

Master Thesis
TVVR 18/5004

Analys med hydraulisk modell av metod för reducerat kapacitetsprov i sprinkleranläggningar

Johan Mauritzon



Division of Water Resources Engineering
Department of Building and Environmental Technology
Lund University

Analys med hydraulisk modell av metod för reducerat kapacitetsprov i sprinkleranläggningar

By:
Johan Mauritzon

Master Thesis

Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University
Box 118
221 00 Lund, Sweden

Water Resources Engineering
TVVR-18/5004
ISSN 1101-9824

Lund 2018
www.tvrl.lth.se

Master Thesis
Division of Water Resources Engineering
Department of Building & Environmental Technology
Lund University

Swedish title: Analys med hydraulisk modell av metod för reducerat kapacitetsprov i sprinkleranläggningar
English title: Analysis of method for a reduced capacity test in sprinkler facilities using a hydraulic model
Author: Johan Mauritzon

Supervisors: Magnus Larson, Victor Pelin, Marcus Runefors
Examiner: Rolf Larsson
Language: Swedish
Year: 2018
Keywords: kapacitetsprov; sprinkler; modell; hydraulik; reducerat

Förord

Rapporten är skriven under våren 2018 och är resultatet av ett samarbete mellan institutionen Teknisk Vattenresurslära på LTH, sprinklerbranschen och den regionala VA-organisationen VA SYD. Rapporten är resultatet av ett examensarbete inom civilingenjörsutbildning Väg- och Vattenbyggnad med inriktning på Teknisk Vattenresurslära. Examensarbetet har varit väldigt intressant och har varit en ny erfarenhet för mig som kommer att vara till god användning i min fortsatta karriär. Jag vill tacka Victor Pelin på VA SYD för att han ägnat mycket tid åt projektet samt Magnus Larsson på TVRL för hans goda handledning. Jag vill också tacka Marcus Runefors, Åsa Andersson och Magnus Ivarsson för insamling av såväl viktig indata och som hjälp i analysen som utfördes. Det är min ambition att examensarbetet kommer vara till nytta vid utformning av kapacitetsprov för sprinkleranläggningar i framtiden.

Abstract

To this date, full-scale capacity tests are performed in sprinkler facilities in order to investigate if sufficient pressure and flow can be achieved in case of fire. Full-scale capacity tests may, however, cause problems such as low pressure in pipes, scaling of pipe walls, flooding of low topography areas, and water hammer. This report intends to research whether reduced capacity tests together with modelling are able to replace full-scale capacity tests. In the present study, capacity tests from the cities of Lund and Malmö are analysed with different types of models, including simple empirical models as well as computer models such as MIKE URBAN. For the simple approaches, Excel was used to examine models based on linear curve fitting, on 2nd-degree polynomial curve fitting, and on the Hazen-Williams formula. Interviews with people in the business were conducted and tests in pipe systems were performed to improve analysis and understanding. The results from the data model analysis demonstrated the difficulties in predicting the behavior of the hydraulic system. Neither of the employed models could determine the minimum pressure with sufficient accuracy. The results from the hydraulic model investigation showed the need for local calibration of models with regard to pipe system characteristics. The results from the detailed analysis of capacity tests in one sprinkler facility (denoted E) indicates that the largest pressure drop takes place in the sprinkler facility. The results from applying a simple hydraulic model of the local system shows that more knowledge about the components in the sprinkler facility is necessary to develop reliable methods for reduced capacity tests using models as a complement.

Sammanfattning

I dagsläget utförs fullskaliga kapacitetsprov på sprinkleranläggningar med syfte att undersöka om erforderligt tryck och flöde kan erhållas i händelse av brand. Fullskaliga kapacitetsprov är däremot relaterade till risker som lågt tryck i vattenledningsnät, blödning på gjutjärnrör, översvämning av lågt belägna områden och tryckslag i rör. I detta arbete undersöks om reducerade kapacitetsprov sammankopplat med en teoretisk (empiriskt eller mer fysikaliskt baserad) modell kan ersätta fullskaliga kapacitetsprov. I arbetet analyserades utförda kapacitetsprov i Lund och Malmö med en rad empiriska modeller samt den hydrauliska datormodellen MIKE URBAN. Vid tillämpning av de enklare metoderna användes Excel för att undersöka modeller som linjär- och andragsrads-kurvanpassning samt en modell baserad på Hazen-Williams formel. Intervjuer med personer inom VA- och sprinklerbranschen och prover i ledningsnätet utfördes för att förbättra analys och förståelse. Resultaten från analys av indata med de använda modellerna var inte tillfredställande. Ingen av modellerna gav värden i överensstämmelse med data för alla studerade fall. Resultaten från den hydrauliska modelleringen visade på behovet av lokal kalibrering för att reproducera mätvärden med god noggrannhet. Resultaten från detaljerad analys av provning i en sprinkleranläggning (betecknad E) visade på att det största tryckfallet sker i sprinkleranläggningen. Resultaten från en enkel hydraulisk modell av de lokala förhållandena visade att det krävs mer kunskap om ingående komponenter i sprinkleranläggningen för att utveckla reducerade kapacitetsprov genom att använda modeller.

Innehållsförteckning

Förord	iii
Abstract	v
Sammanfattning	vi
Innehållsförteckning.....	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Mål.....	2
1.4 Studiens genomförande	2
1.5 Avgränsningar	3
2 Teori	5
2.1 Allmänna vattenledningsnät	5
2.1.1 Utformning	5
2.1.2 Dimensionering	6
2.1.3 Regelverk och normer	8
2.1.4 Sambandet mellan tryck och flöde	8
2.2 Sprinkleranläggningar	10
2.2.1 Utformning	10
2.2.2 Typer av sprinklersystem	15
2.2.3 Dimensionering	16
2.2.4 Hazen-Williams formel	17
2.2.5 Regelverk och normer	17
2.2.6 Sprinkleranläggningarnas framtid	18
2.3 Kapacitetsprov	18
2.3.1 Fullskaligt kapacitetsprov	19
2.3.2 Reducerat kapacitetsprov	19

2.3.3	Risker med kapacitetsprov	19
2.4	MIKE URBAN	20
3	Metod	21
3.1	Litteraturstudie.....	21
3.2	Intervjua personer inom VA- och sprinklerbranschen	22
3.3	Analys av indata med empiriska modeller	22
3.3.1	Linjär regression (bilaga B).....	23
3.3.2	Linjär regression med modifierad exponent.....	24
3.3.3	Linjär kurvanpassning	24
3.3.4	Kurvanpassning med andragradspolynom	25
3.4	Analys av återkommande kapacitetsprov i sprinklercentral med modell.....	25
3.5	Analys av indata med hydraulisk modell	26
3.6	Analys genom kapacitetsprover i sprinkleranläggning E	26
3.7	Analys av enkel hydraulisk modell för reducerat kapacitetsprov....	30
3.8	Felkällor.....	33
4	Resultat.....	35
4.1	Analys med empiriska modeller	35
4.1.1	Linjär regression (bilaga B).....	35
4.1.2	Linjär regression med modifierad exponent.....	36
4.1.3	Linjär kurvanpassning	37
4.1.4	Kurvanpassning med andragradspolynom	37
4.2	Analys av återkommande kapacitetsprov i sprinkleranläggning	38
4.3	Analys med hydraulisk modell	39
4.3.1	Lund	40
4.3.2	Malmö	40
4.4	Kapacitetsprover i sprinkleranläggning E	41
4.5	Analys med enkel hydraulisk modell för reducerat kapacitetsprov	46

4.5.1	Jämförelse med resultat från analys enligt Bilaga B	47
5	Diskussion	49
5.1	Resultat från empiriska modeller.....	49
5.2	Resultat från analys av återkommande kapacitetsprov.....	50
5.3	Resultat från hydrauliska modellen	51
5.4	Resultat från kapacitetsprover i sprinkleranläggning E.....	53
5.5	Resultat från analys av enkel hydraulisk modell	53
6	Slutsatser	55
7	Referenser.....	57
8	Appendix	59
8.1	Bilaga B	59
8.2	VAV P83	59
8.3	Sprinklerhandboken.....	59
8.4	Rutiner från VA SYD.....	60
8.4.1	Anslutning av sprinklerservis till kommunal vattenledning	60
8.5	Intervju med kontakt, sprinklerbesiktningsman	61
8.6	Intervju med kontakt på Bengt Dahlgren	61
8.7	Resultat från analys med empiriska modeller.....	62
8.8	Fler resultat från analys av återkommande prover	64
8.9	Ingående resultat från hydraulisk modell	67
8.9.1	Lund	67
8.9.2	Malmö	73

1 Inledning

I detta kapitel ges en introduktion till arbetet. Här presenteras bakgrund, syfte, mål och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Kampen för att bekämpa bränder i urbana miljöer har lett till utvecklingen av automatiska släckningssystem. En sådan teknik är utvecklingen av olika typer av sprinkleranläggningar. Syftet med en sprinkleranläggning är huvudsakligen att begränsa en brands spridning. Inställningen hos installatörer av sprinkleranläggningar har länge varit att de uppfyller en nödvändig funktion utan att överväga de yttre förhållanden som krävs för denna funktion.

Det har och är däremot fortfarande relevant att diskutera vilken vattenkälla som ska nyttjas för att tillgodose vattenbehovet för sprinkleranläggningarna. I kommuner där kapaciteten på det allmänna ledningsnätet har varit tillfredsställande har vatten kunnat tillhandahållas därifrån. Alternativet för försörjning av ett sprinklersystem är bassänger, tankar eller vattentorn på anläggningen. Detta är ett alternativ som oftast kräver en högre anläggnings- och underhållskostnad men i kommuner där kapaciteten på ledningsnätet är begränsad är detta nödvändigt (Storesund et al., 2013). Ett sådant alternativ medför däremot en försäkran mot störningar på det allmänna vattenledningsnätet.

Det allmänna ledningsnätet är en mycket driftsäker källa. Sprinkleranläggningarna är däremot ålagda med årliga kapacitetsprov enligt lag vilket kan orsaka problem. Kapacitetsproven syftar till att undersöka om en sprinkleranläggning uppfyller sin funktion. I områden där sprinklerservisen är matad från två håll ska kapaciteten vara tillräcklig för det värsta fallet, alltså när den mest vattenförande ledningen är stängd. Om uttaget är för stort från sprinkleranläggningarna kan konsumenter i området drabbas av för lågt tryck. Kapacitetsprov kan också leda till att ledningar i systemet rostar och vid felaktig provning kan rör förstöras på grund av tryckslag.

1.2 Syfte

Med hänsyn till de problem som kan uppstå vid fullskaliga kapacitetsprov syftar detta arbete till att utvärdera ifall reducerade kapacitetsprov kan ge tillräcklig information om sprinkleranläggningars möjlighet att släcka en brand. Ett reducerat kapacitetsprov är ett prov som avslutats innan det erforderliga flödet för aktuell sprinkleranläggning tagits ut. För att uppskatta anläggningens möjligheter att tillhandahålla dimensionerande flöde kompletteras det reducerade kapacitetsprovet med modellberäkningar. Sådana modeller kan vara av empiriskt ursprung eller baserade på en mer fysikalisk beskrivning.

1.3 Mål

Det övergripande målet är att undersöka om en eller flera modeller av olika typ, från empiriskt grundade samband till komplexa modeller som hydrauliskt beskriver systemet, kan tolka och generalisera reducerade kapacitetsprov med tillräcklig säkerhet. Modellerna ska använda sig av grundläggande samband mellan flöde och tryck. Rapporten ska beskriva metoderna för hur reducerade kapacitetsprov utförs eller kan utföras och utvärdera resultatet.

1.4 Studiens genomförande

Arbetet bestod av en litteraturstudie, intervjuer med personer i VA- och sprinklerbranschen, insamling och analys av kapacitetsprov i sprinklercentraler, diskussion av resultaten utifrån de modellerna som använts samt slutsatser beträffande utformning av reducerat kapacitetsprov. Modellerna är delvis rekommenderade av personer aktiva inom sprinklerbranschen, vilka ofta baserar sina modeller på Hazen-Williams formel, delvis utvecklade i föreliggande studie, för att kunna göra en jämförelse mellan de olika modellerna inkluderat deras för- och nackdelar. Den enkla hydrauliska modellen beskriven i kapitel 3.7 utvecklades också inom ramen för detta arbete.

1.5 Avgränsningar

I arbetet kommer fokus ligga på hydrauliska aspekter av kapacitetsprovningen. Ingen eller ringa vikt kommer att läggas vid vattnets kemiska sammansättning eller sprinklersystemets utformning, komponenter eller prestanda.

Arbetet är avgränsat till fall där vattenkällan för sprinkleranläggningen består av en sprinklerservis kopplad till en kommunal vattenledning. Denna avgränsning görs eftersom behovet av reducerade kapacitetsprov när vattenkällan är tankar, bassänger eller vattentorn på anläggningen är begränsad. Reducerade kapacitetsprov när vattenkällan är en kommunal vattenledning påverkar både konsumenter, VA-leverantörer och andra verksamheter positivt eftersom omnämnda risker vid fullskaliga kapacitetsprov minskar. Riskerna vid fullskaliga kapacitetsprov summeras i kapitel 2.3.3.

2 Teori

Arbetet berör både allmänna vattenledningsnät och sprinkleranläggningar. Sprinkleranläggningar analyserades i skriften Sprinklerhandboken och diverse manualer. Allmänna vattenledningsnät undersöktes bland annat i skriften VAV P83, vilken är norm för VA SYD i Malmö, samt en mängd teoriböcker om hydraulik. Tidigare arbeten med anknytning till ämnet kapacitetsprov på sprinkleranläggningar har främst inkluderats i form av vetenskapliga rapporter från Borås och Norge. En undersökning av gällande regelverk och normer som reglerar allmänna vattenledningsnät och sprinkleranläggningar genomfördes också. För den detaljerade hydrauliska modelleringen användes programmet MIKE URBAN och information om programmet inkluderas i slutet av kapitel 2.

2.1 Allmänna vattenledningsnät

Allmänna vattenledningar ägs av den kommunala VA-leverantören och ägandet medför att en mängd krav måste uppfyllas. Dessa krav reglerar till exempel vattentrycket i rörledningarna och vattenkvaliteten beskrivet i figur 3.2.1:1 i VAV P83. Ett krav som inte existerar är leveransskyldighet till sprinkleranläggningar (Lag (2006:412) om allmänna vattentjänster).

Det är därför upp till varje enskild kommun att avgöra ifall sprinkleranläggningar kan direktanslutas till det allmänna ledningsnätet. Kommunernas VA-organisationer har den primära skyldigheten att leverera dricksvatten till enskilda konsumenter samt allmänna institutioner och industrier; med hänsyn till denna skyldighet måste hänsyn tas till riskerna som finns med att koppla på en servis till sprinkleranläggning (Storesund et al., 2013). I till exempel Göteborg är det inte tillåtet att utföra fullskaliga kapacitetsprov utan VA-leverantörernas godkännande på grund av rädsla för problem i rörsystemet (Brandsjö, 2005; Winberg et al., 2016).

2.1.1 Utformning

Det allmänna vattenledningsnätet är utformat antingen som ett förgreningsnät eller i det mer generella fallet som ett cirkulationsnät. Ett förgreningsnät är ett nät där vatten i normalfallet bara flödar i en riktning. Ur dimensioneringssynpunkt tillkommer problem om ledningarna måste

dimensioneras för räddningstjänstens behov. Vid sådana tillfällen blir förgreningsnätet ofta överdimensionerat, speciellt i systemets periferi, vilket kan leda till för låga vattenhastigheter samt för långa uppehållstider. Fördelen med ett sådant nät är lägre drift- och anläggningskostnad. Nackdelen är en lägre leveranssäkerhet än för cirkulationsnätet. Förgreningsnät kan förekomma i perifera delar av cirkulationsnät där leveranssäkerheten inte anses vara av större betydelse. Ett cirkulationsnät är ett nät där vatten kan transporteras till en fastighet från mer än ett håll. Det är den vanligast förekommande utformningen i industrialiserade länder (Lidström, 2012).

Ledningsnätet utgår från ett vattenverk där vattnet har behandlats för att uppnå gällande kvalitetskrav. Från vattenverket går ledningar, huvudledningar, av grövre dimension i olika riktningar. Huvudledningarna förgrenar sig sedan i ett finmaskigare nät av distributionsledningar. Distributionsledningarna brukar vara utformade längs med gatusystemet av logistiska skäl (VAV P83, 2001).

Från distributionsledningarna kopplas sedan enskilda servisledningarna som går till fastigheterna. Det är servisledningarna som sprinkleranläggningar kopplas till (Hjorth, 2007).

2.1.2 Dimensionering

Vid dimensionering av ledningsnät behövs information om förväntat krav på flöde och tryck i dagsläget och hur vattenkonsumtionen kommer ändra sig över tid. Faktorer som boendeform, befolkningstillväxt, ekonomisk tillväxt, demografi och attityd till vattenresurshållning påverkar hur ett område bör dimensioneras (Lidström, 2012).

Dimensionering av vattenledningsnät görs baserat på tre fall. Det första fallet kontrollerar att ledningsnätet uppfyller krav relaterade till normala driftförhållanden (maximal normalförbrukning) medan det andra fallet kontrollerar att krav uppfylls vid kritiska driftförhållanden (normalförbrukning med brandsläckningsuttag). Det tredje fallet kontrollerar att uppehållstiden i vattenledningsnätet inte är för lång (VAV P83, 2001).

Dimensioneringen görs genom att dela in vattenförbrukningen i brukarkategorier;

- Hushållsförbrukning
- Allmän förbrukning
- Förbrukning kopplad till handel, industri, kontor och övrigt
- Förluster på grund av flödesläckage
- Brandsläckningsförbrukning

Vid dimensioneringsfallet maximal normalförbrukning summeras flödena för alla förbrukarkategorier vid maximal tim- och dygnsförbrukning. Det antas vara osannolikt att den maximala normalförbrukningen ska sammanfalla med en brand.

Dimensionering för hushållsförbrukningen görs efter befolkningens mängd. Om området utgörs av mindre än 500 brukare dimensioneras området efter momentanförbrukning. Dimensioneringen är då baserad på förväntad samtidig användning av tappställen (VAV P83, 2001). För områden med mer än 500 brukare används maxtimfaktor och maxdygnsfaktor samt specifik hushållsförbrukning per dygn för att bestämma det dimensionerande flödet.

Dimensionering av den allmänna förbrukningen sker på liknande sätt. Det enda som skiljer sig är att nu används specifik allmän förbrukning. Dimensionering för industriområden, handel och kontor utförs genom att beräkna förväntat flöde baserat på anläggningens yta (Lidström, 2012).

Rörnätsläckage dimensioneras genom att använda ett schablonvärde eller ett värde framtaget genom mätningar i området. För nya rör kan rörnätsläckage försummas (VAV P83, 2001).

Vid dimensionering för normalförbrukning med släckvattenuttag görs dimensioneringen för hushållsförbrukning och allmän förbrukning för medeldygn istället för maximal dygnsförbrukning så maxdygnsfaktorn tas bort. Förbrukningen från industriområden, handel och kontor antas vara densamma som i dimensioneringen för maximal normalförbrukning, likaså rörnätsläckaget. Släckvattenbehovet bedöms utifrån tabell (Lidström, 2012). Uttag från sprinklercentral räknas också in i dimensioneringen.

I dagsläget är det upp till kommunala VA-leverantörer att bedöma hur ansträngt ledningsnätet är och om det är möjligt att koppla på en servis till sprinkleranläggning.

Tillvägagångssättet för anslutning av sprinkleranläggning från kommunala VA-leverantörer beskrivs i kapitel 8.4 i appendix.

2.1.3 Regelverk och normer

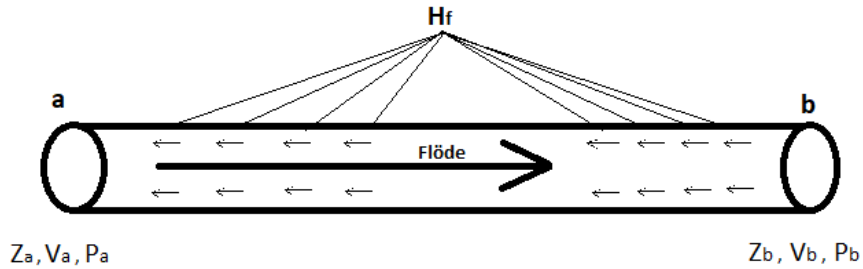
Krav på vattenkvaliteten regleras av skrifter från Livsmedelverket medan Vattentjänstlagen reglerar krav på vad VA-organisationerna är ansvariga för. Vattenkvaliteten delas in i olika klasser och eftersom sprinklervatten inte är avsett som livsmedel har utformningen av sprinkleranläggningar inte samma krav när det gäller rörmaterial eller omsättningstid. Med anledning av den förmodat sämre vattenkvaliteten i sprinkleranläggningar finns det krav på återströmningsskydd så att det allmänna vattenledningsnätet inte fylls på med vatten som inte uppfyller den kvalitet som är uppsatt enligt Livsmedelsverket.

2.1.4 Sambandet mellan tryck och flöde

Tryck och flöde är sammanlänkade och är inkluderade i beskrivningen av vattnets energimängd. Vattnets energimängd beskrivs som summan av dess potentiella och kinetiska energi samt det arbete som tryckkrafterna uträttar (Hamill, 2011). Energi kan inte skapas eller förstöras, däremot omvandlas. Ett exempel på detta i rörledningar är rörfriktionen, vilken bidrar till en energiförlust i systemet (i.e., mekanisk energi omvandlas till värme). Begreppet energiförlust används för att energin omvandlad till värme inte kan återvinnas i form av mekanisk energi som kan nyttiggöra strömningen.

Vattnets energimängd beskrivs i Bernoullis ekvation nedan, även kallad energiekvationen. Beteckningen z beskriver höjden (m) över en referensnivå, v beskriver medelhastigheten (m/s), P beskriver trycket (Pa), g beskriver acceleration på grund av gravitation (m/s^2), ρ beskriver vattnets densitet (kg/m^3) och h_f energiförlusterna (m) mellan två punkter a till b där flödet går från a till b (se figur 1).

$$z_a + \frac{v_a^2}{2 \cdot g} + \frac{P_a}{\rho \cdot g} = z_b + \frac{v_b^2}{2 \cdot g} + \frac{P_b}{\rho \cdot g} + h_f \quad \text{Ekvation 1}$$



Figur 1: Energiekvationen beskriven i rörsystem där H_f utgör summan av friktionsförlusterna mellan a och b

Energiförlusterna i systemet utgörs av både friktionsförluster över ledningssträckan (friktion mot rörvägg), samt punktförluster (lokala förluster; till exempel när förändringar sker i flödets riktning eller tvärsnitt). Det vanligaste sättet att beskriva energiförlusterna över en ledningssträcka är med Darcy-Weisbach ekvation nedan.

$$h_f = \frac{\lambda \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad \text{Ekvation 2}$$

Koefficienten λ relaterar till rörets specifika egenskaper (e.g., råhet, Reynolds tal), L beskriver rörlängden (m) och D diametern (m). Från ekvation 2 kan generellt sägas att energiförlusterna blir större med mindre rördiameter, högre medelhastighet och längre rörledningar.

I detta arbete är punktförlusternas betydelse särskilt viktig att påpeka. På grund av en mängd komponenter i sprinkleranläggningarna, ofta med stor lokal påverkan på strömningen, blir summan av alla punktförluster betydande. Komponenter i sprinklercentralen som orsakar tryckfall och därmed energiförluster är silar, ventiler och återströmningsskydd.

Ingenjörsmässig analys av strömning i rör har gjort stora framsteg de senaste hundra åren. Genom experimentella försök av bland annat Reynolds och Nikuradse har beskrivningen av rörströmning förbättrats, speciellt vad gäller att kvantifiera energiförlusten (Hamill, 2011). Reynolds undersökte gränsen mellan turbulent och laminär strömning. Distinktionen mellan turbulent och laminär strömning är inte intressant i fallet med trycksatta ledningsrör eftersom dessa rör i stort sett alltid har turbulent strömning. Nikuradse undersökte de

olika formerna av turbulent strömning (hydrauliskt glatt och rå strömning) och deras koppling till olika relativ råhet i rören (Hamill, 2011). Resultatet blev en metod för att uppskatta friktionskoefficienten i ekvation 2 som är av stor betydelse vid beräkning av energiförluster.

Stora energiförlusterna kräver höga tryck i uppströms delar av ledningsnätet för att övervinna tryckfallen i systemet. För att åstadkomma nödvändiga tryck och transportera vatten till konsumenterna används två olika tekniker. Den ena tekniken är vattentorn, vilka utnyttjar vattnets potentiella energi för att skapa erforderliga tryck och flöden i ledningsnätet. Det andra sättet är att använda pumpar, vilka omvandlar elektrisk energi till mekanisk energi som också skapar de tryck och flöden som behövs i ledningsnätet. Pumpar är vanligt förekommande i sprinklercentraler för att höja trycket.

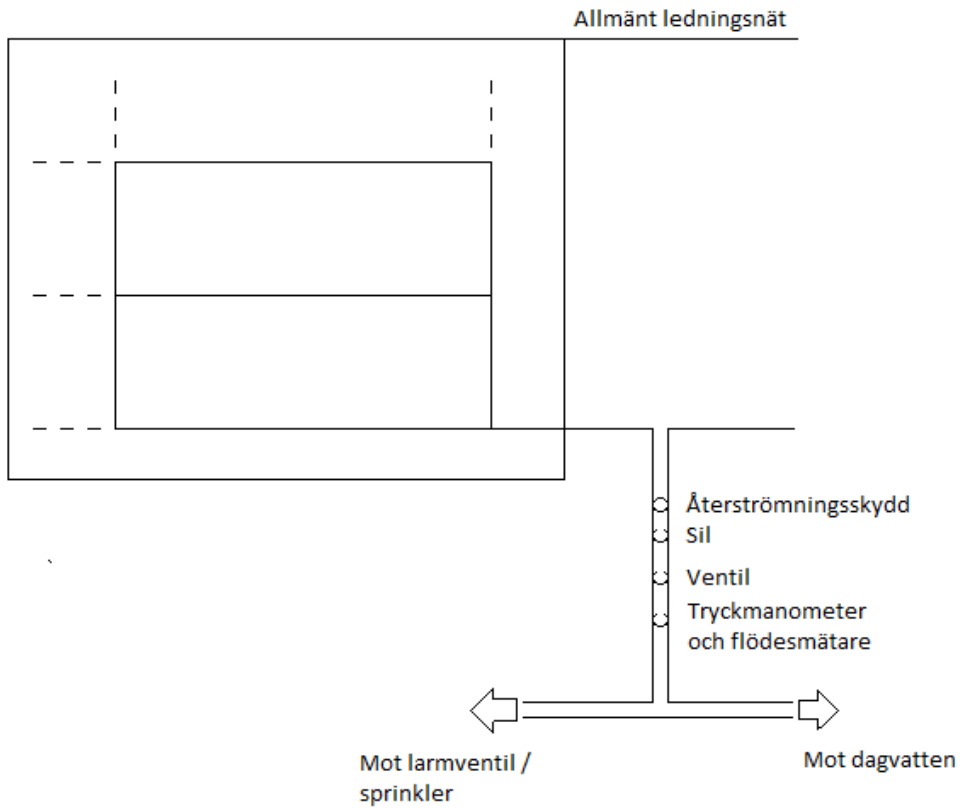
2.2 Sprinkleranläggningar

Nedan ges en kort beskrivning av sprinkleranläggningar.

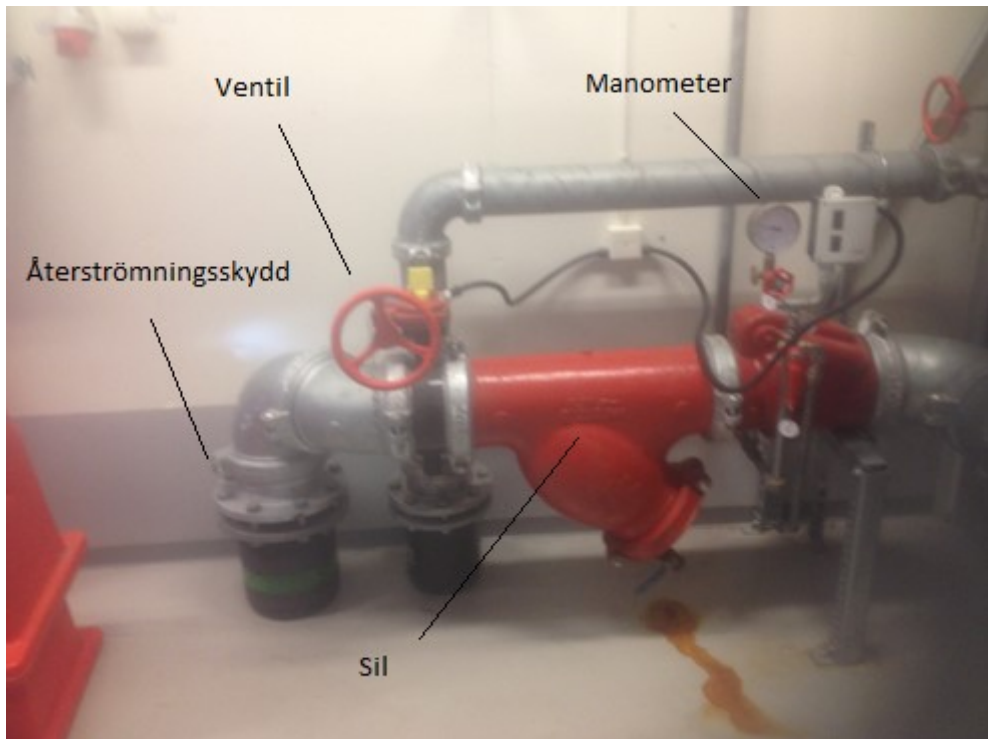
2.2.1 Utformning

En sprinkleranläggning består av en mängd olika komponenter. Sprinklerservisen är den komponent som kopplar sprinklercentralen till det allmänna ledningsnätet. Den består bland annat av en påkopplingsventil, en eller flera backventiler av kravställd säkerhetsklass som utgör återströmningsskydd, lågtryckspressostat med manometer och en sil (Hjorth, 2016). Sprinklercentralen är utrymmet där sprinkleranläggningen kontrolleras och där kapacitetsprov utförs. I centralen kopplas sprinklerservisledningen samman med ledningar som förgrenar sig ut till byggnaden eller dagvattenssystemet. Figur 2 visar en förenklad skiss av den första delen av en sprinkleranläggning. Ledningar som förgrenar sig vidare mot sprinklermunstycken är försedda med en larmventil och tillhörande säkerhetsanordning som aktiveras i händelse av brand (SBF 120:8, 2016).

Nedan följer en skiss över en sprinklercentral (figur 2) och figur 3 och 4 visar bilder från en sprinklercentral.



Figur 2: Skiss över sprinklerservis och efterföljande komponenter



Figur 3: Bilden visar inlopp (den stora rörledningen) till och utlopp från sprinklercentralen och placering av komponenter.

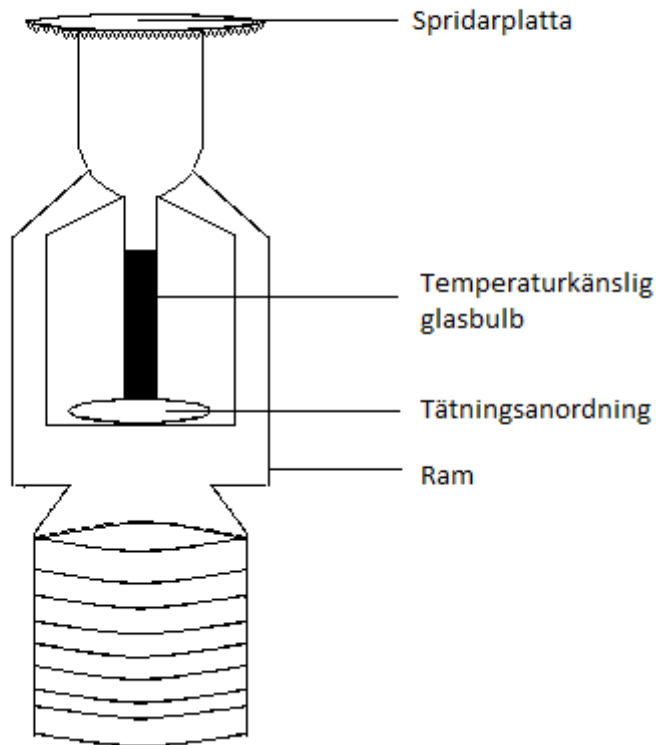
Figur 3 visar några av komponenterna i en sprinklercentral, bland annat sil, manometer, ventiler, och återströmningsskydd. Figur 4 visar en annan sprinklercentral.



Figur 4: Sprinklercentral med manometer och ventiler

Längst ut i systemet är själva sprinklern, även kallat sprinklermunstycket. Sprinklermunstycket består bland annat av en behållare med en värmekänslig vätska och en spridarplatta som fördelar vattnet över rummet; se principiell skiss i figur 5.

Sprinklermunstycke & komponenter



Figur 5: Skiss över sprinklermunstycke

I händelse av brand expanderar den värmekänsliga vätskan i glaset på grund av den ökande temperaturen (Hjort, 2017). Detta medför att trycket ökar och glasbulben går sönder, vilket leder till att en plugg faller ut och vatten kan flöda från sprinklerhuvudet. Utflödet av vatten innebär att trycket nedströms larmventilen sjunker och att vatten strömmar till ledningen från sprinklercentralen.

Sprinklers delas in i konventionella och speciella sprinklers. Konventionella sprinklers är de som funnits längst på marknaden medan de speciella har en

förbättrad egenskap gentemot de konventionella avseende antingen tryckfall över sprinklermunstycke eller verkningsyta (Hjorth, 2016).

Sprinklermunstycken anpassas efter den miljö som ska skyddas. Sprinklerhuvudena ska exempelvis lösa ut vid 30 grader över normal maxtemperatur. Detta kan åstadkommas genom att ändra glasbulb i sprinklerna eftersom olika glasbulber har olika aktiveringstemperatur.

Sprinklermunstycken skiljer sig även beroende på den tryckförlust som sker över munstycket (K-värde) och spridningen av flödet över verkningsytan. Några av sprinklerna är utformade för att maximera verkningsytan medan andra används för att maximera flödet över trånga utrymmen. Beroende på vilken sprinkler som används gäller olika regler.

2.2.2 Typer av sprinklersystem

Sprinklersystem kan utföras på en mängd olika sätt. Det absolut vanligaste systemet är våtrörssystem, men där temperaturen kan hamna under fryspunkten används torrörssystem. Beroende på säkerhetskrav och anläggningens värde finns det även olika typer av förutlösningssystem (Hjorth, 2016).

Våtrörssystemet är det överlägset vanligaste sprinklersystemet i Sverige (Hjort, 2017). Ett våtrörssystem är utformat så att vatten finns i rörsystemet både uppströms och nedströms larmventilen. Det innebär att när ett sprinklerhuvud löser ut flödar vatten nedströms larmventilen ut i byggnaden, trycket minskar och vatten flödar in i sprinklersystemet från uppströms larmventil. Fördelen med att vatten står i rörsystemet nedströms larmventilen är att vatten omedelbart kan flöda ut till branden när sprinklerhuvudet löser ut. En ytterligare fördel är att ledningarna har bättre hållbarhet (Hjort, 2017).

Torrörssystemet är utformade för områden där risken är stor att sprinklersystemet kan frysa. I ett torrörssystem finns det inget vatten nedströms larmventilen. Istället används tryckluft från en kompressor för att balansera trycket uppströms larmventilen (Hjorth, 2016).

När ett sprinklerhuvud löser ut så töms luften ur sprinklersystemet vilket gör att vatten uppströms larmventilen kan flöda till sprinklerhuvudet.

Torrörssystem är effektiva och nödvändiga i kalla miljöer. Nackdelen är att de inte kan bekämpa bränder innan lufttrycket nedströms larmventilen blivit tillräckligt lågt. För att åtgärda det problemet kan torrörssystemet sammankopplas med ett brandlarm som ger en varning till systemet innan sprinklerhuvudena löser ut så att luften kan snabbt tömmas ut; på så sätt erhålls en snabbare respons. Metoden kallas förutlösningssystem (Hjort, 2017).

Vid händelse av snabba lokala tryckvariationer i våtrörssystem är larmventilen utrustad med larmfördröjning. Larmfördröjningen kan bestå av ett fördröjningskärl eller liknande med någon elektrisk komponent. I torrörssystem används en snabböppnare eller en utblåsningsventil för att snabbt lätta på trycket (Hjort, 2017).

När ett larm går i sprinklercentral kan det antingen vara ett A-larm eller ett B-larm. A-larm sker vid kritiska händelser och innebär att räddningstjänsten kontaktats om att en allvarlig incident inträffat. B-larm är kopplade till mindre viktiga händelser som till exempel öppnandet av ventiler och manövrering av andra komponenter (Hjort, 2017).

2.2.3 Dimensionering

Vid dimensionering av sprinkleranläggningar undersöks vilken verksamhet som kommer bedrivas, som till exempel produktion, kontorsarbete eller lagring av varor. I fallet när det gäller lagring av varor påverkar både lagringsätt och varornas brännbarhet dimensioneringen (Hjort, 2017).

Dimensionering sker enligt uppsatta riskklasser. Riskklasserna delas upp i låg riskklass och underkategorier av normal och hög riskklass. Ju högre riskklass, desto större risk för att en brand kan sprida sig snabbt. Riskklasserna ställer krav på vattentäthet, verkningsyta, vattenkälla mm (Hjorth, 2016). Det finns uppställda riktlinjer för en stor mängd olika verksamheter. Riskklass för verksamheter som inte finns i uppställda riktlinjer måste bedömas utifrån verksamheterna som finns givna.

Val av sprinklersystem utvärderas därefter utifrån vilken temperatur som kommer vara rådande i byggnaden och krav på säkerhet för utlösning vid brand.

2.2.4 Hazen-Williams formel

För att uppskatta flödet i sprinkleranläggningar används ofta Hazen-Williams formel som är framtagen på empiriska grunder. Hazen-Williams formel anses ha god funktion upp till ett visst flöde i systemet; över detta flöde bedöms formeln inte längre ha någon validitet. Vid de tillfällen när stora hastigheter förväntas i rörsystemet ökas dimensionen på rören för att minska hastigheten till acceptabla gränser (mindre än 10 m/s) för att kunna fortsätta använda formeln (Intervju Eladministration Turesson & Olsson AB, 2018).

Hazen-Williams formel är framtagen av Gardner Williams och Allen Hazen i början av 1900-talet och beskriver friktionsförlusten i ett rör enligt ekvationen nedan.

$$p = 6,05 \cdot \left(\frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \right) \cdot 10^5 \quad \text{Ekvation 3}$$

I ekvationen är p tryckförlusten (bar/meter), Q är flödet (l/min), d är rörets innerdiameter (mm) och C är en friktionsförlust som beror på rörmaterialet. Hazen-Williams formel använder sig av koefficienten C för att uppskatta tryckfallet och använder sig därmed inte av Reynolds tal, till skillnad från en del andra, mer fysikaliskt grundade rörfriktionsformler. Detta innebär att formeln endast är tillämplig för turbulent flöde inom ett visst intervall på Reynolds tal. Koefficienten C uppskattas olika beroende på vilket regelverk som används (Canute LLP, 2018).

2.2.5 Regelverk och normer

Vid planering, uppförande och underhåll av sprinkleranläggningar måste en mängd krav kontrolleras som beskrivs i de olika regelverken. Vid dimensionering av automatiska sprinkleranläggningar måste Europannormen SS-EN 12845 följas tillsammans med gällande utgåva av Svenska Brandsskyddsföreningens skrift SBF 120. När det kommer till dimensionering av speciella sprinklers hänvisar dessa skrifter till det amerikanska regelverket NPFA. För boendesprinkler följs den svenska standarden SS 883001 i kombination med SBF 501. Anslutningen till det allmänna vattenledningsnätet regleras av SBF 142 och återströmningsskydd regleras av Europannormen SS-EN 1717. Återströmningsskydd orsakar ett tryckfall i sprinklerservisen som kan vara mycket betydande och skapa ett behov för pumpning i

sprinkleranläggningen. Återströmningsskyddet anpassas efter vilken risk återströmning av vattnet anses ha och eftersom vatten från sprinkleranläggningar anses ligga i kategori 3-4 på en 5-gradig skala, där 5 är sämst kvalitet innebär det att det finns stränga krav på återströmningsskydd (SS-EN 1717).

2.2.6 Sprinkleranläggningarnas framtid

Automatiska vattensprinklersystem används för att skydda platser av ekonomiskt eller kulturellt värde. Ur brandbekämpningsperspektiv finns det få andra lösningar som kan erbjuda ett likvärdigt skydd. Som resultat av en uppdatering av BBR från 2013 måste verksamhetsklass 5B och 5C utrustas med sprinkler. Verksamhetsklasserna innefattar inrättningar för folk med någon typ av funktionsnedsättning och sjukvårdsinrättningar. I takt med en åldrande och växande befolkning i Sverige kommer antal verksamheter av denna typ öka på sikt (SCB, 2017). Enligt en utredning av finansdepartementet kommer kommunerna behöva bygga 700 äldreboenden inom åtta år (SVT, 2018).

Utveckling av automatiska vattensprinklersystem kan vara en reaktion på förändrad lagstiftning men även ekonomiska faktorer påverkar. Fastighetsägare får en reducerad försäkringspremie vid installation av ett sprinklersystem på grund av god erfarenhet i samband med brandbekämpning. I produktions- och lagerlokaler kan ett vattensprinklersystem minska den ekonomiska förlusten av en brand och därigenom legitimera en installation (Brandsjö, 2005). Huruvida de automatiska vattensprinklersystemen kommer använda egen tank, bassäng eller allmän vattenservis som vattenkälla är upp till kommunerna att utreda men i det senare fallet kan konsumenter bli påverkade av utvecklingen.

2.3 Kapacitetsprov

Kapacitetsprov avser ett prov i sprinkleranläggning med syfte att undersöka flöde och tryck i sprinkleranläggning. Regelverket SS-EN 12845 kräver bland annat att kapacitetsprov ska göras minst en gång per år. Enligt SBF 120 ska kapacitetsprovet utföras av en behörig sprinkleringenjör och VA-organisationen ska notifieras.

2.3.1 Fullskaligt kapacitetsprov

Ett fullskaligt kapacitetsprov kan utföras på två sätt. Det ena sättet är att installera fast inbyggd provapparat, vilket är nödvändigt vid nyinstallationer. Provmetoden går då ut på att reglera öppningsarea med ventilen till dagvattenledningen och mäta flöde i flödesmätare och tryck i manometer för olika flöden. Det andra sättet att utföra kapacitetsprov på sker utan fast inbyggd provapparat. Då kopplas till exempel en flödesmätare in på ett rör med flänsar precis ovanför huvudstängningsventilen.

För fullskaligt kapacitetsprov ska anläggning utan pump testas för minst 100 procent av dimensionerat tryck och flöde för sprinkleranläggningens sämsta verkningsyta. Kapacitetsprovet ska utifall ingen tryckhöjningspump är ansluten visa att det går att leverera 120 procent av erforderligt flöde vid ett tryck på minst 0,5 bar, eller annat uppsatt krav på tryck av lokal VA-leverantör (Storesund et al., 2013). Det erforderliga flödet är det flöde som krävs för att sprinklern ska kunna bekämpa branden samtidigt som ordinarie släckning pågår. I kapacitetsprov simuleras räddningstjänstens vattenbehov genom att ta ut mer vatten. Detta benämns kommunalt påslag.

2.3.2 Reducerat kapacitetsprov

Ett reducerat kapacitetsprov innebär att flödet inte tillåts bli så stort som vid ett fullskaligt kapacitetsprov. Det kan åstadkommas genom att använda en strypanordning, minska dimensionen på vattenmätaren eller avbryta kapacitetsprovet när tillräckligt många mätpunkter noterats.

2.3.3 Risker med kapacitetsprov

Det finns en mängd risker kopplade till kapacitetsprov. En del av riskerna sammanhänger med att trycket blir för lågt i det allmänna vattenledningsnätet, vattenhastigheten blir för hög i ledningarna och att det inte finns en bra plats att avleda vattnet från kapacitetsproven. Problemet med tryck i vattenledningsnätet kan uppstå vid stora uttag från sprinklercentralen eller med ventiler i systemet som är stängda av misstag. Detta kan i sin tur orsakas av att kapacitetsprov inte notifierats till VA-leverantören eller att en obehörig part utför kapacitetsprovet.

Problemet med för hög vattenhastighet i ledningarna är kopplat till höga flöden och kan ge problem för vattenkvaliteten i systemet. Avskalning av rörväggar eller i värsta fall, blödning, kan uppstå på gjutjärnsrör i samband med höga vattenhastigheter. Blödning innebär att rost kontinuerligt läcker från en ledning och missfärgar vattnet (Intervju VA SYD, 2018). Detta gör i sig inte vattnet otjänligt men det kommer då inte längre uppfylla kvalitetskrav uppsatta av Livsmedelsverket.

Problem kan också uppstå vid avledning av vatten från sprinklercentralen. Regelverket säger att vattnet ska avledas till dagvattensystemet eller annan lämplig plats men ibland sker det översvämningar av låglänta områden.

Ytterligare en risk med kapacitetsprov är att det blir tryckslag i rören. Tryckslag uppstår när det sker en snabb hastighetsförändring i rören och inträffar oftast vid för hastig ventilstängning. En våg sänds då ut rörsystemet med hög hastighet som reflekteras fram och tillbaka i systemet, vilket kan leda till att rör, särskilt äldre rör, spricker eller skadas.

2.4 MIKE URBAN

En hydraulisk modell av det studerade rörsystemet skapades i programmet MIKE URBAN. MIKE URBAN är ett verktyg utvecklat av DHI (Danish Hydraulic Institute) för att bland annat simulera, analysera och modellera dricksvatten- och avloppsvattensystem (MIKE URBAN, 2018). Programmet använder sig av den amerikanska modellen EPANET 2.0 för att utföra beräkningar i dricksvattensystem under stationära förhållanden. I MIKE URBAN beskrivs systemet med hjälp av länkar (rör) och noder (knutpunkter); en så kallad 'gradient algorithm' används för att lösa det erhållna ekvationssystem som kopplar samman obekanta tryck och flöden. MIKE URBAN är sammanlänkad med en databas baserad på 'ESRI Geodatabase'. En geodatabas är en databas som innehåller geografisk information. MIKE URBAN använder GIS-program (Geographic Information System) för att koppla ihop rörledningssystemet med geografisk platsinformation som koordinater i longitud och latitud samt en höjd över vattenytan (MIKE URBAN model manager, 2017).

3 Metod

Den metod som användes i föreliggande arbete omfattade följande punkter;

- Litteraturstudie
- Intervjuer med personer inom VA- och sprinklerbranschen
- Analys av data från kapacitetsprov med empirisk modell
- Analys av data från återkommande kapacitetsprov i sprinkleranläggning
- Analys av data från kapacitetsprov med hydraulisk modell i programmet MIKE URBAN
- Utförande av kapacitetsprov i sprinkleranläggning
- Analys med enkel hydraulisk modell av reducerat kapacitetsprov
- Utveckling av metodik för reducerat kapacitetsprov

För att inleda en analys av data från kapacitetsprov måste antingen kapacitetsprov utföras på egen hand eller data erhållas från en eller flera besiktningsfirmor. I rapporten har kapacitetsproven som analyserats med empirisk modell och hydraulisk modell hämtats från olika besiktningsfirmor verksamma i städerna Malmö och Lund. I ett fall utfördes ett kapacitetsprov men då var syftet att erhålla mer information genom komplettering av prov genom mätning även i gatan. VA SYD tillhandahöll en modell över ledningsnätet vilket var ett nödvändigt underlag för att kunna utföra den hydrauliska analysen.

3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien syftade till att införskaffa kunskap om planering, anläggning och utförande av sprinkleranläggningar och ledningsnät. Detta gjordes genom att studera facklitteratur, relevant lagstiftning, tidigare arbeten relaterade till ämnet samt manualer för ledningsnät och sprinkleranläggningar.

Allmänna ledningsnät studeras ofta utifrån VAV P83, vilken är en skrift om dimensionering, utformning och planering av allmänna vattenledningsnät samt boken "Vårt Vatten" som tar upp olika aspekter kring allmänna vattenledningsnät (Lidström, 2012). Ytterligare information om hydraulik

erhölls genom olika läroböcker, till exempel "Understanding Hydraulics" (Hamill, 2011).

Sprinklercentraler studerades främst utifrån regelverk kring automatiska sprinkleranläggningar och boendesprinkler från Svenska Brandskyddsföreningen samt "Sprinklerhandboken" (Hjorth, 2016).

3.2 Intervju personer inom VA- och sprinklerbranschen

Ett sätt att lära sig mer om kapacitetsprov och sprinkleranläggningar har varit att intervju personer med erfarenhet inom ämnet. En intervju gjordes med personer på Eladministration Turesson & Olsson AB angående kapacitetsprov på sprinkleranläggningar, trovärdigheten till resultaten, förändringar i sprinkleranläggningar etc. Denna intervju gav mycket givande information inför bearbetning av indata från kapacitetsprov. En annan intervju gjordes med personer på VA SYD med fokus på deras rutiner kring påkoppling av sprinklerservis samt hur den hydrauliska modelleringen skulle utföras. Ytterligare en intervju genomfördes med personer på Bengt Dahlgren med syfte att förstå bakgrunden till metodiken som användes för analys med den empiriska modellen baserad på Hazen-Williams formel, vilken beskrivs i kapitel 3.3.1 och figur 15 i appendix.

3.3 Analys av indata med empiriska modeller

Indata till analysen bestod av data från fullskaliga kapacitetsprov insamlade av företagen ÅF, Bravida, Eladministration Turesson & Olsson AB, MIBOS med flera under åren 2012 till 2018. Analysen utfördes med hjälp av programmet Excel för 22 sprinkleranläggningar där totalt 52 kapacitetsprov genomfördes. Analysmetodens tillförlitlighet undersöktes genom att beräkna det procentuella felet från uppmätt värde för den sista mätpunkten. Denna punkt har det högsta flödet och det lägsta trycket (omnämns som kapacitetsprovets minimitryck). Syftet med denna analys är att hitta en empirisk modell som uppskattar minimitrycket tillräckligt noggrant. De empiriska modellerna är baserade på Hazen-Williams formel, vilken matchas mot data genom linjär kurvanpassning eller kurvanpassning med ett andragradspolynom.

Denna del av studien fokuserade på modeller enligt Hazen-Williams formel eftersom den ofta används vid dimensionering av sprinkleranläggningar. Modellerna som bygger på Hazen-Williams formel kommer att skilja sig åt beroende på vilken mängd indata som inkluderas i modellen. Ytterligare modeller tillämpades där den styrande exponenten i formeln ändrades med syfte att göra en känslighetsanalys. De andra modellerna i studien användes bara för allmän jämförelse.

Bedömningen av minimitrycket i analysen har utförts enligt tabell 1 med en rangordning som är godtyckligt baserad.

Tabell 1: Kriterium för bedömning; metoder för att utvärdera kapacitetsprov

Procent av minimitryck (%)	Bedömning
120 >	Markant överskattning
110 – 120	Överskattning
90 – 110	God
80 – 90	Underskattning
80 <	Markant underskattning

Alla resultat, inkluderat indata till analysen, finns i slutet av appendix.

3.3.1 Linjär regression (bilaga B)

Metoden som används för att ta fram resultaten redovisade i detalj i bilaga B beskrivs i följande stycken. Med regression avses här en medelvärdesbildning över alla medtagna mätpunkter.

Sambandet mellan trycket, h , och flödet, Q , beskrivs enligt ekvationen nedan där trycket vid nollnivå (inget flöde) representeras av h_0 . Av ekvation 4 framgår att denna metod väljer att fixera nolltrycket i modellen (dvs., nolltrycket specificeras som input och värdet A erhålls genom anpassning mot data). Exponenten 1,85 är baserad på Hazen-Williams formel.

$$h = h_0 - A \cdot Q^{1,85} \quad \text{Ekvation 4}$$

I föregående ekvation kallas A proportionalitetskonstanten och uppskattas genom att använda uppmätta mätpunkter. Först tas ett medelvärde fram för trycket av de provade punkterna (exklusive nolluttag), h_m , och ett för

medelvärde av flödet upphöjt med 1,85, $(Q^{1,85})_m$. Sedan beräknas A enligt ekvation 5.

$$A = \frac{h_0 - h_m}{(Q^{1,85})_m} \quad \text{Ekvation 5}$$

Analysen för att uppskatta A gjordes genom tre olika modeller. Dessa skiljde sig åt beträffande mängden mätdata som inkluderades. I den första tillämpningen användes alla mätdata förutom den sista mätpunkten, i den andra togs tre mätpunkter bort och i den tredje togs tre mätpunkter bort. Den linjära regressionen är endast meningsfull när den baseras på tre mätpunkter inklusive startpunkten. Det förekommer flera prover där detta frångåtts på grund av att tillräckligt mängd indata inte kunde samlas in annars. För alla kapacitetsprov är däremot den första modelltillämpningen alltid meningsfull. Ytterligare förklaring av bilaga B ges av figur 15 i början av appendix.

3.3.2 Linjär regression med modifierad exponent

Två analyser av kapacitetsproven med modellen gjordes genom att ändra exponenten 1,85 i ekvation 4 och 5 i kapitel 3.3.1 till 2,6 och 1,2. Dessa ändringar avsåg att representera en känslighetsanalys av modellen. Valet av värdena 2,6 och 1,2 var godtyckligt och täcker med god marginal det förväntade intervallet inom vilket exponenten kan variera för realistiska tillämpningar. Syftet var att modellen skulle undersökas för avsevärt högre och lägre värden på exponent än för det normala fallet.

3.3.3 Linjär kurvanpassning

I avseende att finna en modell som bättre uppskattar minimitrycket användes konventionella modeller som linjär kurvanpassning för samtliga kapacitetsprov. Den linjära kurvanpassningen begränsades till fallet när endast sista mätpunkten uteslöts från modellen och beräkningarna genomfördes med Excel. Till skillnad från modellen beskriven i kapitel 3.3.1 ansattes inget startvärde som svarade mot trycket vid nollflöde utan detta värde uppskattades från data.

3.3.4 Kurvanpassning med andragradspolynom

En kurvanpassning med ett andragradspolynom utfördes också och beräkningarna genomfördes med Excel. Användningen av andragradspolynomet begränsades också till fallet där endast sista mätpunkten är utesluten. Precis som för den linjära kurvanpassningen ansattes inget startvärde baserat på trycket vid nollflöde.

3.4 Analys av återkommande kapacitetsprov i sprinklercentral med modell

Utifrån målsättningen att fastställa en metodik för framtida reducerade kapacitetsprov gjordes en speciell undersökning avseende återkommande prov i samma sprinklercentral. Undersökningen syftade till att finna huruvida fullskaliga kapacitetsprov i en sprinkleranläggning kan användas för att hitta en modell som möjliggör att reducerade kapacitetsprov i samma anläggning kan vara tillräckliga. För att utföra analysen studerades några sprinkleranläggningar där återkommande prover gjorts med en empirisk modell baserad på all indata från det tidigaste kapacitetsprovet och metoden som beskrivs i kapitel 3.3.1. Modellen validerades med det första provet och sedan användes den för att jämföra med senare kapacitetsprov i samma sprinkleranläggning.

Sprinkleranläggningarna som studerades ligger samtliga i Malmö och utförda prov kommer sammanfattas enligt följande;

Sprinkleranläggning A

3 prover

2017- Prov med alla ventiler öppna utan pump

2016- Prov med alla ventiler öppna utan pump

2013- Prov med alla ventiler öppna och andra ventilfall utan pump

Sprinkleranläggning B

2 prover

2017- Prov med alla ventiler öppna med och utan pumpar

2016- Prov med alla ventiler öppna med och utan pumpar med alla ventilfall

Sprinkleranläggning C

2 prover

2018- Prov med alla ventiler öppna med eller utan pump

2015- Prov med alla ventiler öppna med eller utan pump

Sprinkleranläggning D

2 prover

2017- Prov med alla ventiler öppna och andra ventilfall utan pump

2014- Prov med alla ventiler öppna och andra ventilfall utan pump

För alla sprinkleranläggningar analyserades data från återkommande prov. I fallet med sprinkleranläggning A, där 3 prover utfördes, genomfördes två olika tillämpningar av modellen baserat på indata från de två tidigaste kapacitetsproven.

3.5 Analys av indata med hydraulisk modell

För den hydrauliska modelleringen användes programmet MIKE URBAN. Programmet beräknar flödet i ledningssträckor vid sprinklercentralen och kan simulera tryckfall i samband med olika flödesuttag från sprinklercentralen. I analysen noterades det uppmätta trycket vid nolluttag och vid maximalt flöde. Analysen anpassades till tidpunkten då kapacitetsprovet utfördes för att kunna sammankoppla resultatet från den hydrauliska modellen av hela rörsystemet med resultatet från kapacitetsproven.

3.6 Analys genom kapacitetsprover i sprinkleranläggning E

Som ett ytterligare moment i arbetet med modeller för att reproducera data från kapacitetsprovning, genomfördes mätningar i sprinkleranläggning E i Västra Hamnen i Malmö. Målet var att undersöka om det vid ett reducerat kapacitetsprov går att se ett ändrat tryckfall som beror på simulerad ökad förbrukning (10 l/s i brandpost) eller om en ventil står stängd. Två kapacitetsprov utfördes i sprinklercentral E; kapacitetsproven genomfördes enligt punkterna nedan och det lokala rörsystemets utseende visas i figur 6.



Figur 6: Figur över ledningsnätet vid sprinkleranläggning E

1. Fullskaligt kapacitetsprov i sprinklercentral görs för att notera sambandet mellan tryck och flöde. Samtidigt mäts trycket i brandpost i gatan (Brandpost Söder).
2. Ett bestämt flöde, 10 l/s, tas ut från en andra brandpost i gatan (Brandpost Norr). I samband med det noteras enskilda punkter i sprinklercentralen där tryck och flöde mäts. Tryck mäts också i första brandposten.
3. Ett fall undersöks där en ventil i gatan stängs.



Figur 7: Brandpost i gatan där flöde tas ut (Brandpost Norr)

I figur 7 visas hur flöde mäts i brandpost på gatan utanför sprinkleranläggning E (Brandpost Norr). I figur 8 och 9 visas bilder från sprinklercentralen i sprinkleranläggning E under proven.



Figur 8: Inlopp till sprinklercentral i sprinkleranläggning E



Figur 9: Bild över larmventiler mm. i sprinkleranläggning E

3.7 Analys av enkel hydraulisk modell för reducerat kapacitetsprov

Ytterligare en analys utfördes för att undersöka om det går att sätta upp en enkel hydraulisk modell för reducerat kapacitetsprov.

Modellen är baserad på en förenklad beskrivning av tryckfallet i sprinklercentralen. Det antas att den största energiförlusten uppstår över ventilen som reglerar flödet. Trycket uppströms ventilen (p_o) antas vara känt och med antagandet att vattnet avbördas till atmosfärstryck tagen från uppströms ventil till det fria utloppet erhålls följande ekvation;

$$\frac{p_o}{\rho \cdot g} + \frac{v_o^2}{2 \cdot g} = \frac{v_o^2}{2 \cdot g} + k_v \cdot \frac{v_o^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ekvation 6}$$

Där ρ är vattnets densitet (kg/m³), v_0 medelhastigheten i röret (m/s), g tyngdaccelerationen (m/s²) och k_v en koefficient för energiförlusten över ventilen. Eventuella geometriska skillnader mellan punkterna försummas. Föregående ekvation kan förenklas enligt nedan.

$$\frac{p_o}{\rho \cdot g} = k_v \cdot \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ekvation 7}$$

Med kännedom om ventilinställningen kan hastigheten eller flödet beräknas från trycket. Koefficienten k_v antas variera med arean enligt nedanstående uttryck.

$$k_v = \left(\frac{A_0}{A_C} - 1 \right)^2 \quad \text{Ekvation 8}$$

Där A_0 är rörets tvärsnittsarea och A_C arean i vena contracta, vilken kan tecknas $A_C = A_h C_c$ där A_h är ventilens öppningsarea och C_c en kontraktionskoefficient (med ett värde på cirka 0.6). Om ekvation 7 och 8 kopplas samman med kontinuitetsekvationen ($Q_0 = A_0 V_C$) erhålls följande ekvation:

$$\frac{p_o}{\rho \cdot g} = \left(\frac{A_0}{A_C} - 1 \right)^2 \cdot \frac{Q_0^2}{2 \cdot g \cdot A_0^2} \quad \text{Ekvation 9}$$

Om ventilens öppningsarea är känd kan ekvation 9 användas för att bestämma flödet för ett specifikt uppströms tryck eller erforderligt tryck för att uppnå ett visst flöde. Ekvation 9 indikerar att för stängd ventil är energiförlusten oändligt stor och $Q_0 = 0$. Vidare innebär $A_0 = A_C$ helt öppen ventil och ingen förlust. För detta fall dominerar inte ventilförlusten utan energiförlusten över andra komponenter kommer att bestämma flödet.

För de data som föreligger från kapacitetsproven finns ingen information om öppningsarean utan ett förenklat angreppssätt måste tillämpas när ekvation 9 ska användas. Genom att uppskatta ventilöppningsarean i ekvation 9 kan öppningsarean teoretiskt bestämmas för de fall där mätningar gjorts enligt:

$$\frac{A_C}{A_0} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{2 \cdot p_o \cdot A_0}{\rho \cdot Q_0}}} \quad \text{Ekvation 10}$$

Om för ett antal mätpunkter (p_o, Q_o) från kapacitetsprover plottas $\frac{A_C}{A_o}$ mot Q_o kan en kurva som beskrivs av empirisk formel tas fram. Preliminära tester visar att en ekvation av formen,

$$\frac{A_C}{A_o} = a \cdot Q_o^b \quad \text{Ekvation 11}$$

ger en bra beskrivning, där a och b är koefficienter som bestäms genom anpassning av ekvation 11 till data.

Koefficienterna a och b i ekvation 11 kan uppskattas i fallet för två mätpunkter (x_1, y_1) och (x_2, y_2) enligt ekvation 12 och 13 nedan.

$$b = \frac{\ln\left(\frac{y_1}{y_2}\right)}{\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)} \quad \text{Ekvation 12}$$

$$a = \frac{y_1}{x_1^b} \quad \text{Ekvation 13}$$

Koefficienterna a och b i ekvation 11 kan uppskattas för flera mätpunkter enligt minsta kvadratanpassning. För att använda minsta kvadratanpassning måste först mätpunkterna logaritmeras om en linjär anpassning görs.

Följande strategi kan användas med ovanstående enkla hydrauliska modell för att utveckla ett reducerat kapacitetsprov:

1. Välj några mätpunkter (p_o, Q_o) från ett existerande kapacitetsprov.
2. Beräkna hur $\frac{A_C}{A_o}$ varierar med Q_o för specifika p_o .
3. Approximera kurvan i steg 2 med ekvation 11 för att bestämma optimala värden för koefficienterna a och b .
4. Beräkna erforderligt tryck för högre flöden än i steg 2 med ekvation 9 där öppningsarean bestäms av ekvation 11.
5. Jämför beräknade tryck med uppmätta tryck för att validera metoden.

I detta arbete har fyra sprinkleranläggningar undersökts med denna metod. Utöver kapacitetsprov behövs även information om rördiametern på

sprinklerservisen vilket påverkade urvalet av de sprinkleranläggningar där den hydrauliska modellen använts. Noggrannare analys kräver mer information om sprinklerkomponenterna i sprinkleranläggningarna. Analysen kompletteras av en jämförelse med resultatet från den empiriska modellen.

3.8 Felkällor

Data från kapacitetsproven är påverkade av en del felkällor. En felkälla är mätutrustningen. Mätutrustningen måste uppfylla vissa krav. Några typer av mätutrustning är mycket svåra att läsa av vilket gör att legitimiteten från sådana kapacitetsprover kan ifrågasättas. Indata från kapacitetsprov kan ibland ha uppenbara felaktigheter. En annan felkälla enligt sprinklerprojektörer är att rörsystem i vissa områden är utsatta för väldigt stora tryckvariationer över dygnet.

4 Resultat

Här presenteras resultatet av föreliggande studie.

4.1 Analys med empiriska modeller

I följande avsnitt presenteras resultatet av analys med empiriska modeller.

4.1.1 Linjär regression (bilaga B)

Den första tillämpningen med modellen som använder linjär regression uppskattade minimitrycket relativt bra för 57,7 % av kapacitetsproven. Denna tillämpning underskattar eller överskattar minimitrycket markant för 21,2 % av proven, vilket får anses vara icke tillfredställande. Den andra tillämpningen med den linjära regressionen, som tog hänsyn till färre mätpunkter, uppskattar minimitrycket inom rätt intervall med 40,4 % noggrannhet. I tillämpningen överskattas ungefär lika många av mätpunkterna som vid den första tillämpningen men en större andel, 25 %, underskattas markant. Den tredje tillämpningen av den linjära regressionsmodellen underskattar hela 37,3 % av proven markant. Resultatet från analysen visas i tabell 2. Ytterligare information beträffande resultatet från modelltillämpningarna presenteras i figurerna 16, 17 och 18 i appendix.

Tabell 2: Resultat från analys av kapacitetsprov med linjär regression

Procent av uppmätt värde (%)	Tillämpning 1- Mängd prov och andel (%)	Tillämpning 2- Mängd prov och andel (%)	Tillämpning 3- Mängd prov och andel (%)
120 >	4 (7,7 %)	6 (11,5 %)	5 (9,8 %)
110-120	3 (5,8 %)	3 (5,8 %)	3 (5,9 %)
90-110	30 (57,7 %)	21 (40,4 %)	17 (33,3 %)
80-90	8 (15,4 %)	9 (17,3 %)	7 (13,7 %)
80 <	7 (13,5 %)	13 (25 %)	19 (37,3 %)

4.1.2 Linjär regression med modifierad exponent

Exponent 2.6

Utifrån analysen med modifierad exponent kan följande observationer noteras. När exponenten ändrades från 1,85 till 2,6 minskade också det förväntade minimitrycket i modellen. Modellen tenderar att underskatta snarare än att överskatta proven. Den första modelltillämpningen med modifierad exponent underskattar hälften av alla prov markant. I den första tillämpningen beräknas minimitrycket inom rätt intervall för 30,8 % av proven. Denna procentsats minskar när färre mätpunkter används som indata. I tillämpningarna med modellerna överskattas sällan minimitrycket. Resultatet när färre mätpunkter inkluderas kan utläsas från tillämpning 2 och 3 i tabell 3.

Tabell 3: Resultat från analys av kapacitetsprov med linjär regression med modifierad exponent; 2,6

Procent av uppmätt värde (%)	Tillämpning 1- Mängd prov och andel (%)	Tillämpning 2- Mängd prov och andel (%)	Tillämpning 3- Mängd prov och andel (%)
120 >	0 (0 %)	1 (1,9 %)	1 (2 %)
110-120	1 (7,7 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
90-110	16 (30,8 %)	11 (21,2 %)	5 (9,8 %)
80-90	9 (17,3 %)	6 (11,5 %)	4 (7,8 %)
80 <	26 (50 %)	34 (65,4 %)	41 (80,4 %)

Exponent 1.2

När den ursprungliga linjära regressionen istället modifieras genom att minska exponenten från 1,85 till 1,2 ges följande resultat. Den första tillämpningen överskattar markant värdet på minimitrycket i 34,6 % av proven och gör likt de andra tillämpningarna baserad på denna exponent sällan större underskattningar. Denna trend kan utläsas även i tillämpning 2 och 3 i tabell 4.

Tabell 4: Resultat från analys av kapacitetsprov med linjär regression med modifierad exponent; 1,2

Procent av uppmätt värde (%)	Tillämpning 1- Mängd prov och andel (%)	Tillämpning 2- Mängd prov och andel (%)	Tillämpning 3- Mängd prov och andel (%)
120 +	18 (34,6 %)	22 (42,3 %)	22 (43,1 %)
110-120	11 (21,2 %)	7 (13,5 %)	5 (9,8 %)
90-110	21 (40,4 %)	21 (40,4 %)	20 (39,2 %)
80-90	1 (1,9 %)	1 (1,9 %)	2 (3,9 %)
80 -	1 (1,9 %)	1 (1,9 %)	2 (3,9 %)

4.1.3 Linjär kurvanpassning

Den linjära kurvanpassningen, utförd med hjälp av datorprogrammet Excel, gav relativt goda resultat för 44 % av proven. Däremot så överskattades hela 37 % markant. Minimitrycket underskattades sällan och aldrig mer än 10 %. Resultatet från analysen sammanfattas i tabell 5.

Tabell 5: Resultat från analys av kapacitetsprov med linjär kurvanpassning

Procent av uppmätt värde (%)	Mängd prov och andel
120 +	19 (37 %)
110-120	10 (19 %)
90-110	23 (44 %)
80-90	0 (0 %)
80 -	0 (0 %)

4.1.4 Kurvanpassning med andragradspolynom

Kurvanpassningen med andragradspolynom, också utförd med Excel, gav relativt goda resultat för 57,7 % av proven. De flesta av de övriga resultaten överskattades, men det förekom även prov där minimitrycket underskattades. Resultatet från analysen sammanfattas i tabell 6.

Tabell 6: Resultat från analys av kapacitetsprov genom kurvanpassning med andragsgradspolynom

Procent av uppmätt värde (%)	Mängd prov och andel
120 +	10 (19,2 %)
110-120	4 (7,7 %)
90-110	30 (57,7 %)
80-90	4 (7,7 %)
80 -	4 (7,7 %)

4.2 Analys av återkommande kapacitetsprov i sprinkleranläggning

I följande analys och i flera av de fall som följer används beteckningen.mvp (meter vattenpelare) för att beskriva trycket.

Sprinkleranläggning A

I sprinkleranläggning A jämförs kapacitetsprov för fallet när alla ventiler är öppna eftersom detta är det enda återkommande provet.

Från kapacitetsprovet som gjordes 2013 erhålls följande från analysen.

Tabell 7: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2013 och kapacitetsprov 2013

Uppmätt minimitryck 2013 (mvp)	Uppskattat minimitryck 2013 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
10	9,3	93

Modellen framtagen från kapacitetsprovet 2013 uppskattar minimitrycket från kapacitetsprovet 2016 enligt tabell 8.

Tabell 8: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2013 och kapacitetsprov 2016

Uppmätt minimitryck 2016 (mvp)	Uppskattat minimitryck från prov 2013 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
20	29,2	146

Resultatet från tabell 8 indikerar en markant överskattning. Därför gjordes en ny modelltillämpning baserat på kapacitetsprovet 2016 och resultatet av denna modell redovisas i tabell 9.

Tabell 9: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2016 och kapacitetsprov 2016

Uppmätt minimitryck 2016 (mvp)	Uppskattat minimitryck 2016 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
20	19,1	95

Baserat på modelltillämpningarna för kapacitetsproven 2013 och 2016 uppskattades minimitrycket från kapacitetsprovet 2017 enligt tabell 10.

Tabell 10: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2013 och 2016 med kapacitetsprov 2017

Uppmätt minimitryck 2017 (mvp)	Uppskattat minimitryck från prov 2016 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%) från prov 2016	Uppskattat minimitryck från prov 2013 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%) från prov 2013
31,5	27,7	88	35,3	112

Övriga resultat återfinns i kapitel 8.8 i appendix.

4.3 Analys med hydraulisk modell

Den hydrauliska modellen användes för att studera fyra objekt i Lund och fyra objekt i Malmö. För varje objekt undersöktes trycket vid nolluttag och vid maximiuttag. I vissa fall, där kapacitetsprovet bestod av flera tester i sprinklercentralen, har maximiuttag baserats på bästa möjliga underlag för

analys. Tabeller och resultat av kapacitetsprov samt ytterligare information om objekten ges i kapitel 8.9 i appendix.

4.3.1 Lund

I texten nedan presenteras resultatet från objekt 1-4 som ligger i Lund.

Objekt 1

För objekt 1 uppskattades ett tryckfall i det allmänna ledningsnätet på 4,5 mvp under tiden för kapacitetsprovet enligt den hydrauliska modellen (tabell 25). Kapacitetsprovet från objekt 1 visar på ett uppmätt tryckfall på totalt 7 mvp (figur 19).

Objekt 2

I fallet där objekt 2 undersöktes angav den hydrauliska modellen ett tryckfall i det allmänna ledningsnätet på 2,1 mvp (tabell 26) medan kapacitetsprovet visade ett totalt uppmätt tryckfall på 14 mvp (figur 20).

Objekt 3

Den hydrauliska modellen beräknade ett tryckfall i det allmänna ledningsnätet på 4,7 mvp (tabell 27) medan kapacitetsprovet visade ett totalt tryckfall på 18 mvp (figur 21).

Objekt 4

Tryckfallet enligt den hydrauliska modellen var 2,1 mvp för alla ventiler öppna, 2,6 mvp vid ventil Öster stängd och 6,6 mvp vid ventil Väster stängd (tabell 28). Det uppmätta tryckfallet från kapacitetsprovet var 9 mvp för alla ventiler öppna, 11 mvp vid ventil Öster stängd och 32 mvp vid ventil Väster stängd (figur 22).

4.3.2 Malmö

I Malmö undersöktes ytterligare 4 objekt, objekt 5-8.

Objekt 5, sprinkleranläggning B

Det första kapacitetsprovet i Malmö som analyserades var objekt 5. Kapacitetsprovet gav ett tryckfall på 20 mvp (figur 23) medan den hydrauliska modellen beräknade tryckfallet till 2,2 mvp (tabell 29).

Objekt 6

Det andra kapacitetsprovet i Malmö som kontrollerades var objekt 6 i Bunkeflo. Ett kapacitetsprov i sprinklercentralen producerade ett tryckfall på 12,5 mvp (figur 24). Den hydrauliska modellen beräknade tryckfallet till 0,9 mvp (tabell 29).

Objekt 7

Kapacitetsprov utfördes för ventil Norr respektive ventil Söder stängd. Kapacitetsprovet visade ett tryckfall på 7 mvp när ventil Norr var stängd och ett tryckfall på 14 mvp när ventil Söder var stängd (figur 25). Samtidigt gav den hydrauliska modellen ett tryckfall på 5,2 mvp när ventil Norr var stängd och ett tryckfall på 3,2 mvp när ventil Söder var stängd (tabell 30).

Objekt 8, sprinkleranläggning A

Prov 1

Prov 1 hade enligt kapacitetsprovet ett tryckfall på 32 mvp (figur 26) och enligt den hydrauliska modellen ett tryckfall på 1,5 mvp (tabell 31).

Prov 2

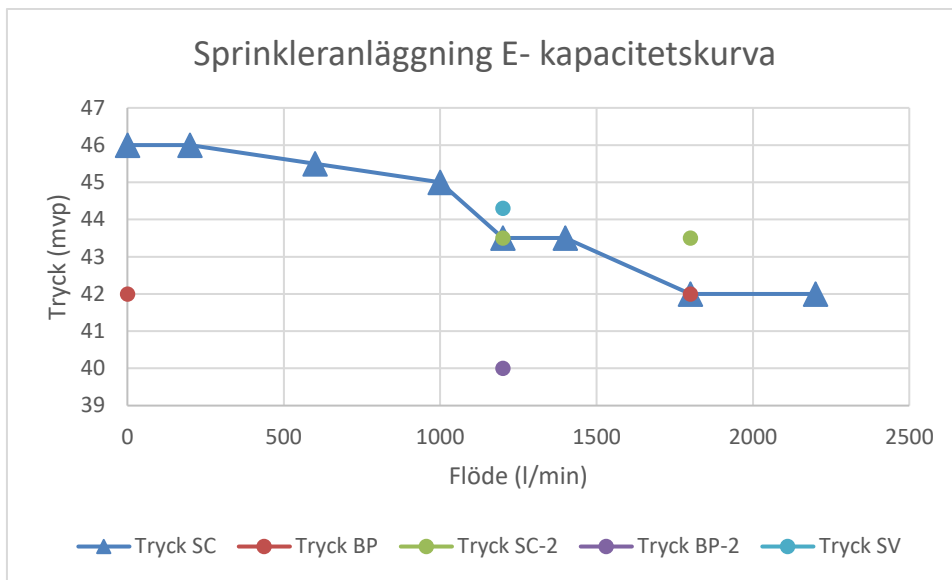
Prov 2 hade enligt kapacitetsprovet ett tryckfall på 10 mvp (figur 27) och enligt den hydrauliska modellen ett tryckfall på 1,8 mvp (tabell 32).

Prov 3

Prov 3 hade enligt kapacitetsprovet ett tryckfall på 13,5 mvp (figur 28) och enligt den hydrauliska modellen ett tryckfall på 0,4 mvp (tabell 33).

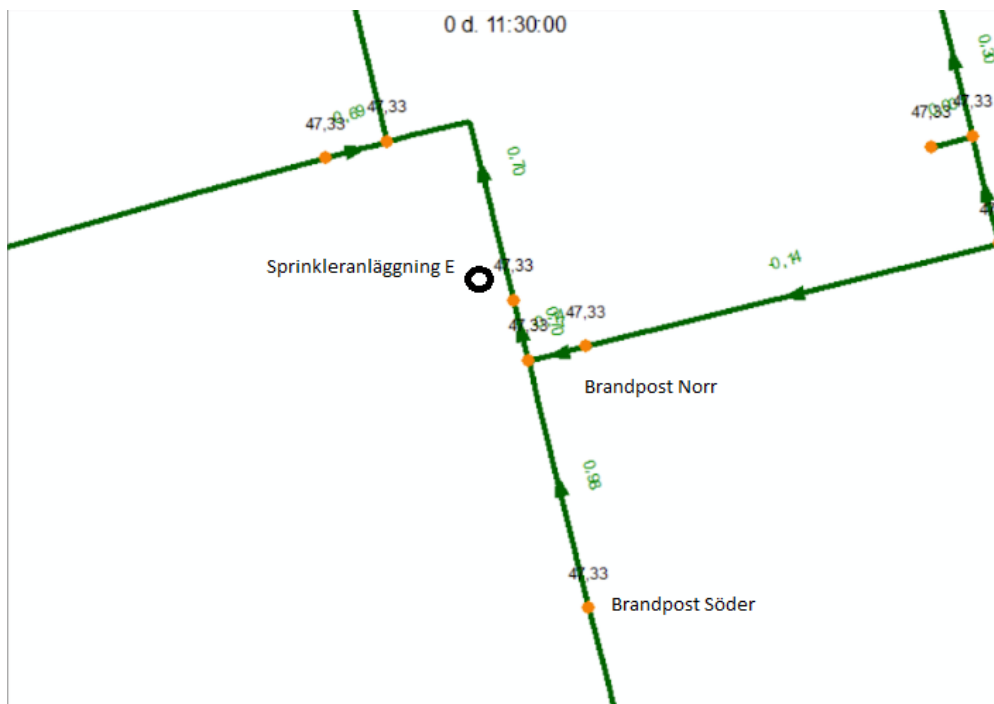
4.4 Kapacitetsprover i sprinkleranläggning E

Först utfördes ett fullskaligt kapacitetsprov vilket beskrivs av kurvan benämnd 'Tryck SC'. I samband med provet noterades trycket i en brandpost på gatan med punkterna 'Tryck BP'. Efteråt undersöktes när ett uttag på 10 l/s gjordes från brandpost i gatan. Tryck i sprinklercentralen vid detta försök markeras i diagrammet med gröna punkter medan tryck i brandposten visas som en lila punkt. Resultatet åskådliggörs i figur 10.



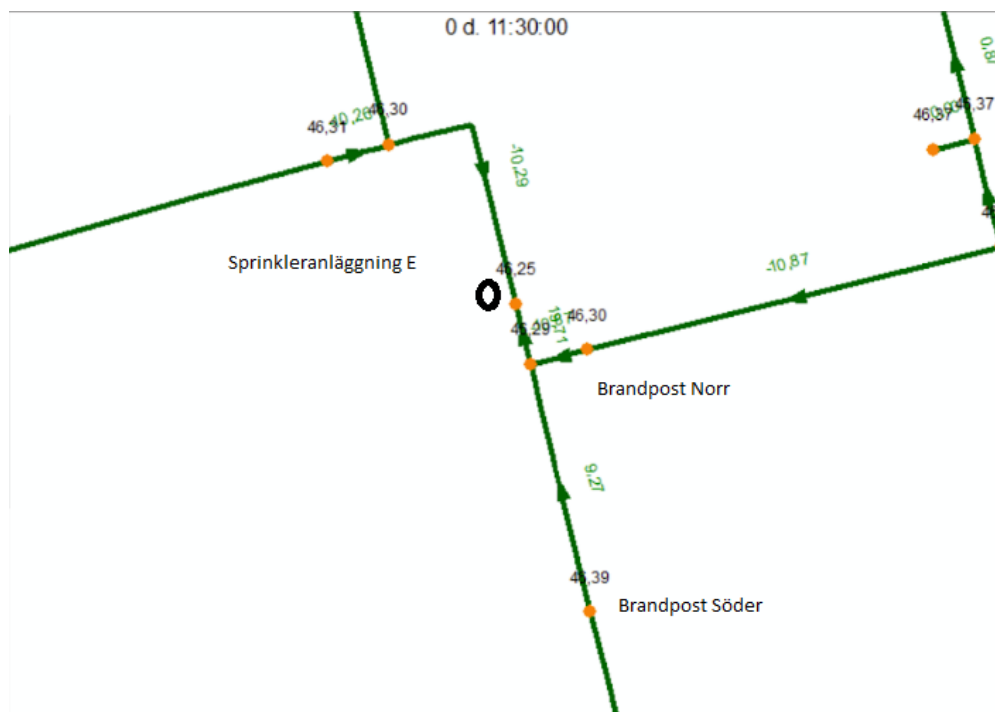
Figur 10: Kapacitetsprover i sprinkleranläggning E

Viktigt att påpeka är att det existerar en höjdskillnad mellan sprinklercentralen och brandposterna. Denna skillnad uppskattades till ungefär 3 mvp. I brandpost Norr, där flödet togs ut, var marknivån + 3 m enligt RH2000 (Rikets höjdsystem). I brandpost söder, där trycket avlästes var marknivån + 2,95 m enligt RH2000. Vid inloppet till sprinklerservisen var marknivån + 2,65 m enligt RH2000. Nedan visas figurer från simuleringar i MIKE URBAN. Först undersöktes modellen vid normalt tillstånd; då var trycknivån i systemet + 47,33 m enligt RH2000 med flöden under 1 l/s (figur 11).



Figur 11: Modell över rörnätet vid sprinkleranläggning E i normalt tillstånd

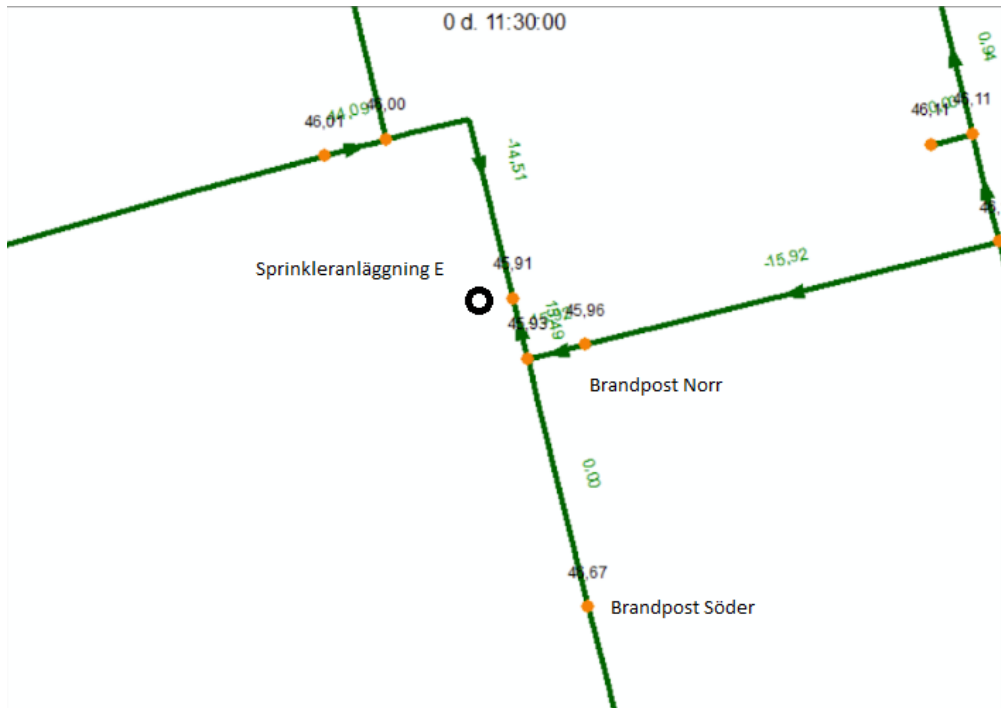
Sedan undersöktes systemet när ett uttag på 30 l/s gjordes i sprinkleranläggning E (figur 12), vilket gav trycknivån + 46,39 m enligt RH2000 i brandpost söder, + 46,3 m i brandpost norr och + 46,25 m vid inlopp till sprinklerservisen.



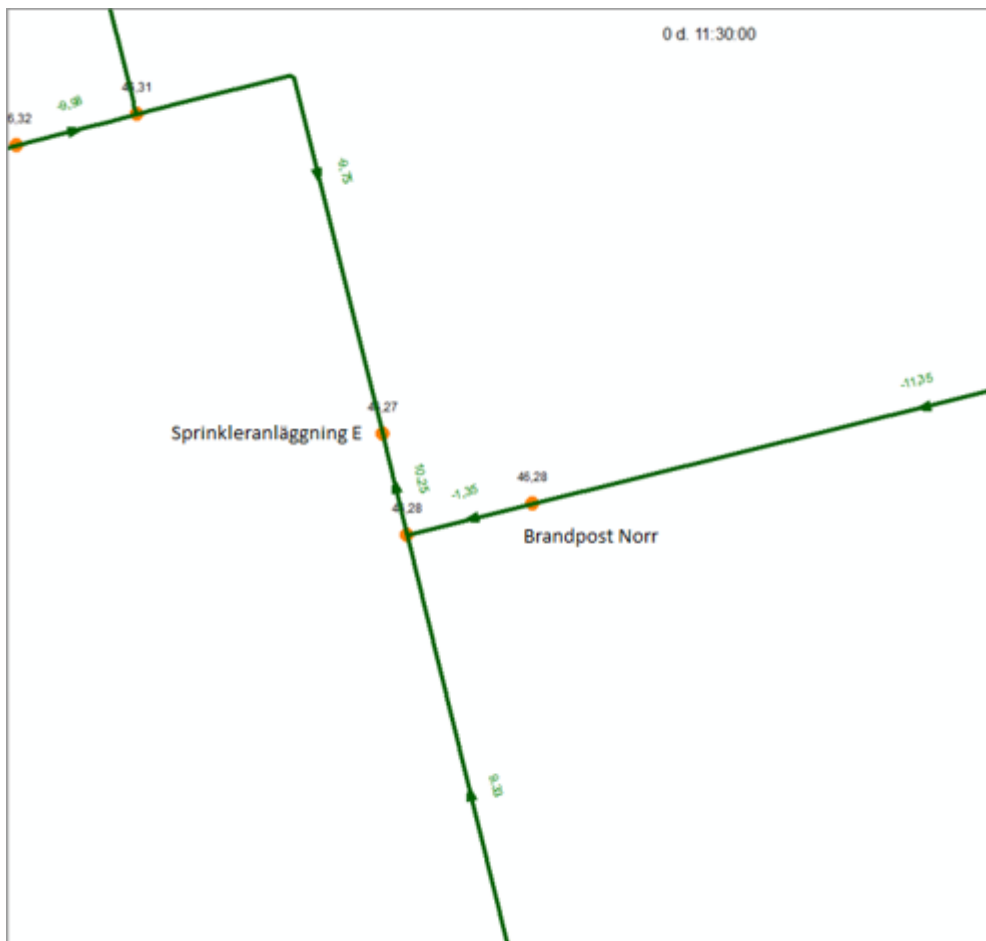
Figur 12: Modell över rörledningsnät vid sprinkleranläggning E för uttag 30 l/s i sprinkleranläggning, alla ventiler öppna

Efteråt undersökte modellen situationen för när ventil Söder stängdes och uttaget från sprinklercentral E var fortsatt 30 l/s. Resultatet visas i figur 13.

Ett annat fall som undersöktes var när 20 l/s togs ut i sprinklercentral och 10 l/s i brandpost. Resultatet anges i figur 14.



Figur 13: Modell över rörledningsnät vid sprinkleranläggning E för uttag 30 l/s i sprinkleranläggning och ventil Söder stängd



Figur 14: Modell över rörledningsnät vid sprinkleranläggning E för uttag 20 l/s i sprinkleranläggning E och uttag 10 l/s i brandpost Norr

4.5 Analys med enkel hydraulisk modell för reducerat kapacitetsprov

En analys av sprinkleranläggningarna gjordes först genom att undersöka den största möjliga reduktionen av antal mätpunkter från proven. Detta fall innebär att endast två mätpunkter användes för analys och att ekvation 12 och 13 användes för att ta fram konstanterna a och b . Tabell 11 visar resultatet av samtliga modeller som procent av uppmätt minimitryck och värdet på konstanterna a och b som uppskattades. Ytterligare en analys genomfördes när fler än två mätpunkter inkluderades. Resultatet av analysen visas i tabell 12.

Tabell 11: Resultat av enkel hydraulisk modell för reducerat kapacitetsprov genom approximation med två mätpunkter

Sprinkleranläggning	Procent av uppmätt värde (%)	a	b
Objekt 1	101,91	2,17	1,05
Objekt 2	114,28	6,53	1,08
Objekt 3	120,34	0,8	1,03
Objekt 6	123,58	1,96	1,02

Tabell 12: Resultat av enkel hydraulisk modell för reducerat kapacitetsprov genom approximation med fler än två mätpunkter

Sprinkleranläggning	Procent av uppmätt värde (%) 3 punkter	Procent av uppmätt värde (%) 4 punkter
Objekt 1	99,35	-
Objekt 2	111,10	-
Objekt 3	119,46	109,50
Objekt 6	117,61	112,62

4.5.1 Jämförelse med resultat från analys enligt Bilaga B

En jämförelse med resultat från analys enligt bilaga B för berörda objekt togs fram i syftet för att bedöma den enkla hydrauliska modellen. Resultatet presenteras i två tabeller, tabell 13 och 14.

Tabell 13: Resultat av analys med Bilaga B genom approximation med två mätpunkter

Sprinkleranläggning	Procent av uppmätt värde (%)
Objekt 1	98,21
Objekt 2	71,32
Objekt 3	102,2
Objekt 6	110,84

Tabell 14: Resultat av analys med Bilaga B genom approximation med fler än två mätpunkter

Sprinkleranläggning	Procent av uppmätt värde (%) 3 punkter	Procent av uppmätt värde (%) 4 punkter
Objekt 1	97,65	-
Objekt 2	84,71	-
Objekt 3	107,25	104,28
Objekt 6	110,25	108,77

5 Diskussion

Nedan följer en diskussion av resultatet från föreliggande studie.

5.1 Resultat från empiriska modeller

Utifrån analysen av kapacitetsproven kan följande slutsatser dras.

Ingen av de modeller som användes i analysen gav ett tillfredställande resultat enligt de kriterier som användes i denna studie. Resultatet från analysen med linjär regression beskriven i kapitel 3.3.1 visar i den första modelltillämpningen att för 57,5 % av proven uppskattas minimitrycket inom rätt intervall. Detta är med information taget från alla mätpunkter utom den sista. I merparten av proven motsvarar detta ett kapacitetsprov fullföljt till 85 %. I den andra och tredje modelltillämpningen uppskattas minimitrycket relativt bra för 40,4 % respektive 33,3 % av proven. Analysen påvisar, som väntat, att mer indata ger ett bättre modellresultat. Tyvärr kan inte ens den tillämpning som innebär minst datareduktion ge tillräckligt noggrant värde på minimitrycket.

Som jämförelse med modellen beskriven i bilaga B gjordes två tester där exponenten i modellen gavs ett högre eller lägre värde, vilket fungerade som en känslighetsanalys för exponenten i Hazen-Williams formel. Resultatet från de tre modelltillämpningar som gjordes med ökad exponent visade på god uppskattning av minimitrycket i mindre än 35 % av proven. Generellt underskattade modellen minimitrycket. Denna underskattning blev större ju mindre indata som användes. Resultatet från de tre modelltillämpningar som gjordes med lägre exponent visade på god uppskattning av minimitrycket för 40 % av proven. Generellt överskattade modellen med sänkt exponent minimitrycket markant. I alla tillämpningar uppgick denna överskattning till över 34 %. Modellen enligt bilaga B är bättre på att beskriva kapacitetsproven än när exponenten modifieras.

Analysen med linjär kurvanpassning uppskattade minimitrycket relativt väl för 44 % av proven. I de övriga proven överskattade modellen minimitrycket och för 37 % av alla prover var överskattningen markant. Eftersom den linjära kurvanpassningen tar hänsyn till all indata förutom den sista mätpunkten (minimitrycket) tyder resultatet på att i flera prov så sker en rejäl sänkning av

trycket i slutet av kapacitetsprovet som inte följer den allmänna trenden modellen anpassas till.

Analysen genom kurvanpassning med andragradspolynom uppskattade minimitrycket relativt väl för 57,7 % av proven. Modellen överskattade minimitrycket markant för 19 % av proven och underskattade minimitrycket markant för 8 % av proven. Även denna modell använder all indata förutom den sista mätpunkten (minimitrycket) och resultatet av analysen visar att det är svårt att uppskatta minimitrycket i sprinkleranläggningar genom ett andragradspolynom, även om tryckfallskurvan generellt borde följa ett sådant uttryck baserat på turbulensteori.

Det måste påpekas att analysmetoden och de använda kriterierna för god överensstämmelse har sina brister. Vid analys av proven med låga tryck jämfört med höga tryck ger en lika stor avvikelse från uppmätt tryck olika procentuell andel. Prover med små tryck har därför ett mindre spann där proven anses som acceptabla. Dessutom är avläsningen svårare vid låga tryck vilket ger ytterligare problem vid analys. En analys baserat på de absoluta avvikelsen från uppmätt värde skulle kunna vara något som kompletterat detta resultat. En stor del av modelltillämpningarna är baserat på mindre indata än vad modellen bör använda sig av.

5.2 Resultat från analys av återkommande kapacitetsprov

Resultatet indikerade att det kan ske stora förändringar i kapacitetsprovningar från år till år.

I sprinklercentral A togs två modeller fram baserat på kapacitetsproven och skillnaden mellan de två proven var stor. Vid jämförelse av den tidigaste modellen från 2013, som avvek svagt från uppmätt minimitryck, med kapacitetsprovet från 2016 noterades en markant överskattning av provet. Med anledning av detta gjordes en ny modellanpassning baserad på kapacitetsprovet från 2016. Denna nya modell avvek svagt från uppmätt minimitrycket samma år. Därefter gjordes en jämförelse med de två modellerna med det senaste kapacitetsprovet taget 2017. Modellen från 2013 överskattade minimitrycket medan modellen från 2016 underskattade trycket. Detta resultat indikerar att en modell enbart baserat på tidigare kapacitetsprov i sprinkleranläggning inte kan användas direkt.

Nästa analys gjordes på sprinkleranläggning B. Modellen som togs fram från kapacitetsprovet 2016 uppskattade provet från samma år väl, i fallet utan pump. Vid jämförelse med kapacitetsprovet utan pump 2017 underskattade modellen minimitrycket markant. I fallet där pump användes gav den framtagna modellen för 2016 en svag överskattning jämfört med kapacitetsprovet samma år. Modellen överskattade också svagt kapacitetsprovet med pump 2017. Från detta resultat kan det uttydas att även mellan proven i samma sprinklercentral verkar det vara svårt att hitta en passande modell med en enkel metod.

Sedan undersöktes sprinkleranläggning C. Resultatet från modellerna var goda. Modellen framtagna från kapacitetsprovet 2015 uppskattade både kapacitetsprovet 2015 och 2018 väldigt bra. Detta gällde både för fallet med och utan pump.

Den sista undersökningen som gjordes var i sprinkleranläggning D. Modellen som togs fram från kapacitetsprovet 2014 överskattade minimitrycket samma år svagt. År 2017 gjordes ett annat kapacitetsprov. Modellen överskattade minimitrycket 2017 mer än modellen uppskattade minimitrycket från 2014.

5.3 Resultat från hydrauliska modellen

Den hydrauliska modelleringen gjordes i MIKE URBAN och användes för att beräkna tryck vid maxflöde och nolluttag i det aktuella ledningsnätet vid tidpunkten för sprinklerproven. Den hydrauliska modellen användes både för ledningsnätet i Lund och i Malmö.

I de följande styckena diskuteras resultatet från objekt 1-4 som ligger i Lund.

För objekt 1 simulerades ett tryckfall i ledningsnätet på 4,5 mvp under tiden för kapacitetsprovet enligt den hydrauliska modellen. Kapacitetsprovet från objekt 1 visade på ett uppmätt tryckfall på totalt 7 mvp. Det innebär att om modellresultatet är acceptabelt kan tryckförlusten i det allmänna ledningsnätet uppskattas till 4,5 mvp och 2,5 mvp i sprinklerservisen, alltså totalt 7 mvp. Resultatet från objekt 1 är anmärkningsvärt eftersom det visar en större förlust i allmänna ledningsnätet än i sprinklercentralen och sprinklerservisen. Efter analys av indata kunde det bekräftas att förlusterna inte berodde på en liten rördiameter.

För objekt 2 och 3 noterades små förluster i ledningsnätet i jämförelse med de totala förlusterna från kapacitetsproven.

Den sista undersökningen i Lund gjordes i objekt 4 på Sparta. Kapacitetsprov utfördes för alla möjliga ventilmanövreringar och visade på stora tryckfall främst när ventil Väster var stängd. Simuleringar med den hydrauliska modellen visade på liknande resultat men det gick inte att uppskatta storleken på tryckfallet. Förlusterna i sprinklerservis borde vara samma oavsett ventilmanövrering om man jämför med samma flöde. Den stora skillnaden på 21 mvp mellan fallen ventil Öster stängd och ventil Väster stängd från kapacitetsprovet borde gå att simulera med den hydrauliska modellen men skillnaden som noteras här är endast 4 mvp. Rörsystemet utanför objekt 4 är från 1960-talet och verkar enligt kapacitetsprov ha betydande tryckförluster. Resultatet visar att den hydrauliska modellen inte är kalibrerad i tillräcklig utsträckning för den nödvändiga detaljeringsgraden.

I Malmö undersöktes ytterligare 4 objekt, objekt 5-8.

För både objekt 5 och 6 noterades små förluster i ledningsnätet i jämförelse med de totala förlusterna från kapacitetsproven.

I objekt 7 gjordes två kapacitetsprov för olika ventilmanövreringar och resultatet visade att fallet med störst förluster i ledningsnätet hade minst förluster enligt kapacitetsproven. Resultatet indikerar återigen behovet av att kalibrera den hydrauliska modellen lokalt och att det största tryckfallet sker i sprinklerservisen. Om den hydrauliska modellen visat på ett högre tryckfall då ventil Söder är stängd jämfört med när ventil Norr är stängd hade modellen kunnat ge bättre överensstämmelse.

Från resultatet för objekt 8 kan det konstateras att tryckfallet som uppmättes från kapacitetsprovet är många gånger större än vad den hydrauliska modellen gav. Detta beror främst på att den hydrauliska modellen inte beskriver tryckfallet från sprinklerservisen till manometer i sprinklercentralen.

5.4 Resultat från kapacitetsprover i sprinkleranläggning E

I det fullskaliga kapacitetsprovet i sprinkleranläggning E noterades trycket vid nolluttag till 46 mvp i sprinklercentralen och 42 mvp i brandposten. Fluktuationer på 1 mvp i området förekom och med inräknad höjdskillnad verkar detta resultat rimligt. Kapacitetsprovet som utfördes resulterade i en väldigt flack kurva. Tryckfallet vid ett uttag på 1800 l/min och 2200 l/min noterades till 4 mvp. I samband med ett uttag på 1800 l/min var trycket 42 mvp i brandpost. Detta var ganska förvånande. Tryckfallet i sprinklercentralen borde vara summan av tryckförluster i sprinklerservis och allmänt ledningsnät. Tryckfallet i brandpost mäter bara förluster på allmänt ledningsnät. Därför indikerar kapacitetsprovet att alla tryckförluster sker över sprinklerservisen i sprinkleranläggning E.

Beträffande det andra försöket där 600 l/min togs ut i brandpost på gatan så noterades två mätpunkter i sprinklercentralen. Den första punkten togs vid 1200 l/min och noterade ett minskat tryckfall. Tryckfallet minskade med 32 % men bara med 0,8 mvp. Samtidigt mättes trycket i brandpost till 40 mvp, ett tryckfall från nolluttag med 2 mvp. Den andra mätpunkten i sprinklercentralen togs vid 1800 l/min och angav också ett minskat tryckfall. Denna gång var tryckfallet 2,5 mvp, en minskning med 37,5 %. Tryckfallet kan inte förklaras med den hydrauliska modellen. Trycket borde inte öka för att 10 l/s tas ut i brandpost på gatan.

I fallet med stängd ventil noterades också ett minskat tryckfall vilket inte heller kan förklaras. Den hydrauliska modellen pekar snarare mot att tryckfallet blir större. Överlag kan resultatet från sprinkleranläggning E beskrivas som mycket förvånande och måste bero på antingen dålig kommunikation vid proven eller fel på mätutrustning. Den enda information som kan användas från proven är att trycket i vattenledningsnätet inte förändrades över tid.

5.5 Resultat från analys av enkel hydraulisk modell

Från analysen som gjordes med syfte att analysera data med modellen vid största möjliga reduktion kan följande sägas. Det är stor skillnad mellan hur väl modellerna fungerar och baserat på det begränsade antalet analyser verkar modellen överskatta minimitrycket. Detta tyder på att de största tryckfallen i

sprinkleranläggningar oftast sker i slutet av kapacitetsprovet. Konstanten b verkar ligga inom ett begränsat intervall medan konstanten a varierar stort mellan proven. När mer indata inkluderades i analysen blev resultatet bättre. Däremot blev resultatet inte tillräckligt bra för att rekommendera modellen för fortsatt bruk utan att förfinas den. Det krävs antagligen en mer ingående analys av komponenterna i sprinkleranläggningen för att utvärdera om reducerade kapacitetsprov med modell kan ersätta fullskaliga kapacitetsprov.

Vid jämförelse med modellen beskriven i kapitel 3.3.1 noterades det stora skillnader. För alla analyser gav den enkla hydrauliska modellen ett högre tryck. Bägge modellerna blev bättre med mer indata men de kunde inte approximera minimitrycket inom ett rimligt intervall.

6 Slutsatser

Den första slutsatsen av föreliggande studie är att de empiriska modeller som använts i arbetet inte kan tillräckligt väl beskriva tryckfallet vid kapacitetsprov enligt uppställda kriterier. När denna slutsats drogs var en förhoppning att genom att undersöka återkommande kapacitetsprov kunna identifiera en modell som bättre passade till indata. Det visade sig vara svårare än väntat, eftersom kapacitetsprov i samma sprinkleranläggning gav olika tryckfall för samma flöden och skillnaden var anmärkningsvärd.

För vissa kapacitetsprov gjordes en hydraulisk modell av ledningsnätet och tryckfallet kunde uppskattas över det allmänna vattenledningsnätet. I flertalet av fallen där resultatet från en hydraulisk modell och kapacitetsproven jämfördes kunde det noteras att tryckfallet över sprinklerservisen till manometern där tryck avläses i sprinklercentral var avsevärt större än tryckfallet över allmänna vattenledningsnätet.

Resultatet av att tryckfallet är mycket högre i sprinklerservisen väcker frågor om rutiner kring erforderligt flöde i sprinklercentral bör förändras. I dagsläget läggs ett kommunalt påslag till i sprinklercentralen för att räkna med brandsläckning i brandpost. Eftersom föreliggande studie påvisar att tryckfallet blir större om det flödet tas ut i sprinklercentral istället för brandpost skulle möjligen erforderligt flöde kunna sänkas vid kapacitetsprovning.

I de fall där kapacitetsprov undersöktes för olika ventilmanövreringar gick det att utläsa att lokal kalibrering behöver göras för att uppnå tillräcklig noggrannhet.

I ett försök att utföra ett reducerat kapacitetsprov och simulera effekterna av en ökad förbrukning respektive stängd ventil utfördes ett kapacitetsprov i sprinkleranläggning E. I kapacitetsproven kunde man se en indikation att det största tryckfallet sker över sprinklerservisen när trycket i brandposten var oförändrat mellan nollflöde och ett flöde på 20 l/s medan trycket i sprinkleranläggning minskade. I detta fall får det ändå nämnas att det allmänna vattenledningsnätet hade en i förhållande till uttaget relativt grov dimension matad från flera håll vilket innebär lägre tryckförluster. Flödet som togs ut var också av begränsad karaktär.

Analysen indikerade att de största förlusterna sker över sprinkleranläggningen; följaktligen skapades en enkel hydraulisk modell för att extrapolera reducerade kapacitetsprov baserat på antagandet att det största tryckfallet sker över sprinklerservisen. Modellen fungerade i vissa fall men överskattade de flesta fallen när endast två mätpunkter användes. Modellen blev bättre ju fler mätpunkter som användes i approximationen. Modellen bedömdes dock inte vara tillräckligt noggrann för att fortsättningsvis nyttjas. En observation är att det antagligen krävs detaljkunskap om tryckfallet över enskilda komponenter i sprinkleranläggning för att kunna bedöma om det går att utföra reducerade kapacitetsprov med en sådan modell. Vid jämförelse av den empiriska modellen enligt bilaga B och den enkla hydrauliska modellen kunde ingen direkt koppling göras.

7 Referenser

- Brandsjö, Kaare. 2005. *Varför inte sprinklerskydd? Webbtidningen Brandsäkert* <https://www.xn--brandskert-v5a.se/2005/0412/varf%C3%B6r-inte-sprinklerskydd> (Hämtad 2018-05-15)
- Canute LPP. 2018. *Hazen Williams formula for use in fire sprinkler systems.* <https://www.canutesoft.com/Hydraulic-calculation-for-fire-protection-engineers/the-hazen-williams-formula-for-use-in-fire-sprinkler-systems.html> (Hämtad 2018-06-15)
- Hamill, Les. 2011. *Understanding Hydraulics-Third Edition.*
- Hjort, Jens. 2017. *Automatiskt vattensprinklersystem.* Stockholm: Svenska brandskyddsföreningen(SBF).
- Hjorth, Bo. 2016. *Sprinklerhandboken* Stockholm: Svenska brandskyddsföreningen(SBF).
- Lidström, Viveka. 2012. *Vårt vatten-grundläggande lärobok i vatten-och avloppsteknik.* 1.a uppl. Solna: Svenskt Vatten AB.
- MIKE URBAN. 2018. *MIKE programvara.* <https://worldwide.dhigroup.com/se/mike%20programvara> (Hämtad 2018-05-01)
- MIKE URBAN *model manager.* 2017. <http://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/ModelManager.pdf> (Hämtad 2018-05-03)
- SBF 120:8. 2016. *Regler för automatiskt vattensprinklersystem.* Stockholm: Svenska brandskyddsföreningen(SBF).
- SCB. 2017. *Sveriges framtida befolkning 2017-2060.* https://www.scb.se/contentassets/fee6de8eb7dc43bd9b3f36da925b5458/be0401_2017i60_sm_be18sm1701.pdf (Hämtad 2018-04-28)
- Storesund et al. 2013. *Rapport Slokkevannsmengder.* https://dibk.no/globalassets/brann-og-konstruksjoner/rapport-nbla13126-slokkevann_1.pdf (Hämtad 2018-03-02).
- SVT. 2018. *Akut brist på äldreboenden.* <https://www.svt.se/nyheter/inrikes/akut-brist-pa-aldreboenden> (Hämtad 2018-05-30)
- VAV, P83. 2001. *Allmänna vattenledningsnät -anvisningar för utformning, förnyelse och beräkning.* Stockholm: VAV AB.
- Winberg et al. 2016. *Vattensprinkleranläggningar-kapacitetsprov och kommunala vattenledningsnät.* <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:944453/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2018-02-05)

8 Appendix

Nedan följer ytterligare information av vikt i arbetet.

8.1 Bilaga B

Bilaga B – Extrapolering av kapacitetprov

Trycket, h , som funktion av flödet, Q , kan antas följa nedanstående samband där h_0 är det statiska trycket.

$$h = h_0 - A \cdot Q^{1,85}$$

Parametern A beräknas utifrån provningspunkterna (förutom punkten utan flödesuttag) genom att medelvärdet för de provade trycken, h_m , beräknas tillsammans med medelvärdet för flödetupphöjt till 1,85, $(Q^{1,85})_m$. Parametern A ges då av nedanstående uttryck.

$$A = \frac{h_0 - h_m}{(Q^{1,85})_m}$$

Beräkningen ska baseras på minst 4 olika flödesuttag (inklusive 0 l/min).

Figur 15: Bilaga B visar metodik för analys av kapacitetsprov

8.2 VAV P83

VAV P83 är en skrift som utgör gällande norm inom VA SYD i Malmö och används tillsammans med annan litteratur för att utforma, förnya och utföra beräkningar i allmänna vattenledningsnät.

8.3 Sprinklerhandboken

Sprinklerhandboken är en skrift som beskriver sprinklersystem och de relativt krångliga reglerna som reglerar dem. Först ges en beskrivning av olika delar av sprinklersystemet och olika typer av sprinklermodeller och systemtyper som existerar. En indelning etableras mellan konventionella sprinklers och specialsprinklers där den viktigaste skillnaden består av vilket regelverk som kontrollerar dimensioneringen. De allmänna systemtyperna är enkelutlösningssystem och gruppulösningssystem där enkelutlösningssystem är dominerande. De olika sprinklertyperna har också delats in i lämplighet efter riskklass. Sprinklerhandboken diskuterar klassificering av risker vilket beror

på verksamheten, gods-kategori och lagring. Detta anses inte vara viktigt för detta arbete. Sedan följer installationsanvisningar, dimensionering av sprinklersystem och information om vattenkällans koppling till sprinklersystemet. Där omnämns bland annat vilka olika vattenkällor som får användas och hur regelverket ibland kräver koppling till dubbla vattenkällor för sprinklersystem med hög riskklass. Värt att notera är att sprinklersystem med högre riskklass kräver att flödet ska kunna uppehållas en längre tid. Sprinklerhandboken ger även information om kapacitetsprovning men andra källor beskriver detta mer utförligt. Sprinklerhandboken inkluderar också avsnitt om dokumentation och hydrauliska beräkningar. I avsnittet med de hydrauliska beräkningarna ges några exempel på krav som måste uppfyllas vid dimensioneringen.

8.4 Rutiner från VA SYD

Här presenteras rutiner från VA SYD.

8.4.1 Anslutning av sprinklerservis till kommunal vattenledning

Vidare beskrivs processen för att utvärdera anslutningen av sprinklerservis till kommunal vattenledning i kommuner där VA SYD är VA-huvudman. Det första steget är att part som vill ansluta till ledningsnätet skickar in en blankett. I blanketten får parten specificera fastighetsbeteckning, maximalt sprinklerflöde vid brand och kapacitetsprov, typ av verksamhet och antalet våningar, övriga vattenuttag samt önskat vattentryck vid marknivå i sprinklerservisens förbindelsepunkt. Ansvarig på VA SYD undersöker området där fastigheten ligger och utvärderar nuvarande och framtida kapacitet på ledningsnätet med hjälp av en hydraulisk modell över området. Detta sker mer specifikt genom att hitta ledningen servisen bör ansluta till, lägga in det dimensionerande uttag som specificerats samt inkludera krav på släckvattenförbrukning i samband med detta. Vid kapacitetsprov ska följande uppnås;

- Tryck minst 25 meter vattenpelare i högsta tappställe (VAV P83, 2001)
- Max 1,3 m/s hastighet i dricksledningsnätet med eventuell ventilmanövrering

Vid händelse av brand ska följande uppnås;

- Tryck minst 25 meter vattenpelare i brandpost (VAV P83, 2001)
- Max 1,3 m/s hastighet i dricksledningsnätet med eventuell ventilmanövrering

8.5 Intervju med kontakt, sprinklerbesiktningsman

Ett möte med en kontakt på Eladministration Turesson & Olsson AB anordnades den 26 mars 2018 med syfte att få insyn i relevanta frågor angående kapacitetsprov i sprinkleranläggning. Kontakten beskriver i intervjun att reducerade kapacitetsprov inte utförs av sprinklerfirmorna han/hon arbetat med då detta inte beskrivs i regelverket. Från intervjun och kapacitetsprov framgår också att de regler som säger att kapacitetsprov ska utföras vid tiden då rörsystemet är mest belastat ofta frångås. Sprinklerbesiktningsmannen har även erfarenhet av att utföra återkommande kapacitetsprov i samma sprinklercentral och i de fall han/hon har varit med om stora ändringar i den tillgängliga kapaciteten har det berott på att ventiler i ledningsnätet inte varit fullt öppna. I övrigt bistod kontakten med att notera att fast monterade manometrar är svåra att läsa av när pumparna är i drift och att en digital kontrollmanometer bör användas. I en stor del av de kapacitetsprov som erhållits från olika sprinklerfirmor och använts som indata i arbetet så framgår det att avläsning skett på fast monterad monometer. Detta kan vara en bidragande orsak till att kapacitetsprovskurvorna svänger väldigt mycket, vilket påverkar resultatet. Fast monterade flödesmätare, menar kontakten, är lättare än manometrarna när det kommer till avläsning.

8.6 Intervju med kontakt på Bengt Dahlgren

Ett möte med kontakt på Bengt Dahlgren arrangerades den 14 maj 2018 delvis med bakgrund av en förklaring bakom metoden i bilaga B. Metoden är baserad på en enkel linjär regression och Hazen-Willams formel som används vid sprinklerprojektering. Regressionen är ämnad att förklara tryckfallet i sprinkleranläggning vid kapacitetsprov.

8.7 Resultat från analys med empiriska modeller

I detta avsnitt presenteras resultat från analys med empiriska modeller. I figurerna 16 och 17 visas resultatet för sprinkleranläggningar där hydraulisk modell utförts eller inte. Resultatet är indelat i kolumner där exponent i linjär regression och indata i form av mätpunkter varierar. Som jämförelse presenteras även resultatet av linjär och anpassning med andragsgradspolynom där en mätpunkt reducerats. Modeller benämnda "S" har sänkt exponent, modeller benämnda "H" har höjd exponent och siffrorna 1, 2 och 3 anger hur många mätpunkter som reducerats från analysen. Fetmarkerad text innebär att analysen använt sig av färre än tre mätpunkter.

	Resultat										
	Modell S1	Modell S2	Modell S3	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell H1	Modell H2	Modell H3	Lineq1	Poleq(2nd order)
Gradering											
120+											
110-120											
90-110											
80-90											
80-											
Objekt 1	102.09	104.78	107.76	97.65	98.21	99.32	92.05	88.05	83.47	105	96.45
Objekt 2	103.02	101.54	99.95	84.71	71.32	52.12	59.14	18.76	-53.02	107	104.37
Objekt 3											
Alla ventiler öppna	112.05	117.66	118.13	104.28	107.25	102.2	94.63	90.1	67.63	111	99.93
Ventil söder stängd	118.46	128.41	119.13	101.45	101.8	96.59	81.02	61.51	3.69	118	99.91
Objekt 4											
Alla ventiler öppna	150.52	167.14	198.03	109.75	102.6	95.67	58.18	-1.8	-164.7	155	69.19
Ventil öster stängd	155.09	174.91	196.87	123.37	128.47	135.4	87.39	62.95	29.33	155	134.91
Ventil väster stängd	153.45	176.32	212.66	119.79	126.4	125.9	80.08	55.8	-74.27	148	79.11
Objekt 5											
Utan pump	119.55	122.52	126.51	90.67	86.41	82.68	54.14	34.79	12.11	112	112.7
Med pump	154.79	166.04	177.04	129.97	138.65	148.07	98.57	99.51	101.43	141	106.4
Objekt 6	115.63	118.74	121.18	108.77	110.25	110.8	99.71	97.55	93.38	117	109.13
Objekt 7											
Ventil söder stängd	85.92	82.37	78.3	64.53	52.19	35.81	38.24	9.76	-32.81	96.6	97
Ventil norr stängd	97.35	96.53	96.4	88.79	85.08	81.64	78.31	69.29	58.73	108	103.43
Objekt 8, Prov 1											
Alla ventiler öppna	143.56	154.39	164.72	90.65	81.7	60.4	28.22	-12.8	-92.39	158	85.21
Ventil söder stängd	129.93	134.21	135.12	69.03	44.91	-3.37	-2.66	-74.23	-220.3	127	105.34
Ventil norr stängd	141.44	154.85	170.24	85.17	79.46	65.6	16.8	-21.59	-93.07	152	138.71
Objekt 8, Prov 2	159.37	170.86	178.66	141.97	151.59	157.66	118.75	123.05	122.53	149	115.34
Objekt 8, Prov 3	112.73	115.99	115.7	104.33	105.23	100.65	93.1	88.5	73.4	111	104.85

Figur 16: Analys av indata där hydraulisk modell utförts

Gradering											
120+											
110-120											
90-110											
80-90											
80-	Resultat										
	Modell S1	Modell S2	Modell S3	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell H1	Modell H2	Modell H3	Lineq1	Poleq(2nd order)
SC1	104.28	101.88	-	93.05	74.05	-	75.78	4.3	-	107.14	107.14
SC2											
Alla ventiler öppna	107.07	108.19	109.29	103.3	103.1	102.2	98.52	95.77	89.76	107.71	103.01
Ventil söder stängd	128.34	137.95	148.16	109.8	114.55	118.3	86.22	80.4	65.44	122.68	128.12
Ventil norr stängd	110.48	112.99	113.31	107.59	108.4	101.7	96.81	93.4	81.03	108.86	107.53
SC3	113.91	123.56	123.97	98.01	99.26	94.63	76.64	51.17	30.04	108.45	91.91
SC4											
Med pump	116.37	117.18	104.24	33.8	-3.31	-155	-92.52	-219.4	-894.3	133.65	126.98
Utan pump	164.04	180.08	197.87	63.64	43.31	-53.9	-89.97	-201.9	-772.9	175.43	88.23
SC5	103.84	105.06	105.88	100.67	101.16	101.2	96.53	95.61	93.94	104.38	142.87
SC6											
Med pump	109.49	111	111.61	98.46	96.57	92.63	84.15	74.83	59.45	109.65	104.15
Utan pump	104.24	103.34	102.18	94.09	84.02	83.18	80.92	67.45	49.01	105.41	105.25
SC7	103.4	104.35	105.35	100.98	101.38	101.74	98.04	97.28	96	104.11	101.57
SC8											
Ventil söder stängd m pump	100.02	94.9	82.57	89.53	73	30.49	75.33	33.79	-151.2	107.05	77.27
Ventil norr stängd m pump	105.87	101.01	88.37	85.02	61.3	0.68	56.8	-9.79	-223.3	113.43	110.35
Ventil söder stängd	102.59	103.64	105.74	99.91	99.72	101.5	96.27	92.72	93.89	101.55	100.23
Ventil norr stängd	76.52	57.75	13.98	34.75	-28.29	-197	-21.81	-182.33	-736.3	103.61	121.23
SC9											
Alla ventiler öppna	102.45	104.36	105.64	96	95.12	89.5	88.28	81.5	52.93	101.58	98.95
Ventil öster stängd	97.99	97	94.78	91.39	85.91	69.83	83.44	70.12	17.46	100	100
Ventil väst stängd	98.22	96.39	94.34	90.1	82.41	65.8	80.36	61.81	1.16	99.74	100.08
SC10	102.84	103.92	104.77	97.87	96.06	93.17	91.67	83.43	70.03	101.16	105.81
SC11											
Ventil söder stängd	100.53	100.25	100.08	98.1	97.02	95.54	95.09	92.65	88.5	97.87	102.24
Ventil norr stängd	101.95	102.4	102.3	98.41	97.98	96.18	94.04	92	86.65	101.52	103.13
SC12											
Alla ventiler öppna	111.57	109.42	109.11	102.42	90.67	83.42	89.07	50.5	16.85	115.99	89.39
Ventil söder stängd	113.55	115.57	109.6	102.3	99.15	70.6	86.1	70.44	-34.06	118.27	107.97
Ventil norr stängd	114.6	121.69	124.55	96.16	95.06	79.98	70.54	48.06	-32.69	113.27	108.76
SC13											
Utan pump	103.35	101.33	97.02	55.98	36.89	10.64	-2.67	-53.33	-125.25	119.41	120.25
Pump P1	141.61	151.58	162.87	96.64	96	96.42	38.72	15.61	-11.19	138.58	102.32
Pump P2	166.41	183.19	203.74	81.17	74.56	71.37	-25.14	-78.24	-136.93	153.93	84.48
SC14											
Med pump	128.36	138.94	141.56	113.65	122.13	119.1	93.23	92.06	68.99	125.12	127.37
Utan pump	99.67	100.81	100.5	87.27	81.56	71.54	70.05	47.14	7.03	102.39	90.56
Öppet söder med pump	128.36	136.08	141.56	113.65	117.39	119.1	93.23	83.99	68.99	124.46	116.81
Öppet öster med pump	126.05	137.04	146.48	100.23	102.58	104.4	64.38	40.98	10.56	122.8	65.68
Öppet söder utan pump	102.78	103.96	103.64	90	84.11	73.77	72.24	48.61	7.25	105.59	93.39
Öppet öster utan pump	145.36	151.48	137.02	59.17	16.5	-78	-80.53	-224.86	-556.9	157.08	123.28
SC15											
Med pump	186.96	230.3	252.93	88.49	82.15	88.49	-21.37	-135.92	-365.41	179.11	107.42
Utan pump	207.33	245.84	232.37	156.72	173.17	88.57	94.36	37.37	-301.5	194.35	142.83

Figur 17: Analys av indata utan hydraulisk modell

Figur 18 presenterar resultatet från alla prov där analys med empiriska modeller utförts. Resultatet presenteras i kolumner där exponent i linjär regression modifierats samt indata i form av mätpunkter.

Gradering												
120+												
110-120												
90-110												
80-90												
80-												
	Modexp1.2_1	Modexp1.2_2	Modexp1.2_3	Modell1	Modell2	Modell3	Modexp2.6_1	Modexp2.6_2	Modexp2.6_3	Lineq1	Poleq(2nd order)	
Mängd prov	18	22	22	4	6	5	0	1	1	19	10	
Mängd prov	11	7	5	3	3	3	1	0	0	10	4	
Mängd prov	21	21	20	30	21	17	16	11	5	23	30	
Mängd prov	1	1	2	8	9	7	9	6	4	0	4	
Mängd prov	1	1	2	7	13	19	26	34	41	0	4	
Totalt	52	52	51	52	52	51	52	52	51	52	52	

Figur 18: Översiktligt resultat av analys med empiriska modeller

8.8 Fler resultat från analys av återkommande prover

Sprinkleranläggning B

I sprinkleranläggning B undersöktes kapacitetsprov i fallen med och utan pump.

Utan pump

Från kapacitetsprovet som togs 2016 fås följande tabell.

Tabell 15: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2016 och kapacitetsprov 2016

Uppmätt minimitryck 2016 (mvp)	Uppskattat minimitryck 2016 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
28	28,6	102

Modellen som erhålls från kapacitetsprovet 2016 uppskattar minimitrycket för kapacitetsprovet 2017 enligt tabell 16 nedan.

Tabell 16: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2016 och kapacitetsprov 2017

Uppmätt minimitryck 2017 (mvp)	Uppskattat minimitryck från prov 2016 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
24	18,1	75

Med pump

Från kapacitetsprovet som togs 2016 noteras följande från analysen.

Tabell 17: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2016 och kapacitetsprov 2016

Uppmätt minimitryck 2016 (mvp)	Uppskattat minimitryck 2016 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
68	75,2	110,6

Med modellen framtagen från kapacitetsprovet 2016 uppskattades minimitrycket från kapacitetsprovet 2017 enligt tabellen nedan.

Tabell 18: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2016 och kapacitetsprov 2017

Uppmätt minimitryck 2017 (mvp)	Uppskattat minimitryck från prov 2016 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
45	48,1	107

Sprinkleranläggning C

I sprinkleranläggning C undersöks kapacitetsprov i fallen med och utan pump.

Utan pump

Från kapacitetsprovet som togs 2015 noteras följande från analysen.

Tabell 19: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2015 och kapacitetsprov 2015

Uppmätt minimitryck 2015 (mvp)	Uppskattat minimitryck 2015 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
36	37,2	103

Modell framtagen från kapacitetsprovet 2015 uppskattar minimitrycket från kapacitetsprovet 2018 enligt tabell 20.

Tabell 20: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2015 och kapacitetsprov 2018

Uppmätt minimitryck 2018 (mvp)	Uppskattat minimitryck från prov 2015 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
36	36,2	100,6

Med pump

Från kapacitetsprovet med pump som togs 2015 noteras följande från analysen.

Tabell 21: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2015 och kapacitetsprov 2015

Uppmätt minimitryck 2015 (mvp)	Uppskattat minimitryck 2015 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
95	94,9	100

Med modellen framtagen från kapacitetsprovet 2015 uppskattades minimitrycket från kapacitetsprovet 2018 enligt tabellen nedan.

Tabell 22: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2015 och kapacitetsprov 2018

Uppmätt minimitryck 2018 (mvp)	Uppskattat minimitryck från prov 2018 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
93	95,8	103

Sprinkleranläggning D

Från kapacitetsprovet som togs 2014 noteras följande från analysen.

Tabell 23: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2014 och kapacitetsprov 2014

Uppmätt minimitryck 2014 (mvp)	Uppskattat minimitryck 2014 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
23	24,1	104,7

Med modellen framtagen från kapacitetsprovet 2014 uppskattades minimitrycket från kapacitetsprovet 2017 enligt tabellen nedan.

Tabell 24: Jämförelse av minimitryck enligt modell 2017 och kapacitetsprov 2017

Uppmätt minimitryck 2017 (mvp)	Uppskattat minimitryck från prov 2014 (mvp)	Procent av uppmätt minimitryck (%)
22,5	25	111

8.9 Ingående resultat från hydraulisk modell

I denna del av appendix presenteras övriga resultat från den hydrauliska modelleringen.

8.9.1 Lund

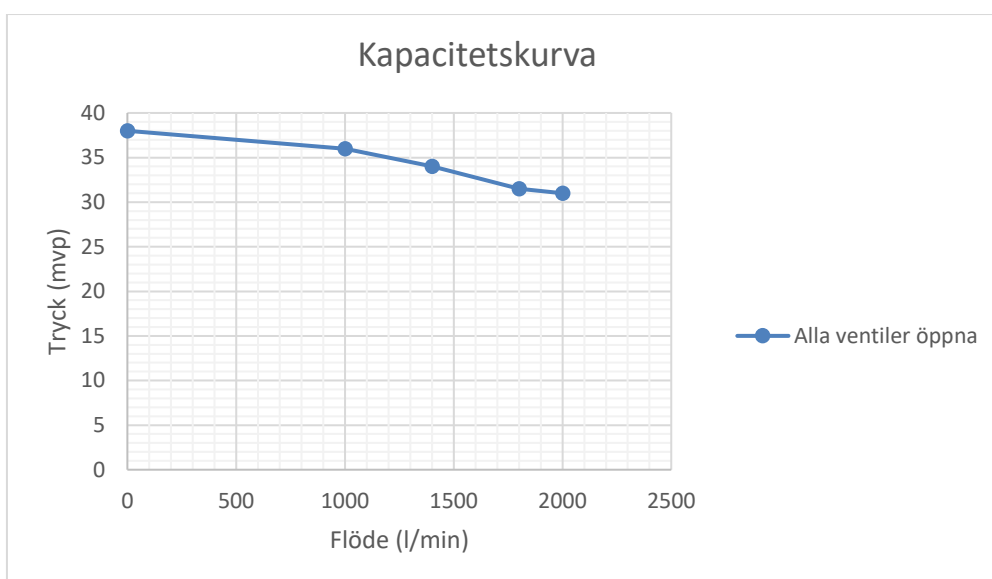
Objekt 1

Objekt 1 ligger i Lunds låga tryckzon. Ledningsdimensionen i gatan och i sprinklerservisen är 160 mm av ledningsmaterialet polyeten (PE). Ledningen i gatan är från 2001, marknivån vid sprinklerservisen är + 36,9 m enligt RH2000 (Rikets höjdsystem) och kapacitetsprovet utfördes mellan klockan 08.00-09.00 den 21 november 2017. I tabell 25 visas trycknivån enligt den hydrauliska modellen vid denna tid.

Tabell 25: Resultat från hydraulisk modell – objekt 1

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000)
72,4	67,9

Genom att subtrahera marknivån vid sprinklerservisen från trycknivån i nolluttaget erhålls tryckhöjden i sprinklerservisen vid marknivå. Beräkningen ger svaret 35,5 mvp (meter vattenpelares tryck). Tryckfallet som den hydrauliska modellen registrerar utläses som skillnaden mellan trycknivån för noll- och maximiuttaget. Detta beräknas till 4,5 mvp enligt tabell 25 ovan. Figur 19, resultatet av ett kapacitetsprov i objekt 1, registrerar en tryckförlust på cirka 7 mvp vid samma flöde.



Figur 19: Kapacitetsprov – objekt 1

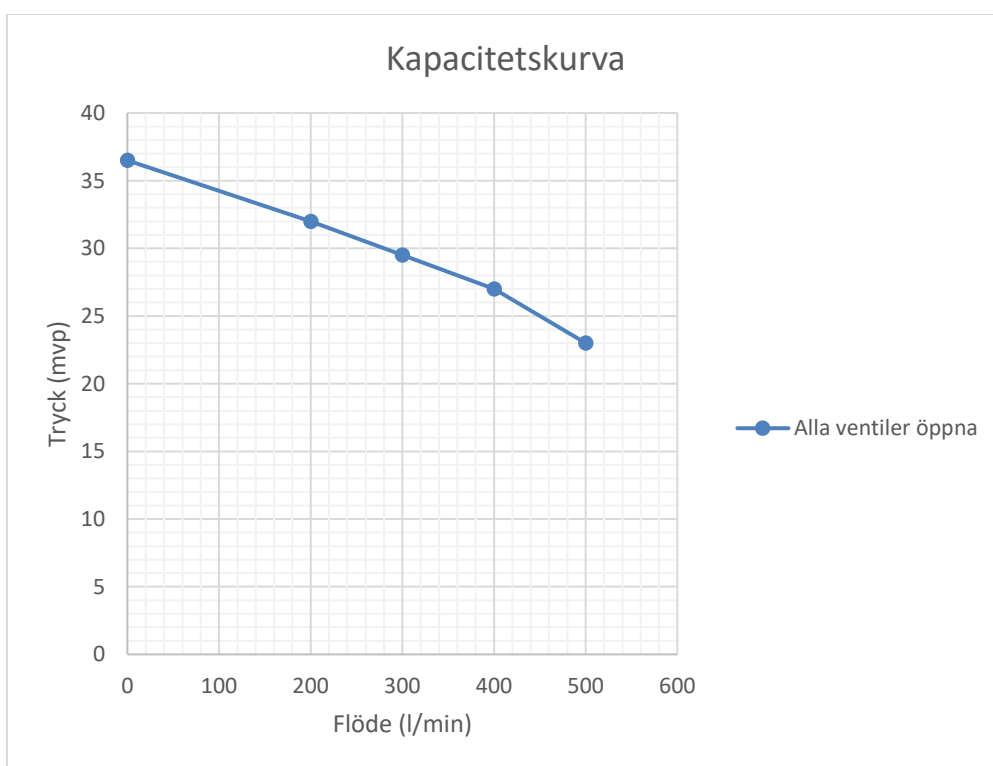
Objekt 2

Objekt 2 ligger vid Linero i Lunds höga tryckzon. Ledningsdimensionen i gatan är 110 mm av ledningsmaterialet polyvinylklorid (PVC) från 1988 och sprinklerservisen är 110 mm av ledningsmaterialet PE. Marknivån vid sprinklerservisen är + 65,6 m enligt RH2000 och kapacitetsprovet utfördes runt klockan 10.30 den 13 oktober 2017. Tabell 26 visar trycknivån enligt den hydrauliska modellen vid denna tid.

Tabell 26: Resultat från hydraulisk modell – objekt 2

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000)
107	104,9

Den höga trycknivån förklaras av att sprinkleranläggningen ligger i Lunds höga tryckzon. Tryckhöjden i sprinklersystemet i marknivå beräknas till 41,4 mvp efter information om höjdnivå och trycknivå för nolluttag. Tryckfallet i det allmänna ledningsnätet är 2,1 mvp enligt den hydrauliska modellen. Kapacitetsprovet vid objekt 2 i figur 20 visar resultatet från kapacitetsprov vid objekt 2. Tryckfallet som registrerades var 14 mvp i kapacitetsprovet.



Figur 20: Kapacitetsprov – objekt 2

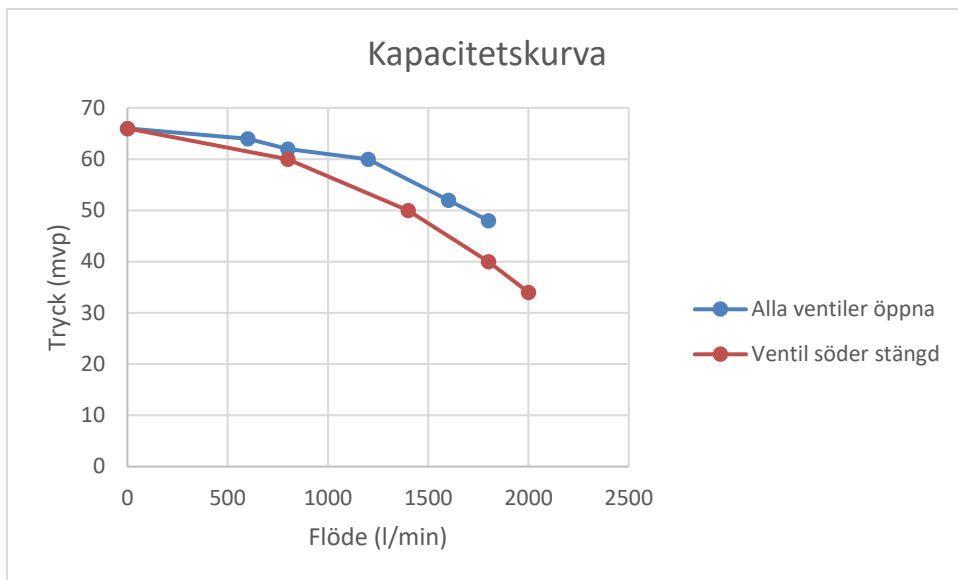
Objekt 3

Objekt 3 ligger i Lunds centrum i Lunds höga tryckzon. Ledningsdimensionen i gatan är 225 mm av PE från 2012 och sprinklerservisen är 200 mm av PE. Marknivån vid sprinklerservisen är + 41,7 m enligt RH2000 och kapacitetsprovet utfördes klockan 07.45 den 22 december 2015. Kapacitetsprovet var ett förberedande kapacitetsprov och utfördes troligtvis i närliggande brandpost. Tabell 27 visar trycknivån enligt den hydrauliska modellen vid denna tid och för olika ventilmanövreringar.

Tabell 27: Resultat från hydraulisk modell – objekt 3

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000) Allt öppet	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000) Söder stängd
107,1	102,4	96,9

Tryckhöjden beräknas till 65,4 mvp och tryckfallet i det allmänna ledningsnätet till 4,7 mvp när alla ventiler är öppna. När den södra ventilen är stängd blir tryckfallet 10,2 mvp. Figur 21 visar kapacitetsprovet från objekt 3 och där framgår att tryckhöjden i sprinklercentral vid nolluttag är ungefär 68 mvp. Tryckfallet när alla ventiler var öppna uppskattas enligt figur 21 till 18 mvp. Tryckfallet när den södra ventilen är stängd uppskattas till 26 mvp enligt samma figur. Maximiuttag motsvarar 1800 l/min i bägge fallen.



Figur 21: Kapacitetsprov – objekt 3

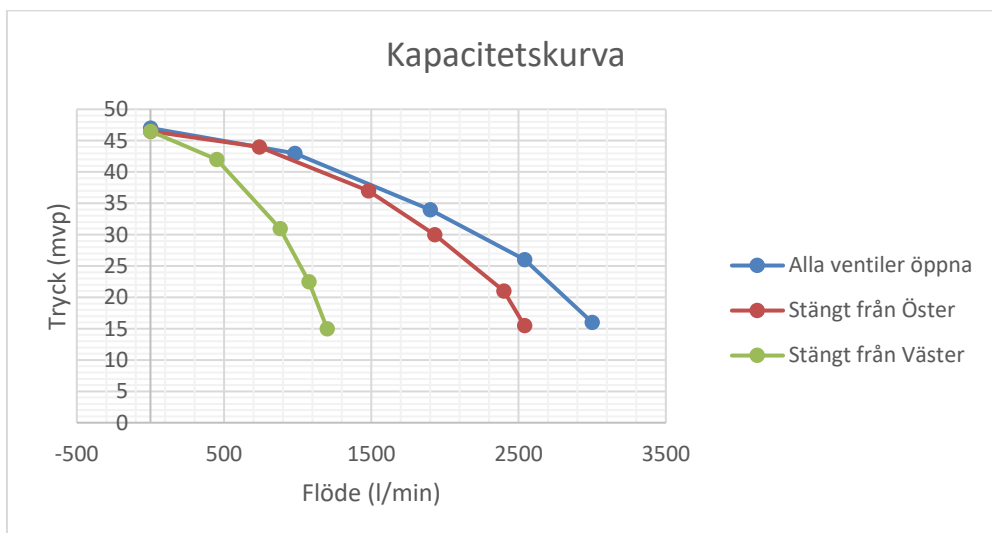
Objekt 4

Objekt 4 ligger på Sparta i Lunds höga tryckzon. Ledningsdimensionen i gatan är 150 mm av gjutjärn från 1960 och sprinklerservisen är 100 mm av segjärn. Marknivån vid sprinklerservisen är + 60,1 m enligt RH2000 och kapacitetsprovet utfördes mellan klockan 10.00–11.00 den 22 september 2014. Tabell 28 visar trycknivån enligt den hydrauliska modellen vid denna tid och för olika ventilmanövreringar. Det är viktigt att notera att i detta fall gjordes den hydrauliska modellen för ett uttag på 1200 l/min då denna underlättade datainsamling.

Tabell 28: Resultat från hydraulisk modell – objekt 4

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000) Allt öppet	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000) Öster stängd	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000) Väster stängd
107,9	105,8	105,3	101,3

Med trycknivån vid nolluttag fastställd uppskattas tryckhöjden i sprinklercentral till 47,8 mvp i marknivå. Tryckfallet enligt den hydrauliska modellen är 2,1 mvp för alla ventiler öppna, 2,6 mvp vid ventil Öster stängd och 6,6 mvp vid ventil Väster stängd. Det uppskattade tryckfallet från kapacitetsprovet var 9 mvp för alla ventiler öppna, 11 mvp vid ventil Öster stängd och 32 mvp vid ventil Väster stängd. Figur 22 visar tillhörande kapacitetsprov.



Figur 22: Kapacitetsprov – objekt 4

8.9.2 Malmö

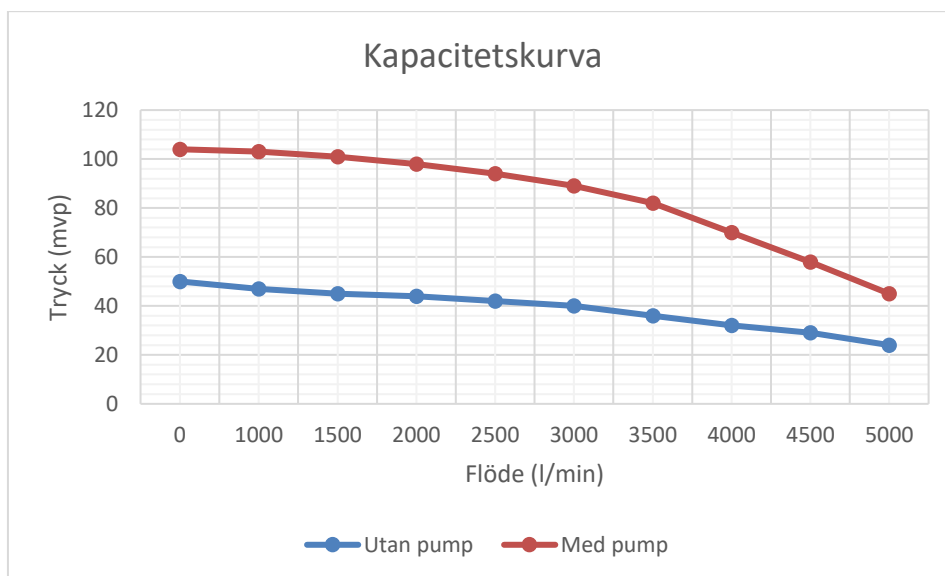
Objekt 5, sprinkleranläggning B

Objekt 5, samma som sprinkleranläggning B, ligger vid hamnen i Malmö. Ledningsdimensionen i gatan är 200 mm av gjutjärn från 1953 och sprinklerservisen är 160 mm av PE. Marknivån vid sprinklerservisen är + 2,4 m enligt RH2000 och kapacitetsprovet utfördes klockan 13.00 den 7 december 2017. Tabell 29 visar trycknivån enligt den hydrauliska modellen vid denna tid.

Tabell 29: Resultat från hydraulisk modell – objekt 5

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000)
48,2	46

Tryckhöjden beräknas till 45,8 mvp i marknivå och tryckfallet i det allmänna ledningsnätet till 2,2 mvp. Kapacitetsprovet i figur 23 visar att trycknivån vid nolluttag är ungefär 50 mvp. Tryckfallet uppskattas till 20 mvp i kapacitetsprovet. I figur 23 registrerades även en kurva för då pump var inkopplad men då den hydrauliska modellen bara tar hänsyn till trycket utan pump så ignorerades denna kurva.



Figur 23: Kapacitetsprov – objekt 5

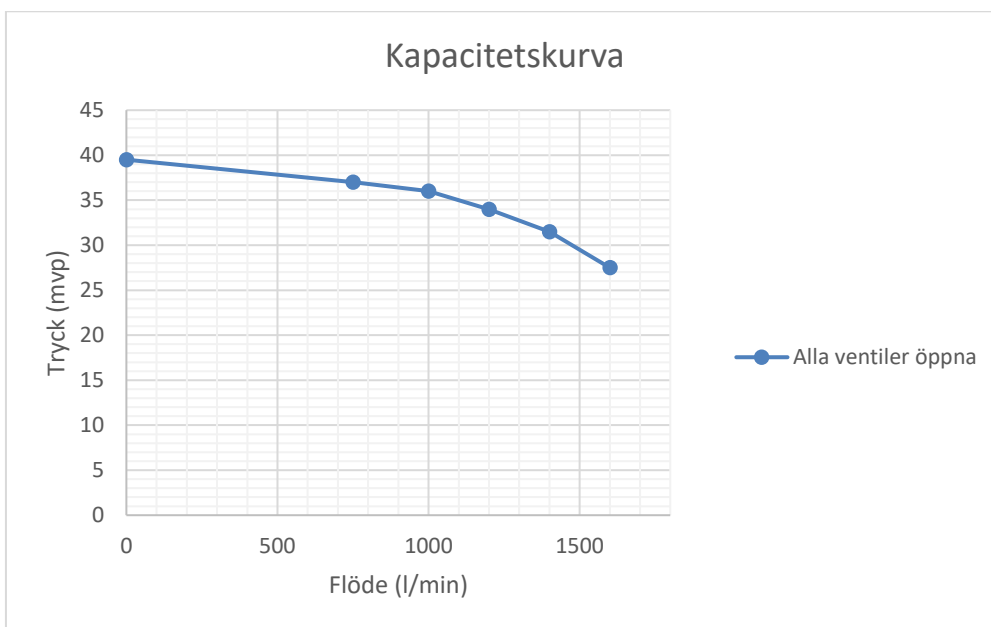
Objekt 6

Objekt 6 ligger i Bunkeflo, söder om Malmö. Ledningsdimensionen i gatan är 250 mm av materialet PE från 2002 och sprinklerservisen är 160 mm av materialet PE. Marknivån vid sprinklerservisen är + 8 m enligt RH2000 och kapacitetsprovet utfördes klockan 17.00 den 30 maj 2017. Tabell 30 visar trycknivån enligt den hydrauliska modellen vid denna tid.

Tabell 30: Resultat från hydraulisk modell – objekt 6

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000)
49,3	48,4

Tryckhöjden beräknas till 41,3 mvp och tryckfallet i det allmänna ledningsnätet till 0,9 mvp från den hydrauliska modellen. figur 24 visar att vattentrycket vid nolluttag är ungefär 40 mvp. Tryckfallet uppskattas till 12,5 mvp enligt samma figur.



Figur 24: Kapacitetsprov – objekt 6

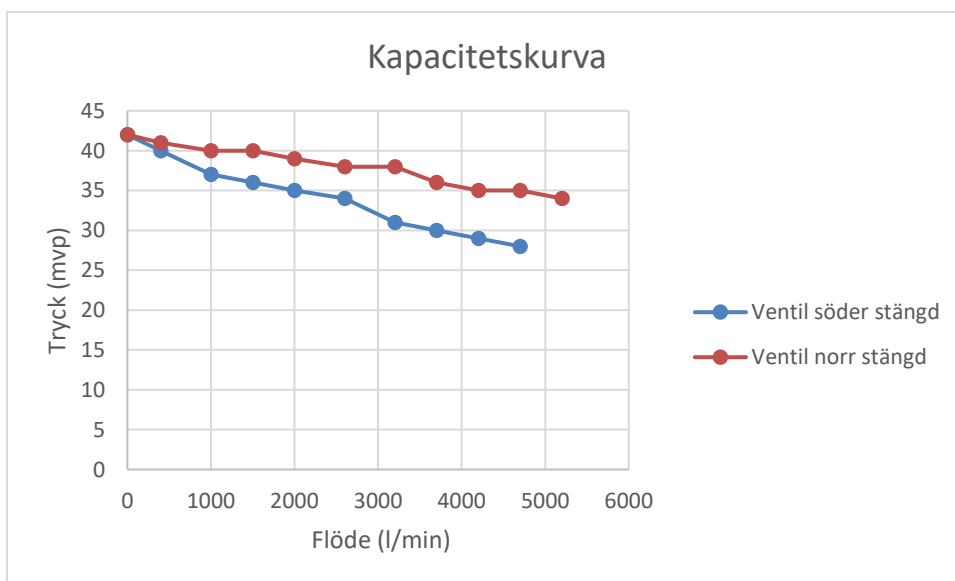
Objekt 7

Objekt 7 ligger i hamnen i Malmö. Ledningsdimensionen i gatan är 355 mm av ledningsmaterialet PE från 2013 och sprinklerservisen är 180 mm av materialet PE. Marknivån vid sprinklerservisen är + 3 m enligt RH2000 och kapacitetsprovet utfördes klockan 10.00 den 25 augusti 2016. Tabell 17 visar trycknivån enligt den hydrauliska modellen vid denna tid och för olika ventilmanövreringar.

Tabell 31: Resultat från hydraulisk modell – objekt 7

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000) Söder stängd	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000) Norr stängd
47,9	44,7	42,7

Från den hydrauliska modellen kan tryckhöjden beräknas till 44,9 mvp och tryckfallet i det allmänna ledningsnätet till 3,2 mvp för ventil Söder stängd och 5,2 mvp för ventil Norr stängd. Figur 25 visar att vattentrycket vid nolluttag är ungefär 42 mvp. Tryckfallet uppskattas till 7 mvp för ventil Norr stängd och 14 mvp för ventil Söder stängd utifrån kapacitetsprovet.



Figur 25: Kapacitetsprov – objekt 7

Objekt 8, sprinkleranläggning A

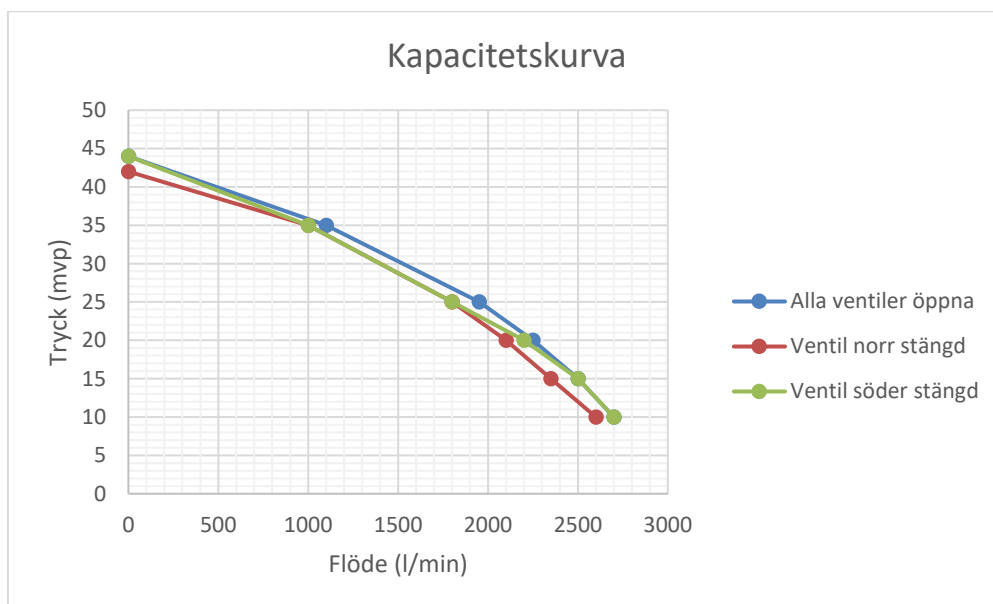
Objekt 8, vilket även är samma som sprinkleranläggning A som tidigare nämnts, ligger i Malmö hamn. Ledningsdimensionen i gatan är 250 mm av materialet gjutjärn från 1870 och sprinklerservisen är 160 mm av materialet PE. Marknivån vid sprinklerservisen är + 2,9 m enligt RH2000. I denna sprinklercentral utfördes tre prover och alla kommer analyseras.

Prov 1

Det första kapacitetsprovet utfördes den 1 oktober 2013 mellan klockan 10.00–11.00. Resultatet för den hydrauliska modellen vid denna tidpunkt presenteras nedan.

Tabell 31: Resultat från hydraulisk modell – objekt 8 – Prov 1

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000)
48	46,5



Figur 26: Kapacitetsprov 1 – objekt 8

Tryckfallet vid maximiflöde bedöms enligt figur 26 till 33 mvp. Enligt hydraulisk modell är tryckfallet för denna tid och flöde 1,5 mvp i ledningsnätet enligt tabell 18.

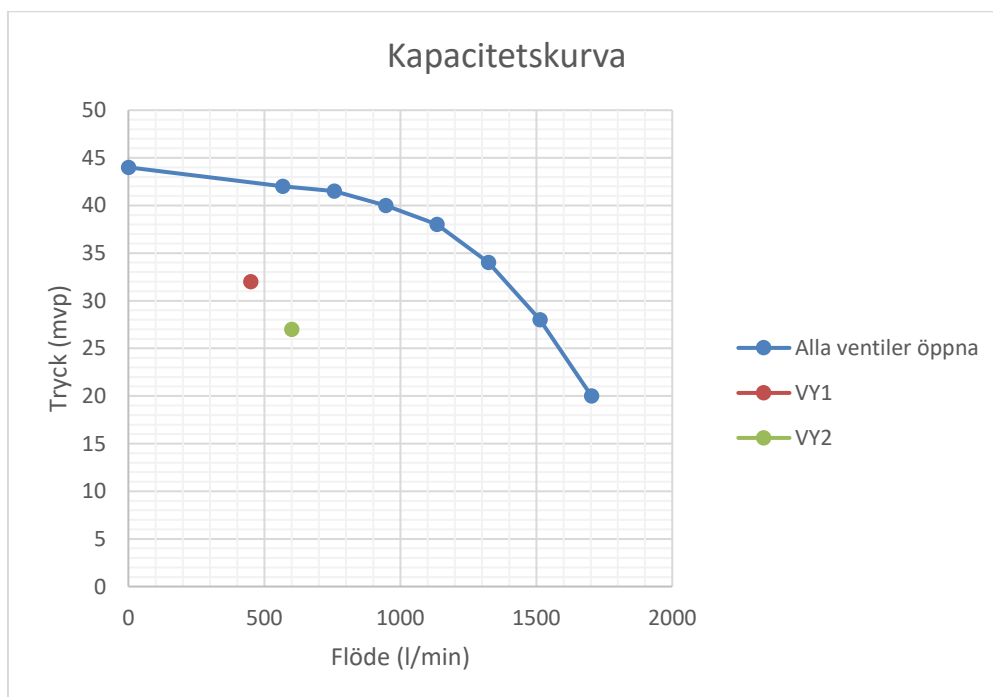
Prov 2

Det andra kapacitetsprovet gjordes den 29 juni 2016 runt klockan 14.25 på eftermiddagen.

Tabell 32: Resultat från hydraulisk modell – objekt 8 – Prov 2

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000)
49,1	47,3

Den hydrauliska modellens resultat från tabell 33 indikerar ett tryckfall på 1,8 mvp. Samtidigt indikerar kapacitetsprovet enligt figur 27 ett tryckfall på 10 mvp vid 1300 l/min vilket maximiuttaget i tabell 33 är baserat på.



Figur 27: Kapacitetsprov 2 – objekt 8

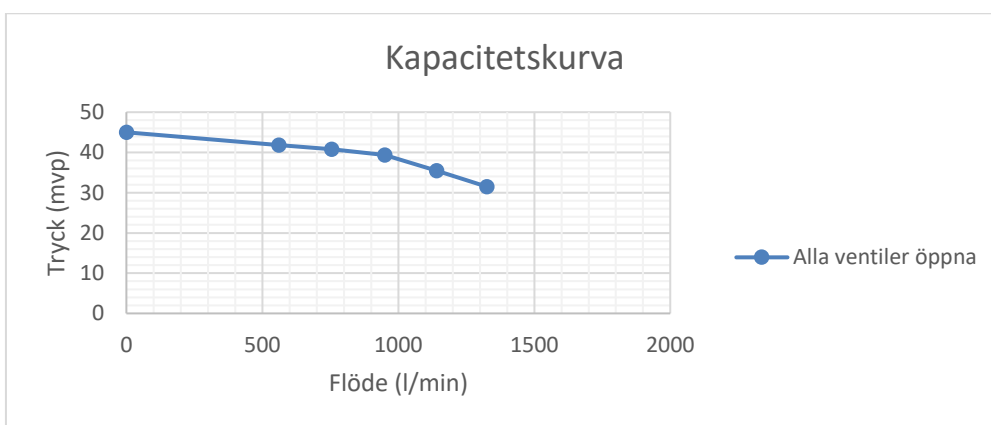
Prov 3

Det tredje och sista kapacitetsprovet utfördes den 20 oktober 2017 vid 09.30.

Tabell 33: Resultat från hydraulisk modell – objekt 8 – Prov 3

Trycknivå nolluttag (m enligt RH2000)	Trycknivå maximiuttag (m enligt RH2000)
47,7	47,3

Ett tryckfall på 0,4 mvp uppmättes enligt den hydrauliska modellen över denna tidsperiod enligt tabell 34. Figur 28, kapacitetsprovet vid samma tid, ger ett tryckfall på 13,5 mvp över samma flöde.



Figur 28: Kapacitetsprov 3 – objekt 8