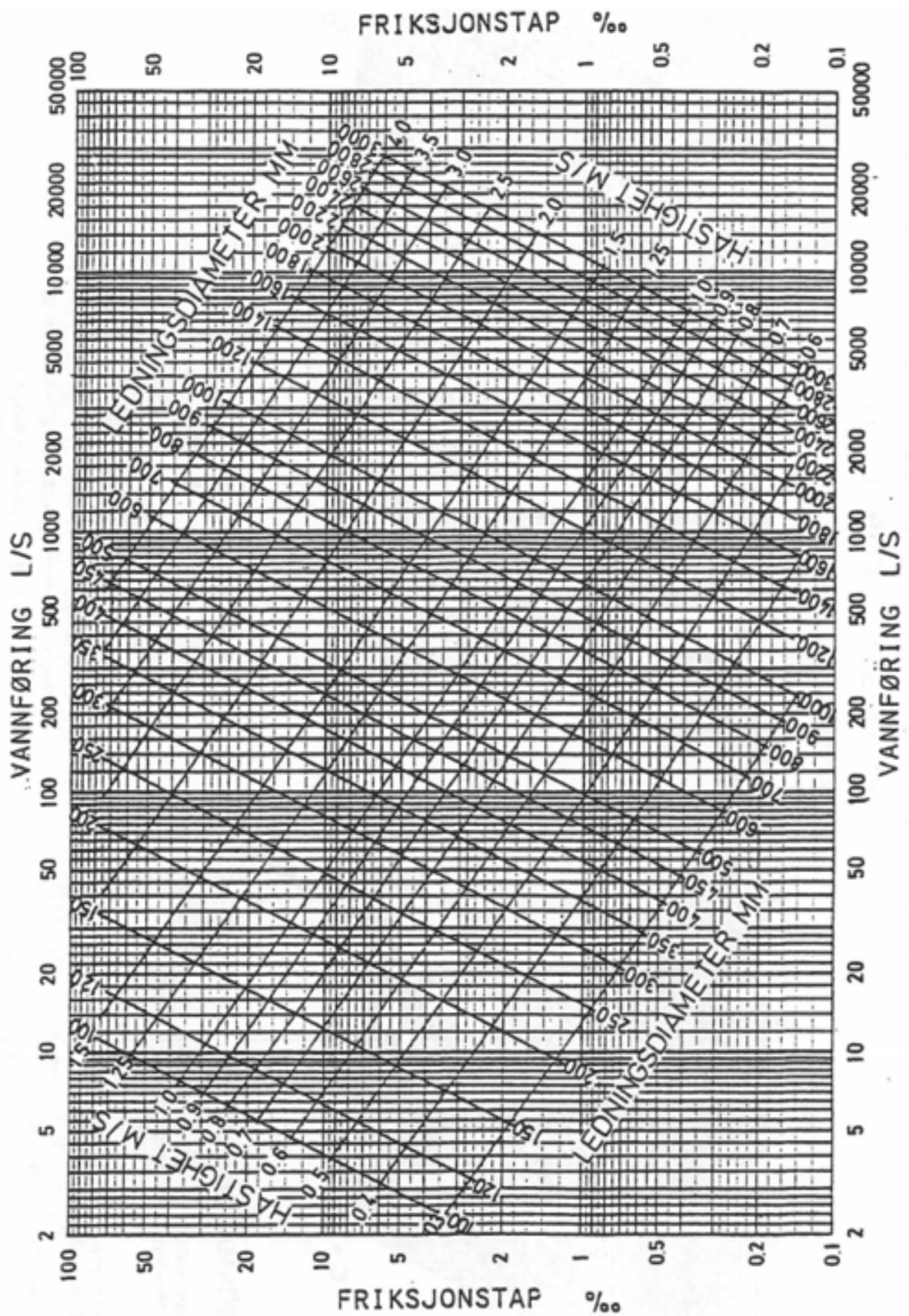


Vedlegg 4 - Colebrook $k=0,5 \text{ mm}$









Vedlegg 8 - Materialelegenskaper plastmaterialer (Pipelife rørhandbok)

Egenskaper	Enhet	PVC	PP	PP- HM	PE 80	PE 100
Densitet	kg/m ³	1 400	900	900	950	955
Bruddspenning v/20 °C og 50 år kontinuerlig belastning, MRS	N/mm ²	25	10	10	8	10
Dimensjonerende spenning - høy design faktor	N/mm ²	10	6,3	6,3	5,0	6,3
Dimensjonerende spenning - lav design faktor	N/mm ²	12,5	-	-	6,4	8,0
Strekkfasthet ved flyt	N/mm ²	55	30	30	20	22
E-modul (korttids)	N/mm ²	3 000	1 250	1 700	800	1 000
Krypmodul* (50 års belastning)	N/mm ²	ca. 1 000	ca. 300	ca. 400	ca. 160	ca. 200
Krypforhold (EN-ISO 9967, 50 års ekstrapolasjon)		ca. 3	ca. 4,2	ca. 4,2	ca. 5	ca. 5
Lengdeutvidelse	$\frac{\text{mm}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$	0,08	0,13	0,13	0,18	0,16
Slagfasthet Notch Izod ved 23 °C (ISO 178)	kJ/m ²	> 5	> 40	> 40	> 50	> 50
Maks. brukstemperatur kontinuerlig belastning	Disse plastmaterialene tåler normalt temperaturer mellom 20 °C og 45 °C godt, men i trykkrør må tillatt trykk reduseres. Ved temperaturer over 45 °C kontinuerlig i selvføllsledninger bør du kontakte Pipelifes eksperter for å diskutere materialvalg og valg av løsninger.					
Maks. brukstemperatur korttids belastning (trykkløst rørsystem)	°C	95	100	100	95	95
Varmeledningsevne	$\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$	0,16	0,20	0,20	0,40	0,40

* Krypmodul = korttids E-modul/krypforhold. Oppgitte verdier er veiledende og veldig avhengig av råvaren, og bør sjekkes i kritiske tilfeller.

Vedlegg 9 – Material koder stål

AISI	
630	17/4 PH, Høy styrke pga varmebehandling, ofte brukt til ventiler og motorkomponenter, turbinblader og høy styrke aksler. S165M, Høystyrke stål med lav karboninnhold og med Molybden. Moderat korrosjonsmotstand lik 304. Ofte brukt til bl.a propell akslinger, pumpedetaljer.
430	Mest brukte ferrittiske kvaliteten i dag, typiske bruksområder er i vaskemaskiner, oppvaskmaskiner, vasker og benkeplater.
420	Høy bruddstyrke, Benyttes bl.a til ventiler, akslinger og pumpedetaljer
444	Kromstål med Molybden, Korrosjonsegenskaper kan sammenlignes med 1.4404 i ulike applikasjoner. Ideelt materiale for varmevekslere, kjøler og varmtvannsbereidere
441	Tilsatt Ti og Nb for økt sveisbarhet, mye brukt til innendørs bekledning, heiser, rør og varmevekslere.
303	En rustfri kvalitet tilsatt Svovel for økt maskineringssegenskaper. Uegnet til sveising.
304	Den mest vanlige rustfrie kvaliteten verden over. Næringsmiddel industrien, fra bestikk til kasseroller og benkeplater til kjemisk industri, automobil industri.
321	Som ovennevnte 1.4301 men tilsatt Titan for bedre sveiseegenskaper enn 1.4301, og for bruk i forhøyede temperaturer
304L	Som 1.4301 men har maks karboninnhold på 0,03 for bedre sveiseegenskaper.
316	En øyrefast Cr-Ni-Mo stål, god motstand mot punkt-/spalt korrosjon. Kjemisk industri, cellulose industri og offshore. Min. 2 % Mo
316L	Som 1.4401, men maks karboninnhold på 0,03, bedre sveiseegenskaper.
316Ti	Syrefast kvalitet som har tilsatt Titan for bedre sveiseegenskaper enn 1.4401
316L	Syrefast kvalitet som har minimum 2,5 % Mo.
904L	Høylegert austenittisk kvalitet, 20 % Cr, 25 Ni og 4-5 Mo. Høy motstand mot punktkorrosjon, ofte brukt i høye kloride miljøer og ved aggressive syrer. 254SMO, Stålkvalitet utviklet til bruk i sjøvann. Molybden på 6 %. Høy motstand mot punktkorrosjon. På grunn av høyt Nitrogeninnhold har den høyere mekanisk styrke enn de andre austenittiske stålene
310S	Varmebestandig stål i bruk til opptil 1100 grader. Meget god oksidasjonsmotstand.
314	Som ovennevnte, men i større grad pga silicon innhold 253Ma, varmebestandig stål til bruk over 550 grader, optimalt ved 850-1100° grader. Meget god mekanisk styrke på høy temperatur. Lean Duplex, LDX2101. Korrosjonsbestandighet lik 316L, men langt høyere mekaniske verdier. 21-22 Cr, 1,3-1,7 Ni, 0,1-0,8 Mo, Mn 4-6 Lean Duplex, SAF 2304, høyere korrosjonsbestandighet og mekaniske verdier enn syrefast 316L
329	Duplex kvalitet for høye kjemiske og mekaniske påkjenninger. Gode maskineringssegenskaper. Ofte brukt til akslinger, syrepumper og maskindetaljer for sjøvann. UNS S 31803, Duplex, SAF 2205. Den mest vanlige duplex kvaliteten i dag, høye mekaniske egenskaper og korrosjonsmotstand. UNS S 32750/60, Super Duplex, SAF 2507. Som duplex 1.4462, men med høyere mekaniske verdier, styrke og korrosjonsegenskaper. Alle materialspesifikasjoner og nevnte bruksområder er gitt på basis av alminneling tilgjengelig informasjon, og i god tro, uten ansvar for eventuelle feil.

Vedlegg 10 - NS referanse trykkrør Termoplaster

Produkt	Standard
PE Vannforsyning (Sort med blå stripe)	NS-EN 12203, 2003
PE Kloakkpumpeledning (Sort med rødbrun stripe)	NS-EN 13244, 2003
PVC Vannforsyning (Blågrå)	NS-EN 1452, 1999
PVC Kloakkpumpeledning (Rød)	NS-EN 1456, 2001
PVC Grunnavløpsrør (Rødbrune og sorte)	NS-EN 1401, 1998
PP Grunnavløpsrør (Rødbrune og sorte)	NS-EN 1852, 1998
PP Grunnavløpsrør med konstruert vegg (Rødbrune og sorte)	NS-EN 13476, 2007
PP Dreneringsrør med konstruert vegg (Sorte)	NS 2962, 2000

Vedlegg 11 -Tabell loddbelastning sjøledning

d_e	SDR 33	SDR 26	SDR 17,6	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11
32			0,02+P·1,06	0,01+P·1,06	0,03+P·1,00	0,03+P·0,91
40			0,03+P·1,69	0,04+P·1,67	0,04+P·1,56	0,03+P·1,44
50		0,06+P·2,86	0,06+P·2,64	0,06+P·2,62	0,06+P·2,45	0,06+P·2,25
63		0,12+P·4,54	0,09+P·4,21	0,09+P·4,15	0,12+P·3,88	0,10+P·3,57
75		0,15+P·6,47	0,14+P·5,96	0,13+P·5,88	0,17+P·5,50	0,15+P·5,09
90	0,22+P·9,6	0,21+P·9,31	0,21+P·8,60	0,21+P·8,47	0,26+P·7,93	0,22+P·7,32
110	0,35+P·14,4	0,32+P·13,9	0,33+P·12,8	0,33+P·12,7	0,35+P·11,9	0,34+P·10,9
125	0,45+P·18,6	0,45+P·18,0	0,42+P·16,6	0,43+P·16,4	0,45+P·15,4	0,49+P·14,1
140	0,58+P·23,3	0,55+P·22,5	0,57+P·20,8	0,55+P·20,6	0,57+P·19,3	0,57+P·17,7
160	0,67+P·30,5	0,72+P·29,4	0,72+P·27,2	0,73+P·26,9	0,79+P·25,1	0,74+P·23,1
180	0,86+P·38,6	0,96+P·37,3	0,92+P·34,4	0,96+P·34,0	1,02+P·31,8	0,95+P·29,3
200	1,22+P·47,5	1,20+P·46,0	1,17+P·42,4	1,23+P·41,9	1,19+P·39,3	1,17+P·36,2
225	1,43+P·60,3	1,51+P·58,3	1,53+P·53,7	1,50+P·53,1	1,65+P·49,7	1,49+P·45,7
250	1,72+P·74,3	1,89+P·72,0	1,80+P·66,3	1,83+P·65,6	1,92+P·61,4	1,96+P·56,5
280	2,27+P·93,3	2,39+P·90,3	2,46+P·83,2	2,37+P·82,3	2,45+P·77,0	2,50+P·71,0
315	2,67+P·118	3,03+P·114	3,02+P·105	3,71+P·104	3,12+P·97,5	3,06+P·89,8
355	3,71+P·150	3,89+P·145	3,82+P·134	3,80+P·132	3,86+P·124	3,66+P·114
400	4,17+P·190	4,36+P·184	3,87+P·170	3,89+P·168	3,73+P·157	3,30+P·145
450	5,14+P·241	5,44+P·233	4,96+P·215	4,96+P·212	4,69+P·199	4,20+P·183
500	6,55+P·298	6,65+P·288	6,10+P·266	6,35+P·262	5,95+P·246	5,24+P·226
560	8,24+P·373	8,37+P·361	7,86+P·333	7,75+P·329	7,41+P·308	6,40+P·284
600	10,4+P·428	9,7+P·414	8,99+P·382	8,24+P·378	8,40+P·354	8,98+P·325
630	10,5+P·472	10,8+P·457	9,9+P·422	9,67+P·416	9,28+P·390	9,85+P·359
710	13,5+P·600	13,8+P·581	12,5+P·535	12,4+P·529	12,0+P·495	11,0+P·456
800	17,0+P·762	17,6+P·737	15,4+P·680	16,6+P·672	15,1+P·629	14,2+P·579
900	21,6+P·964	20,7+P·933	20,5+P·860	20,1+P·850	19,3+P·796	18,2+P·733
1000	25,5+P·1191	25,9+P·1152	24,7+P·1062	25,6+P·1049	24,1+P·988	22,4+P·904
1100	34,5+P·1438	33,2+P·1393	30,7+P·1285	30,5+P·1270	28,8+P·1189	
1200	38,5+P·1715	37,3+P·1659	36,6+P·1530	36,1+P·1514	34,1+P·1415	
1400	52,4+P·2333	51,8+P·2258	49,7+P·2082	49,8+P·2061	46,6+P·1927	
1600	68,8+P·3048	69,0+P·2949	65,7+P·2719	64,8+P·2693	61,0+P·2516	
1800	92,8+P·3863	88,5+P·3731	83,1+P·3442	82,4+P·3407		
2000	115+P·4768	111+P·4604	102+P·4249	101+P·4207		

Loddbelastning ($M_{\text{belastning luftvekt}}$) pr m rør for PE sjøledning






Følgende forutsetninger gjelder:

- Røret skal ligge i sjøvann med tetthet 1 025 kg/m³ (relativt lavt saltinnhold)
- Det er ferskvann i røret med tetthet 1 000 kg/m³
- Gjennomsnittlig produksjonsvekt på PE 80 eller PE 100 rør

I formelverket er det anvendt Lu^{luft} som er det samme som P i denne tabellen. [% - deltall 50% = 0,5]

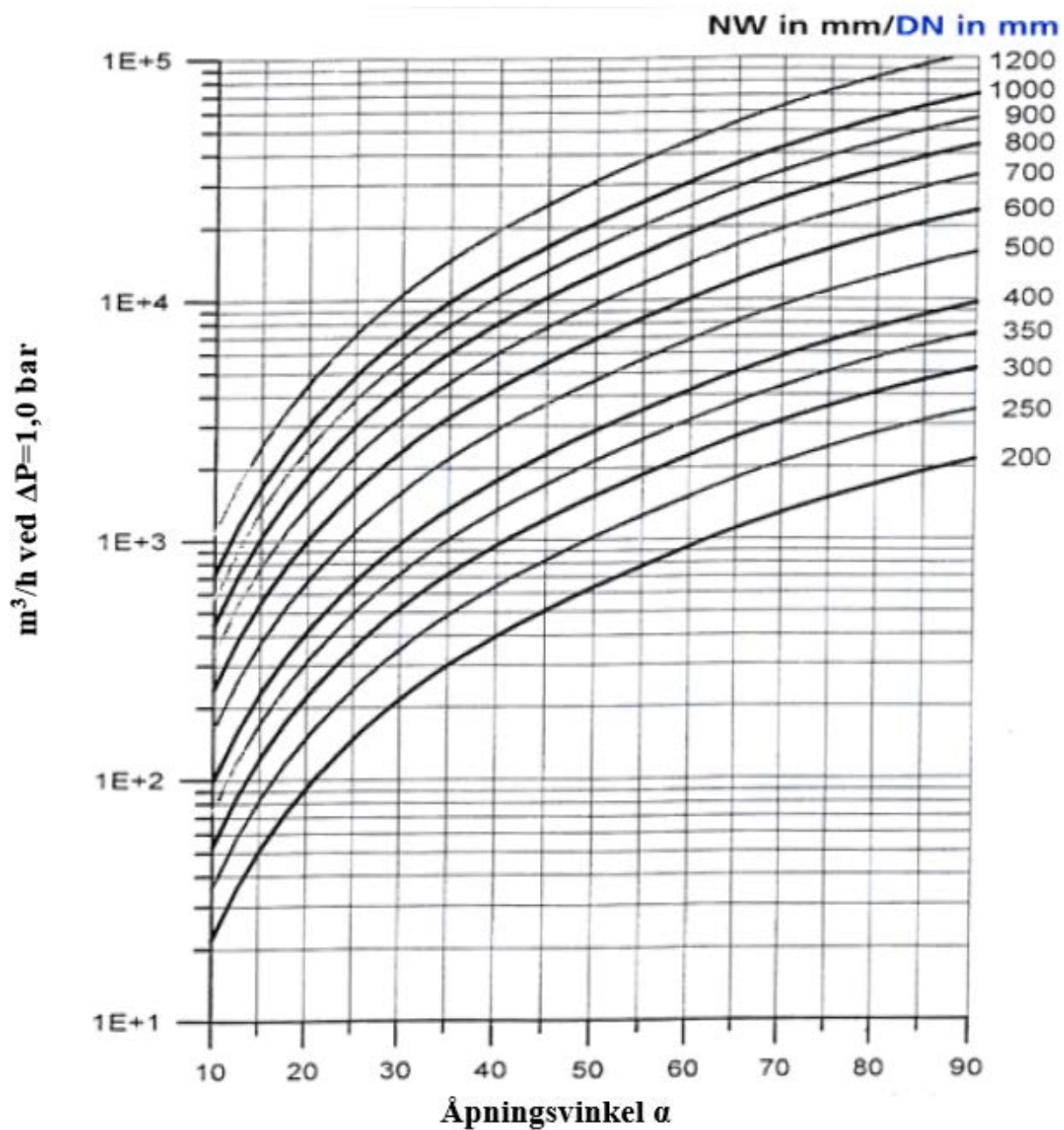
KUNDIAMETER INNENDIG OG UTVENDIG (MM)																																																			
Nominal lednings diameter (mm)	Innendig	utvendig	1200	1200	1400	1400	1400	1400	1600	1600	1600	1600	1600	1780	1780	1780	1780	2000	2000	2000	2220	2220	2220	2400	2400	2400	2400	2500	2500	2500	2500	2760	2760	2760	2760	2760	2760	3000	3000	3000	3000	3400	3400								
	Jordtrykk tonn/m ²		10	15	20	10	15	20	0,6	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2						
100	Min H (m)		0,6	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2				
150	Min H (m)		1,0	0,6	0,5	0,8	0,5	0,4	0,7	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		
200	Min H (m)					1,4	1,0	0,7	1,2	0,8	0,6	0,9	0,6	0,6	0,5	0,7	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
250	Min H (m)								1,5	1,0	0,8	1,2	0,8	0,8	0,6	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
300	Min H (m)											1,8	1,2	0,9	1,4	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
400	Min H (m)															2,1	1,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	

Vedlegg 13 - Godkjente konsoller iht. VA-Blad 112

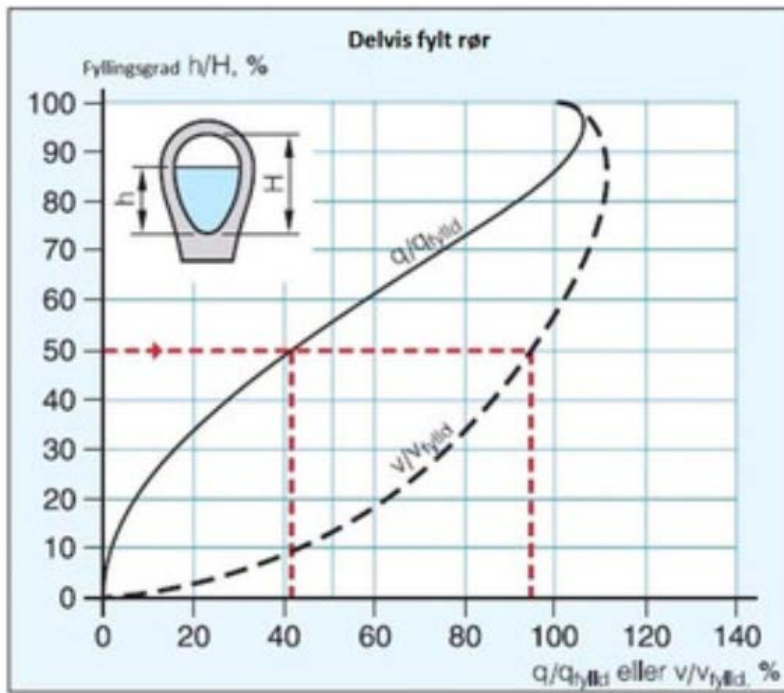
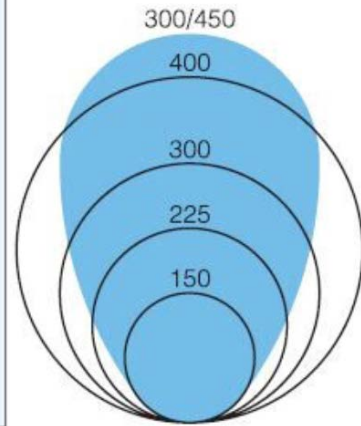
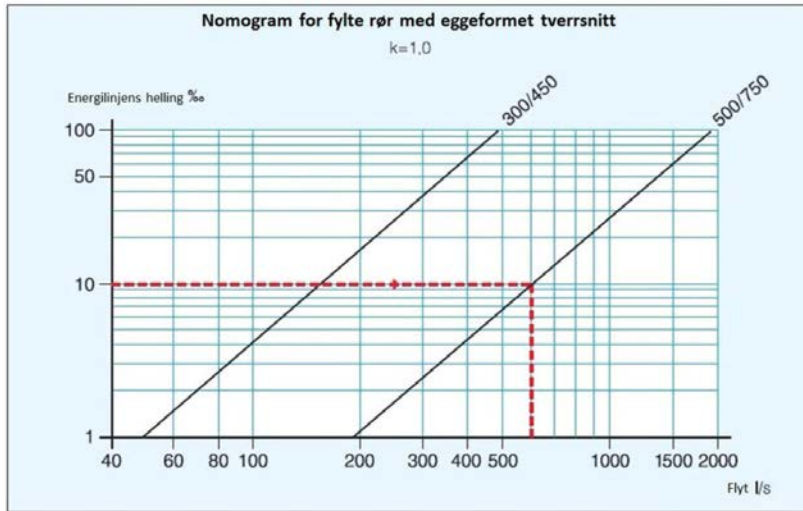
Ventil-leverandør/type	Konsolltype	Forankret ventil/hus-størrelse (DN)	Maks ledningsdim DN (våtareal)	Minimum Kumdim (DN)	Tykkelse bunn, t _s (mm)	Styrkeklasse (Tonn)	Bolt-innfesting	Senterhøyde (mm)										
 Combi ventil med standardisert plassering av festeører fra Ulefos, AVK og Hawle.	Furnes konsoll 112-2 -DN100	100	200 (255)	1400*	150	25	620/620 M27	315										
	Furnes konsoll 112-2 -DN150	150																
	Furnes konsoll 112-2 -DN200	200	250 (285)	1600	180	30	700/700 M36	385										
	Furnes konsoll 112 DN250-300	250																
		250-300	300 (360)	2000	180	45												
 Flensekryss og T med forankringsører fra Ulefos.	Bjønn 1	100	200 (255)	1400*	180	25	700/700 M36	315										
	Bjønn 2	150																
	Bjønn 3	200																
	Bjønn 2	150	250 (285)	1600	180	30	900/900 M36	385										
	Bjønn 3	200																
	Bjønn 4	250																
	Bjønn 3	200	300 (360)	2000	180	45	700/700 M36	315										
	Bjønn 4	250-300	300 (360)	2000	180	45	900/900 M36	385										
									2400	240								
									2500	240								
		250-300 (400**)	400 (435)			65												
				3000	240													
 AVK Fleksibelt kombikryss	Furnes konsoll 620/550	100	200 (255)	1400*	150	25	620/620 M27	315										
		150																
		200																
	BA brakett 250-300		250	250 (285)	1600	180	30	900/900 M36	385									
				300 (360)	2000	180	45											
			300	300 (360)	2000	180	45											
			400 (435)	2400	240	65												
BA brakett 400	400	400 (435)		2400	240	65												
				2500	240													
				3000	240													
 Furnes konsoll A-H 620/550		80-200	200 (255)	1400*	150	25	620/620 M27	315										
									Konsoll Senior DN300/400	300	400 (435)	2000	180	45	900/900 M36	385		
																	2400	240
																	2500	240
				3000	240													
 INNVA Hawle Combiflex																		

*DN 100 og 150 kan benyttes i kum DN 1200, styrkeklasse maks 15 tonn

** Flensekryss DN 400 med forankringsører



Vedlegg 15 Nomogram og delfylling ovale rør (Skjæveland Cementstøperi AS)



Stake-/spylegren, Mabokummer og Pragmakummer



- A1.** Stake-/spylegrenrør for 110 mm stigerør
220 33 94 - 110 mm
- A2.** Stake-/spylegrenrør for 200 mm stigerør
322 67 09 - 110 mm
322 67 14 - 160 mm
322 67 19 - 200 mm
- A3.** 200 mm stigerør
F.eks. PVC SN 8 avløpsrør
- A4.** Teleskopforlengelse med ramme, lokk og pakning
335 85 14 - 160 mm
- A5.** Mabokum dobbelgren
322 77 03 - 110 mm
322 77 05 - 160 mm
322 77 07 - 200 mm
322 77 09 - 250 mm
322 77 12 - 315 mm
322 77 14 - 400 mm
322 77 16 - 500 mm
- A6.** Mabokum rettlop
322 71 02 - 110 mm
322 77 23 - 160 mm
322 77 25 - 200 mm
322 77 27 - 250 mm
322 77 29 - 315 mm
322 77 32 - 400 mm
322 77 34 - 500 mm

- A7.** Pragmakum dobbelgren
322 76 65 - 160 mm
322 76 67 - 200 mm
322 76 69 - 250 mm
322 76 72 - 315 mm
322 76 74 - 400 mm
322 76 76 - 500 mm
- A8.** Pragmakum rettlop
322 76 71 - 110 mm
322 76 83 - 160 mm
322 76 85 - 200 mm
322 76 87 - 250 mm
322 76 89 - 315 mm
322 76 92 - 400 mm
322 76 94 - 500 mm
322 76 96 - 630 mm
- A9.** Mabo- eller Pragmakum med avgrensning i ønsket dimensjon
Hovedlop 250 - 630 mm
Avgrensning 110 - 630 mm
- A10.** Rehabiliteringskum i PE
Rettlopskum eller kum med avgrensning
På bestilling!
- A11.** Pragma spillvann stigerør
308 08 06 - 400 mm, 3 m
308 08 09 - 400 mm, 6 m
- A12.** Pragma overvann stigerør
307 45 91 - 400 mm, 6 m

- A13.** 315 mm teleskopforlengelse med ramme og pakning
335 83 09
- A14.** Tett lokk for 315 mm teleskopforlengelse
335 84 16
- A15.** 315 mm rund ramme med langt skjørt
330 26 14
- A16.** 315 mm firkant ramme med langt skjørt
330 26 15
- A17.** Tett lokk for 315 mm rammer med langt skjørt
330 26 16
- A18.** 400 mm flytende ramme med langt skjørt og tett lokk
335 84 15

- Tetningsringer, teleskoppakning**
- E1.** Tetningsring for 400 mm stigerør
307 48 47
 - E2.** Teleskoppakning for 400 mm Pragma stigerør
335 84 11

- Underlokk innvendig i 400 mm stigerør**
- E3.** Innv. PP-lokk
335 84 31
 - E4.** Innv. PP-lokk med håndtak
335 84 32
 - E5.** Innv. PP-lokk med klembøyle
322 72 52

- Underlokk utvendig på 400 mm stigerør**
- E6.** Utv. PP-lokk, brunt
335 84 21
Utv. PP-lokk, svart
335 84 35
 - E7.** Utv. PP-lokk med håndtak, brunt
335 84 24
Utv. PP-lokk med håndtak, svart
335 84 36
 - E8.** Utv. PVC-lokk med tetningsring, håndtak og to lås
335 84 26
 - E9.** 400 mm PE DBI-dut
335 84 19

- Andre underlokk**
- E10.** Kinalokk for 400 mm stigerørsmuffe
335 84 28
 - E11.** Utvendig PVC-lokk for 200 mm stigerør
335 84 27
 - E12.** 200 mm PE DBI-dut
335 84 18

- Annet tilbehør**
- E13.** 110 mm kumplugg venstre
335 84 45
110 mm kumplugg høyre
335 84 46
160 mm kumplugg venstre
335 84 47
160 mm kumplugg høyre
335 84 48
200 mm kumplugg venstre
335 84 49
200 mm kumplugg høyre
335 84 51

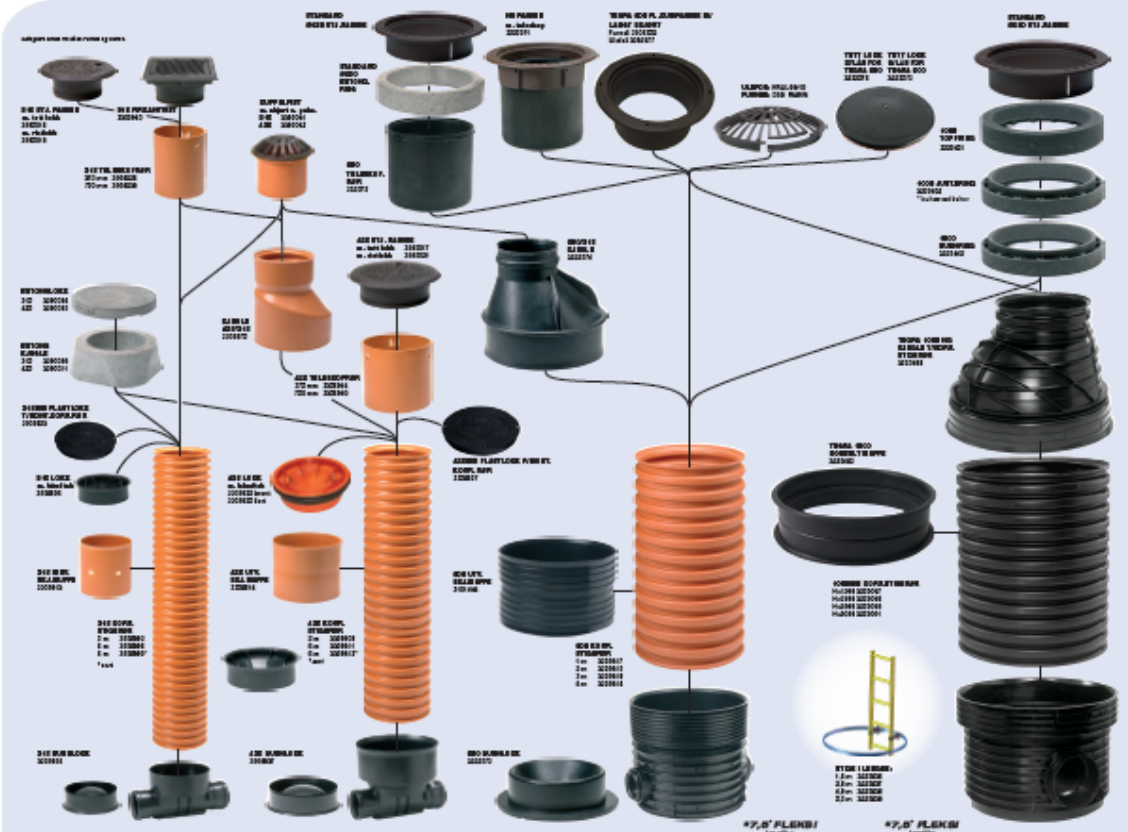


Kumprogram

- størst på fleksibilitet



CONNECT TO BETTER



Ref. diameter	315	425	600	1000
110	T1 312170 T2 312171 T3 312172 T4 312173	T1 312175 T2 312176 T3 312177 T4 312178		
160	T1 312179 T2 312180 T3 312181 T4 312182	T1 312174 T2 312175 T3 312176 T4 312177	T1, 0° 312183 T1, 20° 312184 T1, 40° 312185 T1, 60° 312186 T1, 80° 312187	T1, 0° 312188 T1, 20° 312189 T1, 40° 312190 T1, 60° 312191 T1, 80° 312192
200	T1 312183 T2 312184 T3 312185 T4 312186	T1 312179 T2 312180 T3 312181 T4 312182	T1, 0° 312187 T1, 20° 312188 T1, 40° 312189 T1, 60° 312190 T1, 80° 312191	T1, 0° 312193 T1, 20° 312194 T1, 40° 312195 T1, 60° 312196 T1, 80° 312197
250	T1 312189 T2 312190 T3 312191 T4 312192	T1 312183 T2 312184 T3 312185 T4 312186	T1, 0° 312194 T1, 20° 312195 T1, 40° 312196 T1, 60° 312197 T1, 80° 312198	T1, 0° 312199 T1, 20° 312200 T1, 40° 312201 T1, 60° 312202 T1, 80° 312203
315	T1 312193 T2 312194 T3 312195 T4 312196	T1 312189 T2 312190 T3 312191 T4 312192	T1, 0° 312198 T1, 20° 312199 T1, 40° 312200 T1, 60° 312201 T1, 80° 312202	T1, 0° 312204 T1, 20° 312205 T1, 40° 312206 T1, 60° 312207 T1, 80° 312208
400	T1 312209	T1 312193 T2 312194 T3 312195 T4 312196	T1, 0° 312203 T1, 20° 312204 T1, 40° 312205 T1, 60° 312206 T1, 80° 312207	T1, 0° 312209 T1, 20° 312210 T1, 40° 312211 T1, 60° 312212 T1, 80° 312213



TELEFON 22 30 92 00 TELEFAX 23 50 28 61 E-MAIL wavin@wavin.no INTERNETT www.wavin.no

BASAL PRODUKTMANGFOLD

RØR OG RØRDELER



KUM OG KUMDELER



JUSTERING



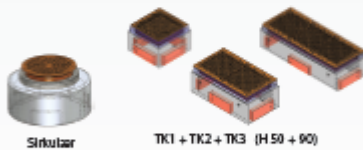
NYHETER!



BETORENS



TREKKEKUMMER



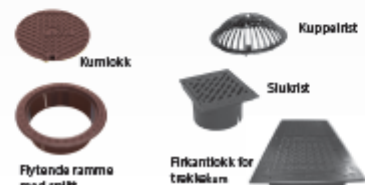
STORM-SERIEN



SUPPLERENDE PRODUKTER



KUMTOPP



KUMGENNOMFØRING

