



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 14 022

Examensarbete 30 hp  
Juni 2014

# Trycksatt avloppssystem och självfallssystem i Fredrikstad kommun. En jämförande fallstudie.

Pressure sewer and gravity system in Fredrikstad  
municipality. A comparative case study.

---

Karin Dahllöf

## REFERAT

### Trycksatt avloppssystem och självfallssystem i Fredrikstad kommun. En jämförande fallstudie.

*Karin Dahllöf*

Krav om förbättrad spillvattenrening och städer som förgrenar sig över större områden är några av anledningarna till att dagens avloppsledningsnät får allt längre ledningssträckor. Att med gravitationens hjälp föra avloppsvatten framåt kräver ett kontinuerligt fall som vid långa avstånd kan innebära mycket schaktning, den ekonomiskt mest belastande delen vid nyinstallation av avloppsledningsnät. Ett fördelaktigt alternativ kan vara trycksatt avloppssystem, som sedan 70-talet har kompletterat de traditionella självfallssystem i kuperade och bergiga områden. På senare tid har trycksatt avloppssystem fått större användningsområde utanför sina etablerade bruksområden med anledning av skärpta krav på rening och kostnadseffektivitet. Självfallssystem är dock det mest använda avloppssystemet i urbana områden. För ett bostadsområde i utkanten av centrum, utanför de båda systemens vedertagna användningsområden, vore det därför intressant att undersöka vilket av avloppssystemen som är bäst lämpat. För VA-branschen generellt vore det också intressant att utreda hur de båda systemen står sig vid en jämförelse.

Med anledning av detta var syftet med examensarbetet att jämföra trycksatt avloppssystem med självfallssystem på grundval av ekonomi, miljö och kapacitet. I tillägg undersöktes om några generella slutsatser kunde fastställas utifrån fallstudien. Undersökningen baserades på ett bostadsområde i utkanten av Fredrikstad centrum, som nyligen projekterats med självfall. Ett teoretiskt trycksatt avloppssystem projekterades. Ekonomi värderades utifrån drift- och underhållskostnader samt grund- och reinvesteringskostnader. Kapaciteten jämfördes numeriskt och via dimensioneringsmodeller. Vad gäller den miljömässiga jämförelsen utvärderades systemet med hjälp av rapporter utgivna av Svenskt Vatten och Norsk Vann.

Det planerades en utbyggnad för området till dubbla antalet fastigheter vilket visade sig bli avgörande för det ekonomiska resultatet. Den vitala faktorn var de höga investerings- och driftskostnaderna för pumpenheterna vilket gjorde självfallssystemet mer ekonomiskt lämpligt. Även ur ett miljömässigt perspektiv var självfallssystemet marginellt bättre, givet att riskeffekterna inte rankades inbördes. Kapacitetsmässigt dimensioneras självfallssystem för nästan det dubbla flödet jämfört med trycksatt system, vilket ger det trycksatta systemet en kapacitet mer anpassad till behovet. Generellt sett antydde resultatet att trycksatt system var mer gynnsamt vid glesare bebyggelse.

**Nyckelord:** tryckavloppssystem, självfallssystem, pumpstation, LTA, spillvatten, avlopp, kapacitetsberäkning

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.*

*Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala*

*ISSN 1401-5765*

## **ABSTRACT**

### **Pressure sewer and gravity system in Fredrikstad municipality. A comparative case study.**

*Karin Dahllöf*

As a result of stricter treatment requirements and city expansion the length of the sewer network is steadily increasing. To drain wastewater by gravity requires a continuous slope which often results in great excavation - a very costly part in the process. An advantageous alternative could be a pressurized sewer system, which has been a useful complement to traditional gravity systems in hilly or rocky areas since the 70's. Even though pressurized sewer systems lately have tended to be more frequently used outside their common application area due to stricter requirements on treatment and cost-efficiency, gravity systems are still the most common sewer system in urban areas. Concerning this, it would be interesting to investigate which of the two systems that suits a residential area on the outskirts of a city center best, since the area is outside the traditional usage of the two established systems. In addition it would be interesting for the wastewater industry in general to investigate how the two systems compare.

For this reason the aim of this master thesis was to compare pressure sewer systems with gravity systems on the basis of economy, environment and capacity. In addition, it was examined whether any general conclusions could be determined from the case study. The survey was based on a residential area in the outskirts of Fredrikstad city center, recently designed with a gravity system. A theoretical pressure sewer system was designed. Economy was evaluated based on the operating and maintenance costs and basic and reinvestment costs. The capacity was compared numerically and through design templates. As for the environmental comparison, an evaluation was done on the basis of reports from the Swedish Water & Wastewater Association and Norwegian Water BA.

An expansion to double the number of real properties was planned for the area of study, which proved to be crucial to the financial results. The gravity system was most appropriate from an economic standpoint and the vital factor was the high investment and operating costs for the pumping units. Even from an environmental point of view, the gravity system was marginally better. Given that the risk effects are not ranked relative to each other. In terms of capacity the gravity system was dimensioned for almost twice the flow compared to the pressure sewer systems, which gave the pressure sewer system a more adjusted capacity. The result indicated that the pressure sewer system is favorable in densely built flexible areas.

**Keywords:** pressure sewer system, gravity system, pumping station, LPS, wastewater, sewerage, capacity calculations

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Sciences,  
Uppsala University. Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala  
ISSN 1401-5765.*

## FÖRORD

Detta examensarbete utgör den avslutande delen på civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet. Arbetet utfördes på VVA-avdelningen vid Sweco, Sarpsborg, och omfattar 30 högskolepoäng.Handledare för examensarbetet var Yngve Løken på Sweco Norge AS och ämnesgranskare var professor Sven Halldin vid Uppsala universitet.

Jag vill börja med att tacka Yngve Løken för råd och hjälp under arbetets gång. Jag vill även tacka Sven Halldin för idéer till förbättring av arbetet.

Tack till Johan Palm och Jens Beckman vid Skandinavisk kommunalteknik som tagit sig tid och svarat på frågor och funderingar.

Jag vill också tacka Sara Eriksson vid Uppsala vatten och avfall och Karl Eidevik vid Arne Rød & Co som tålmodigt försett mig med driftstatistik och prisinformation. Även Jan Lindvall vid Företagsekonomiska institutionen på Uppsala universitet skall ha tack för svar kring ekonomistyrning.

Dessutom vill jag tacka Svenskt vatten (figur 6), Skandinavisk kommunalteknik (figur 2, 3b och 3c samt tabell 4), Fredrikstad kommun (figur 5a), Lantmäteriet (figur 5b) och Pipelife (figur 9) för tillåtelse av publicerade bilder.

Slutligen ett stort tack till Swecokontoret i Sarpsborg för ett fint välkomnande och en lärorik tid!

Sarpsborg, juni 2014

Karin Dahllöf

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## Trycksatt avloppssystem och självfallssystem i Fredrikstad kommun. En jämförande fallstudie.

*Karin Dahllöf*

Majoriteten av avloppssystemen i svenska och norska städer är förlagda med självfall. På landsbygden och i stugområden blir det allt vanligare att förlägga med trycksatt system. Men vart går gränsen för när det ena systemet blir mer gynnsamt jämfört med det andra? Och hur står sig det traditionella förläggningssättet vid en jämförelse mot dagens teknik?

Dagens avloppssystem i Sverige och Norge är resultatet av över 200 års utveckling. Forskning och innovation har förändrat och förbättrat kapacitet och rening. Hårdare krav på rening och kostnadseffektivitet har fört fram nya avloppstekniker och metoder. Den längst beprövade metoden är att med gravitationens hjälp genom kontinuerlig lutning, så kallat självfall, avleda spillvatten till ett avloppsreningsverk. Lutningen krävs för att uppnå tillräcklig vattenhastighet som rensar rören från sedimenterade partiklar, vilka annars kan orsaka stopp i ledningarna. Lutningen innebär att ledningsdikena kan behöva grävas med ständigt ökande djup, en kostsam aspekt då schaktning är den mest ekonomiskt belastande delen vid förnyelse av ledningsnät. Kostnaden har drivit på utvecklingen kring metoder med reducerad schaktning.

Trycksatt system, då varje fastighet förses med en pump, trycker istället vattnet genom ledningsnätet. Pumpenheterna är försedda med skäranordningar som finfördelar de fasta föroreningarna. Kombinationen av tryck och skäranordningar gör att rördimensionerna kan vara förhållandevis små. På det trycksatta systemets huvudledning är den största dimensionen 110 mm vilket kan jämföras med självfallsledningens minsta ledning som är 100 mm. Trycket från pumpenheterna, som gör att ledningarna kan läggas på konstant djup och följa topografin, och de små rördimensionerna minimerar schaktningen och därmed installationskostnaden för ett trycksatt system. Extra konkurrenskraftigt är detta vid områden med berg och fjäll där sprängning kan krävas vid förläggning med självfall. Dessutom kan avloppssystemet förläggas helt utan schaktning alternativt på reducerat djup vid känslig naturmiljö, då ingrepp såsom grävarbete riskerar att skada naturen.

Frågan som ställdes i början om vilket system som är bäst, har inget allmängiltigt svar då områdets förutsättning till stor del avgör vilket system som är mest lämpligt. Det trycksatta systemets begränsade installationskostnad och självfallssystemets låga driftskostnad är konkurrenskraftiga vid olika förhållanden. Många gånger tenderar dock självfallssystem att projekteras utan beaktning av andra avloppstekniker på grund av en traditionell VA-bransch i kombination med begränsad erfarenhet av den nya tekniken.

Undersökningen utfördes genom att ett teoretiskt trycksatt avloppssystem projekterades för ett område i utkanten av centrum av Fredrikstad. Samma område hade nyligen blivit projekterat med självfall. De båda systemen jämfördes på tre punkter - ekonomi, miljö och kapacitet. En detalj som visade sig vara avgörande var kommunens planer på att bygga ut området för studien med 50

hushåll och därmed fördubbla antalet fastigheter. Detta innebar att de båda systemen behövde projekteras och dimensioneras för den framtida förbrukningen. För det trycksatta systemet, projekterat med en villapump per hushåll, var pumpenheterna såpass ekonomiskt belastande att självfall erhöll det mest ekonomiska resultatet. Detta trots en dyrare installationskostnad för självfallssystemet. En jämförelse utan den tilltänka utbyggnationen visade emellertid på ett mer gynnsamt ekonomiskt utgångsläge för det trycksatta systemet. Detta indikerade en konkurrenskraftigare position för det trycksatta systemet vid glesare bebyggelse.

Tryckavloppssystem använder minsta möjliga rördimension för att reducera flödesförluster och uppehållstid i rören. I motsats är det ingen nackdel för självfallssystemet att överdimensioneras, förutom en marginellt högre rörkostnad, så länge självrensning uppnås. Kapacitetsberäkningarna för de båda systemen belyste denna skillnad. Vid dimensionering för självfall blev flödet över dubbelt så högt jämfört med det trycksatta systemet. Anledningen till detta antas vara att alltför stora dimensioner i det trycksatta systemet ger lägre flöde, längre uppehållstid och större flödesförluster. Därför dimensioneras rören till minsta rimliga storlek vilket innebär att kapacitetsberäkningen i större utsträckning anpassas till behovet. För självfallssystemet skall det vid normal drift finnas luft i rören och spillvattnet bör ha en fri vattenspegel. Därmed är utrymmet för överdimensionering större för självfall jämfört med trycksatt avloppssystem.

Enligt Miljöbalken och Forurensningsloven med forskrift (Föroreningslagen med förordning) är samtliga kommuner i Sverige och Norge skyldiga att samla upp och rena avloppsvatten från samlad bebyggelse innan det släpps ut till recipient. Men olyckliga omständigheter såsom driftstopp alternativt bristande underhåll kan medföra att avloppsvattnet hamnar utanför systemet och ger negativ miljöpåverkan. Sammanställda risker rankades på en tregradig skala för varje system varefter de summerades. Självfallssystemet visade sig starkt även här och fick fler miljömässiga fördelar, om än marginellt.

Sammanfattningsvis stod sig självfallssystemet starkt i jämförelsen. Visserligen en traditionell metod men dess anpassning och omarbetning till dagens krav i kombination med dess låga drift- och underhållskostnader gör den allttjämt konkurrenskraftig.

## Ordlista

<b>Avlopps- vatten</b>	Förorenat vatten i form av spillvatten från hushåll, industri och allmän verksamhet samt drän- och dagvatten.
<b>BDT- vatten</b>	Förorenat vatten från hushåll i form av bad-, disk- och tvättvatten. Även kallat gråvatten.
<b>Bräddning</b>	Avledning av avloppsvatten till recipient då det förutbestämde flödet till reningsverket överstigs.
<b>Dagvatten</b>	Nederbörd och smältvatten som avrinner ytligt.
<b>Driftpunkt</b>	Den teoretiska kapacitet som erhålls för en viss pump i ett visst system.
<b>Dränerings- vatten</b>	Markvatten från den omättade zonen och från grundvatten som avleds, dräneras, via rörledning i syfte att avvattna marken.
<b>Duplikat system</b>	Avloppssystem där spillvatten och dagvatten avleds på skilda ledningar.
<b>Förbindelsepunkt</b>	Den punkt där gränsen går mellan de allmänna ledningar som kommunen ansvarar för och fastighetens servisledning. Ligger normalt cirka 0,5 meter utanför fastighetsgränsen.
<b>Kombinerat system</b>	Avloppssystem med spill-, dag- och dräneringsvatten på gemensam ledning.
<b>LOD</b>	Står för lokalt omhändertagande av dagvatten och innebär att man hanterar dagvattnet i det område där det bildas och därmed behövs inga ledningar för att leda bort dagvattnet.
<b>LPS</b>	Low Pressure Sewer
<b>LTA</b>	Lätt tryckavlopp
<b>Separat system</b>	Avloppssystem där spillvatten avleds via rörledning och dagvatten avleds via dike eller rännsten.
<b>Separerade system</b>	Inkluderar duplikat system och separat system.
<b>Servisledning</b>	Ledning mellan allmänna ledningsnätet och fastigheten.
<b>Spillvatten</b>	Förorenat vatten från hushåll, industri och allmän verksamhet.
<b>Tillskottsvatten</b>	Samlingsbegrepp för övriga vatten, förutom spillvatten, som avleds i avloppsledningar. Kan vara dag-, dränerings-, grund- eller havsvatten.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING .....	1
1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNING .....	2
2 TEORI .....	3
2.1 SJÄLVFALLSSYSTEM .....	3
2.1.1 Bräddavlopp och nödutlopp .....	4
2.1.2 Dagvatten i självfallssystem .....	5
2.1.3 Funktionskrav för självfallssystem .....	5
2.2 TRYCKSATT AVLOPPSSYSTEM .....	6
2.2.1 Förläggning på frostfritt djup .....	7
2.2.2 Pumpenheten .....	7
2.2.3 Dagvatten i trycksatt avloppssystem .....	9
2.2.4 Funktionskrav för trycksatt avloppssystem .....	10
3 METOD .....	11
3.1 ÖVERSIKTLIGT UTFÖRANDE .....	11
3.2 TORSNESVEIEN IDAG .....	11
3.3 SJÄLVFALLSSYSTEM PÅ TORSNESVEIEN .....	12
3.3.1 Ekonomi .....	13
3.3.2 Miljö .....	16
3.3.3 Kapacitet .....	16
3.4 TRYCKSATT AVLOPPSSYSTEM PÅ TORSNESVEIEN .....	18
3.4.1 Ekonomi .....	19
3.4.2 Miljö .....	20
3.4.3 Kapacitet .....	21
4 RESULTAT .....	25
4.1 EKONOMI .....	25
4.2 MILJÖ .....	27
4.3 KAPACITET .....	28
5 DISKUSSION .....	30
5.1 EKONOMI .....	30
5.2 MILJÖ .....	33
5.3 KAPACITET .....	35



6 SLUTSATS .....	37
7 REFERENSER.....	38
BILAGOR .....	42
BILAGA A - ANNUITETSFAKTOR .....	42
BILAGA B – BERÄKNING AV DIMENSIONERANDE ANTAL PUMPENHETER.....	43
BILAGA C – ÅRSBASERAD KOSTNADSKALKYL .....	43
BILAGA D – TRYCKAVLOPP MED REDUCERAD DYGNSFÖRBRUKNING .....	45

# 1 INLEDNING

Ända sedan stenåldern har människan valt att bosätta sig vid vatten. Centrala orter växte upp längst vattendrag och vardagliga bestyr skedde ofta vid stränderna. I takt med att städerna växte började dricksvatten hämtas från pumpar och brunnar. Det förorenade vattnet, avloppsvattnet, hälldes ut i diken och rännsten och fick avrinna till närmaste vattendrag. Sommaren år 1843 var torr och het i Stockholm, brunnarna sinade och vattnet hämtades istället från närmaste vattendrag. Konsekvensen av att använda förorenat vatten blev förödande och 3 700 människor dog i den koleraepidemi som uppstod. Med anledning av den sanitära situationen började avloppsledningsnät att byggas vid mitten av 1800-talet (Stockholm vatten, 2011). De öppna diken grävdes efterhand ner i ledningar och allt vatten avleddes till att börja med i en gemensam ledning (*kombinerad avledning*). Detta blev senare skild avledning för spill- respektive dag- och dräneringsvatten (*separerad avledning*). Dagens avloppsledningsnät är resultatet av att avloppssystem byggts ut och förbättrats i takt med att kraven har skärps. Den huvudsakliga uppgiften för dagens spillvattensnät är att uppehålla goda hygieniska förhållanden genom att på ett pålitligt sätt avleda spillvatten till en lämplig behandlingsanläggning där det renas innan det släpps ut till recipient (Svenskt Vatten, 2005). Vanligtvis avleds avloppsvattnet med hjälp av fall, det vill säga ledningarna läggs med en viss lutning i marken så att vattnet förs framåt av gravitationen. De senaste 40 åren har en alternativ metod till spillvattentransporten utvecklats, nämligen trycksatt avloppssystem. Det innebär att pumpar kopplas in på nätet och trycker vattnet framåt. USA:s miljöskyddsbyrå (U.S. Environmental Protection Agency) gav genom Bowne m.fl. (1991) ut en manual för över 20 år sedan för alternativa avloppsledningssystem med anledning av de höga kostnaderna för konventionella självfallsledningar på landsbygden. Trycksatt avloppssystem var ett av tre lågkostnadsförslag som kunde tillgodose behoven.

Trycksatt avloppssystem används främst där självfallssystem är mindre lämpliga såsom topografiskt eller markmässigt svåra områden (Svensk kommunalteknik, 2013). På senare tid har trycksatt avloppssystem börjat användas i större utsträckning utanför de etablerade användningsområdena på grund av krav på förbättrad rening och kostnadseffektivitet (Wärnö, 2004). Det finns ett antal handledningsböcker och rapporter vid förnyelseplanering av avloppssystem och Svenskt Vattens VA-FORSK har sammanställt två rapporter, Wärnö (2004) och Lindqvist m.fl. (2000), som redovisar drifterfarenhet av trycksatt avloppssystem. Men vart gränsen går för när trycksatt avloppssystem är mer gynnsamt jämfört med självfallssystem är svårdefinierad och till stor del beroende av områdets förutsättningar. I tillägg betraktas VA-branschen ofta som konservativ med få inslag av nyskapande och där gamla lösningar dominerar. Detta examensarbete är ett försök till nytänkande genom en jämförelse mellan självfallssystem och trycksatt avloppssystem för ett bostadsområde i utkanten av centrum, utanför de båda systemens vedertagna användningsområden.

Ett bostadsområde i utkanten av Fredrikstad centrum har nyligen projekterats med traditionellt självfallssystem. Genom att projektera ett teoretiskt trycksatt system för samma område och

därefter jämföra de båda systemen skulle en slutsats kunna dras om huruvida det i framtiden borde vara fördelaktigt för samhället i allmänhet och konsultbranschen i synnerhet att i större utsträckning fokusera på alternativ avloppsteknik.

## **1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNING**

Syfte med detta examensarbete att utgå från ett område som nyligen projekterats för nyinstallation, utforma ett trycksatt avloppssystem för samma område och värdera de båda lösningarna utifrån ekonomisk kostnad och miljömässiga fördelar. Ett annat syfte var att jämföra de båda systemen utifrån kapacitetsberäkningar. Det sammatagna syftet var att undersöka hur de båda systemen står sig vid en generell jämförelse. De frågeställningar som examensarbetet ämnade besvara var:

- Är det mer fördelaktigt ur ett ekonomiskt perspektiv att trycksätta avloppsledningsnätet i området för studien jämfört med ett självfallssystem?
- Är det mer fördelaktigt ur ett miljömässigt perspektiv att trycksätta avloppsledningsnätet i området för studien jämfört med ett självfallssystem?
- Vilka kapacitetsmässiga skillnader finns för de två systemen?
- Går det att dra några generella slutsatser utifrån fallstudien?

## 2 TEORI

Spillvatten från bostadsområden innehåller allt det vatten som förorenas i bostaden såsom bad-, disk-, dusch- och tvättvatten (BDT- eller gråvatten) samt toalettavloppet (svartvatten). Spillvatten innehåller organiska ämnen, kväve, fosfor, läkemedelsrester, bakterier, virus och parasiter. Enligt Miljöbalken och Forurensningsloven med forskrift (Föroreningslagen med förordning) är samtliga kommuner i Sverige och Norge skyldiga att samla upp och rena avloppsvatten från samlad bebyggelse innan det släpps ut till recipient (Svenskt Vatten, 2007; Norsk Vann, 2013a). Släpps orenat spillvattnet ut riskerar föroreningarna att medföra allvarlig kontaminering och eventuellt orsaka övergödning. Den huvudsakliga uppgiften för dagens allmänna ledningsnät är att uppehålla goda hygieniska förhållanden genom att avleda spill-, dag- och dräneringsvatten på ett tillförlitligt sätt (Svenskt Vatten, 2005). Spillvattnet kan avledas separat eller blandat med dag- och dräneringsvatten, det kan forslas till reningsverket med självfall, tryckas fram med hjälp av pump eller genom en kombination av de båda. Det finns många val och möjligheter vid avledning av spillvatten och i detta kapitel redogörs för olika begrepp och modeller.

### 2.1 SJÄLVFALLSSYSTEM

De flesta ledningar i Sverige och Norge är självfallsledningar (Lidström, 2013; Norsk Vann, 2013) även så kallade konventionella avloppssystem, som vid normalt flöde har fri vattenyta i röret, det vill säga att röret är luftat. För att strömningen i avloppsnätet skall vara stabil skall de placeras så att vattnet kan rinna obehindrat och uppnå självrensning (0,5–0,6 m/s) i rören. De traditionella ledningarna läggs med självfall till lågpunkter där det med hjälp av pumpstationer pumpas vidare till en högpunkt där de återigen kan ledas med självfallsprincipen (Svenskt vatten, 2004). Pumpstationer kan också behövas då ett önskvärt fall på ledningen inte kan upprätthållas, till exempel vid mycket flack terräng eller vid långa transportsträckor där extrem schaktning skulle krävas (Norsk Vann, 2013).

Under första delen av 1900-talet byggs ledningar för att kunna avleda avloppsvattnet till recipient och sedermera reningsverk, i form av *kombinerade system* vilket innebär att allt förorenat vatten avleds i en ledning. Från mitten av 1950-talet börjar *separerade system* användas, vilket innebär att spillvattnet avleds i en ledning och dag- och dräneringsvattnet antingen avleds i en separat ledning (*duplikat system*) alternativt avleds via dike eller rännsten (*separat system*). Från början anslöts dräneringsvattnet av höjdsfäl till spillvattenledningen, då den är lägst belägen i ledningsgraven. Detta ifrågasattes under 70- och 80-talet då det eftersträvades minskat flöde till reningsverken och koppling av dränering till dagvattenledningen blev istället aktuellt. Det finns risker med detta då det vid häftiga regn kan dämna upp och strömma tillbaka dag- och dräneringsvatten till fastigheten. Säkerhetsanordningar såsom pumpar eller backventiler är därför i vissa fall nödvändiga (Lidström, 2013; Svenskt Vatten, 2008). Volymmässigt utgör oftast dräneringsvatten majoriteten av allt avloppsvatten som når reningsverken (Malm m.fl., 2011a). Fördelen med separerade system är att de stora flödestopparna som uppkommer vid exempelvis intensivt regn och snösmältning till stor del reduceras. Om dessa flödestoppar överskrider nätets avledningskapacitet måste avloppsvattnet avledas via *bräddavlopp* (en funktion som vid

överbelastning möjliggör avledning till recipient, mer om bräddavlopp i kapitel 2.1.1). Alternativt kan en försämring av reningen i reningsverken uppstå. Flödestoppar uppkommer även för separerade system i form av tillskottsvatten (annat vatten än spillvatten, till exempel grundvatten) från otäta fogar. Men då dag- och dräneringsvattnet i ett kombinerat system är direkt anslutet på ledningsnätet är risken för stora flödesbelastningar därför större. Omvända problematiken, att det regnar för lite, är också svår för kombinerade system då för lågt flöde inte för med sig de fasta föroreningarna (Lidström, 2013). Fram till idag har många kombinerade system byggts om till separerade och vid utbyggnad av nya områden används främst separerade system (Norsk Vann, 2012; Svenskt Vatten, 2008).

I trånga tätortsmiljöer med ont om plats kan det bli kostsamt att ersätta kombinerat system med separerat. Dessutom är dagvattnet ofta mycket förorenat i områden med tung biltrafik varför det kan vara bra att avleda det till reningsverk (Ekbäck, 2013). Majoriteten av avloppsledningsnäten i våra städer består fortfarande av kombinerade system (Lidström, 2013). Det är kostsamt att gräva upp ledningar vid förnyelse, schaktning är den mest ekonomiskt belastande delen vid förnyelse av ledningsnät (Ekbäck, 2013; Skandinavisk kommunalteknik, 2013; Svenskt Vatten, 2010b). På grund av de stora kostnaderna vid ombyggnad av befintligt system har det ifrågasatts om det står i rimlig proportion till resultatet (Ekbäck, 2013).

Vid uppbyggnaden av avloppssystem användes lergodsror vilka under början av 1900-talet ersattes av de starkare betongrören. I slutet av 1960-talet introducerades plaströren (Lidström, 2013) och användandet av plastledningar har ökat, främst av PVC (polyvinylklorid) och PE (polyeten). Majoriteten trycksatta rör består av plast men de flesta självfallsledningar består fortfarande av betong (Malm m.fl., 2011b; Svenskt Vatten, 2008). Självfallsledningar läggs vanligtvis med minst 10 % lutning (Norsk Vann, 2013) för att uppnå självrensning men minsta fall kan skilja sig åt mellan kommunerna (Løken, pers.kom., 2014). Vid anläggning av självfallssystem skall det vid normalt flöde finnas en fri vattenyta och rören kan därför överdimensioneras med en viss extra installationskostnad men utan större problem.

Brunnar behövs på självfallsledningen för att möjliggöra inspektion och rengöring. Vid dimensionsändring eller riktningsbyte utgör dessutom brunnarna noder i brytpunkterna. Ofta sätts brunnarna med 80–100 meters mellanrum (Lidström, 2013).

### **2.1.1 Bräddavlopp och nödutlopp**

Det dimensionerade flödet kan överskridas vid höga flöden såsom vid intensivt regn, snösmältning eller driftstörning och måste då nödavledas till recipient. I kombinerade system kallas nödavledningen av avloppsvattnet för *bräddavlopp* och i separerade system kallas det för *nödutlopp* (Svenskt Vatten, 2008). I separerade system skall nödutlopp inte behöva användas då höga flöden inte påverkar spillvattenledningen på samma sätt som i kombinerade system (Malm m.fl., 2011a) men skall finnas som en säkerhetsanordning. Bräddavlopp och nödutlopp tillgrips för att de höga flödena inte skall få en dämmande effekt och bidra till bakåtströmning vilket kan leda till vattenfyllda källarplan. De finns även för att undvika överbelastning vid reningsverket

samt motverka störningar nedströms (Svenskt Vatten, 2008). Trots att ett bräddavlopp skall inneha en föroreningsavskiljande funktion (Lidström, 2013) bidrar nödavledningen till ett betydande föroreningsutsläpp och bör, enligt Svenskt Vatten (2004) minimeras. Genom att istället bygga utjämningsmagasin som fördröjer vattnet och utjämnar flödet kan bräddvattenvolymer minimeras eller elimineras och göra recipientförhållandena mer fördelaktiga (Ekbäck, 2013). Hur stor skadan blir vid nödavledning beror bland annat på recipienten och utspädningsgraden. Går bräddvattnet till en råvattentäkt, badplats eller känslig recipient ökar risken för skada på samma sätt som det är extra dåligt att nödavleda vid torrväder då det i princip är enbart spillvatten som leds ut (Malm m.fl., 2011a).

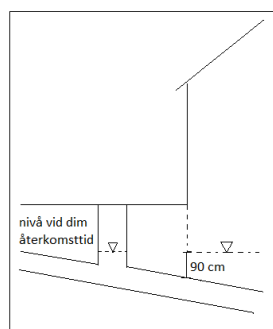
### **2.1.2 Dagvatten i självfallssystem**

Vid ombyggnad av naturmark ändras de naturliga avrinningsförhållandena för regnvatten. Det som tidigare kunde tas upp av växter och träd alternativt infiltreras i marken rinner nu längst infrastruktur och hårdgjorda ytor i form av dagvatten som måste tas om hand. I kombinerade system genomgår dagvattnet vid dimensionerat flöde samma rening som spillvattnet vilket är fördelaktigt ur miljösynpunkt. I separerade system avleds inte dagvattnet till reningsverket utan avleds till recipient, ofta via sandfälla. Sandfällan är installerad med syftet att samla upp det sand och grus som följer med regnvattnet från gatorna (Norsk Vann, 2013; Svenskt Vatten, 2008). Med anledning av detta riktas viss kritik mot separerade system då dagvattnet visat sig kunna få betydande recipientpåverkan. Därför har det från slutet av 80-talet blivit alltmer vanligt med lokalt omhändertagande av dagvatten (*LOD*) i separerade system (Svenskt vatten, 2008). Syftet med *LOD* är att minska flödena och föroreningsbelastningen på recipient och reningverk genom att hantera dagvattnet inom det område där det bildats vilket vanligen görs via olika infiltrations- eller fördröjningslösningar (Svenskt Vatten, 2008). Infiltration eller perkolation har visat sig vara positivt för grundvattennivån och motverka skadlig sättning (Ekbäck, 2013). På senare år har en vidareutveckling av *LOD* växt fram som kallas Långsiktig Hållbar Dagvattenhantering. Det innebär dagvattenhantering i form av våtmarker och dammar. Genom att synliggöra vattnet bidrar hanteringen även med ett estetiskt- och ekologiskt värde. I tillägg till hur dagens dagvatten skall hanteras bör även medvetenhet kring framtidens förutspådda ökning av dagvatten uppmärksammas. Enligt Norsk Vann (2008) är det sannolikt med en ökning av 20–30 % av den årliga nederbördsvolymen.

### **2.1.3 Funktionskrav för självfallssystem**

På grund av otäta ledningar, felkopplingar och inkoppling av dränerings- och dagvatten så transporterar spillvattenledningar ofta mer vatten än enkom spillvattnet. Förutom att det innebär mer vatten till reningsverken kan även ledningsnätet komma att dämmas upp i samband med regn, snösmältning eller hög grundvattennivå då belastningen är större än vad ledningen är dimensionerad för. Detta är inte acceptabelt enligt Svenskt Vatten (2004) och konsekvenserna kan bli fuktuppträngning i husgrunden eller, i värsta fall, vattenfyllda källarplan (Malm m.fl., 2011a). För att förhindra detta har funktionskrav formulerats. Spillvattenförande ledning skall utan störning avleda spillvattnet från fastigheten och det får inte förekomma okontrollerat in- och utläckage. Dessutom måste systemet inneha säkerhet mot olika funktionsstörningar (felkoppling,

rotinfrängning eller sedimentavlagring) för att minimera risken för dämning och översvämning (Lidström, 2013; Svenskt Vatten, 2004). Dagvatten från trafikleder, industriområden och andra smutsiga hårdgjorda ytor anger funktionskraven att vattnet skall genomgå rening före avledning till recipient. Motsvarande för dräneringsvatten anger att det bör avledas avskilt från spillvatten och ansluts det till dagvattnet eller kombinerad ledning måste utformningen skydda mot riskerna vid överbelastning (Svenskt Vatten, 2004). Det finns speciella funktionskrav för kombinerade system. De anger att trycklinjen i servisledningen vid dimensionerande regn med återkomsttiden 10 år inte får överstiga lägsta källargolvsnivå (figur 1). Dessutom skall bräddavlopp anordnas så ingen överbelastning sker vid reningsverken samtidigt som bräddningen måste vara förenlig med



recipientkrav (Lidström, 2013; Svenskt Vatten, 2004). I Norge gäller funktionskravet för kombinerade och separerade system att avloppsledningen måste ligga 90 cm under källargolvsnivån (Kommunenes sentralforbund, 1992) (figur 1).

Huvudmannen finansierar drift, underhåll och elkostnad i den allmänna anläggningen vid självfall med VA-avgifter och kommunala skattemedel (Svenskt Vatten, 2008).

**Figur 1.** Bilden visar svenskt funktionskrav för kombinerat system och norskt funktionskrav.

## 2.2 TRYCKSATT AVLOPPSSYSTEM

Traditionellt sett lades nästintill alla avloppsledningsnät med självfallsprincipen men sedan mitten av 70-talet har trycksatt avloppsledningsnät blivit vanligare. Trycksatta system är främst avsedda att komplettera självfallssystem där sådana är mindre lämpliga såsom vid topografiskt eller markmässigt svåra områden (Skandinavisk kommunalteknik, 2013) men har kommit att användas allt mer flitigt som ett kostnadseffektivt alternativ (Wärnö, 2004). Principen bygger på att en mindre pumpenhet placeras vid varje fastighet och att pumpen, istället för gravitationen, för vattnet framåt. Pumpen är försedd med en skäranordning som finfördelar de fasta föroreningarna. Då ledningen är trycksatt och spillvattnets större fasta partiklar finfördelats kan rördimensionerna vara jämförelsevis små. Pumparna på tryckledningsnätet pumpar vattnet genom området och fram till den gemensamma anslutningspunkten som kan vara ett reningsverk, en brunn eller en självfallsledning. De kläna ledningsdimensionerna och den höga hastigheten ger en bra självrensningförmåga (0,6–1,2 m/s) (Lidström, 2013). Tryckledningarnas dimensioner är 40–50 mm närmast fastigheten (servisledningen) och mellan 50–110 mm när flera hundra fastigheter är påkopplade (gren- och huvudledningarna) (Skandinavisk kommunalteknik, 2013; Wärnö, 2004; Lindqvist m.fl., 2000). Detta skall jämföras med trycklösa ledningar vars minsta dimension, servisledningarna, är 100 mm. Nylagda huvudledningar vid självfall bör ha minsta invändiga diameter 150 mm (separerat system) respektive 230 mm (kombinerat system) (Lidström, 2013; Norsk Vann, 2013). Trycksatta ledningar skall vid normal vattenförbrukning fylla röret och därför kan det vara mer problematiskt att omdimensionera för trycksatta ledningar (Norsk Vann, 2013).

### 2.2.1 Förläggning på frostfritt djup

I ett konventionellt ledningssystem för avloppsvatten med självfall är det viktigt att förlägga ledningarna på frostfritt djup så att vattnet i rören inte fryser eller att ledningarna inte skadas vid tjällyftning. Tjälldjupet skiljer sig åt runt om i landet, längst ner i Skåne är det runt 1,1 meter medan det i norra Norrland ligger på uppemot 2,5 meter. Stora delar av ledningsnätet kommer dock att ligga djupare än tjälldjupet då de högst belägna ledningarna skall ligga på frostfritt djup (Ekbäck, 2013). Normalt läggs även trycksatta ledningarna på frostfritt djup (Lindqvist m.fl., 2000) om det är måttligt, marken är av lättachaktat material och det är lättframkomlig terräng. Men vid stort frostfritt djup, bergig mark eller högt grundvattenstånd kan de förläggas på *reducerat* djup vilket innebär 0,7 till 1,0 meters djup (Ekbäck, 2013). Anläggningsarbetet och schaktkostnaden kan då reduceras (Lindqvist m.fl., 2000) och smalare schakt erhållas då



Figur 2. Isoleringsslåda vid reducerat djup (Skandinavisk kommunalteknik, medgivande 2014-03-18).

schaktbredden är direkt beroende av djupet. Ledningarna behöver vid reducerat djup utrustas med frostskydd, ofta värmekablar (grön kabel, figur 2) och isolering. Detta förläggs i en isoleringsslåda (figur 2). Risken för sättningar och störningar i områdets vattenbalans minskar vid grundförläggning och kan vara fördelaktigt vid känsliga naturmiljöer då det innebär små ingrepp (Ekbäck, 2013).

### 2.2.2 Pumpenheten

För snart 40 år sedan, år 1975, började ledningssystem med lätt tryckavlopp (LTA) användas i Sverige. Systemet kommer ursprungligen från USA där det utvecklades under 60-talet och benämns som Low Pressure Sewer (LPS) (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Av Sveriges 290 kommuner finns LTA-system i mer än 150 stycken (Haninge kommun, 2014). Pumpenheten tar emot spillvattnet som avleds med självfall från fastigheten och finfördelar de fasta föroreningarna som finns i spillvattnet. Pumpstationen består av ett antal komponenter och dess uppbyggnad beskrivs i detta kapitel.

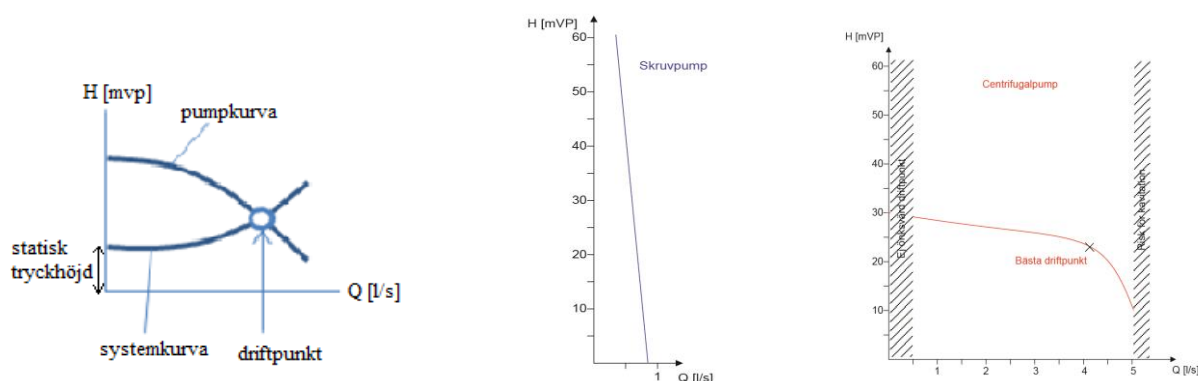
Pumpstationen innefattas av tank, pump, nivåstyrning samt automatik. Tankens utrymme skall utjämna flödet från fastigheten och agera buffertvolym vid driftstörningar och strömavbrott. Den är ofta tillverkad i plastmaterial, PE eller GAP (glasfiberarmerad plast) och kan placeras i byggnad eller grävas ner. För att inte partiklar skall sedimentera och ackumulera i tanken skapas en roterande skiva på pumpen cirkulation på vattnet. Pumparna på en ledning skall arbeta oberoende av varandra och enskilt ansvara för att pumpa fastighetens spillvatten hela vägen fram till anslutningspunkten (Skandinavisk kommunalteknik, 2013).

Kapaciteten för en pump kan beskrivas genom en *pumpkurva* och erhålls genom tester av pumpen utförd av pumptillverkaren. Pumpkurvan visar vilket flöde som förväntas vid ett visst tryck. Kapaciteten för ledningens egenskaper beskrivas genom en *systemkurva* som beskriver

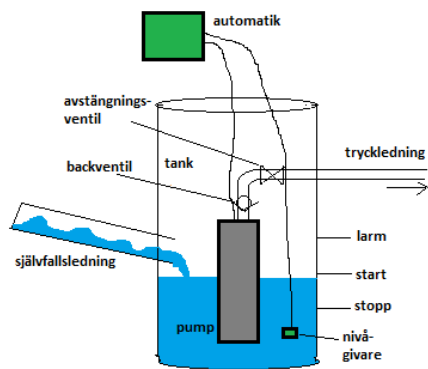


tryckförluster (ledningssträckan, krökar och dimensionsändring) samt statisk tryckhöjd. Statisk tryckhöjd är den lägsta höjd en pump måste klara av att pumpa för att vattnet skall nå anslutningspunkten, det vill säga höjden mellan tankens vattennivå och anslutningspunkten. Summan av tryckförlusterna och den statiska tryckhöjden ger total tryckhöjd (Lindqvist m.fl., 2000). Båda kurvorna beskrivs av relationen mellan tryck (H) och flöde (Q). Där dessa två kurvor korsas ligger *driftpunkten* (figur 3a). I denna punkt erhålls den teoretiska kapaciteten för en viss pump i ett visst system (Pumpportalen, 2011). Då varje pump har två lägen (på och av) kan antalet driftslägen på ledningen variera kraftigt. Vid 10 pumpar finns ( $2^{10}$ ) 1024 stycken olika driftslägen vilket påverkar vart pumpen ligger på pumpkurvan (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Detta innebär att det inte finns *en* statisk systemkurva för tryckavloppssystemet, som för konventionella avloppssystem pumpstationer, utan varje pump har en unik systemkurva som beror på övriga pumpars driftläge (Palm, pers. kom., 2014). Drifttiden för varje pumpenhet är cirka tio minuter per dygn (Lidström, 2013).

Grovt sett kan man på marknaden för villapumpstationer urskilja två olika pumptekniker, centrifugalpump och skruppump. Tekniskt skiljer sig pumparna åt vilket illustreras med respektive pumpkurva (figur 3b och 3c) (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Centrifugalpumpen är en radialpump av turbotyp (Pumpportalen, 2011) och utformad för att vid en specifik driftpunkt effektivt pumpa så som mycket vatten som möjligt (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Det är den vanligaste pumptypen (Lidström, 2013) och används vanligen vid pumpstationerna i konventionella avloppssystem. Centrifugalpumpen är bra vid höga flöden och låga lyfthöjder. Skruppumpen, som är en roterande förträngningspump (Pumpportalen, 2011) är utformad för att samverka så bra som möjligt med andra pumpar, oavsett driftpunkt (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Skruppumpen är bra vid låga flöden och höga lyfthöjder. Om driftsläget förändras blir det en märkbar förändring för centrifugalpumpens flöde då dess kurva är relativt plan men då skruppumpen har nästintill konstant flöde kommer den inte att påverkas avsevärt (Skandinavisk kommunalteknik, 2013).



Figur 3a, 3b och 3c. Grafen till vänster visar det generella förhållandet mellan pumpkurva, systemkurva och driftpunkt. I mitten visas skruppumpens pumpkurva och längst till höger visas centrifugalpumpens pumpkurva och bästa driftpunkt (Skandinavisk kommunalteknik, medgivande 2014-03-18).



Nivågivaren styr pumpen genom att notera vattennivån i tanken. När vätskenivån stiger i tanken och når den förutbestämda startnivån slår brytaren till och pumpen startar. På samma sätt slår brytaren till när nivån sjunkit igen till stoppnivån och pumpen stannar. Slutligen finns det ett automatiskåp som innehåller testfunktion, larmhantering, manuell körning och drifttidsmätare. Vid behov kan det kompletteras med flera andra funktioner (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Figur 4 visar en förenklad sammansättning av de beskrivna delarna.

**Figur 4.** Förenklad figur över pumpenhet bestående av tank, pump, nivåstyrning, ledningar, ventiler och automatik.

Tryckledningar skall kunna stängas, tömmas och luftas och dess tryck samt strömningsriktning skall kunna relgeras. Därför behövs anordningar på nätet (Ekbäck, 2013). Till exempel tömningsanordningar för ledningar som inte är i bruk hela året, backventil som enbart släpper fram vätskan i en riktning och antivakuumventil för att motverka undertryck (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Vid bedömning av tillståndet på ledningen utförs en TV-inspektion vilket är en invändig inspektion av rören med kamera (Svenskt Vatten, 2010a).

### 2.2.3 Dagvatten i trycksatt avloppssystem

Vanligen löses dagvattnet lokalt vid utbyggnad av trycksatt avloppssystem (Skandinavisk kommunalteknik, 2013) genom naturlig avrinning, infiltration eller LOD. Det skulle vara oekonomiskt att trycksätta även dagvattnet och vid förläggning med fall skulle det trycksatta systemets fördelar utebli (Palm, pers.kom., 2014). Ett alternativ till LOD skulle kunna vara att låta dagvattnet avledas via de gamla (ofta kombinerade) ledningar som föreligger nyinstallationen. Vid återanvändande kan reovering av de gamla ledningarna krävas. Syftet med trycksatt avloppssystem är att undvika schaktning varför schaktfri reovering torde vara gynnsamt. Nedan presenteras tre alternativa schaktfria metoder.

#### ***Flexibla foder***

Även kallad *strumpinfodring* eller CIPP (cured-in-place pipe). Metoden baseras på ett textilmaterial av filt eller glasväv som är impregnerad med konstharts, vanligen polyester i avloppsledningar. Detta förs in i röret varpå det härddas med vatten, ånga eller UV-ljus. Stora dimensioner samt långa sträckor kan reoveras. Negativt är att metoden tar lång tid och att vattnet som används under processen går till spillo. Dessutom måste recipienten ta emot de stora vattenvolymer som krävs vid fodringen. Flexibla foder står sig väl vid punktrenovering av ledningar (SSTT, 2002).

#### ***Rörspäckning***

Även kallad *bursting*. Är den enda schaktfria metoden där kapaciteten på ledningen kan ökas väsentlig, ledningsarean kan ökas med 50–70 %. Med hjälp av hydraulik dras en spräckkona genom den befintliga ledningen. En ny ledning, oftast av plast, monteras i konans bakkant.

Konan spräcker upp den befintliga ledningen och skapar samtidigt en kanal för den nya ledningen. Nackdelen är att det gamla, uppspräckta röret ligger kvar och vassa skärvor kan skada det nya röret i samband med exempelvis tjäle eller sättningar. Rörspäckning kräver också att nya arbetsgångar öppnas (SSTT, 2002).

### ***Spänd fodring***

Även kallad *close-fit*. En av de mest använda renoveringsmetoderna i Skandinavien de senaste tre årtiondena. Plaströr viks ihop och lindas upp på stora spolar. Vid inträdelse i det gamla röret värms rören upp så att det blir flexibelt och kan dras igenom ledningen mellan brunnarna. Slutligen trycks röret ut med hjälp av värme och tryck (SSTT, 2002).

### **2.2.4 Funktionskrav för trycksatt avloppssystem**

Det finns riktlinjer och krav för tryckavloppssystem inom Europa som sammanställts i EN 1671. Där anges bland annat minsta tillåtna hastighet i rören som bör uppnå 0,7 meter per sekund minst en gång per dygn för att förebygga risken för sedimentation i rören. Om pumparna i systemet inte är i stånd att uppfylla detta bör en regelbunden renspolning med tryckluft övervägas. Alltför hög hastighet i rören är emellertid inte heller att föredra då det innebär höga tryckförluster vilket leder till högre pumpkostnader (Lindqvist m.fl., 2000). Den maximala uppehållstiden bör enligt Europadirektiven inte överstiga åtta till tio timmar för att begränsa gasbildandet av framförallt svavelväte. Riktlinjer för buffertvolymen anger att reservvolymen skall rymmas ovanför normal startnivå och skall motsvara minst 25 % av det totala genomsnittliga dagliga inflödet.

Ligger ledningssystemet inom kommunens verksamhetsområde och huvudmannen (kommunen) valt tryckavloppssystem skall huvudmannen, enligt vattentjänstlagen, tillhandahålla pumpenheten (Skandinavisk kommunalteknik, 2013). Om någon enstaka fastighet behöver en pump för att nå självfallsledning på grund av fastighetens läge kan fastighetsägaren få bekosta den (Svenskt vatten, u.d). Det finns ingen enhetlig norm i Sverige och Norge kring ägandeskap utan utgångspunkten är vad som avtalats mellan kommunen och fastighetsägarna (VA-jus, 2014; Lindqvist m.fl., 2000). Huvudmannen kan dock kräva att fastighetsägaren står för nedgrävningen av pumpenheten, energikostnaden under drift samt förnyelse av ledning fram till förbindelsepunkten. Äger, anlägger, driftsätter och står för underhållet av pumpenheterna gör vanligen huvudmannen (Wärnö, 2004). För att undvika problem kring ägandefrågan och vem som skall stå för framtida drift- och underhållskostnader är det fördelaktigt om huvudmannen fördelar ansvarsfrågan i sina allmänna bestämmelser för VA (ABVA) (Lindqvist m.fl., 2000).

## **3 METOD**

### **3.1 ÖVERSIKTLIGT UTFÖRANDE**

Avloppsnätet på Torsnesveien med intilliggande gator i Fredrikstad kommun krävde nyinstallation vilket Sweco AS i Sarpsborg projekterade, sedermera kallad självfallssystem. Självfallssystemet jämfördes med en teoretisk projektering av ett trycksatt avloppssystem för samma område, kallad trycksatt avloppssystem. Jämförelsen baserades på tre utvärderingskriterier:

- Ekonomi
- Miljö
- Kapacitet

Kapitlet om ekonomi består dels av drift och underhåll som täcker elkostnaderna för pump och elkabel samt underhållskostnaderna för hela systemet. Samt dels består ekonomikapitlet av investeringskostnader. Investeringskostnaderna baserades på den tekniska beskrivning som fanns för Torsnesveien och de prisunderlag som Sweco tillhandahöll. Detta kompletterades med rapporter och information från entreprenörer och kommuner. Annuitetsmetoden användes för att beräkna den årliga kapitalkostnaden. Räntesatsen, den så kallade kalkylräntan, sattes till 4 % i enlighet med Fredrikstad kommuns nuvarande kalkylränta (Fredrikstad kommune, 2013b).

Kapacitetsberäkning för trycksatt avloppssystem upprättades i enlighet med Skandinavisk kommunaltekniks direktiv för LPS-tryckavloppssystem. Det finns flera andra fabrikat och pumpsystem på marknaden idag, exempelvis Flygts system som bygger på Tuggerpumpar. Men då Skandinavisk kommunalteknik bistått med hjälp vid dimensionering har deras pumpar använts som mall.

Vid kapacitetsberäkning av systemet dimensionerades enbart spillvattenledningarna. Dag- och dräneringsvatten avleds i separat ledning för båda metoderna varför ingen närmare beskrivning av detta skedde, på samma sätt som att inte vatten, el, telefon eller fjärrvärme behandlades fastän de potentiellt sätt kan ligga i samma ledningsbädd. I båda fallen fick alltså spillvattenledningarna stå för den totala kostnaden av ledningsgraven även fast det normalt samförläggs med andra ledningar.

### **3.2 TORSNESVEIEN IDAG**

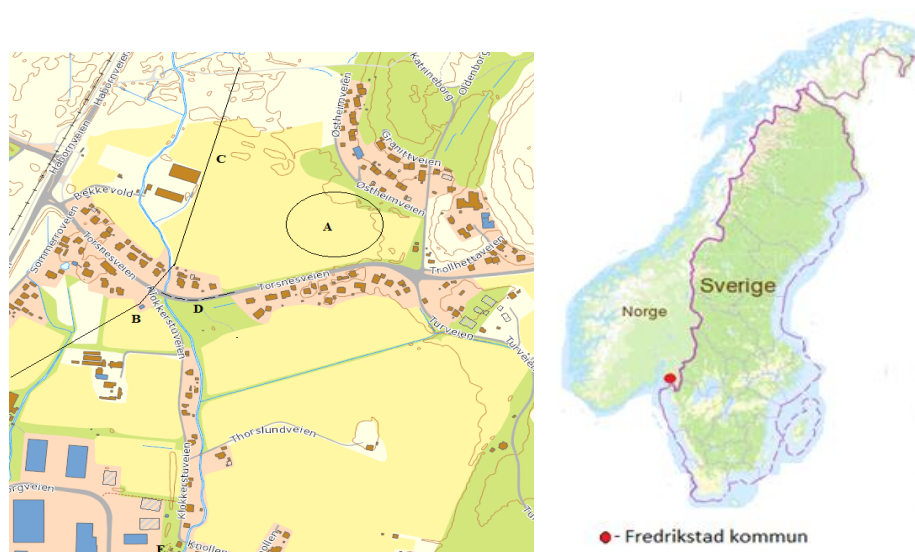
Det projekterade området, Torsnesveien, ligger i utkanten av Fredrikstad tätort som är huvudort i Fredrikstad kommun. Fredrikstad kommun är belägen i det norska fylket Östfold, på Oslofjordens östra sida (Nationalencyklopedin, 2014) (figur 5b).

Det behandlade området består av drygt 55 hushåll med en beräknad utbyggnad av cirka 50 hushåll (figur 5a, område A). Jordlagret i området består av lera vilket gör att djupare schaktning måste stabiliseras med hjälp av spont och stödvägg under ledningsförläggning (Løken, pers.kom., 2014). Frostdjupet ligger på cirka 1,6 meters djup (Lovdata, 2004). Det befintliga avloppssystemet

är kombinerat med en total ledningssträcka på cirka två kilometer. Ledningsnätet är gammalt (från 1920) och läcker kraftigt. Området är mycket flackt vilket medfört att det är svårt att få önskat fall på ledningarna. Det finns en pumpstation (figur 5a, punkt B) som lyfter avloppsvatten som avleds norrifrån (figur 5a, sträcka C) och som skall vidare till reningsverket som ligger cirka två kilometer söderut. Bräddavloppsvattnet från Torsnesveien går ut i Oldenborgbekken (figur 5a, punkt E) en cirka 3,5 meter bred och 0,3 meter djup bäck. Några av avloppsledningarna i området ligger grundare än 90 cm under källarnivån, vilket inte är förenligt med de norska funktionskraven.

Fredrikstad kommun har beslutat att vidare åtgärder för att lösa ledningsproblematiken på området kring Torsnesveien måste vidtas.

Sweco AS i Sarpsborg fick under första halvåret 2013 i uppdrag att ta fram ett förslag till lösning på avloppsproblematiken kring Torsnesveien. Förslaget presenterades i december 2013 och lösningen är planerad att genomföras före sommaren 2015.



Figur 5a och 5b. Kartan till vänster visar Torsnesveien med intilliggande gator (Fredrikstad kommune, 2013a, medgivande 2014-05-08). Karta längst till höger visar lokaliseringen av studieområdet på en större karta över Sverige och Norge (©Lantmäteriet, medgivande i2012/921).

### 3.3 SJÄLVFALLSSYSTEM PÅ TORSNESVEIEN

Det befintliga, kombinerade systemet anses undermåligt och enbart renovering räcker inte utan det krävs nyinstallation. Swecos lösning är att förnya avloppsnätet till duplikat system. Allt vatten skall då kopplas på och pumpas från den existerande pumpen vid punkt B. Oldenborgbekken skall ta emot brädd- och dagvatten och det nya nödutloppet blir vid punkt B. Nödutloppet till Oldenborgbekken kommer att ligga ovanför bräddningens inlopp, så då det är mycket vatten i Oldenborgbekken ligger den höjdmässigt ovanför nödutloppet. Detta skapar problem för de fastigheter som inte uppfyller funktionskraven och ligger 90 cm ovanför utloppet. De fastigheter som ligger under utloppet till bäcken får en separat pump installerad på servisledning. På de

fastigheter som ligger på samma nivå som utloppet eller upp till 90 cm ovanför installeras en backventil på servisledningen. Samtliga åtgärder syftar till att efterfölja de norska funktionskraven (kapitel 2.1.3). På 12 fastigheter installeras backventil och på 16 fastigheter installeras pump. Samtliga huvudledningarna skall bestå av PVC-rör med dimensionerna 160 mm förutom 175 meter (figur 5a, sträcka D) som har dimensionen 200 mm. Servisledningarna är PVC-rör med dimensionen 110 mm. Dag- och dräneringsvattnet kommer att läggas parallellt med spillvattenledningarna. En sträcka på 300 meter måste sprängas då berggrunden ligger grunt där (Løken, pers. kom., 2014; Sweco Norge AS, 2013a).

Som tidigare nämnts är standarden i Norge att lägga trycklösa ledningar med 10 ‰ fall (Norsk Vann, 2013). Då området kring Torsnesveien är mycket flackt skulle detta innebära stora schaktkostnader och därför läggs istället ett fall på 5 ‰. Inspektionsbrunnarna sätts med något tätare mellanrum, cirka 50 meter (Løken, pers. kom., 2014), jämfört med kommunens riktlinjer på 70 till 80 meter för att underlätta vid rensningsbehov (Lidström, 2013). Spillvattnet från hela studieområdet förutom Klokkerstuveien och Thorslundveien kommer att kopplas på till den redan existerande pumpstationen (punkt B, figur 5a). Klokkerstuveien och Thorslundveien kommer att ledas vidare till reningsverket via en ledning vid punkt E (figur 5a) (Løken, pers. kom., 2014).

### **3.3.1 Ekonomi**

#### ***Drift och underhåll***

Villapumpen alstrar mellan 50 och 100 kWh per år (Skandinavisk kommunalteknik, 2013) vilket med ett ungefärligt elpris på 1 NOK per kWh (0,001 NOK/Wh) ger en genomsnittlig elkostnad på cirka 75 NOK per år och pump (tabell 1). Uppsala vatten och avfall har 78 pumpstationer, några större och några mindre än den vad som kapacitetmässigt krävs för Torsnesveien. Medianvärdet för dessa pumpstationer var 6265 kWh år 2009 (Eriksson, pers.kom., 2014) (tabell 1).

I Andersson och Nordbäcks (2006) examensarbete om energimässig jämförelse mellan LPS och självfallsavlopp framgår att, vid god schaktbarhet och ingen bergsschakt, blir den totala energiåtgången dubbelt så stor för självfallssystem. Energiåtgången syftar då till anläggningsarbetet och framställningen av systemdelarna (såsom rör, brunnar och pumpar). Enbart maskin och transport innebar tre gånger så hög energiåtgång för självfallsalternativet och energiåtgången för systemdelarna gav en och en halv gång så hög energiåtgång.

För att undvika ledningsläckage, källaröversvämningar eller driftstopp vid pumpstationerna krävs att systemet sköts och inspekteras kontinuerligt så att ledningarna håller avsedd prestanda (Svenskt Vatten, 2008). Då blir systemet uppdaterat och driftspersonalen får bättre kunskap om ledningsnätet (Ekbäck, 2013). Kostnaden för omläggning, reovering och administration för avloppsvattenavledning i Stockholm under åren 2001–2010 kostade i snitt 1,78 SEK per behandlad kubikmeter avloppsvatten (Stockholm vatten, 2010) (tabell 1). Generellt är det svårt att värdera ett enskilt ledningsnät och därför kan det vara bra att jämföra med kringliggande ledningsnät med samma förutsättningar och förhållanden. För att underlätta detta har Norsk Vann

(2008) tagit fram ett mät- och värderingssystem tillsammans med 25 kommuner i Norge som graderar: bra, bristfällig eller dålig kondition. 0,1–0,3 källaröversvämningar per 1000 invånare och år är spannet mellan bra och dåligt resultat. Fredrikstad kommun fick där ett medelbetyg. Sverige har liknande modeller för att kontrollera och jämföra VA-verksamheter där motsvarande siffra är 0–0,8 källaröversvämningar per 1000 anslutna personer och år (Malm m.fl., 2011a). Medianvärdet av nyckelvärdetal från Stockholm vatten (2010) är 0,6 källaröversvämningar per 1000 anslutna och år. En vattenskada, dit källaröversvämning räknas, kostar uppskattningsvis 40–50 000 SEK att åtgärda (If, 2010) (tabell 1).

Tillskottsvatten kan orsaka stopp i ledningarna och är i vissa fall befogat att arbeta mer med. Finns överkapacitet i ledningsnätet, reningen är tillräcklig vid höga flöden och bräddningarna är få är det inte alltid ekonomiskt motiverat att fokusera på det (Malm m.fl., 2011a). Rotinträngning kan också orsaka stopp i ledningarna varför det är viktigt att kontrollera så att rötter och annan vegetation inte trycker mot ledningarna (Lidström, 2013). Stopp i ledningarna kan förbyggas med kontinuerlig spolning i ledningarna (Malm m.fl., 2011a) vilken är den mest använda metoden sedan 60-talet (SSTT, 2002). Vid nödvändig tryckspolning eller stora slammängder vid spolning finns det antagligen behov för ledningsförnyelse (SSTT, 2002). 0,05–0,2 stopp per kilometer ledning och år är spannet mellan bra och dåligt resultat, enligt den norska graderingen (Norsk Vann, 2008). Även där fick Fredrikstad kommun ett medelbetyg. Detta kan jämföras med den svenska graderingen som gav 0,003–0,14 antal stopp per kilometer ledning och år (Malm m.fl., 2011a). Medianvärdet av nyckelvärdetal från Stockholm vatten (2010) ligger på 0,08 stopp per kilometer och år. Uppsala Vatten och Avfall AB hade år 2013 cirka 20 stycken stopp på huvudledningen i form av reparation och underhåll. Kostnad per driftstopp varierar kraftigt då exempelvis ett kollapsat rör på trafikerad väg kan bli mycket kostnads- och tidskrävande. Givet att varje stopp undersöks av driftspersonal med spolbil (vilket är fallet i Uppsala) bör en approximerad kostnad för spolbil, personal och omkostnader ligga kring 4 000–5 500 SEK per driftstopp (Eriksson, pers. kom., 2014) (tabell 1).

Endast ett fåtal kommuner i rapporten från Lindqvist m.fl. (2000) har redovisat kostnaden för driftstörningar för det trycksatta systemet och de dokumenterade kostnaderna varierade i hög grad. Då den totala kostnaden för driftstörningarna dividerades med antal pumpar blev genomsnittskostnaden för de tre redovisade kommunerna 530 SEK per år och pump (Eskilstuna), 231 SEK per år och pump (Nacka) respektive 112 SEK per pump och år (Vansbro). Eskilstuna ansågs inneha den mest fullständiga uppföljningen (Lindqvist m.fl., 2000) (tabell 1). Vad gäller pumpstationen kan det vara svårt att skilja mellan akut och planerat underhåll då anställd personal ofta arbetar heltid med all drift och underhåll för samtliga pumpstationer. Baserat på statistik från Uppsala ligger driftskostnaden för pumpstationerna uppskattningsvis på 10–15 000 SEK per år och pumpstation (Eriksson, pers.kom., 2014).

Plastledningars hållfasthet påverkas av höga temperaturer och starka kemikalier. Ett plaströr dimensioneras idag för att tåla kontinuerlig belastning under 50 år, det vill säga *avskrivningstiden* är 50 år (Stahre m.fl., 2007), givet att drifttrycket motsvarar rörets tryckklass. Men de kan ha

betydligt längre livslängd än så då drifttrycket ofta är lägre än rörets tryckklass vilket ökar den förväntade livslängden. Undersökningar har gjorts på plaströr som grävts upp efter flertalet år i drift och i många fall har rören samma egenskaper som när de var nya (Malm m.fl., 2011b). Svenska kommunförbundet vilka anger lämplig avskrivningstid redogör för en engelsk undersökning där knappt 10 % av 100 år gamla ledningar var i behov av förnyelse (SKL, 1992). I kombination med att ledningsnätet är det dyraste i en VA-anläggning att anlägga och sköta, projekterar man ofta plastledningar för 100 års livslängd (Svenskt Vatten, 2008; Norsk Vann, 2012). Dessutom anser Stahre m.fl. (2007) att avskrivningstiden bör höjas till 80 eller 90 år. Pumpenheterna renoveras normalt när fel inträffat. Men när renoveringskostnaden blir högre än investeringskostnaden uppgraderar man systemet med en ny pump (Palm, pers.kom., 2014). Rekommenderad avskrivningstid för kommunala investeringar vid avloppsinstallation skiljer sig åt mellan kommunerna men enligt Rådet för kommunal redovisning (RKR) bör avskrivningstiden för maskinell utrustning för avloppshantering (pumpar, brunnar och värmekablar) ligga mellan 5–15 år. Då nyttjandeperioden utgör grunden vid bestämning av avskrivningstidens längd (RKR, 2009) gällde avskrivningstiderna som användningstid.

**Tabell 1. Drift- och underhållskostnader för självfallssystem. Und. är en förkortning för underhåll.**

<b>Drift och underhåll</b>	<b>Kostnad/Förbrukning</b>	<b>Referens</b>
Pumpstation, el (kWh/år)	6 265	Sara Eriksson, 2014
Villapump, el (kWh/år)	75	Skandinavisk kommunalteknik, 2013
Ledningsnät, und. (SEK/m <sup>3</sup> )	1,78	Stockholm vatten, 2010
Villapump, und. (SEK/pump, år)	530	Lindqvist m.fl., 2000
Pumpstation, und. (SEK/pump, år)	10–15 000	Sara Eriksson, 2014
Driftstopp (SEK/stopp)	4 000–5 500	Sara Eriksson, 2014
Källaröversvämning (NOK/gång)	40–50 000	If, 2006

### **Investeringskostnad**

Vid planering av ombyggnad utförs en kostnadsberäkning där samtliga områdesspecifika detaljer specificeras med enhetspris varefter en övergripande kostnadsberäkning utförs. I detta arbete består investeringskostnaderna av sex övergripande delar; ledningarna, dikeslådorna, sprängning, grävning-transport-utläggning, pumpstationer samt brunnar (nedstignings- och inspektionsbrunnar) (tabell 5). Dessa sammanställdes utifrån anbudsrapporten för Torsnesveien (Sweco Norge AS, 2013b) och gällde för både servis- och huvudledning. Dessutom beräknades reinvesteringsbehovet för de systemkomponenter som hade kortare avskrivningstid än 50 år. De årsbaserade kostnaderna utgörs av el- och underhållskostnader (tabell 1). Delar såsom slutdokumentation, kontroll, återplantering av vegetation, uppbyggnad av asfalt, försäkring med



mera har inte räknats med. För att beräkna de årliga kapitalkostnaderna för avskrivningar och räntor för investeringarna tillämpas i detta arbete annuitetsmetoden.

#### Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden lämpar sig för jämnt fördelade intäkter och kostnader då investeringen samt räntan fördelas lika under komponentens livslängd. De årliga kapitalkostnaderna utgör summan för avskrivning och räntekostnader. Årsbeloppen räknas ut med hjälp av en *annuitetsfaktor* (bilaga A). Komponentens livslängd och räntesatsen, den så kallade kalkylräntan, avgör annuitetsfaktorn vilket multiplicerat med grundinvesteringen ger de årliga kapitalkostnaderna. Kalkylränta skall visa hur en investering förändras i värde från en tidpunkt till en annan. (Andersson m.fl., 1994). I Fredrikstad kommun (2013b) är nuvarande kalkylräntan 3,6 % vilket avrundades till närmaste heltal, 4 %. Grundinvesteringarna ansattes som nybyggnadskalkyl vilket innebär att alla systemkomponenter erhöll investeringspris vare sig de redan fanns eller inte. Beräkningarna förutsatte inget restvärde efter livslängdens slut och kalkylperioden var 50 år.

### 3.3.2 Miljö

Spillvatten innehåller många ämnen som finns naturligt i miljön men på fel plats och i stora mängder kan det blir skadligt (Naturvårdsverket, 2014). Vid utläckage och bräddning hamnar många gånger orenat spillvatten i naturmiljöer. Inläckage kan också indirekt bidra genom att jordmaterial ansamlas i ledningarna och orsakar översvämning (Svenskt Vatten, 2008). Organiskt material kan orsaka syrebrist, kväve och syre kan bidra till övergödning och bakterier, virus och parasiter kan ge upphov till sjukdomar om de inte tillvaratas på rätt sätt. Metaller kan bindas till partiklar och ackumuleras och läkemedelsrester kan orsaka reproduktionsstörningar (Naturvårdsverket, 2014). I områden där dricksvatten utvinns kan det vara nödvändigt att förnya ledningsnätet enbart för att säkerställa att inget läcker ut (SSTT, 2002). Utläckage anses svårt att mäta (Malm m.fl., 2011a) och värderades istället som miljökostnad.

### 3.3.3 Kapacitet

Idag används datormodeller vid dimensionering av avloppsledningar för att kunna simulera olika sorters flödessituationer. Det kan vara bra att kontrollera rimligheten i ett resultat samt förstå funktionerna bakom en modell. Ekvationerna vid beräkning av det dimensionerade flödet kommer därför i detta kapitel att redovisas.

Vid beräkning av det dimensionerade spillvattenflödet,  $q_{s \text{ dim}}$ , används för mindre än 1000 anslutna personer ett schablonvärde (figur 6). För fler än 1000 anslutna personer beräknas det dimensionerande spillvattenflödet enligt ekvation 2 och tabell 2 (Lidström, 2013). På Torsnesveien finns cirka 375 anslutna personer men bägge metoderna kommer ändå att visas. Spillvattenförbrukningen per person och dygn är enligt Svenskt Vatten (2004) cirka 160 liter per person och dygn och enligt Norsk Vann (2013) cirka 140 liter per person och dygn. Men enligt en rapport från Norsk Vann (Ødegaard m.fl., 2009) rekommenderas att använda 200 liter per person och dygn då det inte finns lokala mätningar som anger något annat. Industrianslutning och allmän verksamhet saknas vid Torsnesveien.

Det totala dimensionerande flödet,  $q_{dim}$ , beror på om dräneringsvatten tillåts avledas på spillvattenledningen. Givet att dräneringsvattnet inte får det adderas det dimensionerande spillvattenflödet med tillskottet från inläckande vatten och allmän verksamhet (Svenskt Vatten, 2004) (ekvation 1).

$$q_{dim} = q_{s\ dim} + q_{s\ allmän} + q_{inläck} \quad (1)$$

där

$q_{s\ dim}$  = dimensionerande spillvattenflöde [l/s]

$q_{inläck}$  = inläckande vatten [l/s], omkring 0,05–0,15 l/(s·ha) beroende på ledningsnätets tillstånd

$q_{s\ allmän}$  = spillvattenbidraget från allmän verksamhet [l/s]

Numeriskt beräknas det dimensionerande spillvattenflödet,  $q_{s\ dim}$ , för mer än 1000 anslutna personer som maxtimflödet under maxdygnet plus eventuellt bidrag från handel, industrier och kontor (Svenskt Vatten, 2004) (ekvation 2 och tabell 2).

$$q_{s\ dim} = \frac{q_{d\ medel} \cdot p}{3600 \cdot 24} \cdot c_{d\ max} \cdot c_{t\ max} + q_{s\ ind} \quad (2)$$

där

$q_{d\ medel}$  = specifik spillvattenavrinning [l/p·d]

p = antal anslutna personer

$c_{d\ max}$  = maxdyngsfaktor (tabell 2)

$c_{t\ max}$  = maxtimfaktor (tabell 2)

$q_{s\ ind}$  = vattenbidraget från handel, industri och kontor [l/s]

**Tabell 2. Schablonvärden för maxdyngs- och maxtimfaktorerna (Svenskt Vatten, 2004).**

Anslutna personer (p)	Maxdyngsfaktor ( $c_{d\ max}$ )	Maxtimfaktor ( $c_{t\ max}$ )
1000–3000	2,3–1,5	3,0–1,7
> 3000	2,1–1,3	2,7–1,4

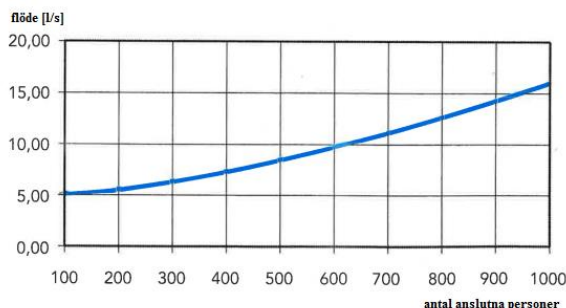
Maxdyngsfaktor är förhållandet mellan spillvattenförbrukning från ett dygn med maximal förbrukning och ett dygn med medelförbrukning. Maxtimfaktor är förhållandet från den timme med maximal förbrukning under det dygn med maximal förbrukning och den genomsnittliga timförbrukningen under samma dygn (Svenskt Vatten, 2004). För Torsnesveien blir det dimensionerande spillvattenflöde 6 liter per person och dygn.

Inläckaget på ledningen beror på storleken på området tillsammans med inläckaget vilket innehar erfarenhetsvärden mellan 0,05 till 0,15 liter per sekund och hektar (Svenskt Vatten, 2004) (ekvation 3). Storleken för Torsnesveiens område är ungefär 7 hektar.

$$q_{inläck} = [inläckage] \cdot [områdesyta] \quad (3)$$

Inläckaget ger ett medelvärde på 0,1 liter per sekund och hektar vilket ger ett inläckage för Torsnesveien på 0,7 liter per sekund.

Enligt Svenskt Vatten (2004) skall dimensionerade spillvattenflöde för 100 till 1000 anslutna personer utläsas från graf (figur 6). Detta skulle ge ett värde på ungefär 7,2 liter per person och dygn.



Figur 6. Dimensionerande spillvattenflöde för 100 till 1000 anslutna personer (Svenskt Vatten, medgivande 2014-03-25).

Som tidigare nämndes kapacitetsberäknar Sweco bland annat med hjälp av Pipelife (u.d.) som brukar Colebrook-Whites formel, även kallad Prandtl-Colebrooks formel (Svenskt Vatten, 2004) (ekvation 4). Den gäller för delvis fyllda rör och turbulent flöde under hydrauliskt glatta förhållanden i cirkulära rör. Indatan som krävs för programmet vid valt plaströr är innerdiameter, råhetstal samt fall på ledningen. Erhållen graf visar fyllnadshöjd, kapacitet och flödeshastighet. Ofta väljs en fyllnadshöjd på omkring 70 % för att garantera en viss säkerhetsmarginal (Løken, pers.kom., 2014).

$$q_{dim} = \frac{\pi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot d^5 \cdot I}}{2} \cdot \log_{10} \left( \frac{k}{3,71 \cdot d} + \frac{2,51 \cdot \nu}{\sqrt{2 \cdot g \cdot d^3 \cdot I}} \right) \quad (4)$$

där

q = flödet [m<sup>3</sup>]

g = tyngdaccelerationen [m/s<sup>2</sup>]

d = innerdiameter [m]

I = fall [-]

k = råhetstalet [m], 1 mm för betong och 0,2 mm för PE/PVC (Svenskt Vatten, 2004)

ν = kinematisk viskositet [m<sup>2</sup>/s]

### 3.4 TRYCKSATT AVLOPPSSYSTEM PÅ TORSNESVEIEN

Trycksatt avloppssystem är fortfarande relativt nytt på marknaden och det finns därför ett begränsat utbud av dokumenterade undersökningar. En stor del av detta kapitel baseras på två rapporter från Svenskt Vattens VA-Forsk som är kommunernas forsknings- och utvecklingsprogram om VA-teknik. Dels en rapport där författarna Lindqvist m.fl. (2000) presenterar drifterfarenheter av trycksatt avloppssystem från närmare 100 kommuner mellan åren

1991 och 1998. Samt dels en rapport där Mårten Wärnö (2004) redovisade användandet och erfarenheten av LTA-tekniken från nio kommuner i Skåne där 930 pumpenheter är i drift.

### 3.4.1 Ekonomi

#### *Drift och underhåll*

Elförbrukningen för elkabel vid förläggning på reducerat djup är cirka tre watt per meter (Lindqvist m.fl., 2000; Skandinavisk kommunalteknik, 2013) (tabell 3), en kostnad som kommunen står för. Vanligen används värmekabeln ungefär 100 dagar per år.

För att motverka svavelvätebildning (kapitel 3.4.2) kan luftspolning eller kemikaliedosering krävas. Enligt Bäckströms m.fl. (2010) fallstudie kostar luftspolning 10–15000 SEK per år i form av el och underhåll (tabell 3). För kemikaliedosering ligger kostnaden kring 60000 SEK per år.

Det bedrivs inget kontinuerligt underhåll för villapumparna utan insatser sker vid konstaterade driftstörningar. Detta är också det mest ekonomiska tillvägagångssättet förutsatt att snabb assistans finns att tillgå samt att skadorna begränsas till själva pumpenheten (Wärnö, 2004). Många driftstörningar vid trycksatt avloppssystem bygger på installationsmissar. Wärnö's (2004) rapport redovisar mycket goda driftresultaten och en trolig orsak till detta anges kunna vara att kommunen i de systemen ansvarar för och kontrollerar pumpenheterna. I rapporten från Lindqvist m.fl. (2000) hade 1750 stycken driftstörningar registrerats på 16000 pumpår vilket ger ett medelvärde av 0,11 driftstörningar per pump och år. Uttryckt i begreppet genomsnittlig tid mellan störning (GTMS) det vill säga den genomsnittliga tiden mellan servicebesök blir GTMS ( $1/9=0,11$ ) nio år. I Wärnö's rapport (2004) erhålls ett medelvärde av GTMS på 18,5 år (138 stycken störningar för 2552 pumpår) för området i studien och GTMS på 10–12 år för annan tillgänglig driftstatistik (Lindqvist m.fl., 2000). I rapporten från Lindqvist m.fl. (2000) var det vanligaste felet för pumpenheterna motorfel medan Wärnö (2004) rapporterade elfel. Från Wärnö's rapport (2004) erhålls positiva drifterfarenheter med begränsad driftstörning även vid kraftigt överdimensionerat system. Då trycksatta system har en pump med avstängnings- och backventil blir den säkrare mot tillbakarinning jämfört med ett självfallssystem.

Det kan vara lättare att upptäcka en trasig spillvattenledning i ett trycksatt system jämfört med ett självfallssystem. Om pumpstationerna nedströms har lägre flöde jämfört med pumpstationerna uppströms bör något vara fel (Malm m.fl., 2011a). Otäta trycksatta system kan bli ett framtida problem som bör förebyggas med täthetsprovning men fokus bör även riktas på utveckling av metoder för provtryckning och läcksökning (Lindqvist m.fl., 2000). Luftsäckar kan uppkomma i tryckledningar vid fyllning av ledning och vid lågt tryck och låg vattenhastighet då den luft som är löst i vattnet frigörs. Luften ansamlas i höjdpunkterna och reducerar ledningarnas kapacitet. Vid normal drift är vattenhastighet och tryck lägst i högpunkterna och därför bör automatiska luftningsventiler placeras där (Ekbäck, 2013).

Tabell 3. Drift och underhållskostnader för trycksatt system. *Und.* är en förkortning för underhåll.

Drift och underhåll	Kostnad/Förbrukning	Referens
Pumpstation, el (kWh/år)	6 265	Sara Eriksson, 2014
Villapump, el (kWh/år)	75	Skandinavisk kommunalteknik, 2013
Elkabel (W/m, h)	3	Skandinavisk kommunalteknik, 2013
Pumpstation, und. (SEK/pump, år)	10–15 000	Sara Eriksson, 2014
Villapump, und. (SEK/pump, år)	530	Lindqvist m.fl., 2000
Luftspolning (SEK/år)	10–15 000	Bäckström m.fl., 2010

### *Investeringskostnad*

Den stora skillnaden mellan självfall och trycksatt utgörs av grävningen. Som nämndes i kapitel 2.2.1 kan trycksatt avloppssystem läggas på frostfritt djup alternativt reducerat djup, båda alternativen kommer att beräknas för jämförelse.

Anbudsrapporten för Torsnesveien (Sweco Norge AS, 2013b) kompletterades med information om trycksatt avloppssystem från Arne Rød & Co AS. Investeringskostnaden sammanfattades i fem punkter; ledning, grävning-transport-utläggning, pump och brunn (tabell 5). Sprängning kommer för det trycksatta systemet att utgå då den grundare förläggningen eliminerar dess behov. Vad gäller dikeslådor kommer det inte behövas för att stadga lerjorden på reducerat djup. Men på frostfritt djup kommer ungefär halva sträckan behöva dikeslåda. Drift och underhåll består av kontinuerligt årsbaserade el- och underhållskostnader (tabell 3).

### **3.4.2 Miljö**

Trycksatt avloppssystem har många gånger använts vid fritidsområden dit det varit orimligt dyrt att förlägga självfall. Användandet är då säsongsbetonat i kombination med att det ofta ligger långt bort från kommunens huvudledningsnät. Dessutom förgrenar sig många svenska och norska kommuner över allt större områden vilket också ger längre ledningssträckor. Resultatet blir att avloppsvattnet får långa uppehållstider i rören vilket medför risk för svavelvätebildning. Svavelväte (H<sub>2</sub>S) är en giftig och aggressiv gas som hämmar blodets förmåga att ta upp syre. Den är färglös, illaluktande, brandfarlig och bedövar vid en viss nivå luktsinnet så att man inte märker att man vistas i miljöer med farligt höga halter. Sulfid bildas främst då bakterier reducerar sulfat vilket gynnas av bland annat anaeroba (syrefria) miljöer, höga halter organiskt material, långa uppehållstider och hög temperatur. Sulfiden kan då avgå i gasform som svavelväte. Svavelväte gör att betong korroderar (Bäckström m.fl., 2010) vilket kan ge följder såsom försvagning och skada på ledningen. Det bör därför inte finnas en betongledning utan en plastledning direkt efter släppunkten på grund av korrosionsrisken (Lidström, 2013). I hårt angripna rör har man enligt Norsk Vann (2012) mätt korrosionshastigheter upp till 12 mm betong per år. Enligt en rapport av

Ledskog m. fl (1994) har problemen med svavelväte ökat kraftigt vilket skulle kunna bero på att problemet uppmärksammas i högre grad. På dagens reningsverk är svavelväteexponering ett välkänt problem och mätningstrustning finns därför installerad på många anläggningar vid särskilt riskfyllda platser (Rylander & Schmitz, 2012). Åtgärder gentemot svavelväte kan vara luftspolning eller kemikaliedosering av exempelvis järnklorid ( $\text{FeCl}_3$ ) eller kalciumnitrat ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Vid luftspolning installeras en kompressor för luftinblåsning som tömmer tryckledningen på spillvatten. Detta minskar uppehållstiden, bidrar med syre och försvårar för de sulfidbildande mikroorganismerna. Ytterligare fördelar är att luftkudden som bildas river loss biofilm och sediment och därmed bibehåller ledningarnas kapacitet. Där inkopplade fastigheter innehar kökavfallskvarnar ökar den organiska halten i spillvattnet vilket innebär att faran för svavelväte ökar väsentligt (Bäckström m.fl., 2010).

Vid sårbara naturmiljöer är trycksatt avloppssystem fördelaktigt då det kan innefatta små ingrepp på terräng och vegetation (Wärnö, 2004).

### 3.4.3 Kapacitet

Utgångspunkten vid dimensionering av trycksatt system är att identifiera den pump i systemet som antas ha det största motståndet i form av höjd och friktion. Denna ledningsslinga definieras som huvudledning och en avståndsberäkning utförs från den yttersta pumpen och fram till pumpstationen. Där påkopplade slingor, så kallade grenledningar, tillkommer på rörledningen måste grenledningens totala antal pumpar inkluderas. Grenledningarna måste ha ett högre tryck än huvudledningen för att förhindra återströmning av vattnet. Samma spillvattenförbrukning och antal boende per fastighet användes som för självfallssystem, det vill säga 200 liter per person och dygn respektive 3,5 personer per fastighet (700 liter per fastighet och dygn). Som tidigare nämdes är 200 liter per person och dygn något av ett säkerhetsvärde och vattenförbrukningen ligger snarare på 160 liter per person och dygn. Överdimensionering diskuteras i Wärnös rapport (2004) där konsekvenser som svavelvätebildning och sedimentering kan bli följden även fast ingen driftpåverkan kunde ses vid rapportens undersökningsområden. Som nämnts tidigare kan många olika driftslägen uppstå på en ledning med flertalet pumpenheter. För att kunna beräkna det dimensionerande flödet måste det dimensionerande antalet pumpar som är i drift samtidigt beräknas, genom Poisson's ekvation (ekvation 5). Sannolikhetsfaktorn bör ligga runt 10 % för ett specifikt antal pumpar i drift samtidigt (Lindqvist m.fl., 2000).

$$P = \frac{N_p!}{n!(N_p-n)!} \cdot (1-r)^{N_p-n} \cdot r^n \quad (5)$$

där

P = sannolikheten för att ett specifikt antal pumpar är i drift samtidigt [-]

$N_p$  = totala antalet pumpar [-]

n = antalet pumpar i drift samtidigt [-]

r = kvoten mellan maximala tillrinningen till pumpen och pumpens dimensionerande flöde [-], beräknas via ekvation 6

$$r = \frac{q_{in,p}}{q_{dim,p}} \quad (6)$$

där

$q_{in,p}$  = maximala tillrinningen till pumpen [l/s]

$q_{dim,p}$  = pumpens dimensionerande flöde [l/s], mellan 0,5 l/s (skruvpump) och 2 l/s (centrifugalpump)

För att beräkna ekvation 6 måste den maximala tillrinningen till en pump i systemet,  $q_{in,p}$ , (ekvation 7) beräknas (Lindqvist m.fl., 2000):

$$q_{in,p} = \frac{q_d \text{ medel}}{10 \cdot 3600} \cdot p_{hus} \cdot N_h \cdot 1,5 \quad (7)$$

där

$q_d \text{ medel}$  = specifik spillvattenavrinning [l/p·d]

$p_{hus}$  = antal personer per hushåll [-]

$N_h$  = antal hushåll per pump [-]

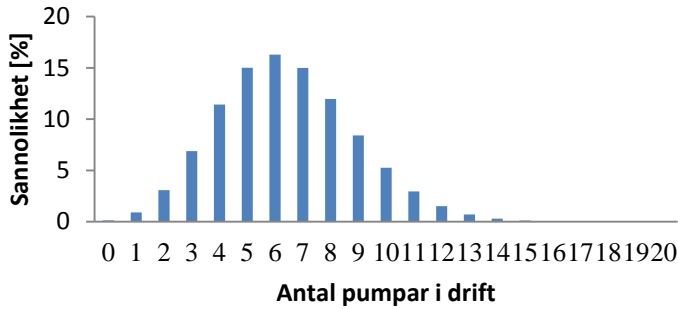
10: dygnets spillvattenproducerande timmar ligger mellan 8 och 12 vilket ger medelvärdet 10

3600: omvandling av l/h till l/s

1,5: säkerhetsfaktor som ligger mellan 1 och 2

Det maximala flödet in till pumpenheten,  $q_{in,p}$ , beräknas till 0,03 liter per sekund vilket ger kvoten mellan det maximala flöde till pumpen och det dimensionerande flödet till pumpen,  $r$ , 0,06.

Genom att beräkna P för  $n = 0, 1, 2, \dots$  erhålls sannolikhetsfaktorn för antal pumpar i drift samtidigt. Sannolikhetsfaktorn är beroende av pumptyp men ligger vanligen runt 10 %. Det dimensionerande antalet pumpar i drift samtidigt erhålls alltså av det största antalet pumpar vid denna dimensionerande sannolikhet. Figur 7 visar att för Torsnesveien blir det nio stycken pumpar ( $n = 9$ ). Fullständiga uträkningar för det dimensionerande antalet pumpar redovisas i bilaga B. Det skall nämnas att för mindre system blir sannolikheten att inga pumpar är i drift relativt hög men detta saknar betydelse för dimensioneringen. Det bör dock utföras en kontrollberäkning för att minst en pump är drift och om en sannolikhetsfaktor högre än 80 % erhålls är det dimensionerande antalet pumpar lika med 1.



Figur 7. Figuren visar det stapeldiagram som anger sannolikheten för att ett visst antal pumpar är i bruk samtidigt på Torsnesveien.

Den maximala tillrinningen för samtliga pumpar i systemet,  $q_{in,l}$ , beräknas för att få fram vad hela systemet maximalt förbrukar (ekvation 8).

$$q_{in,l} = \frac{q_{in,p}}{p_{hus}} \cdot p_{omr} \quad (8)$$

$q_{in,l}$  = totala maxflödet i ledningarna [l/s]

$p_{omr}$  = antal personer inom området [-]

Maxflödet i ledningarna blir för Torsnesveien 3,2 l/s. Detta skall jämföras med det dimensionerade ledningsflödet,  $q_{dim,l}$  (ekvation 9).

$$q_{dim,l} = q_{dim,p} \cdot n \quad (9)$$

Det dimensionerade ledningsflödet är det flöde som finns till förfogande medan maxflödet är det flöde som hela systemet förbrukar. Alltså måste det dimensionerade ledningsflödet alltid vara större alternativt lika stort som det totala maxflödet i ledningarna,  $q_{dim,l} \geq q_{in,l}$  (Lindqvist m.fl., 2000). Det dimensionerande ledningsflödet för en skrupump var 4,5 l/s vilket innebar att ledningarna höll för maxflödet ( $4,5 \text{ l/s} \geq 3,2 \text{ l/s}$ ). En riktlinje kring tryckförlusterna är att de inte bör överstiga 40 %, det vill säga 0,4 mvp per 100 meter rör (Beckman, pers. kom., 2014).

Rördimensionerna måste väljas utifrån vilka som är kommersiellt tillgängliga och någon minskning i diametern får enligt den europeiska standarden inte förekomma (Lindqvist m.fl., 2000). Leverantören tillhandahåller dimensioneringstabeller där flödet avgör vilken tillgänglig dimension som passar bäst. I tabell 4 visas en sådan tabell från Skandinavisk kommunalteknik.



Tabell 4. Dimensioneringsmall för LPS-system. Skandinavisk kommunalteknik, medgivande 2014-03-11.

Antal anslutna pumpar	Max antal pumpar samtidigt i drift	Dimensionerade flöde l/s	40 x 3,7		50 x 4,6		63 x 5,8		75 x 6,8		90 x 8,2		110 x 10,0	
			s/lu v	#% l	s/lu v	#% l	s/lu v	#% l	s/lu v	#% l	s/lu v	#% l	s/lu v	#% l
1	1	0,55	0,66	16	0,42	5								
2 - 3	2	1,10	3	60	0,85	20	0,53	6						
4 - 9	3	1,65			1,26	42	0,79	14	0,56	6				
10 - 18	4	2,20			1,68	71	1,06	23	0,74	10	0,52	4		
19 - 30	5	2,75					1,32	35	0,90	15	0,65	6	0,43	2
31 - 50	6	3,30					1,59	49	1,10	21	0,78	9	0,52	3
51 - 80	7	3,85					1,85	65	1,30	27	0,90	11	0,70	4
81 - 113	8	4,40							1,50	35	1,00	15	0,70	6
114 - 146	9	4,95							1,70	44	1,20	18	0,80	7
147 - 179	10	5,50							1,90	53	1,30	22	0,90	8
180 - 212	11	6,05									1,40	26	0,95	10
213 - 245	12	6,60									1,55	31	1,00	12
246 - 278	13	7,15									1,70	36	1,10	13
279 - 311	14	7,70									1,80	41	1,20	15
312 - 344	15	8,25											1,30	17

## 4 RESULTAT

### 4.1 EKONOMI

Det ekonomiska resultatet utgörs av investering, reinvestering samt drift och underhåll. Investeringskostnaden delas in i två delar, den första (delsumma 1) inkluderar de komponenter med avskrivningstid 50 år och den andra (delsumma 2) de med 15 års avskrivningstid (tabell 5). Ledningsdragning för det nya området har inte beräknats i något av systemen.

**Tabell 5. Investeringskostnad för respektive system uppdelade efter avskrivningstid. Delsumma 1 är för avskrivningstiden 50 år och delsumma 2 för 15 år. Grävn+transp+utlägg är utgifterna för grävning, transport och utläggning i ledningsgrav. Summorna är avrundade till närmaste femtusental. Kostnadsunderlag från Sweco Norge AS och Arne Rød & Co.**

Investering	Självfall (NOK)	Tryck, frostfritt (NOK)	Tryck, reducerat (NOK)
Ledning	285 000	120 000	520 000
Dikeslåda	470 000	230 000	-
Sprängning	330 000	-	-
Grävn+transp+utlägg	3 315 000	2 600 000	2 110 000
<i>Delsumma 1</i>	4 400 000	2 950 000	2 630 000
Pumpar	1 660 000	4 210 000	4 210 000
Brunnar	1 290 000	-	-
<i>Delsumma 2</i>	2 950 000	4 210 000	4 210 000
Totalsumma (1+2)	7 350 000	7 160 000	6 840 000

Totalsumman för de olika systemen skiljer sig relativt lite. Reinvesteringen utgörs av de komponenterna med kortare avskrivningstid än 50 år, det vill säga delsumma 2 i tabell 5. För trycksatt system på reducerat djup behöver även värmekabeln reinvesteras. Priset för isoleringslåda med värmekabel och rör ligger kring 250 NOK per meter (Eidevik, pers.kom., 2014) varav 100 NOK per meter antogs utgöra värmekabelns kostnad. Reinvesteringen för de sista 5 åren utgör enbart 33 % (5 år av 15 år) av grundinvesteringens värde. Detta för att undvika restvärde. Grund- och reinvesteringarna redovisas i tabell 6.

**Tabell 6. Grundinvestering och reinvesteringens kostnader för pump, brunn och värmekabel (enbart reducerat trycksystem) för de tre systemen. Summorna är avrundade till närmaste femtusental. Kostnadsunderlag från Sweco Norge AS och Arne Rød & Co.**

Grund-/reinvestering	Självfall (NOK)	Tryck, frostfritt (NOK)	Tryck, reducerat (NOK)
År 0	7 360 000	7 160 000	6 840 000
År 15	2 950 000	4 210 000	4 410 000
År 30	2 950 000	4 210 000	4 410 000
År 45	985 000	1 400 000	1 470 000

Drift- och underhållskostnad för de tre systemen har anpassats efter områdets vattenförbrukning och invånarantal och gäller för var år (tabell 7). Ett genomsnittsvärde för det norska mät- och värderingssystemet har använts för driftstopp och källaröversvämning. Underhållskostnaden av ledningarna baserades på medianvärdet av nyckelvärdestal från Stockholm vatten (2010).

**Tabell 7. Drift-och underhållskostnader för respektive system. Var kostnad är avrundad till närmaste hundratal.**

Drift och underhåll	Självfäll (NOK/år)	Tryck, frostfritt (NOK/år)	Tryck, reducerat (NOK/år)
Pumpstation (el)	6 300	6 300	6 300
Villapump (el)	1 200	8 000	8 000
Värmekabel (el)	-	-	14 000
Pumpstation (underhåll)	12 000	12 000	12 000
Villapump (underhåll)	8 500	56 700	56 700
Ledning (underhåll)	48 700	-	-
Källaröversvämning	800	-	-
Driftstopp	1 200	-	-
Luftning	-	12 000	12 000
Totalsumma	78 700	95 000	109 000

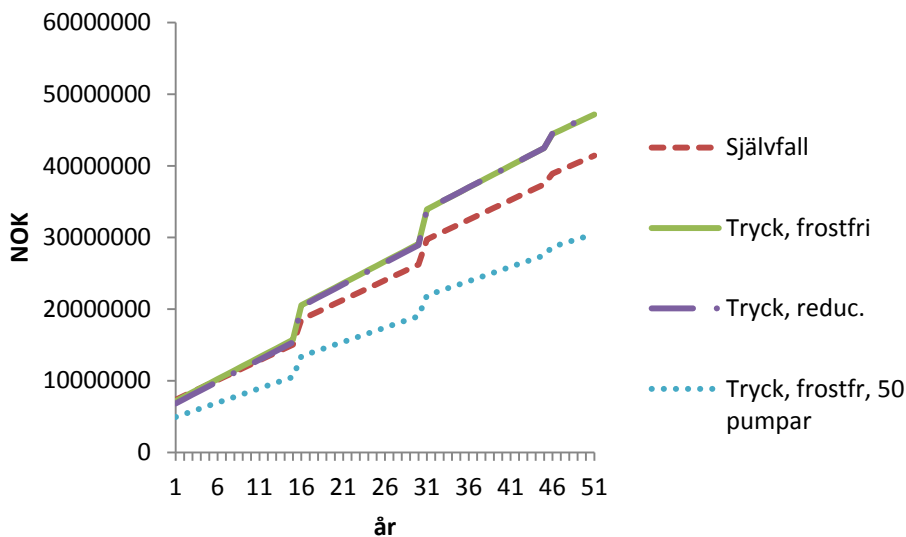
Annuitetsfaktorn för investeringen med avskrivningstiden 50 år och kalkylräntan 4 % är 0,04655 (bilaga A). För pumpstation, villapump, brunn och värmekabel är avskrivningstiden 15 år. Med samma kalkylränta är annuitetsfaktorn 0,08994 (bilaga A). För de sista 5 åren är annuitetsfaktor 0,22463 (bilaga A).

Exempelvis beräknas den årliga kostnaden för självfallsystem under de första 45 åren genom att addera annuiteten för delsumma 1 ( $4400000 \cdot 0,04655 = 205000$  NOK) med annuiteten för delsumma 2 ( $2950000 \cdot 0,08994 = 265400$  NOK) samt drift- och underhållskostnaderna (78700 NOK/år). Vilket totalt blir 549000 NOK per år. För samtliga år och system finns den årliga kostnaden sammanställd i tabell 8.

**Tabell 8. Årlig kostnad för respektive system under 50 år bestående av kapitalkostnad baserat på annuitetsfaktorn samt drift- och underhållskostnader. Avrundat till närmaste tusental.**

Årlig kostnad	Självfäll (NOK/år)	Tryck, frostfritt (NOK/år)	Tryck, reducerat (NOK/år)
År 1 till 45	549 000	610 000	610 000
År 46 till 50	505 000	550 000	561 000

Slutligen jämförs de tre olika systemen med samtliga ekonomiska utgifter (figur 8). En fjärde jämförelse redovisas också, ett antagande med samma förutsättningar som för trycksatt system på frostfritt djup men med enbart 50 pumpar. Alltså såsom området ser ut idag, utan den planerade utbyggnaden. Årsberäkningar för kalylperioden som figur 8 baseras på redovisas i bilaga C.



Figur 8. Grundinvestering, reinvestering, drift-och underhållskostnad samt årlig kapitalkostnad för de tre system över 50 år. Dessutom ett trycksatt avloppssystem på frostfritt djup som är anpassat för enbart dagens boendeantal.

I tabell 9 visas den slutgiltiga kostanden för respektive system vid kalkylperiodens slut.

Tabell 9. Totalkostnad för varje ssystem efter kalkylperiodens slut.

Totalkostnad	Självfall (NOK)	Tryck, frostfritt (NOK)	Tryck, reducerat (NOK)
År 50	41 430 000	47 170 000	47 330 000

## 4.2 MILJÖ

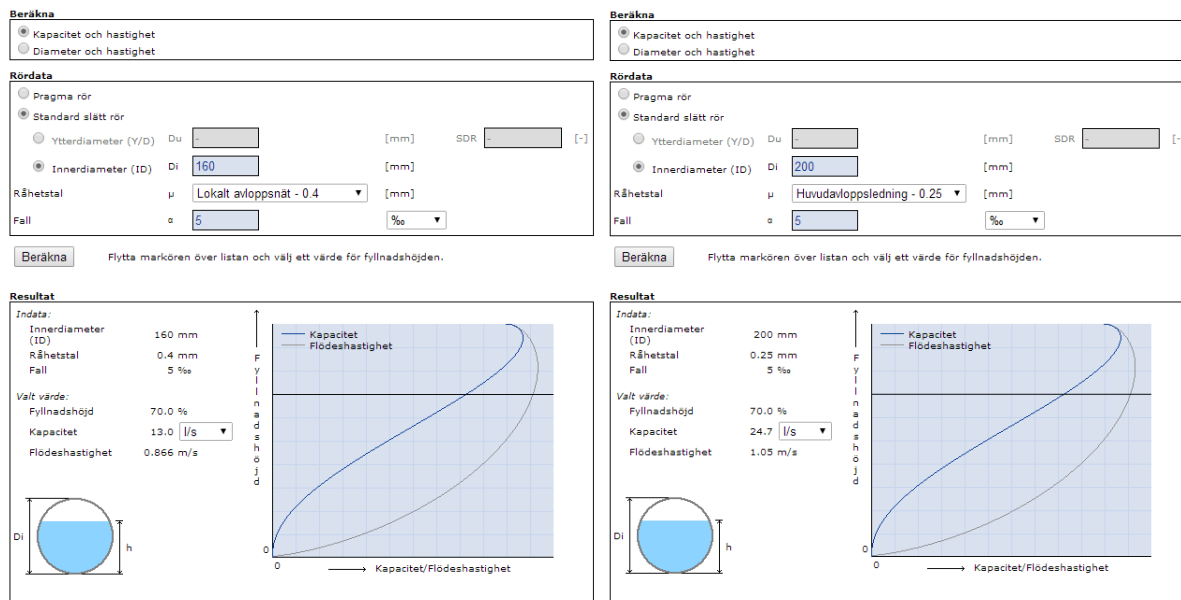
Riskeffekterna för de olika systemen har till viss del värderats i ekonomisk kostnad men en del av den miljömässiga kostnaden är svår att värdera i pengar. Till exempel en störning i naturmiljön eller övergödning. Dessa sammanställdes i en tabell med tregradig skala för summering av miljökostnad baserad på litteraturen som presenterades i föregående kapitel. Bakomliggande resonemang presenteras i kapitel 5.2. Självfallssystemet erhöll det bästa resultatet, 10 poäng. De båda trycksatta systemen hamnade ett poäng efter, på 11 poäng (tabell 10).

Tabell 10. Riskeffekterna graderade på en tregradig skala där ① är bäst och ③ är sämst. Självfallssystemet fick 10 poäng och de bågge trycksatta systemen fick 11 poäng vardera.

Riskeffekter	Självfall	Trycksatt, frostfri	Trycksatt, reducerat
Svavelväte	①	③	③
Inläckage	②	①	①
Utläckage	②	①	①
Översvämning	①	②	②
Energi, installation	③	②	①
Energi, drift	①	②	③
Summa	10	11	11

### 4.3 KAPACITET

Det dimensionerande vattenflödet för självfallssystemet blev 6,7 liter per sekund. Avläst från figur 6 fås cirka 7,2 liter per sekund. Beräkning via Pipelife (u.d.) för dimensionsstorleken 160 mm ger, vid en marginal på 70 %, ger en flödeskapacitet på 13,0 liter per sekund och flödes hastighet på 0,8 meter per sekund (figur 9). Flödeskapaciteten täcker med god marginal överslagsräkningen och hastigheten säkrar självrensning. Samma beräkningar genomfördes för rördimensionen 200 mm, vilket gav kapaciteten 24,7 liter per sekund respektive hastigheten 1 meter per sekund (figur 9).



Figur 9. Flödesförslustberäkning i avloppsledningar för plaströr med innerdiametrarna 160 mm respektive 200 mm (Pipelife, u.d., medgivande 2014-03-25).

Maxflödet i ledningarna för det trycksatta systemet blir 3,2 liter per sekund och enligt tabell 11 beräknas flödet till 4,1 liter per sekund vid pumpstationen vilket ger rördimensionen tillförlitlig kapacitet. Övriga kapacitetsberäkningar av det trycksatta systemets huvudledning i beräkningsmodell visas i tabell 11. Uppehållstiden är nästan 5,5 timmar vilket ligger inom gränsen för maximalt 8–10 timmar. Hastigheten ligger inom 0,6–1,2 m/s så att självrensning uppnås.

Skillnaden mellan självfallssystemets och det trycksatta systemets ledningskapacitet är 3,5 liter per sekund.

Tabell 11. Huvudledningen, slinga 1, för Torsnesveien uträknat med beräkningsmall för LPS-system.

Punkt-nummer	Längd [m]	Mark-höjd [m]	Pumpar [st]	Led-ning [mm]	Flöde [l/s]	Hastighet [m/s]	Förluster [%]	Tryck-nivå [m]	Uppehållstid [h]
Start	894	7						62,6	
30	874	7	1	32,6	0,6	0,7	17,3	62,2	0,6
29	836	6	2	40,8	1,1	0,9	20,6	61,5	0,8
28	801	6	3	40,8	1,3	1,0	26,2	60,5	0,5
27	762	6	4	40,8	1,4	1,1	31,3	59,3	0,4
26	714	6	5	40,8	1,5	1,2	36,0	57,6	0,4
25	677	6	6	51,4	1,6	0,8	13,1	57,1	0,4
24	651	6	7	51,4	1,7	0,8	14,5	56,7	0,3
12	472	6	16	51,4	2,3	1,1	25,0	52,3	0,8
11	429	5	17	51,4	2,3	1,1	26,0	51,2	0,2
10,1	407	5	18	51,4	2,4	1,2	27,0	50,6	0,1
7	369	5	19	51,4	2,4	1,2	28,0	49,5	0,1
9,1	362	5	20	51,4	2,5	1,2	28,9	49,3	0,02
8,1	342	5	21	51,4	2,5	1,2	29,9	48,7	0,1
8,2	329	5	22	51,4	2,6	1,2	30,8	48,3	0,04
6	318	5	23	51,4	2,6	1,3	31,7	48,0	0,03
4	287	5	24	51,4	2,7	1,3	32,6	46,9	0,1
3	253	5	25	51,4	2,7	1,3	33,5	45,8	0,1
2	227	5	26	51,4	2,7	1,3	34,4	44,9	0,1
5	212	5	77	61,4	4,0	1,4	29,3	44,5	0,02
1	198	5	78	61,4	4,0	1,4	29,6	44,1	0,02
10	143	5	79	61,4	4,0	1,4	29,9	42,4	0,1
9	111	5	80	61,4	4,1	1,4	30,1	41,5	0,04
8	89	5	81	61,4	4,1	1,4	30,4	40,8	0,03
Pumpstat.	0	4	82	61,4	4,1	1,4	30,6	38,1	0,1

## 5 DISKUSSION

### 5.1 EKONOMI

#### *Drift och underhåll*

Drift- och underhållskostnaden för det trycksatta systemet på frostfritt djup var 21 % (16 000 kronor) dyrare jämfört med självfallssystemet och den största utgiften utgjordes av underhållet av villapumpar. Det fanns ett begränsat underlag för pumparnas driftskostnad. I rapporten från Wärnö (2004), som driftskostnaden baseras på, finns bara tre konkreta siffror: 530, 231 respektive 112 SEK per pump och år. Variationen dem emellan kan bero på lokala förhållanden såsom utrustning och personal. Enligt rapporten ansågs det högsta värdet 530 SEK mest representativt. Visserligen var GTMS mellan 9–18 år, men underhållskostnaden 530 SEK per pump och år var ett genomsnittligt värde vid driftstörning. Det ansågs därför representera utgiften bättre än en uppskattat kostnad för driftstopp anpassad mot GTMS. Det trycksatta systemet med halverat antal pumpar hade lägst drift- och underhållskostnader då det har samma utgångspunkt som det frostfria alternativet men med 50 pumpar mindre att underhålla, den posten som konstaterades vara mest kostsam.

Störst utgift för självfallssystemet stod ledningsunderhållet för. Detta underhåll bestod bland annat av administrativa uppgifter, rotbekämpning, förebyggande högtrycksspolning och renovering, så kallat planerat underhåll. Ledningsunderhållet baserades på volymen spillvatten på ledningsnätet, alltså indirekt beroende på om överkapacitet beräknades på ledningen. De akuta driftstoppen (då personalen åker ut på larm alternativt upptäckt bristande underhåll vid exempelvis TV-inspektion) som också är en form av ledningsunderhåll, var en svår kostnad att uppskatta. Enbart personal, bil och spolbil kostade omkring 4 000 SEK enligt Uppsala vattens driftstatistik och med administrativa tillägg blev det runt 5 000 SEK. Men ett kollapsat rör på en trafikerad väg kostar långt över det. Anledningen till att en någorlunda låg medelsiffra användes var att ingen av systemen har kalylerats för några värsta fall-scenarion. För det trycksatta systemets skulle detta kunna motsvara strömavbrott. Enligt samma resonemang som för ledningsunderhållet för självfallssystemet skulle ett långvarigt strömavbrott med översvämmade pumpenheter som följd kosta långt över de 530 SEK som brukats för pumpunderhåll.

Driftstopp och källaröversvämning antogs inte utgöra några kostnadsposter för de trycksatta systemen. Detta på grund av att pumparna i sig utför en tryckspolning var gång de är i drift och risken för tillbakarinning (och i värsta fall källaröversvämning) är minimerad i och med avstängnings- och backventilerna som finns på pumpenheten. För självfallssystemet är risken för källaröversvämning betydligt reducerat vid nyinstallation av duplikat system. Och enligt funktionskraven skall utformningen anrättas så att inga källaröversvämningar bör inträffa. Dessutom finns det säkerhetsanordningar (pumpar och backventiler) för de hus som inte uppfyller funktionskraven på självfallssystemet på Torsnessveien. Antalet källaröversvämningar i Fredrikstad kommun multiplicerat med kostnaden för vattenskada och applicerat på

Torsnesveiens storlek gav en extrakostnad på 800 SEK per månad varför dess inverkan inte blir avgörande.

På de trycksatta systemen sker underhåll i form av bekämpning mot svavelväte via luftspolning. En kemikaliebehandling hade också kunnat tänkas men då luftspolningen även avlägsnade sediment och därmed underhöll ledningarnas hydraulik användes den.

Det trycksatta systemet på reducerat djup var 39 % dyrare i drift jämfört med självfallssystemet och 15 % dyrare jämfört med det trycksatta systemet på frostfritt djup. Anledningen till detta var värmekablarna. De beräknas kosta 14 000 kr per år och dessutom reinvesteras var 15:e år. De är däremot inte utformade för den typ av område som undersöktes i denna studie utan i betydligt bergigare områden. Hade studieområdet legat på ett berg hade det varit mycket kostsamt alternativt omöjligt att förlägga avlopp på annat sätt än på reducerat djup. Att förlägga på reducerat djup på Torsnesveien skulle ha inneburit mindre uppbyggnad av asfalt och vegetation då grundare ledningsgraver innebär smalare grävning. Detta är en utgift som inte tagits med vilket var ofördelaktigt för det trycksatta systemet på reducerat djup. Vid mycket smala vägar kan djupa (och därmed breda) ledningsdiken innebära nödvändig inlösning av fastighet och uppköpning av mark. I sådana fall kan grundare diken bli enda lösningen och kan då tillämpas vid begränsade sträckor. Att boende i området besparas långa gatuavstängningar och omdirigering till temporära vägar har inte heller beaktats vilket hade talat till reducerat djups fördel.

Elkabeln kan orsaka höga underhållskostnaderna om den inte är förlagd på rätt sätt. I detta arbete var kabeln beräknad för 100 kalldagar per år vilket givetvis varierar beroende på år och geografi. Elkabeln uppskattades utifrån ett övergripande pris för isoleringslåda, elkabel och rör och utgjorde 40 % av priset. En pumpstation kräver tillsynsansvar från brukaren, något som självfallssystem inte kräver på samma sätt. Om pumpstationen havererar på grund av felanvändning (till exempel nedspolning av kläder och blöjor) blir det fastighetsägaren som får betala för det. Har man själv ansvaret blir man troligen mer försiktig med vad man spolar ner och brukarsynpunkt kan leda till att driftstörningarna i pumpenheten sjunker. Brukarsynpunkten har inte behandlats då det hade varit svårt att objektivt sammanställa en sådan. I detta arbete har det antagits att pumpstationerna måste bytas ut efter 15 år, det vill säga då avskrivningstiden löper ut. Det är emellertid möjligt att de har en längre teknisk livslängd och håller de utan ökad drifttillsyn torde de inte heller bytas ut. Sådana aspekter har inte beaktats utan avskrivningstiden har ansetts vara ett medelvärde.

Ingen exakt driftstatistik fanns för studiens område varför liknande områden fått utgöra underlaget. Medelvärdena utger därmed en allmängiltig bild vilket kan uppfattas som tvetydigt då studien i många fall är specifik för Torsnesveien. Statistiken är emellertid styrkt av flera olika källor vilket torde öka trovärdigheten. Den mer generella statistiken gav i tillägg en bättre jämförelse mellan system i allmänhet.



Drift- och underhållskostnaderna utgörs av svenska prisuppgifter medan investeringsinformationen baseras på norskt prisunderlag. Ingen omvandlingsfaktor har använts även fast den norska kronan är något starkare jämfört med den svenska. Norska priserna ligger även generellt lite högre vid en jämförelse med svenska priser. Det ansågs svårt att uppskatta prisskillnader och variationer i valutakursen, därför behölls priserna med resonemanget att det påverkade systemen lika mycket.

### ***Investering***

För kalkylperioden 50 år kostade självfall nästan sex miljoner kronor mindre jämfört med trycksatt system på frostfritt djup. De båda trycksatta systemen, dels på frostfritt och dels på reducerat djup, skilde sig marginellt genom att frostfritt kostade 100 000 kronor mindre. Den investeringsreducering som trycksatt system på reducerat djup innebar blev efter ungefär 30 år omsprunget av frostfritt trycksatt system på grund av de dyrare driftskostnaderna. Den stora investeringsandel som villapumparna utgjorde blev för det trycksatta alternativet ogynnsamt. Initialt är pumpar och brunnar dyrare som investering jämfört med självfallssystemets pumpar och brunnar och därefter var de både dyrare som reinvestering och i drift. Att ledning och schaktning kostade drygt 1,4 miljoner mer för självfallsalternativet blev då inte avgörande. Eventuellt skulle en än högre installationskostnad erhålls för självfallssystemet om det rekommenderade fallet på 10 % hade projekterats. Nu grävdes istället med 5 % fall men i tillägg krävdes 17 stycken pumpar. Ingen kostnadsjämförelse mellan 10 % och 5 % utfördes. I installationsarbetet för de tre systemen var arbetskraften medräknad men vid reinvesteringarna presenterades enbart de materiella kostnaderna, vilket torde gynna de trycksatta systemen som hade de största reinvesteringarkostnaderna. Som kontrast togs inte kostnaden för förarbetet (bestående av förstudier, projektering och besiktning) med i beräkningarna. En grundligare markundersökning (och en mer omfattande förstudie) krävs vid djupare förläggning och det borde alltså ha vart till självfallssystemets nackdel om det beaktats.

Ett fjärde scenario presenterades i figur 8 där antalet pumpar halverades. Från över 100 stycken till 50 stycken vilket illustrerade dagens situation på studieområdet. Detta innebar reducerade drift- och underhållskostnader för villapumpstationen men framförallt minskade investeringskostnader, både initialt och kontinuerligt var 15:e år. Totalkostnaden reduceras med nästan 11 miljoner efter 50 år, jämfört med självfallssystemet. Då är självfallssystemet fortfarande dimensionerat för dubbla antalet fastigheter men dess största utgift är investeringskostnaderna vid förläggning, vilket krävs oavsett. Visserligen hade eventuellt en mindre rördimension reducerat kostnaderna men den hade varit perifer. Det fjärde scenariot är dock inte ett aktuellt alternativ då eventuella utbyggnader skall tas med vid kapacitetsberäkningar. Det för emellertid med sig antydning om att vid glesare bebyggelse (och därmed färre pumpar) blir det trycksatta alternativet desto konkurrenskraftigare.

Pumpstationen som tas med i grundinvesteringen stod redan på Torsnesveien. Ändå har den beräknats i arbetet för att ge en bättre uppfattning om den totala kostnaden vid nyinstallation av avloppssystem. Behovet av pumpstationen vid det trycksatta avloppssystemet kan diskuteras. Då

det enbart är två kilometer från pumpstationen till reningverket skulle pumpenheterna kunna dimensioneras för att pumpa spillvattnet hela vägen fram till reningsverket och därmed undgå den extra kostnad som pumpstationen utgör. I tillägg skulle för detta scenario en längre ledningsgrav behöva schaktas. Då utgångspunkten för examensarbetet var att jämföra de två avloppssystemen fram till anslutningspunkt för området kring Torsnesveien har inte vidare beräkningar eller dimensionering efter pumpstationen utförts. Det är emellertid intressant att beakta huruvida en projektering hela vägen fram till reningsverket skulle ha fallit ut. Möjligen hade den typen av projektramar varit mer fördelaktigt för det trycksatta avloppssystemet.

I det trycksatta systemet kan abonnenterna eventuellt behöva betala grävningen av pumpgropen för villapumpen och högst sannolikt betala driften av pumpen. Detta har tagits med i totalkostnaden. Även servisledningarna, som inom fastighetsgränsen blir fastighetsägarens kostnad, ingår i totalkostnaden. Kostnaderna bör därför inte ses som kommunens utgifter utan snarare en sammanställning av utläggerna för varje system, oberoende av finansören.

Annuitetsmetoden användes för de årliga kostnaderna för avskrivning och ränta. Kalkylräntan sattes till 4 % då den idag ligger på 3,6 % för Fredrikstad kommun. 4 % är en relativt låg kalkylränta och en lägre ränta gynnar alternativ med högre investeringskostnader då årskostnaderna baseras på annuitetsfaktorn som ökar med högre ränta. Den mest sannolika kalkylräntan bör användas vid investeringsbedömning och det anses därför inte korrekt att spekulera i alternativa räntor utan använda den information som fanns.

En skillnad mellan de båda systemen är att trycksatt avloppssystem inte kräver nedstignings- och tillsynsbrunnar i den utsträckning som självfallssystemet gör. I siffror innebar detta en extra investeringskostnad för självfallssystemet på 1,3 miljoner. Grävning, transport och utläggning för utbyggnadsområdet har inte heller beräknats för något av systemen. Utbyggnaden medför enbart de kostnader som tillkommer för ökad vattenförbrukning.

Kostnaden för ledningsgrav för trycksatt avloppssystem på reducerat djup kostade drygt 0,7 miljoner mindre jämfört med trycksatt system på frostfritt djup. En liten summa kan tyckas då det är 1,5 meters schaktning skiljer de båda systemen (0,5 m respektive drygt 2 m). Anledningen till detta kan vara att väl på plats med maskiner och utrustning kostar inte det extra ledningsdjupet avsevärt mycket mer, förutom högre transport- och deponikostnader. I detta arbete har 750 NOK per meter för trycksatt ledningsgrav på frostfritt djup använts vilket är förhållandesvis lågt.

## **5.2 MILJÖ**

Sex stycken riskeffekter har värderats i ett betygsatt system och effekterna har graderats gentemot de olika avloppssystemen. Svavelväte kan bildas i avloppssystemen och gynnas främst av de anaeroba miljöerna i det trycksatta systemet. Trycksatt system tenderar också att ha längre ledningssträckor vilket innebär att vattnet riskerar att bli liggande under längre tid då pumpen enbart jobbar cirka tio minuter per timma. Något som också gynnar svavelväteproduktionen. Därmed värderades svavelväte till högsta riskfaktor för de trycksatta systemen medan

självfallssystemet, med kortare uppehållstider och luftsatta rör, erhöll lägsta risk. Samtidigt är de flesta ledningarna i trycksatta system av plast varför korrosionsproblematiken inte är så aktuell som för självfallssystem där majoriteten av rören består av betong. Att problematiken med svavelväte blivit mer uppmärksammas nu kan bero på bättre mätutrustning för att upptäcka gasen men även att fler kombinerade system byggts om till separerade. Dagvatten i systemet späder ut koncentrationen av organiskt material vilket försvårar för de svavelvätebildande bakterierna.

Inläckage i form av tillskottsvattnet var den andra av riskeffekterna. Dräneringsvatten utgör vanligtvis den största andelen vatten som kommer till reningsverken och dräneringsvatten räknas som tillskottsvatten. Många gånger är detta medvetet påkopplat till spillvattenledningen vilket gör att statistiken kan vara missvisande. Som miljöeffekt belastar den reningsverken mer än nödvändigt och kan i vissa fall dämna upp ledningarna med tillbakarinning och översvämning som värsta följd. I trycksatta system är inläckage oftast inget problem då det är högre tryck i ledningen. Därmed fick de trycksatta ledningarna den lägsta risken, en etta. För självfallssystemet blev det ett mellanbetyg, en tvåa.

Samma betygsättning som för inläckage blev det för utläckage. Anledningen till detta var att risken för utläckage torde vara lika stor för bägge systemen men för trycksatt system är det lättare att upptäcka (med exempelvis flödesmätning) och därmed kan det åtgärdas snabbare.

Översvämningsrisken vid exempelvis driftstörning eller strömavbrott innebär nödutlopp för självfallssystemet. För de trycksatta systemen blir det som yttersta konsekvens översvämning vid pumpenheten, då bräddningsannordningar inte finns på de trycksatta systemen. Bräddningens konsekvenser beror på omständigheterna såsom ifall recipienten är känslig eller belägen nära en badplats. Men att få ut patogener och andra smittämnen bland människor inom bostadsområdet, vilket riskeras för det trycksatta systemet ansågs emellertid utgöra större riskeffekt. Därför blev det en tvåa för de trycksatta systemen och en etta för självfallssystemet.

Examensarbetet om energimässig jämförelse redogör att självfallsförläggningen generellt sett förbrukar mer energi vid installation, vilket ger självfallssystemet högsta riskeffekt. Väl i drift innehar självfallssystemet lägsta energibehovet. Det trycksatta alternativet på reducerat djup kräver initialt mindre energiåtgång i form av grävning medan värmekabeln gör den till storkonsument av energi under driften.

Nödutlopp är en riskeffekt i allra högsta grad. Den finns emellertid inte med bland listan på miljöeffekter. Anledningen till det var dels att den ansågs höra samman med översvämningsrisken då konsekvensen av det blir bräddning via nödutlopp. Dels finns inte nödutlopp för trycksatta system.

En sammanställning av riskfaktorerna gör självfallssystemet till ett marginellt bättre alternativ ur miljösynpunkt. Då har emellertid inte riskfaktorerna genomgått en inbördes jämförelse. Energi vid installation och drift kan ses som förbrukning av naturtillgångar vilket, jämfört med

utläckage, skulle kunna anses som en värre miljöeffekt. Men en sådan gradering och bedömning utelämnades.

Dagvattnet skall avledas separat, tillsammans med dräneringsvattnet, i självfallssystemet vilket inte behandlades i detta arbete. I det trycksatta alternativet kommer det inte finnas ledningar för dag- och dräneringsvatten. Dagvattnet har vanligen ingen planerad bortförsel i trycksatta system utan antas lösas genom naturlig avrinning eller infiltration. Det kan vara problematiskt för lerjordar som kan behöva dräneras för att motverka sättningar. För detta område skulle LOD behöva tillämpas vilket det finns utrymme för. Alternativt skulle de gamla, kombinerade ledningarna kunna användas för avledning av dag- och dräneringsvatten. Dag- och dräneringsvatten behöver emellertid en åtgärdsplan och de kan i vissa områden vara problematiskt att anta att LOD alltid fungerar. Dessutom kan föroreningshalten förväntas öka med anledning av utbyggnad.

Ett av de vanligaste sätten för att rensa avloppsledningen och som många kommuner använder som underhållsrutin, är högtrycksspolning. Arbetsmiljön för utförande personal vid högtrycksspolning är inte medräknat och inte heller värderat som riskeffekter. Liknande resonemang kan föras kring att risken för skador vid fall ökar vid djup förläggning. Samtidigt kräver förläggning, drift och underhåll av det trycksatta systemet arbete inne på fastighetmark vilket kan försvåra om byggnationer ligger nära eller vid pumpenheten. Några sådana brukar- och arbetsmiljö aspekter har inte beaktas då de ansågs svåra att värdera.

### **5.3 KAPACITET**

Skillnaden i flöde mellan självfall (6,7 l/s) och trycksatt (3,2 l/s) var stort vilket förklaras med att det trycksatta systemet dimensionerades för att nio pumpar var i drift samtidigt. I tillägg anpassas dygnsförbrukningen i det trycksatta systemet för dygnets spillvattenproducerande timmar och divideras därför med 10. Detta för att tanken i pumpenheten samlar upp vattnet och under dygnets lågproducerande timmar pumpas inte detta spillvatten bort lika frekvent som under dygnets högproducerande timmar. Självfallssystemet divideras med 24 och ger ett medelvärde över hela dygnet. I tillägg multipliceras det med maxdygns- och maxtimfaktorn vilket ger ett större dimensionerande spillvattenflöde, jämfört med trycksatt system. Det trycksatta systemet multipliceras med en riskfaktor (1,5) men ger överlag en mer anpassad (och lägre) kapacitet till behovet, jämfört med självfallssystemet som erhöll en klar överkapacitet. Självfallsledningen på 160 mm var dimensionerat för cirka 80 % högre flöde jämfört med det dimensionerande flödet. Motsvarande på ledningen med 200 mm i diameter var 220 % högre. En liknande procentuell jämförelse blir svår att utföra för det trycksatta systemet då dess ledningsdimension förändras mer jämfört mot självfallet. Initialt, längst bort från pumpstationen, hade huvudledningen dimensionen 40 mm. När två fastigheter var påkopplade blev det 50 mm och efter sex fastigheter blev det 63 mm (tabell 11). Detta är en av anledningarna till att de trycksatta systemen är mer anpassade efter reell förbrukning. Självfallssystem överdimensioneras ofta för att säkra fri vattenyta i röret. En överdimensionering för trycksatt system är något mer problematiskt då rören helst skall gå fulla för att inte skapa tryckförluster, sedimentering eller svavelvätebildning. Wärnö

(2004) diskuterar problematiken med att trycksatta system ofta överdimensioneras. Enligt rapporten, finns det inga dokumenterade bevis på att det skulle påverka driften i form av svavelvätebildning och sedimentering. Skulle 450 liter per fastighet och dygn (bilaga D) antas istället för 700 liter per fastighet och dygn (som i denna rapport) skulle det lägre flödet medföra kortare driftstid. Kortare driftstid skulle innebära mindre slitage per pump (eventuellt längre avskrivningstid) samt minska sannolikheten för att flera pumpar är i drift samtidigt. I slutändan ger detta ett lägre dimensionerat spillvattenflöde i rören varpå rördimensionerna kan reduceras. Mindre rördimensioner ger kortare uppehållstid på grund av högre hastigheter vilket skulle kunna innebära minskad svavelväteproduktion. Den största utgiften för självfallssystem vid drift och underhåll var ledningsunderhåll vilket baserades på behandlad volym. En reducerad spillvattenförbrukning skulle därmed bidra till lägre kostnader för ledningsunderhåll.

Upphållstiderna för trycksatt system skall enligt EN-1671 maximalt vara 8–10 timmar. Det uppstår en motsägelse då de trycksatta systemen skall dimensioneras efter utbyggnad och samtidigt ha begränsad uppehållstid. De större dimensionerna minskar vattenhastigheten i rören och därmed blir uppehållstiderna längre.

## 6 SLUTSATS

- För området kring Torsnesveien hade det ur ett ekonomiskt perspektiv varit mest fördelaktigt med självfallssystem. Baserat på planerad utbyggnad av 50 fastigheter och en pumpenhet per hushåll blir investerings- och driftskostnaderna märkbart högre för trycksatt avloppssystemet på frostfritt djup. Vid jämförelse mellan trycksatt avloppssystem på frostfritt respektive reducerat djup erhålls en marginell kostnadsskillnad, till frostfritt systems fördel.
- Självfallssystem bedömdes ha marginellt fler miljömässiga fördelar. Vid bedömning utifrån en tregradig skala erhöll självfallssystemet tio poäng, jämfört med de trycksatta systemens elva poäng. Detta innefattar emellertid ingen inbördes rankning eller gradering mellan miljöeffekterna.
- Kapacitetsmässigt skiljer det sig mycket åt mellan självfall och trycksatt avloppssystem. Trycksatt system anpassades i större grad kapaciteten till behovet medan självfall inte i samma utsträckning förlorade på att överdimensioneras. Därmed kan det bli problem för trycksatta system vid efterföljande utbyggnad.
- Undersökning antydde att vid glesare bebyggelse är ett trycksatt system ett fördelaktigare alternativ. Det baserades på en jämförelse utifrån dagens situation på Torsnesveien, utan medräknad utbyggnad. En halvering av pumpenheterna medförde att det trycksatta systemet på frostfritt djup gav en lägre total kostnad jämfört med självfallssystemet. Självfallssystemet är alltså konkurrenskraftigt, bland annat beroende på sin förhållandevis låga driftskostnad. Fördelen med överdimensionering indikerar att för områden där storleken på utbyggnaden ännu är okänd blir självfallssystemet ett säkrare system.

## 7 REFERENSER

- Andersson, J-O., Ekström, C., Gabrielsson, A., 1994. *Ekonomistyrning 1. Lönsamhetsplanering och kalkylering*. Faktabok. Upplaga 3:1. Liber-Hermods AB, Malmö 1994.
- Andersson, T. & Nordbäck, L., 2006. *En energimässig jämförelse mellan LPS och självfallsavlopp*. En fallstudie i Haninge kommun. Examensarbete från KTH Syd Campus Haninge.
- Bowne, W. C., Naret, R. C., Otis, R. J., 1991. *Alternative wastewater collection system*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA/625/1-91/024  
<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/300046DW.PDF?ZyActionP=PDF&Client=EPA&Index=1991%20Thru%201994&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C91THRU94%5CTXT%5C00000002%5C300046DW.txt&Query=&SearchMethod=1&FuzzyDegree=0&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&QField=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&Docs=> (2014-03-17).
- Bäckström, M., Johansson, D., Marklund, S., Ylinenpää, J-E., 2010. *Luftspolning av tryckavloppsledningar för bekämpning av svavelväte*. SV-utveckling, rapport nr. 2010-01, Svenskt Vatten AB.
- Ekbäck, D., 2013. *Rörboken – yttre rörledningar*. Tredje utgåvan, Malmö: AB Svensk byggtjänst.
- Fredrikstad kommune, 2013a. *Karta Torsnesveien*. Fredrikstad kommuns digitala karttjänst. <https://www.fredrikstad.kommune.no/no/Tjenester/Kart/> (2014-04-08).
- Fredrikstad kommune, 2013b. *Handlingsplan 2014-2017 og budsjett 2014*. Vedtatt av Bystyret 5 desember 2013. [https://www.fredrikstad.kommune.no/Documents/Politikk/Planer/Budsjett\\_HP\\_2014\\_17/Vedtatt%20HP%2014-17%20og%20Budsjett%202014-komplett.pdf](https://www.fredrikstad.kommune.no/Documents/Politikk/Planer/Budsjett_HP_2014_17/Vedtatt%20HP%2014-17%20og%20Budsjett%202014-komplett.pdf) (2014-05-05).
- Haninge kommun, 2014. *Självfäll eller tryckavlopp (LTA)*. Haninge kommuns informationssida om VA-system. <http://www.haninge.se/sv/Bygga-bo-och-miljo/Vatten-och-avlopp/Avlopp/Sjalvfall-eller-tryckavlopp-LTA/> (2014-02-10).
- If, 2010. *Kostnad för översvämmad villa*. If:s tips för att undvika en översvämmad källare. <http://www.if.se/web/se/om/senastenytt/pages/storriskforoversvamningarnarsnonsmalter.a.spx> (2014-05-18).
- Kommunenes sentralforbund, 1992. *Normalreglement for sanitæranlegg*. Administrative bestemmelser med kommentarer. Fjärde utgåvan. Kommuneforlaget AS, Oslo.
- Ledskog, A., Larsson, S-G., Lindqvist B. G., 1994. *Svavelväteproblem i avloppsledningar – drifterfarenheter och tillämpbara anvisningar*. VA-forsk rapport nr. 1994-07, VAV AB.

- Lidström, V., 2013. *Vårt vatten*. Grundläggande lärobok i vatten- och avloppsteknik. Andra upplagan, Svenskt Vatten AB.
- Lindqvist, G. L., Lönnbring, J., Persson, G., Svensson, H., 2000. *Tryckavloppssystem av rör med klena dimensioner*. Utformning, drifterfarenheter och juridiska aspekter. VA-forsk rapport nr. 2000-13, VAV AB.
- Lovdata, 2004. *Tjældjup Fredrikstad*. Betingelser for tilknytting til Moss kommunes vann- og eller avløpsledninger, Moss kommune, Østfold.  
[http://lovdata.no/dokument/OV/forskrift/2004-11-02-1583/KAPITTEL\\_3#KAPITTEL\\_3](http://lovdata.no/dokument/OV/forskrift/2004-11-02-1583/KAPITTEL_3#KAPITTEL_3) (2014-04-09).
- Malm, A., Horstmark, A., Jansson, E., Larsson, G., Meyer, A., Uusijärvi, J., 2011a. *Handbok i förnyelseplanering av VA-ledningar*. SV-utveckling, rapport nr. 2011-2012, Svenskt Vatten AB.
- Malm, A., Horstmark, A., Jansson, E., Larsson, G., Meyer, A., Uusijärvi, J., 2011b. *Rörmaterial i svenska VA-ledningar – egenskaper och livslängd*. SV-utveckling, rapport nr. 2011-14 (2:a revidering), Svenskt Vatten AB.
- Nationalencyklopedin, 2014. *Fredrikstad kommun*.  
[http://www.ne.se/fredrikstad?i\\_h\\_word=fredrikstad+kommun](http://www.ne.se/fredrikstad?i_h_word=fredrikstad+kommun) (2014-02-26).
- Naturvårdsverket, 2014. *Avloppsvattnets miljöpåverkan*. Naturvårdsverkets informationssida om hur miljön mår. <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Avloppsvatten/> (2014-04-09).
- Norsk Vann, 2008. *Effektivitet i kommunale vann- og avløpstjenester*. Benchmarkingresultater 2008. Norsk Vann BA.
- Norsk Vann, 2012. *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem*. Rapport nr. 193-2012, Norsk Vann BA.
- Norsk Vann, 2013. *Vann- og avløpsteknikk*. Andra upplagan, Norsk Vann BA.
- Pipelife, utan datum. *Flödesförlustberäkning (Colebrook-White) för delvis fyllda rör*.  
<http://calculation.pipelife-documents.com/colebrookpf/?lang=no> (2014-02-25).
- Pumpportalen, 2011. *Pumphandboken*. <http://www.pumpportalen.se/pumphandbok/> (2014-03-07).
- Rylander, R. & Schmitz, J., 2012. *Svavelväte i avloppsreningsverk – en exponeringsstudie*. SV-utveckling, rapport nr. 2012-01, Svenskt Vatten AB.
- Skandinavisk kommunalteknik, 2013. Teknisk handbok. *Tryckavlopp och frostskydd*.



- SKL, 1992. *Avskrivningstid för vatten- och avloppsledningar*. Cirkulärnummer: 1992:161.  
[http://www.skl.se/Site/CMS/Templates/skl/CachedPage.aspx?url=http%3a%2f%2fbrs.skl.se%2fcirkular%2fcirkdoc.jsp%3fsearchpage%3dbrsbibl\\_cirk.htm%26op1%3d%26type%3d%26db%3dCIRK%26from%3d1%26toc\\_length%3d20%26currdoc%3d1%26search1\\_cnr%3d1992%3a161&query=avskrivningstider](http://www.skl.se/Site/CMS/Templates/skl/CachedPage.aspx?url=http%3a%2f%2fbrs.skl.se%2fcirkular%2fcirkdoc.jsp%3fsearchpage%3dbrsbibl_cirk.htm%26op1%3d%26type%3d%26db%3dCIRK%26from%3d1%26toc_length%3d20%26currdoc%3d1%26search1_cnr%3d1992%3a161&query=avskrivningstider) (2014-04-04).
- RKR, 2009. *Avskrivningar – avgränsning, värdering och nyttjandeperioder för immateriella och materiella anläggningstillgångar*.  
[file:///C:/Users/nokada.SWECO/Downloads/112335\\_Avskrivningar%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/nokada.SWECO/Downloads/112335_Avskrivningar%20(1).pdf) (2014-05-08).
- SSTT, 2002. *No-Dig handbok*. SSTT.
- Stahre m.fl., 2007. *Värdering av vatten- och avloppsledningsnät*. SV-utveckling, rapport nr. 2007-13, Svenskt Vatten AB.
- Stockholm vatten, 2010. *Nyckeltal 2001-2010*. Basfakta VA-verksamheten.  
[http://www.stockholmvatten.se/commondata/rapporter/stockholmvatten/Nyckeltal%20Rapport%202001\\_2010.pdf](http://www.stockholmvatten.se/commondata/rapporter/stockholmvatten/Nyckeltal%20Rapport%202001_2010.pdf) (2014-05-02).
- Stockholm vatten, 2011. *Jubileum för avlopp i Stockholm*. Vattentrycket.  
[http://www.stockholmvatten.se/commondata/images/Avloppshistoria/SV\\_Historik.pdf](http://www.stockholmvatten.se/commondata/images/Avloppshistoria/SV_Historik.pdf) (2014-05-19).
- Svenskt Vatten, 2004. *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. Första upplagan publikation P 90, Svenskt Vatten AB.
- Svenskt Vatten, 2005. *Fakta om vatten och avlopp*. Svenskt Vattens information om vatten och avlopp i Sverige.  
[http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Utbildning%20och%20Rekrytering/FaktaOmVatten\\_A5\\_140220.pdf](http://www.svensktvatten.se/Documents/Kategorier/Utbildning%20och%20Rekrytering/FaktaOmVatten_A5_140220.pdf) (2014-01-21).
- Svenskt Vatten, 2007. *Avloppsteknik 3 Slamhantering*. Stockholm: Svenskt Vatten AB.
- Svenskt Vatten, 2008. *Allmänna VA-ledningar*. Grundutbildning för rörnätspersonal. Ersätter VAV M84, publikation U5, Svenskt Vatten AB.
- Svenskt Vatten, 2010a. *Invändig inspektion av vattenledningar (ledningsnät)*. SV-utveckling, rapport nr. 2010-11, Svenskt Vatten AB.
- Svenskt Vatten, 2010b. *Schaktfritt byggande av markförlagda VA-ledningar i plast*. Publikation P101, Svenskt Vatten AB.

Svenskt vatten, utan datum. *Särskilda anordningar för användningen av en allmän VA-anläggning*. <http://www.svensktvatten.se/Vattentjanster/Management/Juridik/Vanliga-fragor-och-svar1/> (2014-05-19).

Sweco Norge AS, 2013a. *Teknisk beskrivelse Torsnesveien – tilbud*. Projekt: VA-anlegg.

Sweco Norge AS, 2013b. *Anbudsrapport Torsnesveien – inkl. opsjoner – alle poster*.

VA-jus, 2014. *Eierskap til pumpestasjoner i trykkavløpssystem*. Norsk Vann BA. <http://va-jus.no/tidligere-stilte-sporsmal/> (2014-05-16).

Wärnö, M., 2004. *Driftuppfølgning av LTA-system i sydvästra Skåne*. VA-Forsk rapport nr. 2004-04, Svenskt Vatten AB.

Ødegaard, H., Rusten, B., Storhaug, R., Paulsrud, B., 2009. *Veiledning for dimensjonering av avløpsrenseanlegg*. Rapport nr. 168-2009, Norsk Vann BA.

### **Personlig kommunikation**

Beckman, Jens, 2014. Skandinavisk kommunalteknik AS.

Eidevik, Karl, 2014. Arne Rød & Co AS.

Eriksson, Sara, 2014. Uppsala Vatten och Avfall AB.

Lindvall, Jan, 2014. Företagsekonomiska institutionen vid Uppsala universitet.

Løken, Yngve, 2014. Sweco Norge AS.

Palm, Johan, 2014. Skandinavisk kommunalteknik AB.

## BILAGOR

### BILAGA A - ANNUITETSFAKTOR

Tabell 13. Annuitetsfaktorn på ett belopp som utfaller idag (n=0) baserat på kalkylränta och avskrivningstid (Andersson m.fl., 1994).

År n	4 %	5 %	6 %	8 %	10 %	12 %	15 %	18 %	20 %	25 %
1	1,04	1,05	1,06	1,08	1,1	1,12	1,15	1,18	1,2	1,25
2	0,5302	0,5378	0,54544	0,56077	0,57619	0,5917	0,61512	0,63872	0,65455	0,69444
3	0,36035	0,36721	0,37411	0,38803	0,40211	0,41635	0,43798	0,45992	0,47473	0,5123
4	0,27549	0,28201	0,28859	0,30192	0,31547	0,322923	0,35027	0,37174	0,38629	0,42344
5	0,22463	0,23097	0,2374	0,25046	0,2638	0,27741	0,29832	0,31978	0,33438	0,37185
6	0,19076	0,19702	0,20336	0,21632	0,22961	0,24323	0,26424	0,28591	0,30071	0,33882
7	0,16661	0,17282	0,17914	0,19207	0,20541	0,21912	0,24036	0,26236	0,27742	0,31634
8	0,14853	0,15472	0,16104	0,17401	0,18744	0,2013	0,22285	0,24524	0,26061	0,3004
9	0,13449	0,14069	0,14702	0,16008	0,17364	0,18769	0,20957	0,23239	0,24808	0,28876
10	0,12329	0,1295	0,13587	0,14903	0,16275	0,17698	0,19925	0,22251	0,23852	0,28007
11	0,11415	0,12039	0,12679	0,14008	0,15396	0,16842	0,19107	0,21478	0,2311	0,27349
12	0,10655	0,11283	0,11928	0,1327	0,14676	0,16144	0,18448	0,20863	0,22526	0,26845
13	0,10014	0,10646	0,11296	0,12652	0,14078	0,15568	0,17911	0,20369	0,22062	0,26454
14	0,09467	0,10102	0,10758	0,1213	0,13575	0,15087	0,17469	0,19968	0,21689	0,2615
15	0,08994	0,09634	0,10296	0,11683	0,13147	0,14682	0,17102	0,1964	0,21388	0,25912
16	0,08582	0,09227	0,09895	0,11298	0,12782	0,14339	0,16795	0,19371	0,21144	0,25724
17	0,0822	0,0887	0,09544	0,10963	0,12466	0,14046	0,16537	0,19149	0,20944	0,25576
18	0,07899	0,08555	0,09236	0,1067	0,12193	0,13794	0,16319	0,18964	0,20781	0,25458
19	0,07614	0,08275	0,08962	0,10413	0,11955	0,13576	0,16134	0,1881	0,20646	0,25366
20	0,07358	0,08024	0,08718	0,10185	0,11746	0,13388	0,15976	0,18682	0,20536	0,25292
25	0,06401	0,07095	0,07823	0,09368	0,11017	0,1275	0,1547	0,18292	0,20212	0,25095
30	0,05783	0,06505	0,07265	0,08883	0,10608	0,12414	0,1523	0,18126	0,20085	0,25031
40	0,05052	0,05828	0,06646	0,08386	0,10226	0,1213	0,15056	0,18024	0,20014	0,25003
50	0,04655	0,05478	0,06344	0,08174	0,10086	0,12042	0,15014	0,18005	0,20002	0,25

## BILAGA B – BERÄKNING AV DIMENSIONERANDE ANTAL PUMPENHETER

Tabell 15. Tabellen visar summan för varje beräkning från  $n = 0, \dots, 20$  vid uträkning av det dimensionerande antalet pumpar för Torsnesveien.

Ekvation 5	n
0,133254025	0
0,910096637	1
3,07883756	2
6,878254123	3
11,41497493	4
15,00947767	5
16,28688003	6
14,99977097	7
11,96790237	8
8,402995278	9
5,256341727	10
2,958598535	11
1,51077372	12
0,704698053	13
0,302013451	14
0,119520217	15
0,043866463	16
0,014988166	17
0,004783457	18
0,001430216	19
0,000401678	20

## BILAGA C – ÅRSBASERAD KOSTNADSKALKYL

Tabell 14. Årlig kostnadsberäkning för de olika systemen.

Tid (år)	Självfall (NOK)	Tryck, frostfritt (NOK)	Tryck, reducerat (NOK)	Tryck, frostfr, 50 pumpar (NOK)
0	7355000	7166800	6835900	4941300
1	7904094	7778086,44	7445783,05	5340307,52
2	8453188	8389372,88	8055666,09	5739315,03
3	9002282	9000659,32	8665549,14	6138322,55
4	9551376	9611945,76	9275432,18	6537330,06
5	10100470	10223232,2	9885315,23	6936337,58
6	10649564	10834518,6	10495198,3	7335345,09
7	11198658	11445805,1	11105081,3	7734352,61
8	11747752	12057091,5	11714964,4	8133360,12
9	12296846	12668378	12324847,4	8532367,64
10	12845940	13279664,4	12934730,5	8931375,15
11	13395034	13890950,8	13544613,5	9330382,67

12	13944128	14502237,3	14154496,5	9729390,18
13	14493222	15113523,7	14764379,6	10128397,7
14	15042316	15724810,2	15374262,6	10527405,2
15	18542410	20546096,6	20393145,7	13426412,7
16	19091504	21157383	21003028,7	13825420,2
17	19640598	21768669,5	21612911,8	14224427,8
18	20189692	22379955,9	22222794,8	14623435,3
19	20738786	22991242,4	22832677,9	15022442,8
20	21287880	23602528,8	23442560,9	15421450,3
21	21836974	24213815,2	24052443,9	15820457,8
22	22386068	24825101,7	24662327	16219465,3
23	22935162	25436388,1	25272210	16618472,8
24	23484256	26047674,6	25882093,1	17017480,4
25	24033350	26658961	26491976,1	17416487,9
26	24582444	27270247,4	27101859,2	17815495,4
27	25131538	27881533,9	27711742,2	18214502,9
28	25680632	28492820,3	28321625,3	18613510,4
29	26229726	29104106,8	28931508,3	19012517,9
30	29729820	33925393,2	33950391,4	21911525,5
31	30278914	34536679,6	34560274,4	22310533
32	30828008	35147966,1	35170157,4	22709540,5
33	31377102	35759252,5	35780040,5	23108548
34	31926196	36370539	36389923,5	23507555,5
35	32475290	36981825,4	36999806,6	23906563
36	33024384	37593111,8	37609689,6	24305570,5
37	33573478	38204398,3	38219572,7	24704578,1
38	34122572	38815684,7	38829455,7	25103585,6
39	34671666	39426971,2	39439338,8	25502593,1
40	35220760	40038257,6	40049221,8	25901600,6
41	35769854	40649544	40659104,8	26300608,1
42	36318948	41260830,5	41268987,9	26699615,6
43	36868042	41872116,9	41878870,9	27098623,1
44	37417136	42483403,4	42488754	27497630,7
45	38905444,7	44434606,5	44519787,5	28692313,2
46	39410086,7	44982476,3	45081154,4	29053662,4
47	39914728,7	45530346,1	45642521,3	29415011,5
48	40419370,7	46078215,9	46203888,1	29776360,7
49	40924012,7	46626085,7	46765255	30137709,9
50	<b>41428654,7</b>	<b>47173955,5</b>	<b>47326621,9</b>	<b>30499059,1</b>

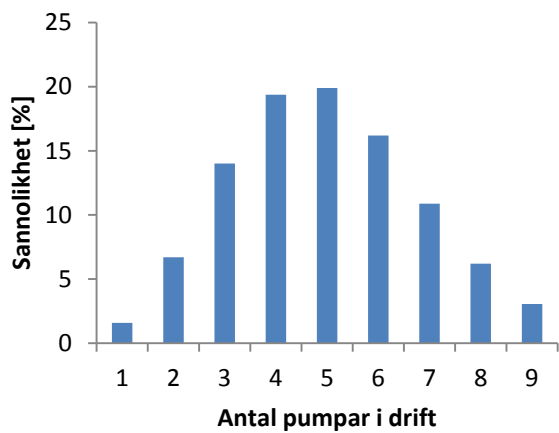
---

## BILAGA D – TRYCKAVLOPP MED REDUCERAD DYGNSFÖRBRUKNING

Tabell 12. Huvudledningen, slinga 1, för Torsnesveien uträknat med beräkningsmall för LPS-system med reducerad dygnsförbrukning till 450 liter per fastighet och dygn.

Slinga 1:	Längd [m]	Markhöjd [m]	Pumpar [st]	Ledning [mm]	Flöde [l/s]	Hastighet [m/s]	Förluster [%]	Trycknivå [m]	Uppehållstid [h]
start	894	7						62,59	
30	874	7	1	32,60	0,57	0,68	17,25	62,23	0,59
29	836	6	2	40,80	1,13	0,86	20,59	61,47	0,83
28	801	6	3	40,80	1,28	0,98	26,18	60,53	0,53
27	762	6	4	40,80	1,41	1,08	31,26	59,31	0,44
26	714	6	5	40,80	1,52	1,16	35,97	57,61	0,42
25	677	6	6	51,40	1,62	0,78	13,12	57,12	0,44
24	651	6	7	51,40	1,71	0,82	14,50	56,74	0,26
12	472	6	16	51,40	2,29	1,11	24,95	52,28	0,79
11	429	5	17	51,40	2,34	1,13	25,97	51,17	0,18
10.1	407	5	18	51,40	2,39	1,15	26,97	50,56	0,09
7	369	5	19	51,40	2,44	1,18	27,95	49,49	0,14
9.1	362	5	20	51,40	2,48	1,20	28,91	49,29	0,02
8.1	342	5	21	51,40	2,53	1,22	29,85	48,70	0,07
xx	329	5	22	51,40	2,57	1,24	30,78	48,30	0,04
6	318	5	23	51,40	2,61	1,26	31,70	47,95	0,03
4	287	5	24	51,40	2,65	1,28	32,59	46,94	0,09
3	253	5	25	51,40	2,69	1,30	33,48	45,80	0,10
2	227	5	26	51,40	2,73	1,31	34,35	44,91	0,07
5	212	5	77	61,40	4,00	1,35	29,34	44,48	0,02
1	198	5	78	61,40	4,02	1,36	29,60	44,06	0,02
10	143	5	79	61,40	4,04	1,36	29,85	42,41	0,07
9	111	5	80	61,40	4,05	1,37	30,10	41,45	0,04
8	89	5	81	61,40	4,07	1,38	30,35	40,78	0,03
	0	4	82	61,40	4,09	1,38	30,60	38,07	0,11

En reducerad dygnsförbrukning och färre boende per fastighet ger färre pumpar i drift samtidigt. Enligt figur 10 blir det istället  $n = 8$ , det vill säga maximalt åtta stycken pumpar bör vara i drift samtidigt vid en sannolikhet på 10 %.



**Figur 10.** Figuren visar det stapeldiagram som anger sannolikheten för att ett visst antal pumpar är i bruk samtidigt vid förbrukningen 450 liter per dygn och fastighet.