



LUNDS
UNIVERSITET

Att underhålla det man inte ser

Förbättrad statusbedömning av ledningar för
effektivt underhållsarbete inom fjärrvärme

Emma Lundberg

Examensarbete på Civilingenjörsnivå
Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola | Lunds Universitet



Att underhålla det man inte ser

Förbättrad statusbedömning av ledningar för effektivare
underhållsarbete inom fjärrvärme

Emma Lundberg

Augusti 2024, Lund

Föreliggande examensarbete på civilingenjörsnivå har genomförts vid Avd. för Energihushållning, Inst för Energivetenskaper, Lunds Universitet - LTH samt vid Öresundskraft AB i Helsingborg.Handledare på Öresundskraft AB: Magnus Ohlsson; handledare på LU-LTH: Kerstin Sernhed; examinator på LU-LTH: Marcus Thorn.

Examensarbete på Civilingenjörsnivå

ISRN LUTMDN/TMHP-24/5598-SE

ISSN 0282-1990

© Emma Lundberg 2024

Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Universitet - Lunds Tekniska Högskola
Box 118, 221 00 Lund

www.energy.lth.se

Sammanfattning

Idag förlitar många svenska bostäder sig på fjärrvärme för att leverera värme till bostadsuppvärmning och varmvatten året om. Värme levereras till kunder i nedgrävda fjärrvärmenät som byggts ut sedan 1950-talet. Vål nedgrävda kan de inte observeras med blotta ögat vilket resulterar i att skador oftast upptäcks då ledningar går sönder, främst på grund av korrosion av ställedningarna. Att bygga, byta och underhålla fjärrvärmenät är dyrt. 2015 estimerade *Energiföretagen* att svensk fjärrvärme har ett nyskaffningsvärde på ungefär 150 miljarder kronor. Eftersom stora delar av dessa nät fortfarande fungerar har fjärrvärmeföretag varken behov eller råd att byta alla ledningar. Däremot finns inget sätt att i förväg veta vilken ledning som kräver underhåll eller när det behöver genomföras. För att kunna underhålla dessa åldrande och svårobserverande ledningarna på ett mer ekonomiskt effektivt sätt behövs därför nya metoder för statusbedömning av ledningar. Det här arbetet har gjorts i samarbete med Öresundskraft AB i Helsingborg. Öresundskraft är ett svensk, väletablerat fjärrvärmebolag som byggt ut sitt fjärrvärmenät sedan 1964. Idag har de cirka 72 mil ledningar med varierande konstruktion som de förvaltar och underhåller. För att få bättre inblick i tillståndet av deras ledningar har 538 Smarta Aktiva Boxar (SAB) installerats i nedstigbara kammare. Dessa kan mäta bland annat luftfuktighet och temperatur i kammare. Genom att analysera den insamlade datan hoppas man lära sig mer om systemet och hur det kan underhållas effektivt.

I studien undersöks om olika typer av kulvertdesigner uppvisar olika karaktäristik när det gäller luftfuktighet och temperatur i kammare. Detta kan i så fall informera om olika kulvertkonstruktioners förmåga till ventilering, vilket är viktigt då en fuktig miljö kan utgöra en korrosiv miljö för ledningarnas stålkomponenter. Dessutom undersöktes olika förklaringar till vad som skulle kunna påverka olika kulvertkonstruktioner att uppvisa olika beteenden i luftfuktighet i kammare och temperatur i kammare. Konstruktionstyperna som undersöktes var betongkulvertar samt eternitkulvertar med polyuretanstöd, metallstöd, cellbetongstöd och sandwichkonstruktion. Öresundskrafts data under perioden maj 2022 till december 2023 användes. Arbetet genomfördes i olika faser. Först observerades kammarmätningar av temperatur och luftfuktighet i superpositionsdiagram i förhållande till utomhustemperatur och nederbörd. Därefter användes observationerna för att formulera fyra egenskaper som uttryckte olika beteenden som ansågs vara kopplade till luftfuktighetsnivån i kammare, och därmed korrosionsförutsättningarna i kammare och kulvert. Därefter kategoriserades respektive SAB efter vilket beteende deras mätvärden uppvisar i de fyra egenskaperna; *Tar inte in fukt*, *Ventilerar ut fukt*, *Samvariation med utomhustemperatur* och *Luftfuktigheten är under 60 %*. Varje egenskap kategoriserades i en av tre kategorier, låg, medel och hög, där intervallen för varje kategori bestämdes genom analys av tillgänglig data.

Resultatet visar att mätvärden från SAB:ar kan uppvisa olika mönster beroende på vilka typer av kulvertar de är anslutna till. Olika kulvertars konstruktioner tros tillåta olika mycket luftflöde, något som observerats förbättra eller hämma ledningens ventileringsförmåga. I blockerade kulvertar sker förändringar i luftfuktighet snabbare men förändringen är begränsad till kammaren eftersom luftens färd ut i kulvertarna är blockerad. I öppnare kulvertar sker förändring långsammare och klimatet är mer stabilt, men det innebär även att fukt som tränger in tar längre tid på sig att ventileras ut. Kammare som angränsar till både kulvertar och modernare ledningar jämfördes med kammare som endast är anslutna till en sorts kulvert. Resultatet visar att ingen stor skillnad upptäcktes mellan dessa typer av kammare i de grupper där tillräckligt stort urval för att göra analysen existerade. En stor insikt är att antal ventilationstorn ses ha stor inverkan på ledningens ventilationsförmåga, där ventilationen förbättras när två ventilationstorn används istället för ett ventilationstorn. Genomgående i studien observeras kulvertar med sandwichkonstruktion vara högst avvikande och särskilja sig från resterande kulverttyper som analyseras. Fortsatta undersökningar krävs för att undersöka varför dessa beteenden uppstår och om de bör bytas eller alternativa åtgärder kan utnyttjas.

Möjliga fortsättningar av arbetet skulle kunna inkludera att använda datahantering för att klassificera kulvertar med olika attribut. Framtida förbättringar in-

kluderar även att förbättra metoden samt göra den mer pålitlig genom automatiserade beräkningar som även har användningsområden för t.ex. larmsignaler inom driftarbetet. Eftersom insamling och klassificering av data under arbetets gång har varit tidskrävande nämns också behovet av att ha lättillgängliga data för framtida arbeten. I dagsläget finns en substantiell del av informationen i Öresundskraft program. Informationen behöver dock extraheras och omvandlas till data i ett praktiskt format för datahantering.

Abstract

Swedish housing relies heavily on district heating to supply heat for residential heating and hot water all throughout the year. Heat is supplied using piping networks in the ground that has been continuously built since the 1950's. When underground, the pipeline is obscured. Thus, damaged pipes are only discovered when they malfunction, mainly caused by corrosion in steel components. Constructing and maintaining district heating pipeline networks is expensive. In 2015 *Energiföretagen* assessed that the Swedish district heating infrastructure has a replacement cost of around 150 billion Swedish crowns. Since most of the pipeline still is in good condition there is no need and too great a cost to replace all pipelines. However, there is no way of knowing which pipeline needs to be replaced and when it needs to happen. In order to maintain these old and obscured culverts in an economically reasonable way, new methods are needed to assess their status. This study has been carried out in collaboration with Öresundskraft AB in Helsingborg. They are a Swedish district heating company that started establishing district heating in Helsingborg in 1964. Today, they maintain around 720 km of pipelines of varying types of culverts. To gain better insight into the status of their system they have installed 538 Smart Active Boxes (SAB) in accessible chambers. These can measure for example the air temperature and air humidity in the chamber. By using this data Öresundskraft hopes to learn more about their district heating network and ways to maintain it more efficiently.

This study investigates how different types of culvert designs demonstrates different characteristics in regard to humidity and temperature measured in the chambers. These patterns could also inform if the construction of the culvert has an impact on culverts ability to self-ventilate, an important feature since humidity can cause a corrosive environment that corrodes steel components. Also, possible hypothesis for mechanisms that could explain why different constructions show different patterns in the humidity and temperature data measured in the chamber. The types of culverts examined was cement culverts as well as asbestos cement culverts with either polyurethane support, metal support, cellular concrete support or a construction called sandwich framework. The data collected between May 2022 and December 2023 was used. The work was carried out in multiple steps. First, using superposition of the humidity outside and in the chamber as well as the amount of rainfall occurring through the period. Secondly, the observations were used to formulate four categories that encompasses behaviors that were associated with the humidity in the chamber, and therefore the risk of corrosion in the chamber and culvert. Subsequently, each SAB was then categorized based on the behavior of the data from respective SAB in these four categories; *Does not let in humidity*, *Removes humidity through ventilation*, *Varies in conjunction with outside temperature* and *Humidity in chamber is below 60 %*.

The results indicate that SABs display different patterns in their measurements depending on which culverts they are connected to. Different culvert constructions allow varying amounts of air flow, something that impacts the culvert's ability to ventilate and remove moisture. In blocked culverts changes happen faster, although the ventilation is limited to the chamber as the culvert supports blocks the air from entering the culvert. In more open culverts change is slower and the climate less reactive to outside change. It does however come at a cost since humidity that leaks in takes longer to remove. Chambers connected to piping of both culverts and more modern piping was not observed to have significant differences compared to the corresponding chambers only connected to one culvert type, although the comparison could not be conducted for every type of culvert construction due to limitations in the data. One significant insights is that the number of ventilation towers has a significant effect of the culverts ability to ventilate, where two ventilation towers often is connected to increased speed and amount of humidity removed from the piping network compared to the use of one ventilation tower. Throughout this study culverts with sandwich framework has been observed to deviate in behavior compared to the rest of the culvert types. Further investigation would be needed to understand why and determine if it is more beneficial to replace them or implement alternative measures.

It is possible that this study could be carried on as base for use the data to model

and classify these culverts further. Future improvements include to enhance the method as well as automatize the calculations. These methods could also have use in implementing alert messages to supply maintenance staff with important insights about the overall system as well as individual chambers. During the work, data collection and categorizing has been time-consuming. Therefore, saving this data easily accessible at Öresundskraft to be used in future studies and possible data modelling is needed. Plenty of this information already exists in Öresundskraft's systems but it is necessary to translate it into a more practical format for programming and data handling.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte	3
1.1.1	Frågeställning	3
2	Teori	5
2.1	Begreppet kulvert	5
2.2	Betongkulvert	5
2.3	Eternit	6
2.3.1	Metallstöd	7
2.3.2	Cellbetong	8
2.3.3	Polyuretanstöd	8
2.3.4	Sandwichkonstruktion	9
2.4	Kammare	9
2.5	Luftfuktighet	11
3	Metod	12
3.1	Datainhämtning och Datahantering	12
3.2	Dataanvändning	14
3.3	Matematisk modell av luftfuktighet	17
4	Resultat och Analys	18
4.1	Mönster i Luftfuktighetsmätningar	18
4.2	Matematisk modell av luftfuktighet	21
4.3	Kategorisering av egenskaper i luftfuktighetsmätningar	22
4.3.1	Singelledning och Dubbelledning	22
4.3.2	Ventilationstorns påverkan på luftfuktighet i kulvertar	24
4.3.3	Påverkan angränsande kulverttyper har på kammairluftfuktigheten	26
4.4	Mönster för kammartemperaturen	29
4.4.1	Medeltemperatur i kammare	30
5	Diskussion	31
5.1	Vad betyder resultatet?	31
5.2	Validitet av resultat	35
5.3	Användning av resultatet	37
5.4	Förslag på framtida utveckling	37
6	Slutsats	39

Figurer

1	Schematisk bild av en betongkulvert, inspirerad av ritningen i Olof Olssons arbete (2022).	6
2	Illustration av hur eternitstöd respektive balkar håller upp medieröret i en eternitkulvert.	6
3	Genomskärning av eternitkulvert med metallstöd, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)	7
4	Insidan av en eternitkulvert med dubbelledning där isoleringen är intakt.	7
5	Insidan av en eternitkulvert med dubbelledning där isoleringen skadats och fallit ner.	7
6	Genomskärning av eternitkulvert med cellbetongstöd, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)	8
7	Genomskärning av eternitkulvert med polyuretanstöd, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)	9
8	Genomskärning av eternitkulvert med sandwichkonstruktion, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)	9
9	Skiss av kammare ovanifrån, inspirerad av ritningen av kammaren 54001-00 hämtad från Öresundskrafts Trimble.	10
10	Ritning över kammare från sidan för hur luft färdas genom ventilationsstorn när dubbla ventilationstorn existerar.	10
11	Förhållandet mellan relativ luftfuktighet och temperatur illustrerat för tre olika nivåer av absolut luftfuktighet (AF). Eftersom relativ luftfuktighet beror på absolut luftfuktighet kommer valet av AF påverka kurvans placering. Bilden är hämtad från Olof Olssons examensarbete (2022).	11
12	Flödesdiagram för arbetet.	12
13	Ritning av kammare med tre närliggande ledningar som både är eternitkulvert med polyuretanstöd och cellbetongstöd. Det här är ett exempel på vilka SAB:ar som inte inkluderades i urvalet.	13
14	Ritning av kammare med tre närliggande ledningar som är PVC samt eternitkulvert med polyuretanstöd. Det här är ett exempel på vilka SAB:ar som inkluderades i urvalet under kategorin sammansatt eternitkulvert med polyuretanstöd.	13
15	Konstruktionstypen för varje SAB som sitter i Öresundskrafts nätverk .	14
16	Superposition av nederbörd och kammarluftfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarluftfuktighet för betongkulvert 53013-00.	18
17	Superposition av nederbörd och kammarluftfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarluftfuktighet för SAB 60451-00 med metallstöd.	19
18	Superposition av nederbörd och kammarluftfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarluftfuktighet för SAB 7032-00 med cellbetongstöd.	19
19	Superposition av nederbörd och kammarluftfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarluftfuktighet för SAB 35003-00 med polyuretanstöd.	20
20	Superposition av nederbörd och kammarluftfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarluftfuktighet för SAB 72006-00 med sandwichkonstruktion.	21
21	Sinusapproximation för luftfuktighetsförändringen av betongkulvertar samt eternitkulvertar med cellbetongstöd, metallstöd, polyuretanstöd och sandwichkonstruktion.	22
22	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med metallstöd med singelledning respektive dubbelledning i kategorierna låg, medel och hög.	22

23	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med polyuretanstöd med singelledning respektive dubbelledning i kategorierna låg, medel och hög.	23
24	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med sandwichkonstruktion med singelledning respektive dubbelledning i kategorierna låg, medel och hög.	23
25	Fördelning av egenskaper för alla rena betongkulvertar med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.	24
26	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar oavsett stödtyp med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.	24
27	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med polyuretanstöd med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.	25
28	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med cellbetongstöd med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.	25
29	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med metallstöd med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.	26
30	Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med sandwichkonstruktion med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.	26
31	Fördelning av egenskaper för rena respektive sammansatta eternitkulvertar i kategorierna låg, medel och hög.	27
32	Fördelning av egenskaper för rena respektive sammansatta eternitkulvertar med polyuretanstöd i kategorierna låg, medel och hög.	27
33	Fördelning av egenskaper för rena respektive sammansatta eternitkulvertar med metallstöd i kategorierna låg, medel och hög.	28
34	Fördelning av egenskaper rena respektive sammansatta eternitkulvertar med metallstöd i kategorierna låg, medel och hög.	28
35	Fördelning av egenskaper rena respektive sammansatta eternitkulvertar med sandwichkonstruktion i kategorierna låg, medel och hög.	28
36	Förhållande mellan lufttemperatur och luftluftfuktighet i kammare där punkterna markeras mörkare om kammaren haft 60 % luftfuktighet flera gånger.	29
37	Illustration av luftflödet i stängda kulvertar. Ingen luft passerar då genom kulverten utan färdas endast via ventilationstornen och kammaren. . . .	32

Tabeller

1	Antal SAB:ar av respektive konstruktionstyp som ingår i analysen. . . .	14
2	Intervallen och bedömningskriterierna som används för att kategorisera egenskaperna <i>Tar inte in fukt</i> , <i>Ventilerar ut fukt</i> , <i>Samvariation med utomhustemperatur</i> och <i>Luftfuktigheten är under 60 %</i>	15
3	Hur storleken på intervallet påverkar antalet SAB:ar som ingår i intervallet.	16
4	Konstanter för sinusapproximation för respektive kulvertkonstruktion .	21
5	Medeltemperatur för respektive kulvertkonstruktion, beräknad utifrån medeltemperatur i respektive kammare.	30

Nomenklatur

Medierör- Ledningar fjärrvärmevatten transporteras i.

Kulvert- Skyddande hölje som placeras runt medierören innan de grävs ner, ofta gjort av betong eller eternit.

Kammare- Underjordiskt rum där kulvertar möts och nedstigning ibland är möjlig. Platsen där vattenflödet i medierören kan kontrolleras.

Eternit- Konstruktionsmaterial som är en blandning av cement och asbest. Kallas även Asbestsbetong.

Stöd- Konstruktion inuti eternitkulverten som stödjer medieröret.

Sandwichkonstruktion- En typ av kulvertkonstruktion där ett mindre eternithölje placeras inuti ett större eternithölje.

Superpositionsdiagram- Diagram där två variabler med olika enheter illustreras gemensamt.

Stängd kulvert- Kulvert där stödtypen blockerar luftflödet.

Öppen kulvert- Kulvert där stödtypen tillåter luftflöde.

Ren kulvert- Kategori för kammare endast anslutna till en sorts kulvertkonstruktion.

Sammansatt kulvert- Kategori för kammare anslutna till en sorts kulvertkonstruktion och PVC-/PCu-ledningar.

1 Inledning

Svensk fjärrvärme är väletablerat och används idag för att möta stora delar av svenskt värmebehov (Energimyndigheten 2022). Svenska fjärrvärmenät har kontinuerligt byggts ut sedan 1950-talet och konstruktionsmetoderna har med tiden influerats av ny teknik och forskning (Svensk Fjärrvärme 2015). Fjärrvärmesystemets infrastruktur är mycket kapitalintensivt och nyskaffningsvärdet för det svenska systemet uppskattas på 150 miljarder svenska kronor (ibid.). Eftersom majoriteten av fjärrvärmenätverken byggdes ut under perioden 1960-1980 och nyskaffningsvärdet är högt börjar fjärrvärmeindustrin närma sig en punkt där effektivt underhåll är avgörande för industrins ekonomiska hållbarhet. Eftersom majoriteten av systemets ledningar är nedgrävda med begränsad tillgänglighet upptäcks brister ofta i samband med ledningarna går sönder. Därför finns ett behov av alternativa metoder till okulär besiktning för att genomföra status-bedömningar, något som kan assistera i att göra underhållsarbetet effektivare och mer ekonomiskt hållbart (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012).

Den tekniska utvecklingen fjärrvärmenätet gjort kan uttryckas i tre olika generationer av tekniker (Frederiksen & Werner 2013). Första generationens distributionsmetod av fjärrvärme var medierör där ånga kunde fraktas. Medierören placerades i skyddande höljen, kulvertar, för att skydda dem från regn, skador och annan utomstående påverkan. Andra generationens ledningar övergick man till att frakta varmvatten istället för ånga. Med hjälp av kulvertar skyddades även dessa medierör. Den tredje generationens kulvertar utgörs ofta av medierör för varmvatten, isolerade och vanligtvis omslutna av ett plasthölje för att hindra läckor. Dessa rör är oftast fullt nedgrävda och kräver ingen kulvert eftersom plasthöljet och medieröret sitter ihop via isoleringen, vilket hindrar både värmeläckage och yttre påverkan. Sedan andra halvan av 70-talet har den tredje generationens distributionsteknik tagit över den svenska fjärrvärmemarknaden (ibid.). När andra generationens ledningar byggdes saknades ett standardiserat byggnadssätt, något som resulterat i att dagens nät är heterogent med en bred variation av konstruktioner. Det här, kombinerat med att teknik ständigt förbättrats kan vara anledning till varför Svensk Fjärrvärme (2015) skriver i *Underhållshandboken för fjärrvärmedistribution* att andra generationens ledningar har en högre procentuell del som drabbas av korrosion än tredje generationens ledningar. Därför kan underhållet av kulvertar anses vara prioriterat.

Öresundskraft är ett svenskt fjärrvärmeföretag. De har 72 mil fjärrvärmeledningar nergrävda i Helsingborg och Ängelholm som har byggts ut sedan 1964 (Öresundskraft AB u.å.). Eftersom systemet byggts ut under många år finns ledningar från både andra och tredje generationen av fjärrvärmeteknik. Av den andra generationens kulvertar finns 5,5 mil eternitkulvert och 1,1 mil betongkulvert (Magnus Ohlsson, teknisk chef, Öresundskraft AB. personlig kommunikation januari-juni 2024.). Eftersom ledningsbyten är kostsamma finns en önskan att utnyttja existerande ledningar så länge de är funktionella. Därför är Öresundskrafts underhåll centrerat kring dessa eternit- och betongkulvertar som närmar sig sin tekniska livslängd. Att kunna göra träffsäkra statusbedömningar är därför essentiellt för underhållsarbetet.

Då ledningarna inte kan besiktas okulärt började Öresundskraft göra mätningar 2021 för att möjliggöra analyser som kan ge indikationer av fjärrvärmeledningarnas skick. Dessa mätningar görs av SAB:ar i majoriteten av fjärrvärmenätverkets kammare, hålligheterna mellan kulverterna (Olsson 2022). En SAB är en nätuppkopplad mätare som monteras i nedstigbara kammare. Med ett antal olika sensorer kan de mäta luftfuktighet i kammare, temperatur i fram- och returvattnet i medieröret, temperatur i kammare, ljudnivå i fram och returledning, batterispänning, vattenivå i kammare, syrehalt i kammare, kolmonoxid i kammare och hållfasthetstjocklek i fram- och returledning (ibid.). Hållfasthetstjocklek är ett mått på tjockleken på stålet i medieröret som bestäms genom akustiska mätningar. Genom att jämföra mätvärden på samma plats vid olika tidpunkter kan korrosionstakten i ledningen beräknas. Hållfasthetstjockleksmätningar är mer resurskrävande att genomföra och fanns inte tillgängliga vid den här studiens påbörjande. Under studiens gång har mätningar dock genomförts i större utsträckning av Öresundskraft (Magnus Ohlsson 2024). Luftfuktighetsmätningarna från en SAB har

en onoggrannhet på $\pm 2\%$ samtidigt som temperaturvärdena har en onoggrannhet på $\pm 0.5^\circ\text{C}$ (Olsson 2022). Enheten drivs med el som genereras från temperaturskillnaden på medierörets yta och lufttemperaturen i omgivningen (Magnus Ohlsson 2024). De 538 SAB:arna utsprida över Öresundskrafts fjärrvärmenätverk gör regelbundna mätningar var sjätte minut. Mätvärden skickas till en central databas med hjälp av en antenn monterad på ett ventilationstorn till den anslutande kammaren (ibid.). Genom att använda dessa mätningar vill företaget bättre kunna förutse underhåll och förstå hur livslängden av fjärrvärmenätet kan förlängas.

Korrosion av medierör och andra komponenter av järn och stål i fjärrvärmesystemet är stor bidragande anledning till skador och underhållsbehovet i fjärrvärmenätet (Svensk Fjärrvärme 2015). Specifikt korrosion kring kulvertar är omfattande och arbetet kommer därför fokuseras här (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). Korrosion sker när metall bryts ner av sin omgivning i en kemisk reaktion (McCafferty 2010). För att ha aktiv korrosion behövs kontakt med exempelvis syret i luften och fukt på ytan av metallen (Mattsson u. å.). Då den relativa luftfuktigheten överstiger ett visst värde kan korrosion förekomma. Det här kallas den kritiska luftfuktigheten. Klorhaltiga ämnen som salt kan även öka korrosion då det håller kvar fukt längre (ibid.).

För att förhindra att korrosion uppstår kan ytor behandlas med olika ämnen och beläggningar. Man kan även genom god ventilering, bra design och god ventilation arbeta för att förhindra att luftfuktigheten uppnår kritiska nivåer kopplat till korrosion (ibid.). Öresundskraft har genom undersökningar fastställt att den kritiska gränsen för luftfuktighet ligger på 60 % (Magnus Ohlsson 2024). Även Mattsson u. å. skriver att under 60 % relativ luftfuktighet är korrosionen på stål försumbar. I denna studie används därför 60 % som gränspunkt för när luftfuktighetsförhållandena bidrar till korrosion.

Användandet av skyddande höljen, s.k. kulvertar, runt medierören har använts för att förhindra korrosion. För att ledningar ska hålla länge krävs att de är "hela, rena och torra" (Magnus Ohlsson, Öresundskraft AB. 2024.). För att öka livslängden på existerande kulvertar förebyggs förekomsten av korrosion på Öresundskraft genom att minimera förekomsten av fukt och klorhaltiga ämnen samt att eventuella läckage snabbt ska kunna avlägsnas. De har upptäckt att olika kulvertkonstruktioner ofta haft olika fördelar och nackdelar för att minimera korrosion, något man vill förstå mer av.

2022 gjorde Olof Olsson ett examensarbete i samarbete med Lunds universitet och Öresundskraft AB där mätningar från SAB:ar analyserades. I arbetet analyserades fyra månaders data insamlad med hjälp av SAB:ar. Undersökningen genomfördes för att få insikter i vilka sätt datan kunde användas och vilken information som kunde urskiljas. Undersökningen hade tre fokus; hur olika konstruktioner skiljer sig åt och varför, hur luftfuktighet påverkas av kammartemperatur, utomhustemperatur och nederbörd samt hur ett verktyg för att identifiera kulvertar där förhållanden som tillåter korrosion existerar eller snart kommer uppstå. Den här studien har varit en fortsättning på Olssons arbete och har därför tagit stor lärdom och inspiration därifrån. Olssons arbete genomfördes med hjälp av analytiska metoder. Öresundskrafts data kompletterades även av väderdata från SMHI. Studien utgick från hypotesen att eternitkulvert med metallstöd och betongkulvertar har en mer öppen konstruktion, vilket ger större möjlighet för luftgenomströmning och utventilering av fukt. Om ett tydligt luftflöde fanns förväntades även tydliga likheter mellan luftfuktighetsutveckling i närliggande kulvertar observeras.

Dessa hypoteser undersöktes genom att analysera mätdata av luftfuktighet och temperatur i nio serier av närliggande kulvertar med olika stöd och material. Det här genomfördes med hjälp av korrelationsvärden i förhållande till utomhustemperatur och nederbörd. Olssons arbete bekräftade att betongkulvertar och eternitkulvertar med metallstöd indikeras vara öppna kulvertar, även om betongkulvertar visar beteendet tydligare. Författaren uttrycker att det finns en risk att höga samvariationen för värden i närliggande kulvertar för eternitkulvertar med metallstöd endast beror på deras samvariation till utomhustemperaturen (Olsson 2022). Eternitkulvertar med cellbetong- eller polyuretanstöd antogs vara mer stängda kulvertar med begränsad luftgenomströmning. Ventilationen i stängda kulvertar skulle därmed modelleras genom korrelation mellan temperatur utanför kammare och luftfuktigheten i kammaren eftersom ventilation främst

antogs ske genom ventilationstorn här. I vilken utsträckning öppna och stängda kulvertar skiljs åt fortsätts att undersökas även i detta arbete.

I föreliggande studie ska uppmätt och insamlad data från Öresundskraft i kombination med annan relevant information användas för att producera analyser som kan ge insikter i de äldre delarna av Öresundskrafts fjärrvärmenätverk. Studien utgår från arbetet Olof Olsson gjorde 2022 men kommer utgå från data över längre tid och fler SAB:ar. Den här studien genomför istället analysen genom att kategorisera mätdata från individuella kammare utefter deras egenskaper. Den här studien kommer, likt i Olssons arbete, jämföra kammarluffuktigheten i förhållande till utomhustemperaturen och nederbörd. För att vidga Olssons observationer kommer även fler attribut av kulvertkonstruktionen analyseras.

Förhoppningen är att bidra med insikter som kan assistera i utvecklingen av underhållsarbetet på Öresundskraft. Datan ska användas för att utvärdera kulvertkonstruktioner utifrån olika faktorer, både yttre påverkan och attribut av kulverten, för att avgöra vad som ger bättre och sämre förutsättningar för långlivande ledningar. Yttre påverkan kommer inkludera nederbörd och temperatur utomhus. Attribut för kulverten kan vara exempelvis antal ventilationstorn i kammare och antalet medierör i närliggande kulvertar. Analyser och slutsatser från det här arbetet kan bidra med indikationer för hur underhållsarbetet på Öresundskraft och andra liknande fjärrvärmesystem kan förbättras. Det skulle bland annat kunna ge nya idéer för hur datan kan användas av driftpersonal i vardagen och ge värdefull information för framtida statusbedömning och utvärdering av ledningarnas dagsform.

1.1 Syfte

Genom att analysera luftfuktighets- och temperaturdata från mätningar i kammare i Öresundskrafts fjärrvärmenätverk hoppas man kunna urskilja mönster och trender som kan ge insikt i hur beteendet i olika konstruktionstyper av kulvertar skiljer sig. Eftersom luftfuktighetsnivån är betydande för korrosionsförhållande undersöks luftfuktigheten och förändringen av luftfuktighet främst. Det här utvärderas bland annat genom att undersöka förhållandet mellan luftfuktigheten i kammare, temperatur utomhus and nederbörd. Även kammartemperaturens inverkan på luftfuktigheten undersöks på likande sätt. Dessutom undersöks det om datan för olika urvalsgrupper baserade på attribut för olika kulvertkonstruktioner skiljer sig åt.

1.1.1 Frågeställning

Frågeställningarna som vill besvaras är;

- **Vilka mönster kan observeras i kammarluffuktighet och kammartemperatur samt går de att kategorisera utifrån olika typer av kulvertkonstruktioner?**

Öresundskraft luftfuktighets- och temperaturdata över cirka två år från samtliga SAB:ar importeras och jämförs med utomhustemperaturen och nederbörden från SMHI:s vädermätningar i Helsingborg under samma tidsperiod. Varje kammares data studeras individuellt i superpositioner av dessa variabler för att urskilja mönster och trender över tid. Hur bra varje kammare uppfyller mönster och trenderna används därefter för att skapa ett klassificeringsverktyg. Dessutom kommer även förhållandet mellan medelluftfuktighet och medeltemperatur i en kammaren undersökas för se vilken inverkan det kan ha på att minimera en korrosiv miljö.

- **Om de går att kategoriseras, vilka mekanismer skulle kunna förklara mönstret? Och kan dessa mekanismer kopplas till hur kulverten är konstruerad eller till andra omgivande faktorer?**

Klassificeringsverktyget används för att överskådliggöra hur beteendet mellan olika subgrupper av kulvertar skiljer sig. Signifikansen konstruktionstyp och attribut har på luftfuktighet- och temperatur-nivåerna kan då avgöras. Attribut som inte har någon

påverkan på klassificeringen bör därför ha samma fördelning i alla subkategorier. I de subgrupper där betydelsefull skillnad existerar kommer de attribut som skiljer subgrupperna, och därmed kan ha påverkan på de fysiska mekanismerna som sker, undersökas.

2 Teori

Distributionsnätet för andra generationens fjärrvärme kan kraftigt förenklat delas upp i två grundläggande delar; kulvertar och kammare. Andra generationens kulvertar på Öresundskraft som undersöks kan delas in i fem olika konstruktionstyper; betongkulvert med lådkulvert samt eternitkulvert med metallstöd, polyuretanstöd, cellbetongsstöd eller sandwichkonstruktion. Hur dessa konstruktioner är uppbyggda och skiljer sig från varandra presenteras nedan. I rapporten kommer även tredje generationen distributions-teknik behandlas. Ett exempel på denna konstruktion är PVC- och PCu-ledningar. PVC refererar till polyvinylklorid, en typ av hård plast som medierören är gjorda av (Wikipedia 2024). Medierören i PCu-ledningar är istället gjort av koppar (Magnus Ohlsson 2024). I båda fallen omges medieröret av isolering och ett plasthölje som skyddar från yttre påverkan.

2.1 Begreppet kulvert

En kulvert är namnet på ytterhöljet som omsluter ett medierör vid andra generationens byggnadsteknik (Svensk Fjärrvärme 2015). Kulvertar byggdes ofta i betong eller eternit för att skydda medieröret från korrosion och andra skador samt minska värmeförlusterna (Frederiksen & Werner 1993).

En kulvert kan utformas för att rymma ett eller två medierör. De kallas då singelledning respektive dubbelledning. I en dubbelledning ges plats för två medierör vilket gör det möjligt att ha fram- och returledningarna i samma kulvert. I singelledningar finns bara rum för antingen fram- eller returledning (Frederiksen & Werner 2013).

2.2 Betongkulvert

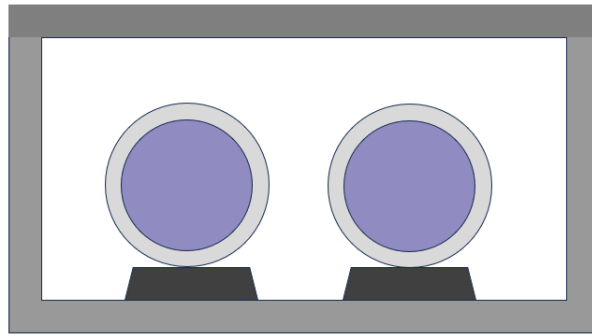
Många fjärrvärmenät i Sverige byggdes initialt med betong förstärkt med armeringsjärn för att skapa tunnlar i marken där medierör kunde placeras (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). Betong är ett relativt billigt byggmaterial med hög hållfasthet (Elfgrén u. å.). Däremot kan nedbrytning av betong ske som följd av sänkt PH-värde. Det här kan ske bland annat vid kontakt med klorider från exempelvis vägsalt (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). Men tiden kan därför betong brytas ner och armeringsjärnen kan rosta (M. Ohlsson opublicerad).

När Öresundskraft började bygga ut sitt nät användes även här betong i stor utsträckning (ibid.). Ledningar byggdes då efter hypotesen att om en inomhusmiljö återskapas i hålrummet kunde medierören förbli detsamma som vanliga inomhusledningar (Frederiksen & Werner 1993). En tresidig betonglåda göts, likt formen av ett U, som figur 1 visar. Ett lock av betong placerades sedan på u-formen för att stänga lådan och skarven mellan låda och lock tätades för att hindra smuts och fukt från att ta sig in (ibid.). Över betonglocken placerades en asfaltslinda för att hindra smuts från att tränga in i skarvarna (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). På Öresundskraft bärs medierören av keramikplattor (Olsson 2022). Dessa hindrar medieröret från att ligga på botten av kulverten. Korrosion som följd av direkt kontakt mellan medierör och eventuell läckage ska då undvikas. Den här konstruktionen kallas omväxlande för U-kulvert och lådkulvert (Frederiksen & Werner 1993) och ses i figur 1.

Som man ser på figur 1 finns isolering i betongkulvertar, men endast ett tunnare lager intill medierören. Den minimala isoleringen kombinerat med betongens sämre värmeisolerande egenskaper leder till större värmeförluster här än andra kulvertar (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). Däremot innebär det även att mycket hålrum finns, vilket kan anses vara fördelaktigt för ventilationsmöjligheterna.

Eftersom medierören i lådkulvertar inte är strikt fästa vid den omgivande betongen tillåter konstruktionen termisk expansion mycket väl (Frederiksen & Werner 1993). Ett asfaltspapper placerat mellan medierör och keramikplatta motverkar eventuell glidfriktion (Olsson 2022).

I praktiken uppstår ofta sprickor i betongen, något som lämnar medieröret utan skydd

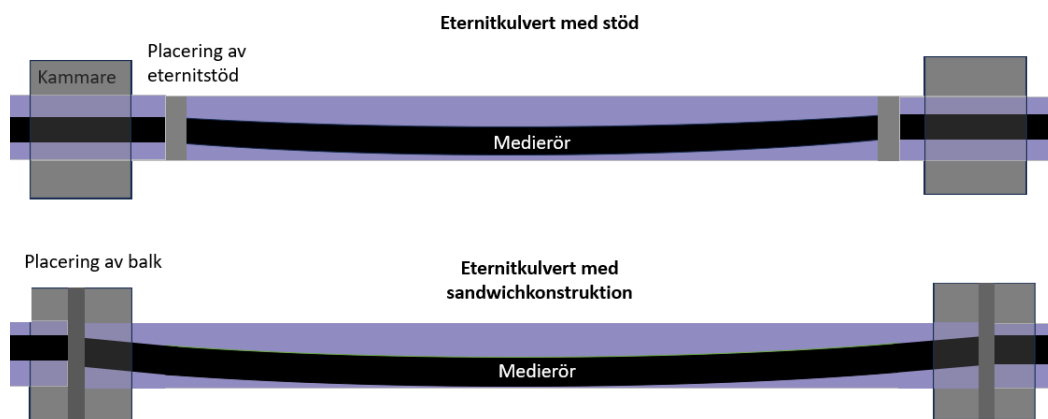


Figur 1: Schematisk bild av en betongkulvert, inspirerad av ritningen i Olof Olssons arbete (2022).

från elementen med hög risk för korrosion (Frederiksen & Werner 1993). Betong absorberar dessutom fukt i viss mån och kommer därför inte förbli vattentät om den väl blir våt (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012).

2.3 Eternit

Eternit är det kommersiella namnet på asbestbetong som förkortas ACE (Frederiksen & Werner 2013). Den tillverkas genom att blanda asbest och cement (Svensk Fjärrvärme 2015). I Sverige byggdes eternitkulvertar främst från slutet av 70-talet till 80-talet (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). Byggnationen skedde parallellt med kulvertar av betong eftersom tekniker och standarder inte var utvecklade ännu (Svensk Fjärrvärme 2015: Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). Mot slutet av 80-talet användes eternit dock i högre grad än betong, delvis på grund av att det var billigare (Magnus Ohlsson 2024) och delvis på grund av att eternit har bättre värmeisoleringsförmågor (AB Eternitrör 1967-1972). Idag används eternit inte längre eftersom inandning av asbestpartiklar, som uppstår vid rivning, upptäcktes framkalla cancer. Underhållsarbete av eternitkulvertar måste därför behandlas med stor försiktighet idag (Svensk Fjärrvärme 2015).



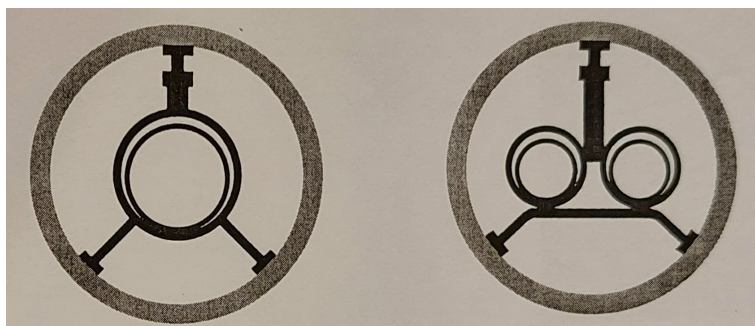
Figur 2: Illustration av hur eternitstöd respektive balkar håller upp medieröret i en eternitkulvert.

Eternitkulvertar är mer flexibla horisontellt och ansågs därför vara bättre lämpade för att tillåta termisk expansion av medierören i jämförelse med betongkulvertar (AB Eternitrör 1967-1972). Men de är fortfarande känsliga för vertikala krafter, vilket har resulterat i att många eternitskal spruckit på grund av tryck från yttre krafter till exempel om byggnadsarbete genomförs kring ledningarna (Magnus Ohlsson 2024).

Eternitledningarna byggdes på olika sätt med varierande isolering och stöd. Öresundskrafts eternitkulvertar kan separeras i fyra kategorier; metallstöd, cellbetongstöd, polyuretanstöd och sandwichkonstruktion. Genomskärningen av dessa olika konstruktioner visas i figur 3, 6, 7 och 8. Eternitkulvertar köps prefabricerade fem meter i taget. Skarvarna fogas ihop med hjälp av gummipackning för att hindra inläckage (AB Eternitrör 1967-1972).

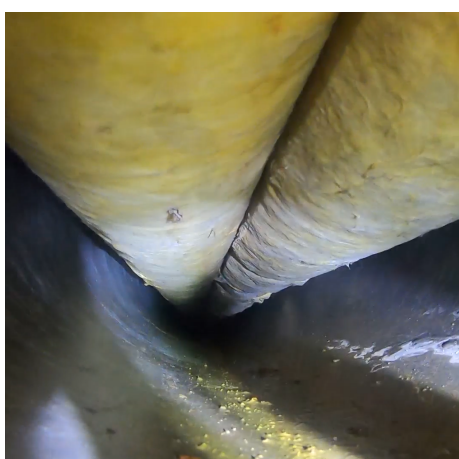
Stöden i en eternitkulvert placeras nära ändarna på kulverten, i närheten av exempelvis kammare (Magnus Ohlsson 2024). Det här innebär att medierören som hålls upp kan svikta mellan punkterna där de stöds enligt figur 2. Det här kan leda att medieröret bitvis kommer i kontakt med kulvertens botten, något som kan orsaka kontaktkorrosion.

2.3.1 Metallstöd



Figur 3: Genomskärning av eternitkulvert med metallstöd, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)

Medierör omgivet av en mindre mängd isolering placeras i ett eternitrör med stöd i metall se figur 3. Stöden fixerar singelrör i mitten av kulverten samt dubbelrör centrerat men inte i kontakt med varandra enligt figur 3. Stöden håller upp medieröret och hindrar vatten från att komma i kontakt med medieröret även om botten av eternitröret skulle bli fuktigt (Frederiksen & Werner 1993). Likt betongkulvertar finns även mycket plats för luftgenomdrag i eternitkulvertar med metallstöd. Isolering kan dock skadas och ramla ner vilket gör att isoleringsstatusen och renligheten i kulverten kan variera, exempel visas i figur 4 och 5.



Figur 4: Insidan av en eternitkulvert med dubbelledning där isoleringen är intakt.

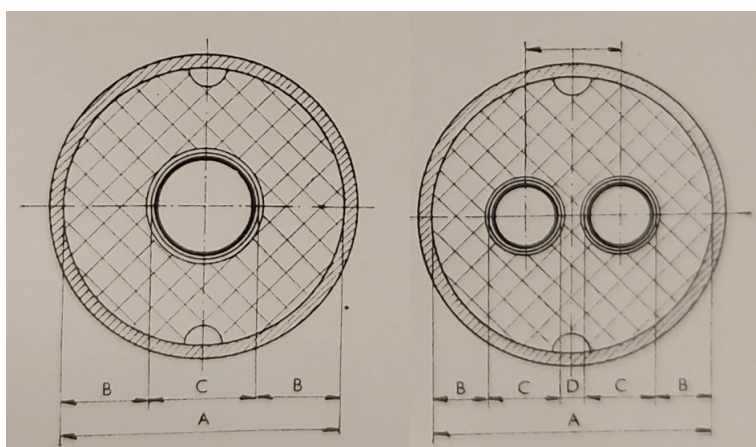


Figur 5: Insidan av en eternitkulvert med dubbelledning där isoleringen skadats och fallit ner.

2.3.2 Cellbetong

Cellbetong är en blandning av vatten, betong och specialbehandlade cellplastkuler. Materialet används som isolering i vissa kulvertar (Svensk Fjärrvärme 2015). Cellbetongstödet visas i figur 6 där silhuetten av isoleringen kring medieröret visas. Cellbetongen är då i full kontakt med medieröret och eterniten bortsett från två urgröpningar längs upp och längs ner i isoleringen (AB Eternitrör 1967-1972). Tanken med konstruktionen var att vatten ska kunna rinna längs den nedre håligheten och luft ska kunna transporteras längs den övre håligheten. I praktiken blockeras ofta dessa rännilar vilket då täpper till dräneringen och ventilationen totalt (Magnus Ohlsson 2024).

Cellbetong började främst användas då cellbetongen har god värmeisolerande förmåga (Frederiksen & Werner 1993). Cellbetongens är mycket robust och ger stabilt stöd för medieröret. Den heltäckande designen skulle dock kunna ge sämre förutsättningar för ventilation eftersom de blockerar mycket av luftgenomströmningen. Eftersom cellbetongen har full kontakt med medieröret kan det dessutom finnas risk för kontaktkorrosion om isoleringen skulle bli blöt på något sätt.



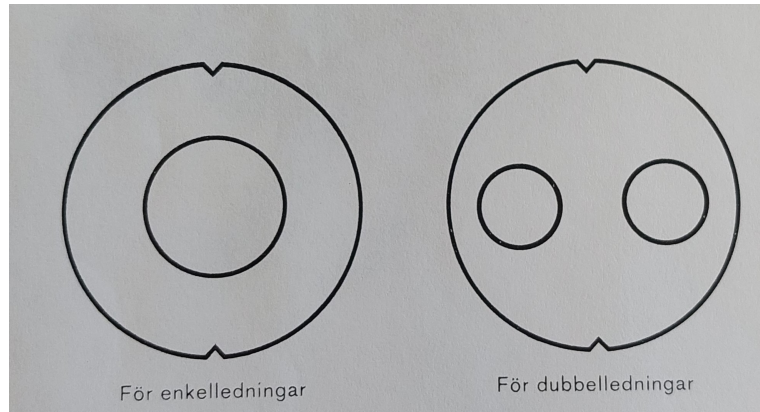
Figur 6: Genomsnitt av eternitkulvert med cellbetongstöd, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)

2.3.3 Polyuretanstöd

Polyuretanstöd syftar på användningen av polyuretanskum, PUR, som stöd för medieröret (AB Eternitrör 1967-1972). Stöden har samma utformning som cellbetong och kan ses i figur 7. Materialet används ofta som isolering eftersom dess porösa egenskaper ger bra värmeisolerande förmåga (ibid.). Med tid kan skummet dock tryckas ihop av vikten från medieröret. Det här kan innebära att medieröret sjunker närmare botten av eternithöljet. Utifrån förutsättningarna som illustreras i figur 2 är det rimligt att anta att mer kontakt mellan medierör och eternithölje skulle kunna förekomma med tid, vilket riskerar kontaktkorrosion på längre sträckor.

PUR tål inte höga temperaturer. Vid cirka 140 °C smälter materialet (Magnus Ohlsson 2024). Eftersom även temperaturer lägre än 140 °C kan skada skummet är polyuretanstöd inte passande för äldre fjärrvärmenät med högre temperaturer i framledningsvattnet. Öresundskrafts eternitledningar med polyuretanstöd är, likt cellbetongstöden, en heltäckande struktur som i nyskick blockerar majoriteten av luftgenomströmningen.

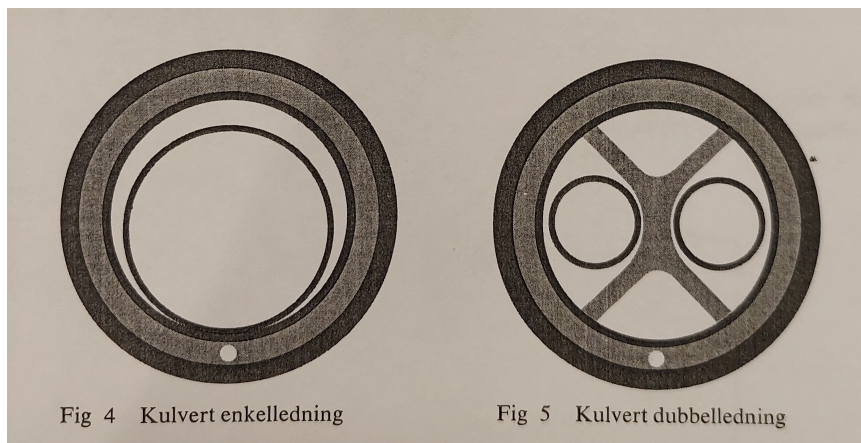
Vid eventuellt vattenintrång kan isoleringen bli blöt. Den våta isoleringen har då risk att ligga i direkt kontakt med medierören och skapa kontaktkorrosion. Skadad eller våt PUR kan även resultera i att formen förvrängs (ibid.).



Figur 7: Genomskäring av eternitkulvert med polyuretanstöd, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)

2.3.4 Sandwichkonstruktion

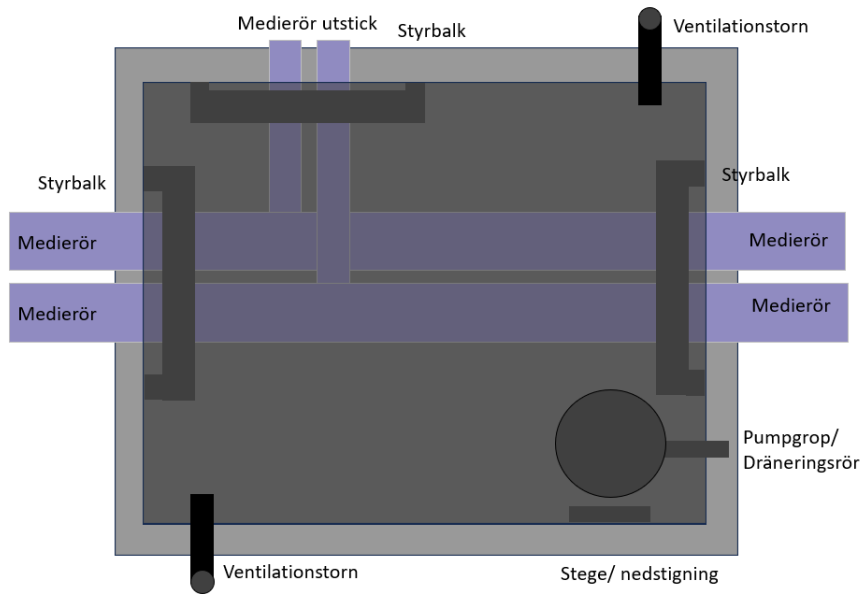
Genom att kombinera två lager eternitkulvert med isolering av polyuretanskum emellan skapades en ny konstruktion av eternitkulvert som visas i figur 8 (AB Eternitrör 1967-1972). I mitten av det inre eternitröret placeras medieröret, fast i det här fallet omgivet av luft (Frederiksen & Werner 1993). Konstruktionen ska ge flera lager av skydd från eventuella vattenläckage att komma in. Det skulle även skydda medieröret från kontaktkorrosion ifall det yttre eternithöljet tog in vatten. För att hålla medieröret i luften hålls den upp av balkar i kammare och andra fästpunkter (Magnus Ohlsson 2024). Eftersom balkarna som håller upp rören har långa mellanrum kommer medieröret svikta mellan fästningspunkter likt figur 2. För singelledningar där mellanrummet mellan medierör och inre eternitskal är mycket litet är det därför mycket troligt att kontakt sker. Dubbelledningar har ytterligare stöd likt eternitkulvert med metallstöd vilket visas i figur 8.



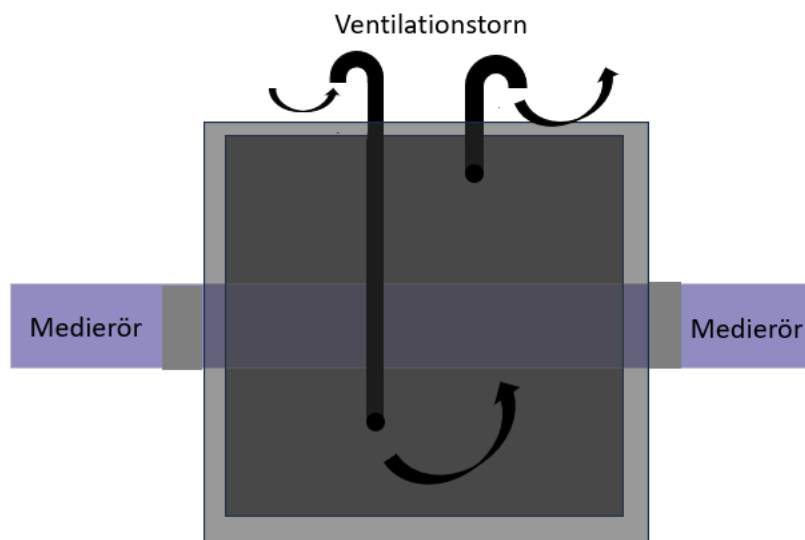
Figur 8: Genomskäring av eternitkulvert med sandwichkonstruktion, där vänster cirkel motsvarar en singelledning och höger cirkel motsvarar en dubbelledning (AB Eternitrör 1967-1972)

2.4 Kammare

Kammare är håligheter i marken som byggs mellan kulvertar. Figur 9 visar en grov ritning av en kammare visad ovanifrån. I kammare placeras bland annat avgreningar samt avstängnings- och strypventiler (Frederiksen & Werner 1993). Kammare kan byggas tillräckligt stora för att vara nedstigningsbara för att tillåta kontroller och underhåll. I nedstigningsbara kammare har mätinstrumenten SAB placerats (ibid.).



Figur 9: Skiss av kammare ovanifrån, inspirerad av ritningen av kammaren 54001-00 hämtad från Öresundskrafts Trimble.

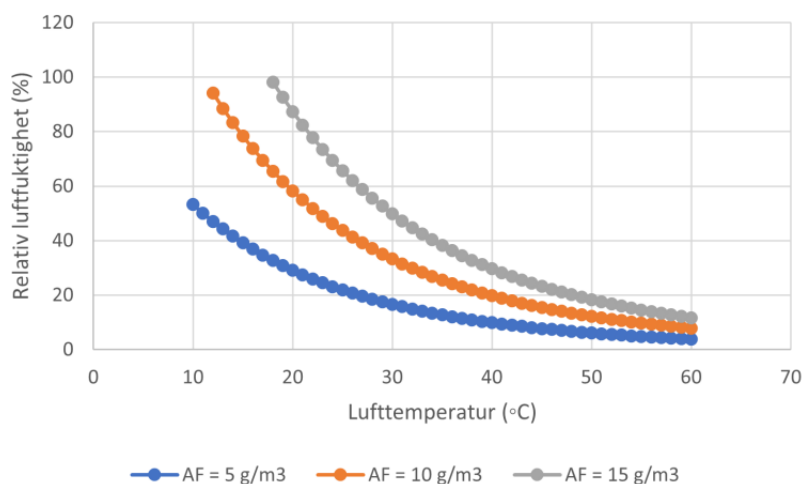


Figur 10: Ritning över kammare från sidan för hur luft färdas genom ventilationsstorn när dubbla ventilationsstorn existerar.

Kammare kan vara försedda med ventilationstorn samt dräneringsrör för att förbättra ventilation genom att ge cirkulation av luft samt ventilerar ut vatten och fukt (Sernhed, Ekdahl & Skoglund 2012). För betong- och eternitkulvertar finns alltid antingen ett eller två ventilationstorn (Magnus Ohlsson 2024). På Öresundskraft hade alla kammare från början ett ventilationstorn. Idag har en del kammare dubbla ventilationstorn i ett försök att förbättra ventilationen (ibid.). Då två ventilationstorn existerar placeras deras ingångar på två olika höjder i kammaren enligt figur 10. Eftersom in- och utgångarna är placerade på olika nivåer ska varm luft färdas till det övre röret samtidigt som svalare luft är vid det lägre röret. På så sätt ska en rörelse och ventilation av luften främjas.

2.5 Luftfuktighet

Luftfuktigheten syftar på mängden vattenånga i luften. Det finns olika sätt att referera till luftfuktighet, bland annat absolut luftfuktighet och relativ luftfuktighet. Absolut luftfuktighet syftar på massan av vattenånga som befinner sig i en kubikmeter luft. Eftersom vattnets förmåga att förångas beror på temperaturen i luften är förhållandet mellan absolut luftfuktighet och lufttemperatur icke linjärt (Wern 2013).



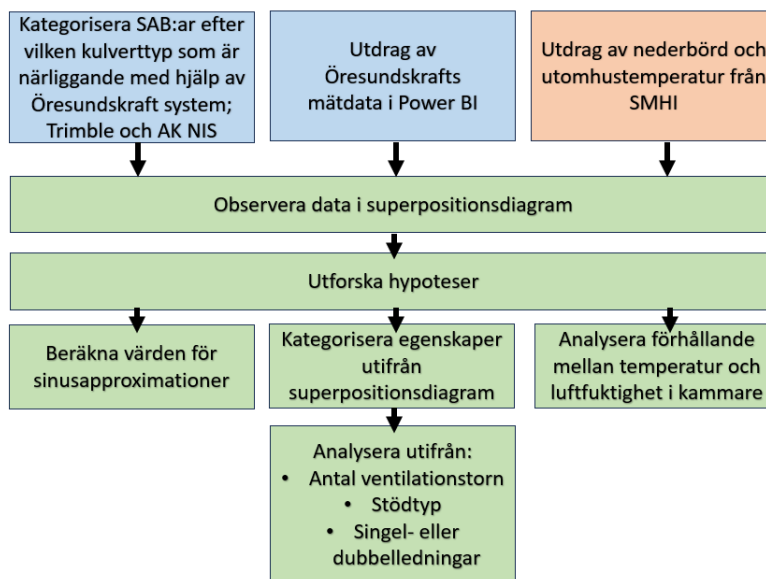
Figur 11: Förhållandet mellan relativ luftfuktighet och temperatur illustrerat för tre olika nivåer av absolut luftfuktighet (AF). Eftersom relativ luftfuktighet beror på absolut luftfuktighet kommer valet av AF påverka kurvans placering. Bilden är hämtad från Olof Olssons examensarbete (2022).

Relativ luftfuktighet, förkortat RH, är ett procentuellt värde för luftfuktigheten som kan beräknas genom kvoten mellan aktuell absolut luftfuktigheten och absolut luftfuktighet vid maximal möjlig mängd vattenånga. Hundra procent relativ luftfuktighet motsvarar därför en mättad gas (ibid.). Tid på dygnet, årstid samt omgivande miljö bidrar alla till variation i relativ fuktighet. Eftersom relativ luftfuktighet beror på absolut luftfuktighet har även den ett olinjärt förhållande till temperatur. I figur 11 ser man att lägre temperaturer ger kraftigare ökning av relativ luftfuktighet då absolut luftfuktighet varierar.

I Helsingborg har man, då temperaturen är 25 °C, en relativ luftfuktighet på omkring 50-60 %. Kallare temperaturer mellan 0-10 °C resulterar i en relativ luftfuktighet kring 90-100 % istället (ibid.). Den relativa luftfuktigheten kan sjunka om temperaturen ökar utan att mer fukt tillförs och på samma sätt ökar den relativa luftfuktigheten om temperaturer sänks. I den här studien används endast relativ luftfuktighet och kommer framöver endast refereras till som luftfuktighet.

3 Metod

Följande stycke förklarar övergripande arbetets metod som uttrycks schematiskt i figur 12. Utdrag av fullständig mätdata från samtliga SAB:ar gjordes följt av att data om konstruktionstyp och attribut för varje SAB samlades. Med hjälp av luftfuktighets- och temperaturdata från kammare observerades mönster och beteenden i mätvärdeserierna i förhållande till nederbörd och utomhustemperatur, både okulärt och numeriskt. Dessa mönster kategoriserades efter olika egenskaper och utvärderades utifrån attributen konstruktionstyp, antal ventilationstorn samt antal medierör i kulverten. Mekanismer som skulle kunna förklara observationerna utforskades sedan. I många fall gjordes följdberäkningar och undersökningar baserat på vad analyserna indikerade. De verktyg som användes för att genomföra arbetet var; Power BI, där Öresundskraft mätdata lagras, AK NIS och Trimble, där teknisk information om nätverket, kammare och kulvertar återfinns, samt SMHI:s väderdata (SMHI u. å.).

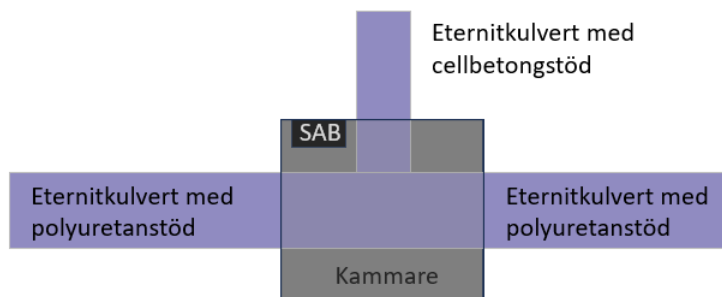


Figur 12: Flödesdiagram för arbetet.

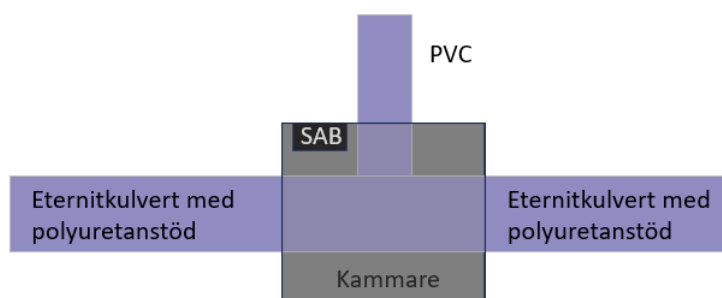
All mätdata mättes i kammare och inte inuti ledningarna. Kammare har ingen standardiserad konstruktion och eventuella storleksskillnader bortses från i denna studie. Intresset i undersökningen låg dock i hur skillnader i närliggande kulvertkonstruktion påverkade korrosionsförhållandena. Därför refererades data från en SAB ibland som konstruktionstypen i de närliggande ledningarna. Betongledningarna som uttrycks betar sig på ett visst sätt syftade alltså till att datan från SAB:ar i kammare som angränsar till betongkulvertar visar det mönstret.

3.1 Datinhämtning och Datahantering

Ett av syftena med arbetet var att undersöka om mönster existerade mellan olika typer av kulvertkonstruktioner, både för lådkulvertar av betong samt eternit med olika stödkonstruktioner; metallstöd, cellbetongstöd, polyuretanstöd och sandwichkonstruktion. Därför behövdes information om vilken kulverttyp som omgav respektive SAB. För att göra informationen mer hanterbar samlades information om samtliga SAB:ar i ett Exceldokument. Från Trimble hämtades information om varje SAB och antal ventilationstorn i kammaren. Närliggande ledningar observerades där anteckningar fördes för vilket material de var byggda av, om de var en singel- eller dubbelledning och vilka stöd de var konstruerade med. Den här informationen fanns inte fullständigt dokumenterad och ett antal platsbesök gjordes till respektive kammare där information saknades.



Figur 13: Ritning av kammare med tre närliggande ledningar som både är eternitkulvert med polyuretanstöd och cellbetongstöd. Det här är ett exempel på vilka SAB:ar som inte inkluderades i urvalet.



Figur 14: Ritning av kammare med tre närliggande ledningar som är PVC samt eternitkulvert med polyuretanstöd. Det här är ett exempel på vilka SAB:ar som inkluderades i urvalet under kategorin sammansatt eternitkulvert med polyuretanstöd.

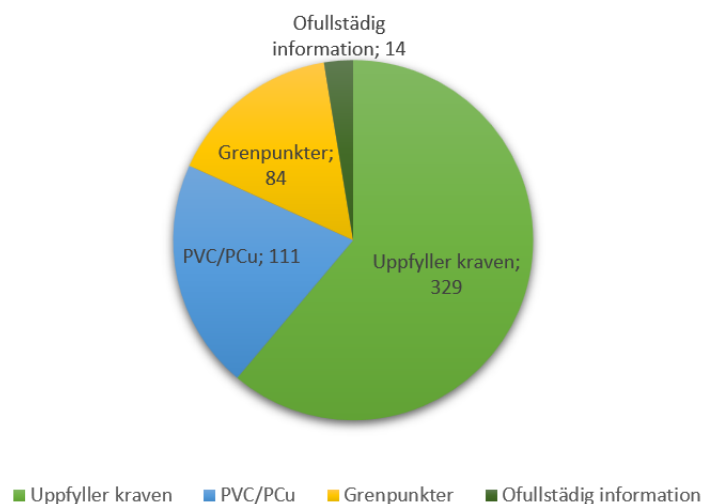
Som tidigare nämnt, undersöktes endast betong- och eternitkulvertar. För att kunna dra slutsatser om ventilationen utifrån olika stödtyper och konstruktioner behölls endast de ledningar där kulverten har samma material och stödtyp in och ut ur kammaren SAB:en var placerad i. Kammare som agerade som övergångspunkter mellan exempelvis betong- och eternitkulvertar eller eternitkulvertar med två olika typer av stöd, likt figur 13, inkluderades alltså inte eftersom de inte kunde klassificeras som en unik konstruktionstyp. Det här gäller även när kammaren angränsade till mer än två ledningar, exempelvis när utstick fanns. Om angränsande ledningar var av sorten PVC eller PCu, mer moderna ledningar med plasthölje, likt figur 14 inkluderades SAB:en dock i en separat kategori. I dessa fall existerade minst två andra kulvertar och dessa var tvungna att ha samma konstruktionstyp. De kammare som var placerade i anslutning till enbart en typ av konstruktionstyp refererades till som rena kulvertar och de som även gränsade till PVC- eller PCu-ledningar refererades till som sammansatta kulvertar. Särskiljningen gjordes för att kunna undersöka skillnaderna mellan rena och sammansatta ledningar senare i studien. I resterande undersökningarna används endast rena ledningar som grund för analyserna. Därmed var de använda kulvertkategorierna sammansatta eller rena kulvertar av lådkulvert i betong samt eternitkulvert med cellbetongstöd, eternitkulvert med metallstöd, eternitkulvert med polyuretanstöd och eternitkulvert med sandwichkonstruktion.

Fördelningen av existerande SAB:ar visas i figur 15. Av de totalt 538 SAB:ar som fanns tillgängliga i systemet kategoriserades 111 stycken som PVC eller PCu och 329 som sammansatta eller rena kulvertar av antingen betong eller eternit. 84 SAB:ar kategoriserades som grenpunkter för olika konstruktionstyper. 14 SAB:ar gick inte att kategorisera då väsentlig information om deras konstruktion saknades.

Från Power BI togs utdrag av alla mätningarna gjorda av alla SAB:ar under perioden 1 maj 2022 till 31 december 2023. Startdatumet baserades på tidpunkten då Öresundskraft

hade installerat och startat majoriteten av sina SAB:ar. Dock var inte alla SAB:ar aktiva under hela perioden. I det här arbetet användes endast mätningar av luftfuktighet och lufttemperatur i kammare. Datan hanterades med hjälp av Excel och MATLAB. Dock finns potential för Öresundskraft att i framtiden genomföra arbetet med endast Power BI.

Konstruktionstyp av alla SAB:ar



Figur 15: Konstruktionstypen för varje SAB som sitter i Öresundskrafts nätverk

Tabell 1: Antal SAB:ar av respektive konstruktionstyp som ingår i analysen.

Konstruktionstyp av alla SAB:ar som analyserades	Antal
Ren eternitkulvert	176
Sammansatt eternitkulvert	25
Ren betongkulvert	73
Sammansatt betongkulvert	0

Datan behandlades utifrån ett antal kriterier. Först valdes SAB:ar med luftfuktighet över hundra procent bort eftersom det är fysiologiska orealistiska värden som sannolik beror på felaktiga mätare. Eftersom analysen fokuserades på årsvariationer sattes krav på tiden mätningar samlats in. Därför valdes dataset med mindre än 40 000 värden under den totala perioden bort, vilket motsvarade strax under ett halvår av mätningar. Utöver det valdes dataset av luftfuktighetsmätningarna med avbrott på över 3360 mätpunkter bort. Det här innebar att SAB:en inte mätt eller överfört värden på 14 dagar, något som gjorde datan mindre pålitlig. Av de 329 SAB:ar som uppfyllde urvalskriterierna för antingen rena eller sammansatta kulvertar uppfyllde luftfuktighetsdata för 274 SAB:ar även kraven på datan. I tabell 1 kan det observeras att ingen sammansatt betongkulvert, där både betongkulvert och PCu- eller PCV-ledningar angränsar till kammaren, uppfyllde dessa krav och därför inte inkluderades i analysen. Sammansatta kulvertar utgav dessutom en mycket liten del av urvalet med 25 av 274 SAB:ar. Vid de tillfällen då kammartemperaturen analyserades sällades ytterligare 63 SAB:ar bort eftersom de hade längre än 14 dagars avbrott i sin temperaturmätdata. Eftersom analysens fokus grundade sig i luftfuktighetsmätningar inkluderades dessa 63 SAB:arna då temperaturmätningarna inte var relevanta.

3.2 Dataanvändning

Analysen genomfördes med en kombination av numeriska beräkningar och okulära observationer av datan. Eftersom alla enheter inte hade genomfört mätningar vid samma tidpunkter existerade över 800 000 unika mättillfällen. Datan valdes därför att förenklas

till medelvärden. I fall där endast luftfuktighetsmätningar behandlades gjordes alla analyser med medelvärden för varje timme under perioden. Mätpunkten 4 juli 2022 00:07:00 baserades alltså på alla mätvärden gjorda av samma enhet den fjärde juli 2022 mellan 00:06:30 och 00:07:30. Det här gav istället strax över 14 000 unika mättillfällen som representerades varje timme under perioden. Medelvärden för respektive dag under perioden beräknades även. Dessa dygnsmedelvärden användes dock sparsamt och endast då temperatur och luftfuktighet jämfördes gemensamt för att göra datamängden mer hanterbar. Majoriteten av arbetet fokuserades dock endast på luftfuktighet och här användes då timmedelvärden.

För att analysera datan användes olika sätt att observera datan. Superpositionering av mätdata användes främst. Variationer av två skilda variabler under samma tidsperiod plottades då i samma diagram. Dessa grafer har inte nödvändigtvis samma enheter och kunde därför endast jämföra likheter och skillnader i trender och förändringar i kurvorna och inte för att dra slutsatser kring vilken kurva som hade högst värde. Metoden användes främst som ett översiktligt sätt att observera datan för att utveckla förståelse och hypoteser om datan, bland annat för att utforska egenskaper som kunde användas för klassificeringen senare. Genom studien superpositionerades olika kombinationer av kammarluftfuktighet, kammartemperatur, utomhustemperatur och nederbörd. Superpositioner av kammarluftfuktigheten i alla kammare observerades i förhållande till utomhustemperatur och nederbörd. Viktiga observationer som gjordes då var att luftfuktighet i kammare ibland ökade i samband med nederbörd samt att sättet luftfuktigheten minskade efter nederbörd varierade. I och med att aktiv korrosion ska undvikas fanns ett intresse att kartlägga vilka kammare där luftfuktigheten översteg den kritiska luftfuktigheten på 60 %. I Olssons tidigare studie nämndes samvariationen mellan luftfuktighet i kammare och temperatur utomhus vara en bra indikator på bra ventilation, något som valdes att fortsätta undersökas här. Datan utvärderades därför utifrån de fyra egenskaperna ; *Tar inte in fukt, Ventilerar ut fukt, Samvariation med utomhustemperatur och Luftfuktigheten är under 60 %*. I vilken utsträckning mätdata uppfyllde varje egenskap beskrevs med kategorin låg, medel eller hög. Där uttrycket låg betydde att egenskapen uppfylls dåligt och uttrycket hög betydde att egenskapen uppfylls bra. Vilka intervall respektive kategoris klasser utgjordes av är skrivet i tabell 2 och kommer förklaras ytterligare nedan.

Tabell 2: Intervallen och bedömningskriterierna som används för att kategorisera egenskaperna *Tar inte in fukt, Ventilerar ut fukt, Samvariation med utomhustemperatur och Luftfuktigheten är under 60 %*.

Egenskap	Vad som undersöks	Låg	Medel	Hög
Tar inte in fukt	Antal procentenheter luftfuktigheten ökar med i samband med nederbörd	> 20	5-20	< 5
Ventilerar ut fukt	Antal dagar för luftfuktigheten att minska efter ökning i samband med nederbörd	< 7	7-30	> 30
Samvarierar med utomhustemperatur	Vilka likheter finns mellan utomhustemperatur och kammarluftfuktighet	Saknas	Årsvariationer finns	Års- och dagsvariationer finns
Luftfuktigheten är under 60 %	Antal gånger kammarluftfuktigheten är över 60 %	0	0-1000	> 1000

Tar inte in fukt beskrev hur bra fukt hålls ute vid nederbörd; alltså om höga nederbördsvärden resulterade i skarp ökning av luftfuktigheten i kammare eller inte. Intervallen för indelningen baserades på hur många procentenheter luftfuktigheten ökar vid nederbörd. Den nedre gränsen sattes till 5 procentenheter för att ta hänsyn till både naturliga variationer i luftfuktighet, som till exempel sker då temperaturen varierar över ett dygn, samt variationer i mätvärden som har en pålitlighet på $\pm 2\%$. Den nedre

gränsen valdes därför inte understiga 2 procentenheter eftersom mätfel då kan spela en större roll i kategoriseringen. Den övre gränsen på 20 procentenheter baserades på de största luftfuktighetsökningarna som observerades i luftfuktighetsmätningarna i samband med nederbörd. Varje kategoriseringen utgick från den största ökningen respektive SAB gjorde under perioden.

För *Ventilerar ut fukt* analyserades det om aktiv ventilation existerade. Det här mättes genom att undersöka hur snabbt luftfuktigheten sjönk efter den ökat i samband med nederbörd. Tiden från att luftfuktigheten ökat skarpt till att luftfuktigheten minskat till liknande luftfuktighetsnivåer som innan ökningen mättes. Intervallen för kategoriseringen, som uttrycks i tabell 2 är; luftfuktighetsnivåerna som sjönk på mindre än en vecka kategoriserar som hög, en vecka till en månad för medel. För längre perioder än en månad eller om luftfuktigheten inte sjönk ges kategorin låg. För ledningar som inte tog in större mängder fukt tilldelades medel för deras ventilationsegenskaper. Målet med intervallen var att tydliggöra de kammare där fukt blockerades från att ventileras ut samt få kännedom om kammare där ventilation utmärkte sig som bra. Likt för *Tar inte in fukt* utgick kategoriseringen här från det mest extrema beteendet varje SAB uppvisade, vilket i det här fallet innebär den långsammaste ventilationstiden under mätdatans period.

För *Samvariation med utomhustemperatur* analyserades om luftfuktigheten i kammaren varierade på likande sätt som utomhustemperaturen. Över ett år kan temperaturutvecklingen utomhus liknas vid en sinuskurva som startar vid den kallaste tiden på året. Om förändringarna i luftfuktighetsmätningarna kunde liknas vid en sinuskurva som har sin lägsta punkt vid ungefär samma tid som temperaturen sågs samvariationen vara acceptabel och SAB:en tilldelas kategori medel. Om dagsvariationer och skarpa förändringar i temperaturen även speglades i kammarluftfuktigheten kategoriserades de istället i kategori hög. SAB:ar där båda dessa samband saknades placerades i kategori låg. Kammare där luftfuktighet skarpt fluktuerade vid nederbörd observerades därför inte ha mycket lik samvariation mellan luftfuktighet och temperatur. Dessa kammare kategoriserades därför aldrig som hög även om resterande mätvärden uppvisade ett bra förhållande mellan luftfuktighet och temperatur. .

Tabell 3: Hur storleken på intervallet påverkar antalet SAB:ar som ingår i intervallet.

Intervallgräns för antal luftfuktighetsmätningar över 60 % SAB:en gjort	Antal SAB:ar som ingår i intervallet
=0	194
>200	59
>500	56
>1000	52
>2000	46

Luftfuktigheten är under 60 % skulle antyda hur ofta kammaren haft hög luftfuktighet. Här användes 60 % luftfuktighet som övre gräns eftersom det är värdet Öresundskraft uppget som systemets korrosiva gräns. I kategori hög fanns inga luftfuktigheter över 60 %, i kategori medel fanns 1-1000 mätningar över 60 %, vilket motsvarar cirka 4 dygn. Dessa mätpunkter är ofta begränsade till mycket korta perioder men sker möjligen vid fler tillfällen, exempelvis vid nederbörd. I kategori låg fanns mer än 1000 mätvärden över 60 % luftfuktighet. Värdena bestämdes genom att undersöka hur ofta varje kammars luftfuktighet överskred 60 %. I tabell 3 visas hur olika intervall påverkade antalet SAB:ar i kategorin. Eftersom 194 SAB:ar saknade luftfuktighetsmätningar över 60 % behölls den lägre gränsen som noll för att tydligt illustrera det. Superpositionsdiagram för alla SAB:ar med mätpunkter som överskred 60 % luftfuktighet observerades. En gräns för att skilja SAB:ar som uppvisade höga luftfuktighetsvärden i samband med nederbörd från de SAB:ar som observerades ha kontinuerligt hög och oregelbunden luftfuktighet eftersöktes. Efter undersökning av datan ansågs gränsen finnas då antal mätpunkter över 60 % luftfuktighet överskred cirka 1000-2000 mätningar. Som tabell 3

visar befann sig endast 6 SAB:ar i intervallet 1000-2000 luftfuktighetsmätningar över 60 %. Den lägre gränsen på 1000 valdes för att tydligare markera skillnaden mellan sporadiskt dåliga mätvärden och regelbundna dåliga mätvärden. En sammanfattning av alla kategoriseringsintervallen visas i tabell 2.

3.3 Matematisk modell av luftfuktighet

Luftfuktigheten för respektive kulvertkonstruktion kan uttryckas som en sinusfunktion (Månsson och Nordbeck 2011).

$$y(x) = C + A \cdot \sin(T \cdot x). \quad (1)$$

Där y är luftfuktigheten i kammaren, x är antal dagar från den 1 maj 2022, A är amplituden och C är förskjutningen i höjdlid, båda uttryckt i relativ luftfuktighet. Här är $T = \frac{2\pi}{365}/dag$ för att periodtiden ska motsvara 365 dagar. Den här modellen användes för att översiktligt uttrycka skillnader mellan de olika kulvertkonstruktionerna.

Varje konstruktionstyp ska uttryckas med värden baserade på mätningarna från SAB:ar närliggande till samma konstruktionstyp. Därför beräknades först ett luftfuktighetsmedelvärde, RH_m , för varje SAB baserat på alla timmedelvärden av luftfuktighetsmätningarna gjorda av samma enhet. Maximal luftfuktighet, RH_{max} och minsta luftfuktighet, RH_{min} , beräknades också för varje enhet. Den maximala luftfuktighetsskillnaden för varje SAB kunde beräknas som $RH_{Amplitud} = \frac{A_{SAB}}{2} = RH_{max} - RH_{min}$.

Amplituden och förskjutningen för en konstruktionstyp beräknades enligt;

$$A_{konstruktion} = \frac{\sum A_{SAB}}{n_{SAB}} \quad (2)$$

och

$$C_{konstruktion} = \frac{\sum C_{SAB}}{n_{SAB}}. \quad (3)$$

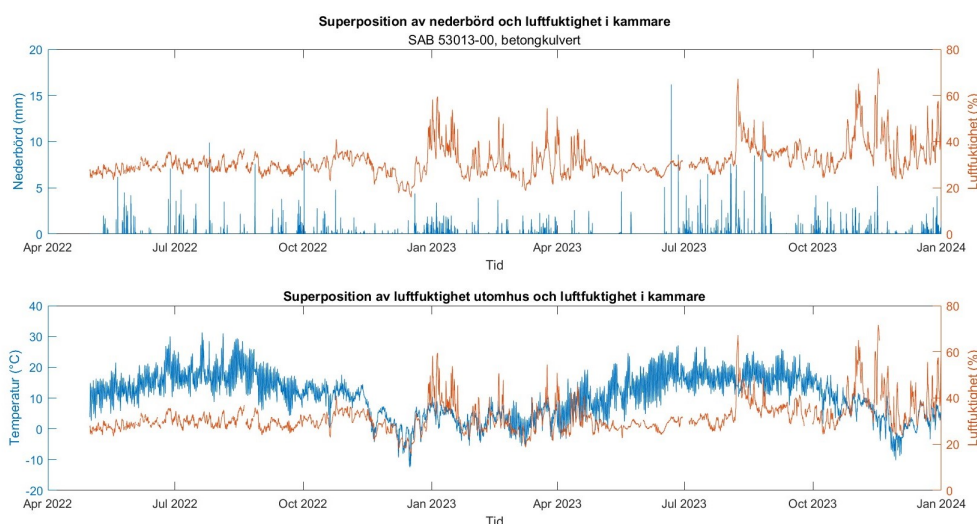
med hjälp av medelamplituden, A_{SAB} , respektive medelförskjutningen, C_{SAB} , för varje SAB med en specifik konstruktionstyp. Indexet SAB indikerar att endast SAB:ar med en specifik konstruktionstyp användes vid uträkningen. Exempelvis, $C_{betongkulvert}$ beräknades utifrån förskjutningen av alla SAB:ar kategoriserade som betongkulvert. n_{SAB} beskriver därför antalet rena SAB:ar med samma konstruktionstyp som ingick i urvalet.

4 Resultat och Analys

Eftersom många olika observationer och följudersökningar har gjorts har avsnittet delats upp i flera delar. Först introduceras översiktligt vilka mönster som kunde observeras i luftfuktighetsdatan följt av den matematiska modellen. Därefter visas observationer, figurer och analyser kopplade till skillnaderna mellan dubbel- och singelledningar, ett och två ventilationstorn samt rena och sammansatta ledningar separat. Sist presenteras observationer som gjorts av kammartemperaturen i SAB:arna.

4.1 Mönster i Luftfuktighetsmätningar

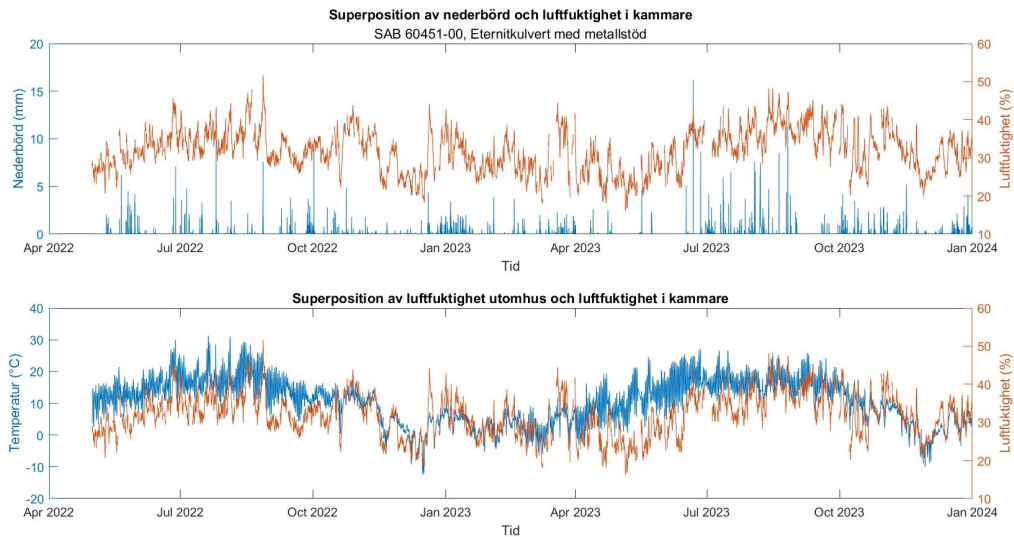
När luftfuktighetsmätningarna från varje SAB observeras i superposition till nederbörd och temperatur i Helsingborg kan trender observeras. Superpositioner mellan fem olika SAB:ar och nederbörd respektive utomhustemperatur visas nedan. Alla fem SAB:ar har olika konstruktion. De är valda eftersom de uppvisar mönster som kan ses regelbundet för deras typ av konstruktion. I dessa diagram motsvarar röd linje luftfuktigheten i kammare i båda subdiagram. Den blå linjen i det övre subdiagrammet motsvarar nederbörd och i det nedre diagrammet motsvarar den blå linjen utomhustemperatur.



Figur 16: Superposition av nederbörd och kammarlutfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarlutfuktighet för betongkulvert 53013-00.

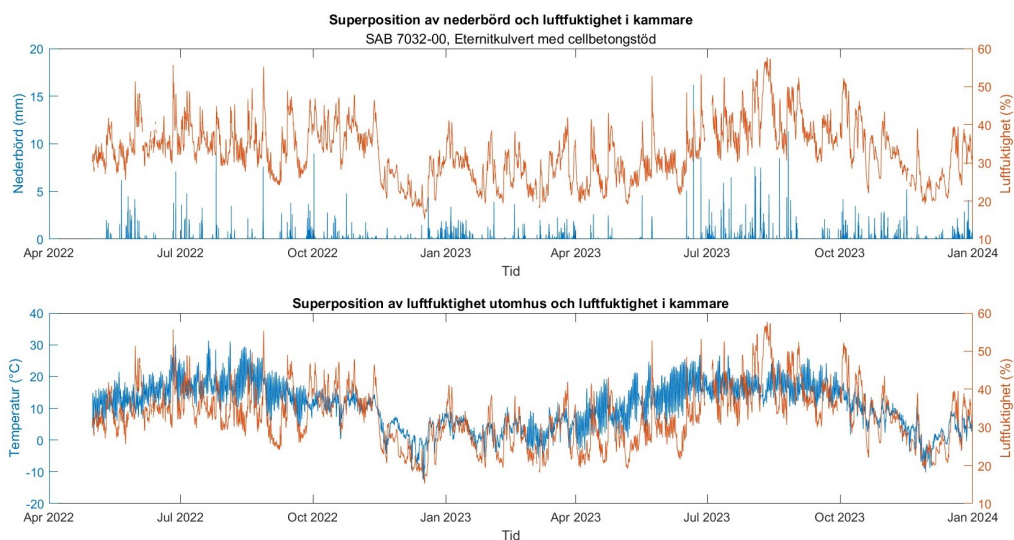
Figur 16 visar en stabil luftfuktighet som syns i många betongkulvertar. Eftersom luftfuktigheten inte varierar med utomhustemperaturen tyder detta på att dagsvariationer i temperaturen inte har en stor inverkan på luftfuktigheten i kammaren. En liten påverkan av säsongsvariationer ses dock i den röda linjens förhållande till den blå vågliknande linjen. Betongkulvertar framstår som att vara isolerad från utomhusluften. Temperatur och luftfuktighet utomhus påverkar sällan luftfuktigheten i kammaren och endast över lång tid. För vissa ledningar sker en ökning av kammarens luftfuktighet i samband med höga nederbördsvärden. Det skulle kunna visa att fukt tränger in, antingen som ett vattenläckage eller att fuktig luft tar sig in. Om kammaren har bra ventilation skulle luftfuktigheten sjunka då luftfuktigheten utomhus sjunker igen. Observationer antyder istället att det tar långt tid innan luftfuktigheten i kammaren sjunker efter höjningar i samband med nederbörd vilket indikerar en sämre ventilation. Eftersom betongkulvertar har stora håligheter finns det plats för mycket luft inuti dem. Det här skulle även kunna innebära att det tar längre tid att ventileras ut mängden fukt som kommit in.

I figur 17 visas förhållandet för SAB 60451-00 som är representativ för eternitkulvertar med metallstöd. Förhållandet mellan utomhustemperatur och luftfuktighet i kammare liknar betong med mycket långsamma förändringar över tid. Förändringarna har lägre samvariation med dagsvariationerna i temperatur. Samtidigt syns en starkare likhet till årsvariationer än betong. Det syns inte alltid på luftfuktigheten i dessa kulvertar att det



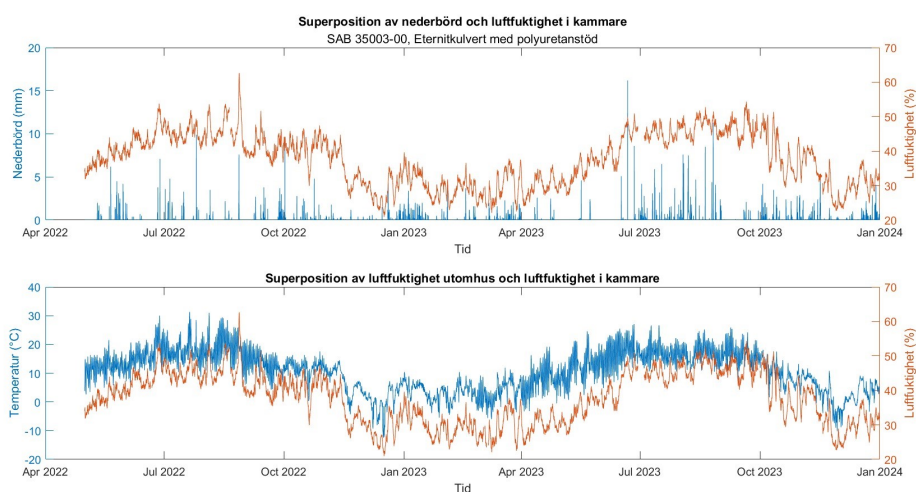
Figur 17: Superposition av nederbörd och kammarlutfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarlutfuktighet för SAB 60451-00 med metallstöd.

har regnat. Dock syns ofta en kraftig ökning vid höga värden av nederbörd alternativt flera dagar av mer intensivt regn. Vid de flesta fall återgår luftfuktigheten till lägre nivåer efter en tid. Likt betongkulvertar verkar eternitkulvertar med metallstöd vara mindre påverkade av utomhusförhållanden eftersom förändring i förhållande till utomhustemperatur sker långsamt eller inte alls. Det här skulle kunna reflektera den stora luftgenomströmning som sker hinderfritt i dessa ledningar. Cellbetongstöd, polyuretanstöd och singelledningar av sandwichkonstruktion är fundamentalt byggda på ett sätt som delvis begränsar luftflödet. I kontrast till detta har betongkulvertar och eternitkulvertar med metallstöd teoretiskt sätt fri luftgenomförel. Serier av eternitkulvert med metallstöd eller betongkulvertar skulle därför kunna ha en fullständig luftgenomströmning genom flera kammare. Det här går att observera när luftfuktighet för närliggande kammare observeras gemensamt. Om fuktinsläpp sker i en eternitleddning med metallstöd syns en liknande trend på luftfuktighetsmätningarna på närliggande kammare i serien. För kulvertar med cellbetongstöd syns inte den här kopplingen mellan kammare vilket indikerar att ventilationen är blockerad.



Figur 18: Superposition av nederbörd och kammarlutfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarlutfuktighet för SAB 7032-00 med cellbetongstöd.

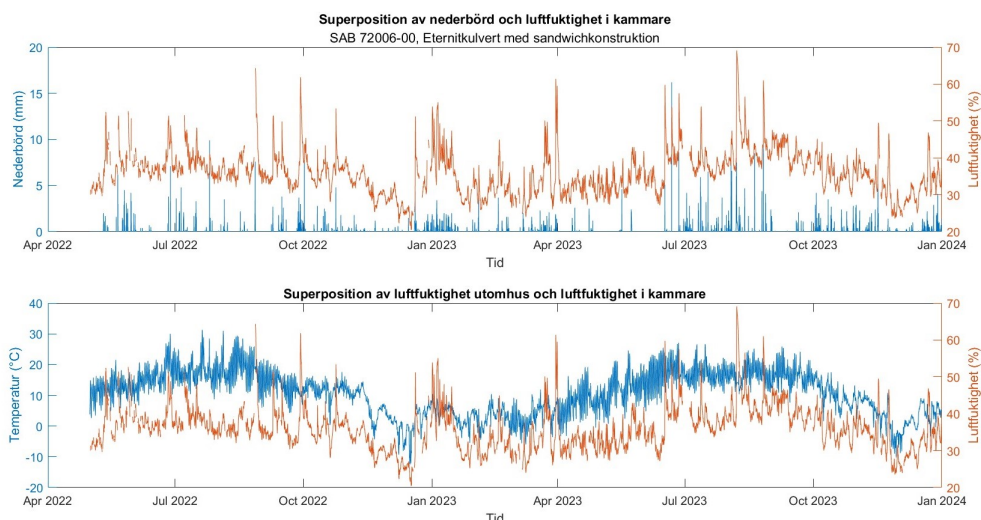
När istället eternitstöd med cellbetongstöd observeras syns ett tydligare beroende på dagsvariationerna i luftfuktigheten vilket visas i figur 18. Mätvärdena varierar mer och ger därför ett mer oregelbundet intryck. Det finns även generellt ett starkare samband mellan årsvariationerna för kulvertar med cellbetongstöd eftersom amplituden är högre och mer lik årsvariationerna man ser i utomhusluften. Allt det tyder på att luftgenomströmningen mellan kammare och uteluft är bättre eftersom förändringar i temperatur utomhus har en snabb påverkan på förhållandet i kammaren. Det finns flera tillfällen där luftfuktigheten ökar snabbt i samband med att nederbörd sker. Luftfuktigheten minskar dock även snabbt till tidigare nivåer då nederbörd slutar. Cellbetongstöd är alltså känsliga för när fukt kommer in i systemet vilket kan bero på att konstruktionen av cellbetongstöd lätt kan blockera dränering och ventilation. Systemet har dock kapaciteten att återhämta sig relativt snabbt, något som skulle kunna spegla att stödtypen har bättre ventilationsegenskaper.



Figur 19: Superposition av nederbörd och kammarluftfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarluftfuktighet för SAB 35003-00 med polyuretanstöd.

Eternitkulvertar med polyuretanstöd delar många av egenskaperna som cellbetongstöd visar vilket kan vara en följd av att deras konstruktion liknar varandra, där endast materialvalet i stödet skiljer åt. När superpositioner eternitkulvertar med polyuretanstöd observeras syns ett liknande oregelbundet förhållande mellan luftfuktighet och temperatur som motsvarande superpositioner för eternitkulvert med cellbetongstöd. Dessa variationer, som ofta sker i takt med dygnsvariationer eller nederbörd visas relativt tydligt i figur 19. Det finns även generellt ett starkare samband mellan årsvariationerna för polyuretanstöd jämfört med metallstöd eftersom kurvan har högre amplitud. Det finns flera tillfällen där luftfuktigheten ökar snabbt i samband med hög nederbörd men luftfuktigheten minskar då även snabbt likt för cellbetongstöd. Kulvertledningarna med polyuretanstöd har en tendens att förändras över tid då tyngden från medieröret och vattnet förändrar stödets form- något som kan leda till att ledningen har större risk för att komma i kontakt med eternithöljet. Om vatten ligger i botten av kulverten finns därför större risk att medierör i polyuretankulvertar har direkt kontakt med vatten jämfört med cellbetongstöd. Detta ökar risken för korrosion vid inträngning av vatten i kulverten

För eternitkulverten med sandwichkonstruktion är förändring av utomhustemperatur och kammarluftfuktighet inte alltid tydligt beroende av varandra. I figur 20 visas superpositioner för 72006-00 där ett flertal stora toppar syns i samband med nederbörd. Över de 15 olika SAB:arna finns ett tydligt samband att luftfuktighet i kammaren ökar vid nederbörd, oavsett nederbörds mängd. Observationerna tyder därför på att konstruktionen inte är kapabel att effektivt ventilera bort varken små eller stora mängder fukt. Det här kan bero på att singelledningar av sandwichkonstruktionen inte är byggd för att tillåta luftflöde.



Figur 20: Superposition av nederbörd och kammarlutfuktighet respektive utomhustemperatur och kammarlutfuktighet för SAB 72006-00 med sandwichkonstruktion.

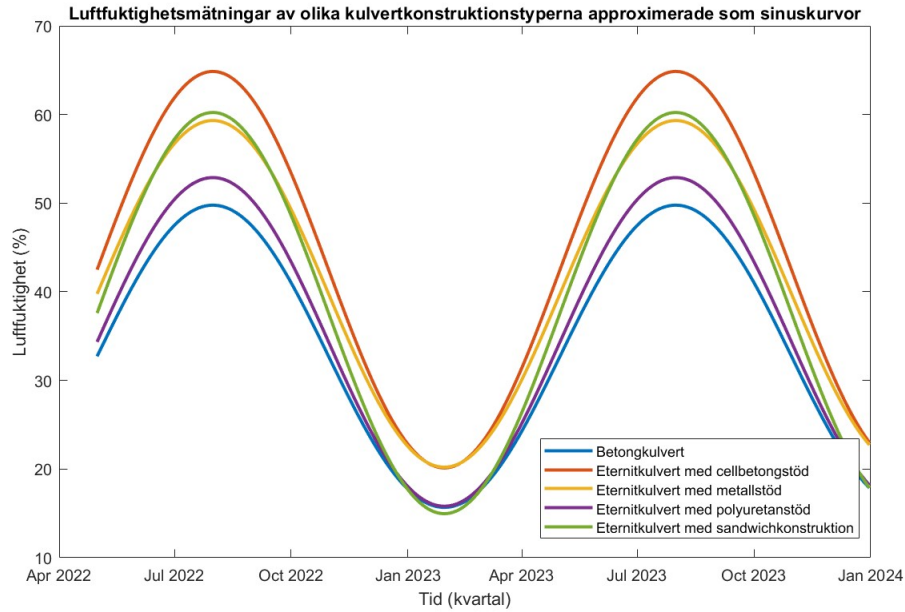
4.2 Matematisk modell av luftfuktighet

När superpositionerna analyserades kunde alla ledningar observeras förhålla sig till årsvariationer i temperatur i varierande utsträckning. Stödtyp och kulvertkonstruktion tycks dock påverka i vilket utsträckning luftfuktigheten speglar lufttemperaturen utomhus. Eftersom temperaturen på ett år kan anses variera likt en sinusfunktion borde därför även luftfuktigheten i kammare, som påverkas av utomhustemperaturen, kunna modelleras med en sinusfunktion. Enligt ekvation 2 och 3 kan konstanter för respektive konstruktion beräknas. Konstanterna visas i tabell 4, avrundade till tre värdesiffror eftersom datan inte samlats in med högre exakthet.

Tabell 4: Konstanter för sinusapproximation för respektive kulvertkonstruktion

Kulverttyp	Amplitud A	Förskjutning C
Eternitkulvert med metallstöd	39.114	39.765
Eternitkulvert med polyuretanstöd	37.083	34.342
Eternitkulvert med sandwichkonstruktion	42.267	37.596
Eternitkulvert med cellbetongstöd	44.733	42.495
Betongkulvert	34.097	32.721

I figur 21 illustreras sinusapproximationer för alla konstruktionstyper tillsammans. Cellbetongstöd har här högst luftfuktighet på ett år, detta kan man förstå eftersom värdena för amplitud och förskjutning båda är höga. Även kulvertledningar med sandwichkonstruktion har en hög amplitud på 44.733 % vilket resulterar i att den har lägst luftfuktighet vid minimumpunkter även om den annars kan uppnå höga värden. Det är även noterbart att, förutom när konstruktionerna befinner sig i sitt minimum, har betongkulvertar lägst luftfuktighet. Det här är en följd av att betong har lägst variation av luftfuktighet och medelluftfuktighet. Något av intresse är att polyuretanstöd är den eternitkonstruktion där amplitud och förskjutning mest motsvarar värdena för en ljdkulvert. Betongkulvertar och eternitkulvertar med metallstöd anses båda vara öppna kulvertar som ska modelleras efter liknande ventilationsförmågor. Sinuskonstanterna för respektive konstruktion speglar emellertid inte dessa likheter. Det här gäller även om man räknar förhållandet mellan konstanterna.



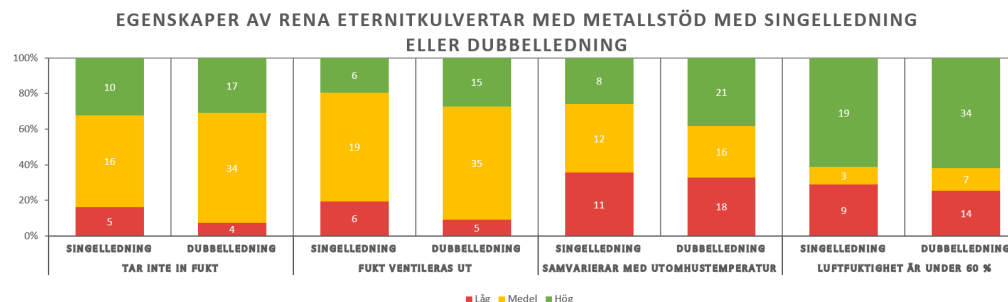
Figur 21: Sinusapproximation för luftfuktighetsförändringen av betongkulvertar samt eternitkulvertar med cellbetongstöd, metallstöd, polyuretanstöd och sandwichkonstruktion.

4.3 Kategorisering av egenskaper i luftfuktighetsmätningar

Ledningarna kategoriserades efter de fyra egenskaperna *Tar inte in fukt*, *Fukt ventileras ut*, *Luftfuktigheten samvarierar med utomhustemperaturen* och *Luftfuktigheten är under 60 %*. Kategorierna som finns är låg, medel och hög. Hög är den bästa kategorin och representeras med grönt, medel representeras med gult och låg, som är den dåligaste kategorin, representeras med rött. I följande del presenteras resultatet av kategoriseringen. Stapeln uttrycker hundra procent av urvalet med rätt konstruktionstyp och attribut. Som följd kommer staplarna alltid vara lika höga oavsett storleksskillnaden mellan urvalen som jämförs. Siffrorna i staplarna uttrycker istället antalet SAB:ar i varje kategori för att tydliggöra eventuella storleksskillnader mellan grupperna som jämförs.

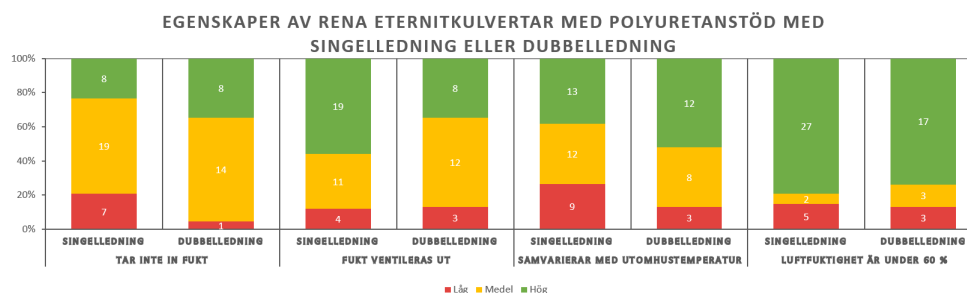
4.3.1 Singelledning och Dubbelledning

Eftersom lådkulvertar endast byggs som dubbelledningar kommer endast eternitkulvertar tas upp här. Eftersom endast en dubbelledning med cellbetongstöd existerar finns inte heller grund att jämföra cellbetongstöd efter det här attributet. Cellbetong har även fyra ledningar som är övergångar från dubbel- till singel-kulvertar vilket gör dem svåra att jämföra.



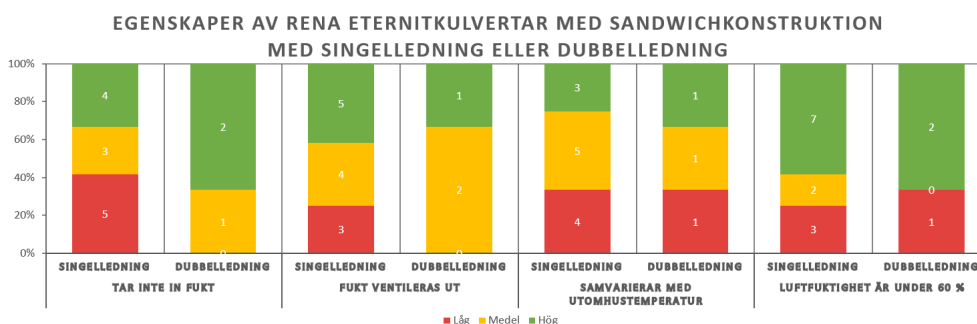
Figur 22: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med metallstöd med singelledning respektive dubbelledning i kategorierna låg, medel och hög.

Av alla konstruktionstyper har eternitkulvert med metallstöd störst likheter mellan singel- och dubbelledningar vilket ses i figur 22. Andelen i lägsta kategorin för alla egenskaper minskar dock med dubbelledningar. Dessutom är andelen i högsta kategorin mycket lik mellan fördelningarna bortsett från att andelen ledningar med hög samvariation till utomhustemperaturen ökar i dubbelledningar. Det går därför att se stora likheter mellan fördelningarna även om dubbelledningar kan uppfattas som något bättre. Att det här sambandet uppstår på konstruktionstypen med störst urval kan dock indikera att antal medierör i en kulvert inte borde påverka luftfuktigheten avsevärt. Den påverkan som kan ske är att fler ledningar innebär mer värmeförluster, något som värma kulvert och kammare. Det kan leda till att den relativa luftfuktigheten minskar och ger ett mindre korrosivt klimat.



Figur 23: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med polyuretanstöd med singelledning respektive dubbelledning i kategorierna låg, medel och hög.

För kulvertar med polyuretanstöd återfinns likheter mellan singel- och dubbelledningar i egenskaperna *Fukt ventileras ut* och *Luftfuktighet är under 60 %* vilket visas i figur 23. Dock har singelledningar högre andel i högsta kategorin för ventilationsegenskaperna. Användningen av dubbelledning antyds ge bättre resultat än användningen av singelledningar efter andelen i högsta kategorin ökar samtidigt som andelen i lägsta kategorin minskar för egenskaperna *Tar inte in fukt* och *Samvariation med utomhustemperatur*. Eftersom både singel- och dubbelledningar blockerar luftflödet borde inte det inte skapa en stor skillnad mellan typerna. Trots det observeras dubbelledningar ha en mindre andel ledningar med egenskaper i lägsta kategorin. De skulle däremot kunna följa samma trend som metallstöd där fler medierör ger bättre förutsättningar för höjd temperatur och därmed mindre korrosiv miljö.



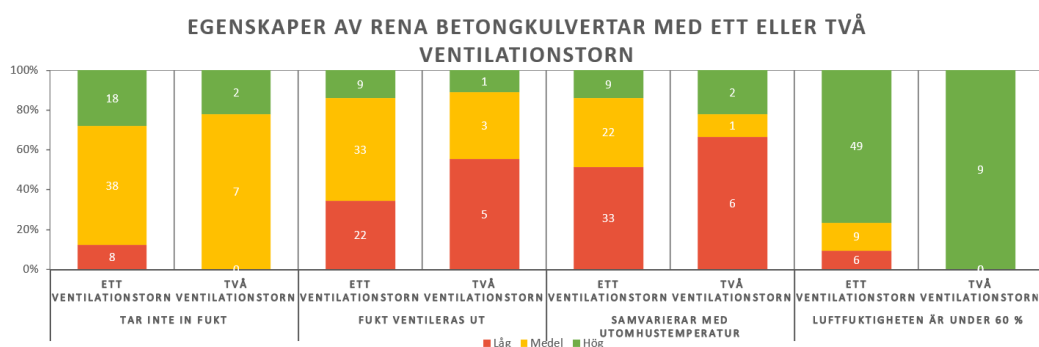
Figur 24: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med sandwichkonstruktion med singelledning respektive dubbelledning i kategorierna låg, medel och hög.

Fördelningen för kulvertarna med sandwichkonstruktion speglar, trots sitt begränsade urval, en liknande fördelning för samvariationen med utomhustemperaturen för båda singel- och dubbelledningar. I figur 24 speglas däremot likheterna inte i resterande egenskaperna där dubbelledningar saknar enheter i de sämsta kategorierna för både *Tar inte in fukt* och *Fukt ventileras ut*. Dock finns en större andel i högsta och lägsta kategorin

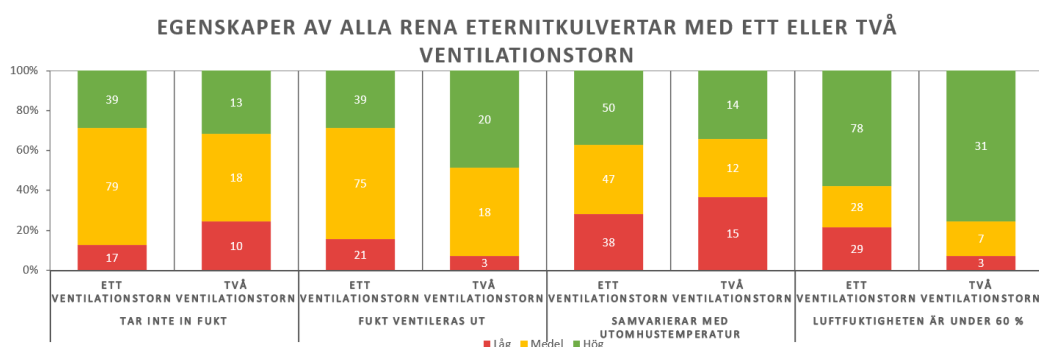
för Luftfuktigheten är under 60 % för dubbelledningar. En jämförelse av fördelningarna av singel- och dubbelledningar blir dock obetydlig på grund av det begränsade antalet SAB:ar. Resultatet indikerar dock att sandwichkonstruktion har störst skillnad mellan singel- och dubbelledningar av alla konstruktioner. Det kan bero på kulvertens konstruktion. Singelledningar av sandwichkonstruktion byggs där tre rör ligger i varandra med lite extra plats där luft kan passera. Dubbelledningar av sandwichkonstruktion har som tidigare nämnt mer likheter med kulvertkonstruktioner med metallstöd och har större möjlighet för luftgenomströmning. Ur en ventilationssynpunkt skulle det därför framstå som rimligt att dubbelledningar med sandwichkonstruktion presterar bättre.

4.3.2 Ventilationstorns påverkan på luftfuktighet i kulvertar

När det gäller betongkulvertkonstruktionen visar resultaten att fukt oftare tränger in i de kulvertar som är försedda med ett ventilationstorn. Samtidigt ventileras fukt bort bättre. Figur 25 visar att även om dubbla ventilationstorn ger svagt sämre ventilationsförmågor, överskrider kammarluftfuktighet aldrig 60 %. Det här kan tyda på att ventilationen i betongkulvertar endast klarar en viss mängd vatten. Vid mindre fuktintrång kan existerande ventilation leda ut fukten men om större mängder fukt tränger in är ventilationen otillräcklig. Dessutom minskar samvariationen till utomhustemperaturen för dubbla ventilationstorn.



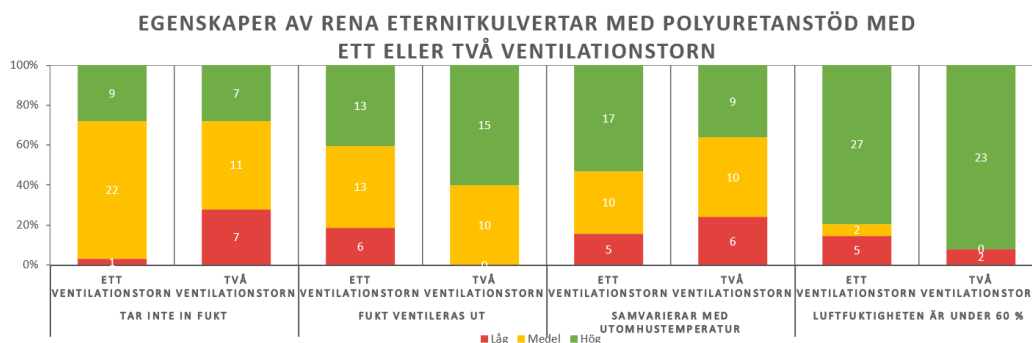
Figur 25: Fördelning av egenskaper för alla rena betongkulvertar med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.



Figur 26: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar oavsett stödtyp med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.

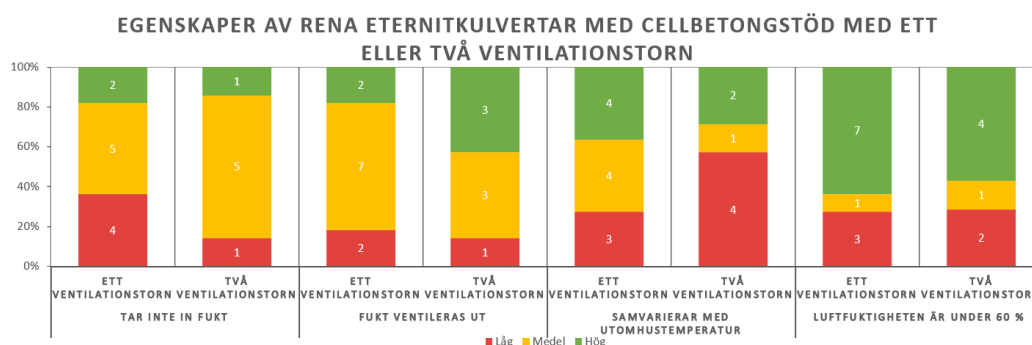
Då alla eternitledning, oavsett stödtyp, jämförs tillsammans för de som har ett alternativt två ventilationstorn observeras dubbla ventilationstorn inte minskar mängden fukt som kommer in. En större andel ledningar har bättre ventilation och få luftfuktighetsmätningar över 60 % vid användningen av två ventilationstorn istället för ett vilket visas i figur 26. Eftersom snabb ventilation kan innebära att förhöjda luftfuktighetsvärden på grund av nederbörd snabbt sänks finns en god chans att dessa egenskaper är korrelerade. Användandet av två ventilationstorn ökar inte andelen ledningar med

starkt samvariation mellan utomhustemperatur och kammarluftfuktighet, något som även syns när kulvertkonstruktionerna analyseras individuellt.



Figur 27: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med polyuretanstöd med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.

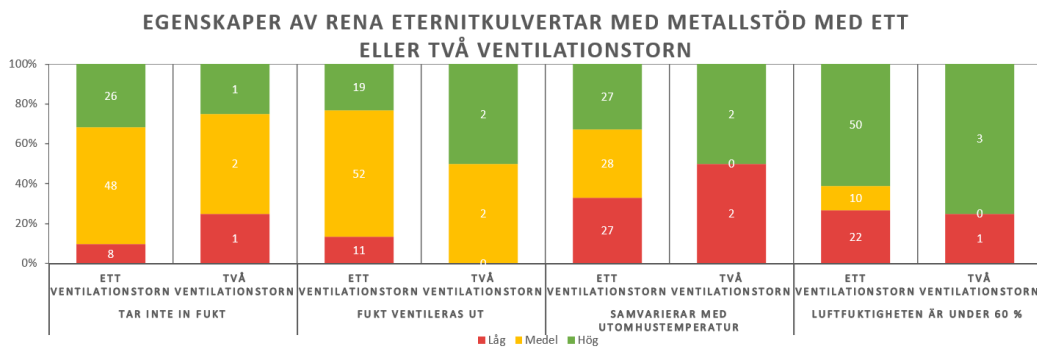
Även för eternitkulvertar med polyuretanstöd visar jämförelsen av figur 27 samma mönster, där fukt ventileras ut snabbare och luftfuktighet i kammaren i lägre utsträckning överskrider 60 % då två ventilationstorn används. Det här sker samtidigt som andelen ledningar som får in mycket fukt ökar och andelen som har bra samvariation med utomhustemperaturen minskar. Att samvariationen till utomhustemperaturen är sämre innebär att förändringar i temperaturen utomhus inte nödvändigtvis speglas i förändringen av kammarluftfuktigheten.



Figur 28: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med cellbetongstöd med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.

För eternitkulvertar med cellbetongstöd minskar andelen ledningar med signifikant intag av fukt i kammaren med dubbla ventilationstorn, se figur 28. Samtidigt växer den gröna stapeln för bra ventilation samt andelen i den röda stapeln för *Luftfuktighet är under 60 %* i stort är oförändrad för dubbla ventilationstorn. Kulvertar med cellbetongstöd är den konstruktion där samvariationen till utomhustemperaturen försämras mest då fördelningen från ett och två ventilationstorn jämförs.

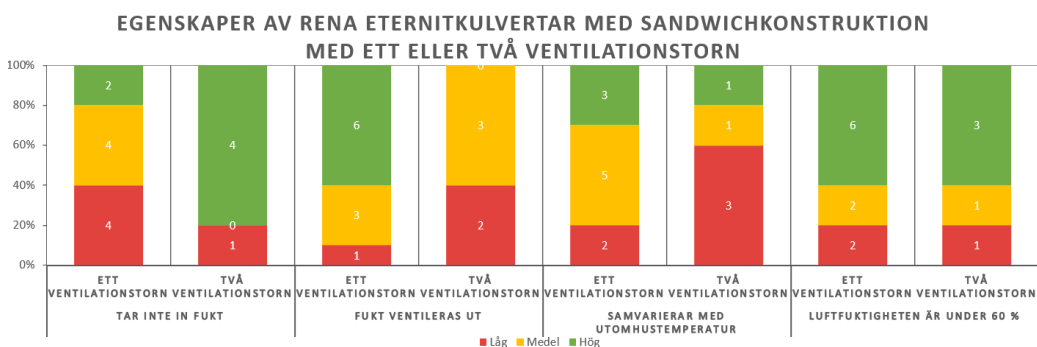
Polyuretanstöd och cellbetongstöd som observeras ha störst förbättring i ventilationen, alltså störst ökning av andelen ledningar i kategori hög, med dubbla ventilationstorn är båda konstruktionsmässigt mycket lika, med heltäckande stöd som blockerar majoriteten av luftflödet från kulvert till kammare. Eftersom båda konstruktionerna klassificeras som stängda kulvertar kan det antas rimligt att de beter sig på liknande sätt då antalet ventilationstorn varierar. För stängda kulvertar sker inget luftutbyte mellan kammare och kulvert, vilket innebär att kammarens enda luftutbyte har sitt ursprung i ventilationsstornen. Dubbla ventilationstorn bidrar då med större luftflöde samt starkare cirkulation då fler in- och utgångar existerar. Det här resulterar i att ventilation sker i kammaren där mätningarna görs men inte i närliggande kulvertar.



Figur 29: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med metallstöd med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.

Eternitkulvertar med metallstöd visar en liknande fördelning som eternitkulvertar med polyuretanstöd, där fukt ventileras ut i högre grad och luftfuktigheten i större utsträckning är under 60 % i kammare där dubbla ventilationstorn monteras enligt vad som visas i figur 29. På liknande sätt tar kulvertar med metallstöd och dubbla ventilationstorn in mer fukt än motsvarande kulvertar med bara ett ventilationstorn och andelen som har sämre samvariation med utomhustemperaturen ökar. Här är urvalet dock fyra SAB:ar vilket är en marginell del av hela Öresundskrafts system.

Kulvertar med sandwichkonstruktion skiljer sig från resterande stödtyper då påverkan av antal ventilationstorn jämförs. Bland annat visar figur 30 att andelen ledningar med bra ventilation försämras betydligt då två ventilationstorn används istället för ett, vilket ingen annan konstruktion uppvisat. Dessutom är fördelningen för ledningar med sandwichkonstruktion den enda stödtyp där den gröna stapeln för litet intag av fukt ökar för kammare med två ventilationstorn i jämförelse med ett ventilationstorn. Lik vad avsnitt *Mönster i Luftfuktighetsmätningar* förklarade har kammare kring kulvertar med sandwichkonstruktion mycket varierande trender då luftfuktigheten jämförs i förhållande till nederbörd och utomhustemperatur. Som grupp har kulvertar med sandwichkonstruktion få gemensamma beteenden som definierar stödtyper. Det här avvikande beteendet upptäcks även speglas i kategoriseringarna för stödtyper.



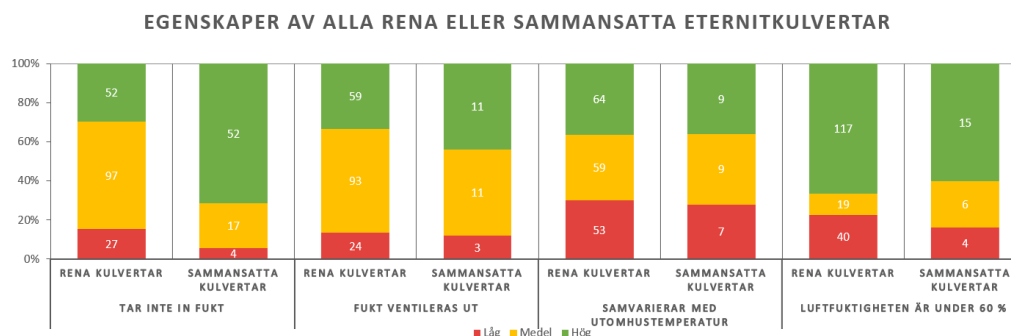
Figur 30: Fördelning av egenskaper för alla rena eternitkulvertar med sandwichkonstruktion med ett respektive två ventilationstorn i kategorierna låg, medel och hög.

4.3.3 Påverkan angränsande kulverttyper har på kammарluftfuktigheten

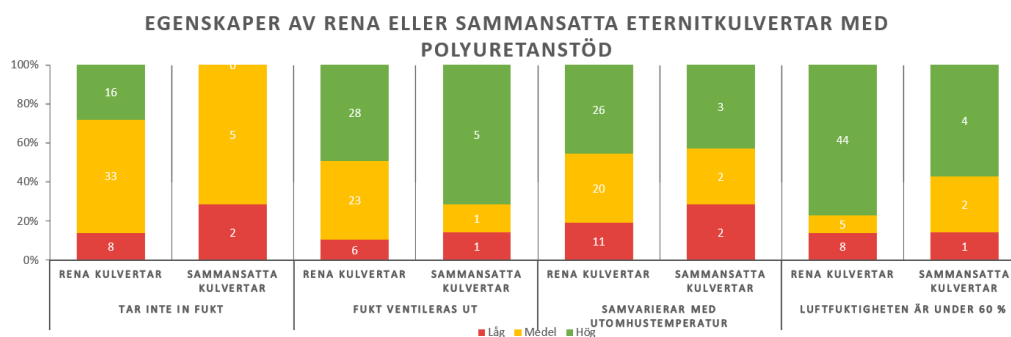
Eftersom ingen sammansatt betongkulvert ingick i urvalet presenteras endast eternitkulvertar här.

När alla rena och sammansatta eternitkulvertar jämförs som grupp finns likheter mellan fördelningarna som visas i figur 31. Specifikt andelen ledningar i kategori 1 är mycket lika i alla fyra egenskaper. För sammansatta kulvertar återfinns större andelar kategori

hög på utvärderingsparametrarna *Fukt ventileras ut* och *Tar inte in fukt* i jämförelse med rena kulvertar.



Figur 31: Fördelning av egenskaper för rena respektive sammansatta eternitkulvertar i kategorierna låg, medel och hög.



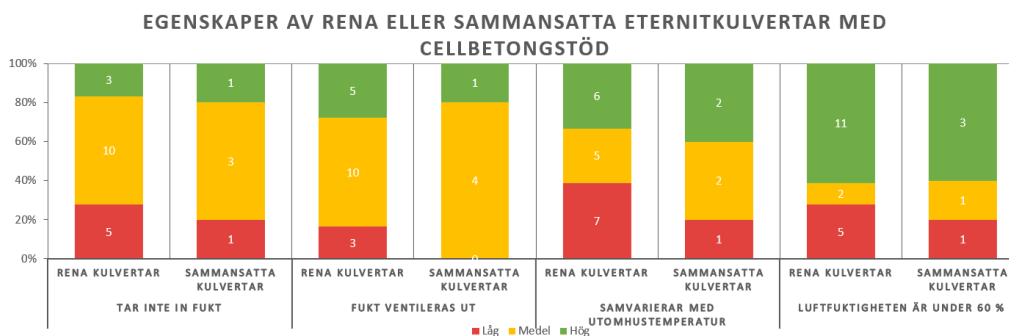
Figur 32: Fördelning av egenskaper för rena respektive sammansatta eternitkulvertar med polyuretanstöd i kategorierna låg, medel och hög.

Analyseras kulvertarna efter sin konstruktionstyp ser fördelningarna av de fyra egenskaperna för rena stödtyper och sammansatta stödtyper något annorlunda ut. Bland annat kan rena och sammansatta ledningar med polyuretanstöd ses ha liknande värden i fördelningen av *Samvariation till utomhustemperaturen* och *Luftfuktigheten är under 60 %* i figur 32. I övrigt liknar kulvertar med polyuretanstöd sammansatta respektive rena kulvertar endast för andelen ledningar med dålig förmåga att ventileras ut fukt.

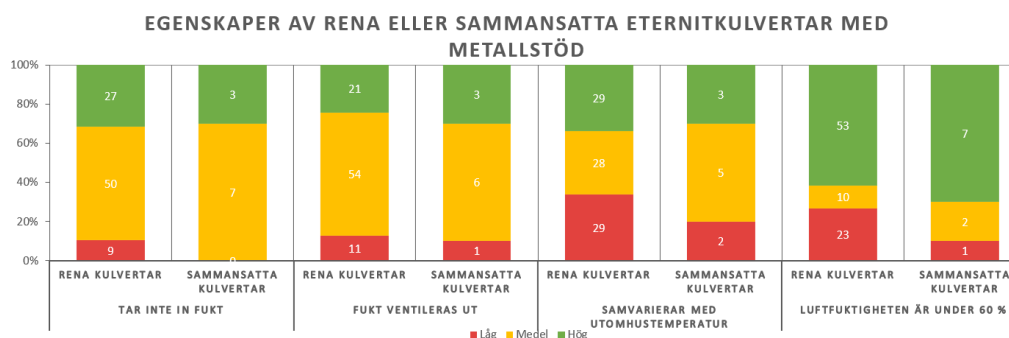
Som figur 33 visar är fördelningarna för sammansatta respektive rena kulvertar med cellbetongstöd mycket lika, något som kan indikera att närvaron av PVC- eller PCu-ledningar inte påverkar hur mycket fukt tas in, samvariationen till utomhustemperaturen eller antalet gånger systemet har en luftfuktighet över 60 %. Störst likheter visas få fördelningen för egenskaperna för *Tar inte in fukt* och *Luftfuktigheten är under 60 %* jämförs. Sammansatta kulvertar visar dock högre andel ledningar med bättre ventilationsförmågor, då den röda stapeln saknas i figuren.

I figur 34 kan översiktliga likheter mellan rena och sammansatta kulvertar med metallstöd ses eftersom kvoten av kulvertar i den gröna stapeln matchar relativt bra för alla fyra egenskaper. De röda staplarna för *Fukt ventileras ut* liknar dessutom varandra. Att sammansatta metallstöd har något högre andelar i hög klass och lägre andel i låg klass kan därför både vara ett uttryck på att sammansatta ledningar har bättre egenskaper.

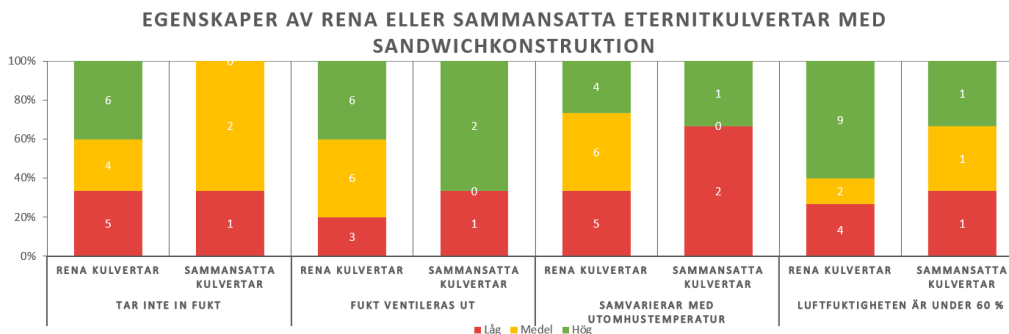
För fördelningen för kulvertar med sandwichkonstruktion ökar andel dåliga ledningar i samtliga kategorier sammansatta kulvertar i jämförelse med rena kulvertar, se figur 35. När skillnader i beteenden baserat på antal ventilation undersöktes var ledningar med sandwichkonstruktion även den avvikande konstruktionen. Även här visas en fördelning som inte liknar fördelningen för någon annan kulvertkonstruktion. Ledningarna framstår som oberäknliga där beteendet är oförutsägbart.



Figur 33: Fördelning av egenskaper för rena respektive sammansatta eternitkulvertar med metallstöd i kategorierna låg, medel och hög.



Figur 34: Fördelning av egenskaper rena respektive sammansatta eternitkulvertar med metallstöd i kategorierna låg, medel och hög.

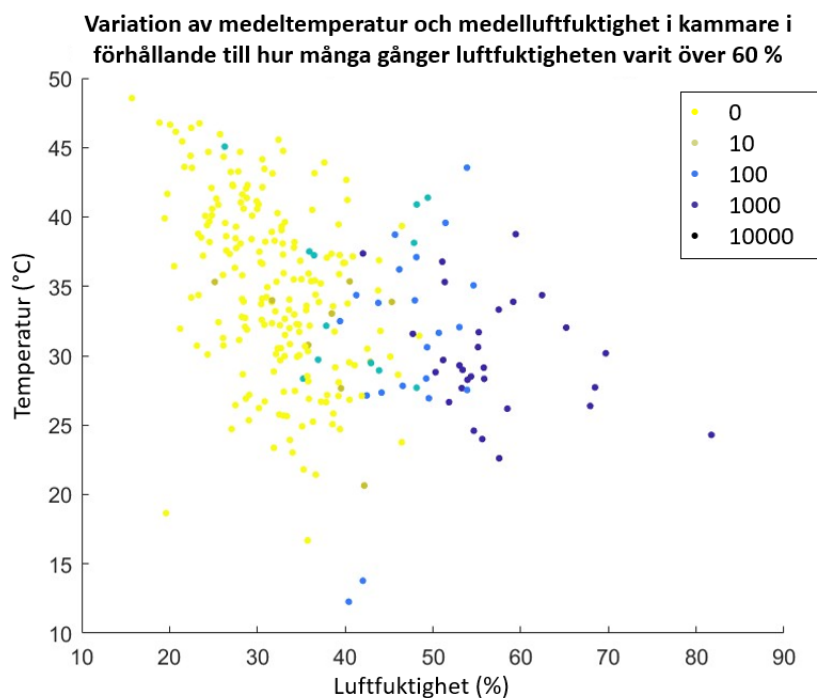


Figur 35: Fördelning av egenskaper rena respektive sammansatta eternitkulvertar med sandwichkonstruktion i kategorierna låg, medel och hög.

Övergripande observeras sammansatta kulvertar ha något bättre egenskaper än rena kulvertar; både genom antingen större andelar i högsta kategorin eller färre i lägsta kategorin eller en kombination av båda. Det här gäller inte ledningar med sandwichkonstruktion eller fördelningar där rena och sammansatta kulvertar speglar varandra. Anledningen till varför introduceringen av en PVC- eller PCu-ledningen, som inte bidrar till ökat luftflöde, i en kammare skulle förbättra ventilation och minska fukthalterna i kammaren är oklart. Potentiellt att ett visst gynnande luftgenomdrag existerar och bidrar med luftgenomdrag från flera riktningar. Alternativt att påverkan följer av att kammare åtgärdats mer nyligen eller att ytterligare ledningarna ger förhöjd temperatur som följd av värmeförlusten i ledningarna.

4.4 Mönster för kammartemperaturen

Genom superpositioner jämfördes även datan för kammartemperaturen i förhållande till utomhustemperatur och luftfuktigheten utomhus. Det framgår då att om samvariation sker, sker det mellan alla tre variabler eller endast mellan temperaturerna. Utomhustemperaturen framstår vara en gemensam nämnare för kammartemperaturen och kammarluftfuktighet som annars inte är beroende av varandra. Kamrarna är, bortsett från ventilationstornen, relativt isolerade från omgivningen. De påverkas dock av marktemperaturen. Då marken kyls ner under vinterhalvåret kyls även kammaren ner. Trots det är kammare ofta varma året om, på grund av markens tröghet i nerkyllning och värmeförlusterna från fjärrvärmevattnet i medieröret. I det svenska klimatet är det därför sällan utomhustemperaturen är varmare än kammartemperaturen. Observationer angående kammartemperatur bygger på mätdata från 211 SAB:ar eftersom temperaturdatan i 63 fall har större avbrott än sållningskriterierna tillåter.



Figur 36: Förhållande mellan lufttemperatur och luftfuktighet i kammare där punkterna markeras mörkare om kammaren haft 60 % luftfuktighet flera gånger.

I figur 36 visas undersökningen av sambandet mellan temperatur och luftfuktighet i kammare. Ljusa, gula prickar indikerar att luftfuktigheten aldrig överstigit 60 %. Därefter ökar intervallet med en multipel av 10 enligt [0, 10, 100, 1000, 10000]. De mörkaste prickarna indikerar alltså att kammaren har haft över 60 % luftfuktighet vid närmare 10 000 mätningar. Notera att SAB:ar som varit aktiva under hela perioden borde mätt cirka 84 000 värden. Figur 36 visar att då medelluftfuktigheten överstiger 60 % har enheterna höga antal luftfuktighetsmätningar över 60 %, vilket indikeras genom att prickarna blir mörkare. Det går även att observera ett par ljusare blå prickar kring 25-40 % luftfuktighet. Det här beror troligen på att läckage skett i en kammare som snabbt torkats upp. Observera skillnaderna mellan spridningen av gula prickar, de med minst höga luftfuktighetsmätningar, och de mörkblå prickarna, de med flest höga luftfuktighetsmätningar. De gula prickarna är mycket närvarande på höga temperaturer mellan 35-50 °C där de mörkare blå prickarna avtar. De mörkblå prickarna är istället centrerade kring 30-35 °C. Det tyder på att sambandet mellan relativ luftfuktighet och temperatur uppbålls i kamrarna.

Tabell 5: Medeltemperatur för respektive kulvertkonstruktion, beräknad utifrån medeltemperatur i respektive kammare.

Konstruktionstyp	Medeltemperatur (°C)
Eternitkulvert med cellbetongstöd	32,909
Eternitkulvert med metallstöd	33,264
Eternitkulvert med sandwichkonstruktion	36,434
Eternitkulvert med polyuretanstöd	37,961
Betongkulvert	38,810

4.4.1 Medeltemperatur i kammare

I tabell 5 visas medeltemperaturen för varje konstruktionstyp som analyseras i studien. Kulvert med cellbetongstöd har då lägst medeltemperatur på 32,909 °C och betongkulvert har högst medeltemperatur på 38,810 °C. Ordningen från högst till lägst medeltemperatur är betongkulvert, eternitkulvert med polyuretanstöd, eternitkulvert med sandwichkonstruktion, eternitkulvert med metallstöd och eternitkulvert med cellbetongstöd. Om sinusapproximationerna i figur 21 också rangordnas efter medelluftfuktigheten från kurvorna återfinns exakt samma ordning, men bakvänd. Betong motsvarar då lägst luftfuktighet samtidigt som cellbetong har högst luftfuktighet. Kulvert med sandwichkonstruktion, som i sinusapproximationen varierar mellan att uppvisa näst högst och lägst luftfuktighet, placeras då på mittenplaceringen. Sambandet tyder på att hög medeltemperatur motsvarar låg luftfuktighet och att motsatsen även gäller. Det här tyder på att förhållandet mellan temperatur och relativ luftfuktighet är mycket tydligt i kammare när medelvärden över hela perioden analyseras. Detta tydliga samband saknades dock när mönster i kammartemperaturen undersöktes med hjälp av dagsmedelvärden.

5 Diskussion

För att bättre förstå vad resultaten innebär och validiteten i resultatet kommer de att diskuteras här. För validiteten av resultatet kommer både val av metod och den data som användes som input i studien att diskuteras här. Avslutade kommer framtida möjligheter diskuteras; dels hur arbetet kan utvecklas, dels hur resultatet kan användas i Öresundskrafts verksamhet samt hur fjärrvärmeindustrin kan få användning av studien.

5.1 Vad betyder resultatet?

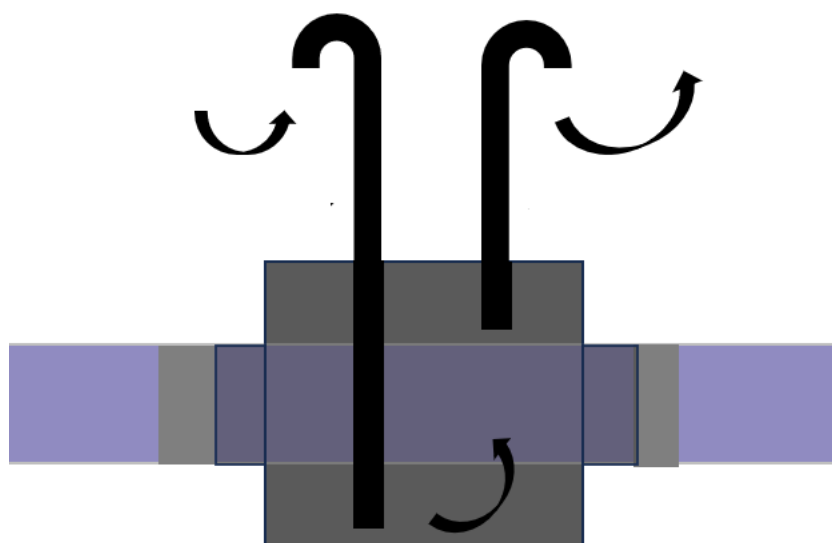
Observationerna gjorda av datan kunde kondenseras i en matematisk modell i form av sinusapproximationer för respektive konstruktionstyp som presenterades i figur 21. Det här uttrycker att kulvertar med cellbetongstöd är den konstruktionstypen som uppvisar högst luftfuktighet i kammare. Eftersom yttre faktorer har stark påverkan på luftfuktigheten i kammare kopplade till kulvertar med cellbetongstöd kan det antyda att luften snabbt flödar genom systemet, något som skulle indikera att de har bättre ventilation. Ledningarna är snabba att ventileras ut fukt vilket tyder på att ventilationen skulle kunna fungera bra. Statistiskt sett visar dock sinusapproximationen att kulvertar med cellbetongstöd har flest mätvärden över perioden som indikerar luftfuktighet över 60 % jämfört med övriga kulverttyper som undersökts, något som risker orsaka korrosiva miljöer.

Vidare pekar resultaten på att betongkulvertar, trots deras långsamma förändringstakt vid utventilering av fukt, är mest stabila i sin kammarluftfuktighetsnivå. Av de fem olika konstruktionstyperna stannar betongkulvertar generellt på lägst luftfuktighetsnivåer vilket kan antyda en lägre degraderingstakt då miljön i kulverten är mindre korrosiv.

Även om sandwichkonstruktioner i modellen kan ha lägst luftfuktighet vid utvalda tidpunkter uppnår den även näst högst luftfuktighetsnivå vid andra tidpunkter i samma modell. Konstruktionen är mycket variabel och lättpåverkad vilket eventuellt inte är önskvärt då Helsingborg är en stad som har många perioder med regelbundet regn. Ledningarna i Öresundskrafts fjärrvärmesystemet behöver därför kunna hantera denna stora variation i luftfuktighet och nederbörd som sker.

Beroende på om kulvert och kammare har bra förutsättningar eller inte för luftgenomströmning kan de fysikaliska effekterna bli olika. Antingen finns ett luftflöde genom kammare och kulvert eller är flödet hindrat. I sammankopplade, öppna system kan fukt färdas långt då många kulvertar sitter i serie. Luft som leds in i ventilationstornen kan då bidra till att luften i kulvertarna inte blir stillastående men inte nödvändigtvis att fukt leds ut. Lådkulvert, eternitkulvert med metallstöd samt dubbelledning av eternitkulvert med sandwichkonstruktion antas ha ett rikt luftflöde på grund av deras konstruktion och vad observationer av kammare som ligger i serie visar. När uppmätta luftfuktighetsvärden för olika öppna kammare jämförs kan liknande förändringar observeras. Det här sker eftersom luft färdas mellan kammare och är sällan ett resultat av luftfuktigheten utomhus. Singelledningar av sandwichkonstruktion är inte helt blockerade men uppvisar inte heller samma beroende som fullt öppna kulvertar. De kan i nuläget varken kategoriseras som öppen eller stängd.

För systemdelar där kulvertar och kammare är isolerade från varandra exempelvis för kulvertar med cellbetongstöd och polyuretanstöd kan ventilationstorn fylla en annan funktion. Luften flödar inte nödvändigtvis genom kulvertar mellan kammare. Eftersom eventuellt luftflöde mellan kulvertar och kammare är blockerat behövs ventilationstornen för att cirkulera luften. Det här innebär att ventilationen är koncentrerad i kammaren. Att ha en torr kammare är önskvärt, men ventilationen sträcker sig nödvändigtvis inte till kulvertarna. Dessa värden reflekterar troligen kammarens, och inte kammaren och ledningarnas, förhållande då stöden blockerar luft från att passera. Det är möjligt att majoriteten av värmen och fukten inte tränger förbi stöden från kammare till ledningar enligt figur 37. Det här innebär även att motsatsen är sann; att fukt kring ledningar inte kan ventileras ut i kammaren. Om fukt tränger in genom sprickor i eternithöljet finns därför inget sätt att ventileras ut dem. Om det finns misstankar att fukt eller läckor



Figur 37: Illustration av luftflödet i stängda kulvertar. Ingen luft passerar då genom kulverten utan färdas endast via ventilationstornen och kammaren.

trängt in i dessa ledningar behöver alternativa metoder användas för att tillåta större luftgenomströmning. Med det nuvarande systemet saknar man även sensorer som kan indikera fuktnivåer i ledningarna. Det här kan vara en bidragande faktor till att dubbla ventilationstorn ger lägre luftfuktighetsnivåer och snabbare bortledning av fukt för dessa typer av ledningar. Det finns alltså indikatorer på att ventilationen fungerar bättre med dubbla ventilationstorn, men anledningen att det syns extra tydligt är troligen för att ett mindre område ventileras i de stängda kulvertarna. Dessa kammare är troligen inte totalt isolerade utan luftflödet är bara starkt hindrat. Eftersom fukt inuti kulvertarna blockeras från att ventileras ut sker troligen ventilationen av ledningar mycket långsammare än vad som mäts i SAB:arna. Om kulvertar med cellbetong är fukt- eller vätskefyllda och ligger i direkt kontakt med kammare kan det vara en möjlig förklaring varför ledningar med cellbetongstöd uppvisar högst luftfuktighet i sinusapproximationsmodellen. Att närheten till en dåligt ventilerad kulvert ständigt ökar luftfuktigheten i närliggande kammare.

När egenskaperna analyseras utifrån attribut finns stor skillnad i storleken på urvalsgrupperna. Slutsatser från många av analyserna mellan antalet ventilationstorn, antal medierör samt sammansatta eller rena kulvertar är därför mycket specifika till Öresundskrafts system. Den initiala datan med 538 SAB:ar är representativ för alla Öresundskrafts kammare. Efter att kriterier för kulvertkonstruktion och datakvalité appliceras används 274 av 329 SAB:ar med rätt typ av konstruktion i analysen. Eftersom över 80 % av SAB:arna kan inkluderas i studien kan datan fortfarande hävdas vara en god representation för Öresundskrafts system. Då urvalsgrupperna minskar, minskar inte deras pålitlighet för att representera Öresundskrafts system. Å ena sidan kommer ett litet urval vara en mycket exakt beskrivning av kulvertarna som existerar i Helsingborg. Å andra sidan kan små urval ge felaktiga intryck när de analyseras utifrån procent. Om 50 % av ledningarna i ett stort urval har mycket dåliga egenskaper indikerar det att konstruktionstypen som definierar subgruppen fungerar dåligt generellt. I mindre urval kan dåliga egenskaper på 50 % av ledningarna indikera att en av två ledningar är trasig och borde bytas omgående. Det övergår då till att undersöka individuella ledningar istället för helheten av systemet. För ett bra underhållsarbete är det mycket nödvändigt att se över individuella ledningar, men i den här studien har fokuset främst varit på systemet som helhet, uttryckt i kategorier. Genom att fokusera på större urvalsgrupper kan generella beskrivningar för

olika konstruktionstyper göras. Beskrivningarna kan då vara mer tillgängliga för andra fjärrvärmeföretag att använda för att få en inblick i hur konstruktionerna skiljer sig. Att urvalet i Helsingborg representerar andra fjärrvärmenätverk kan dock inte garanteras.

Data kan ibland förenklas för att minimera antalet variabler att hantera. Ifall rena och sammansatta kulvertar av samma stödtyp visade identiska fördelningar av deras egenskaper skulle det indikera att de hade samma beteende. Kategorierna skulle då kunna förenklas och modelleras gemensamt i framtiden. Ventilationsmässigt borde rena och sammansatta ledningar vara relativt ekvivalenta. Eftersom PVC- och PCu-ledningar inte är designade för luftgenomsläpp borde en kammarens ventilation inte förbättras eller förhindras där dessa ingår. Det här förutsätter dock att det finns en annan väg för luften att flöda, vilket är anledningen till varför sammansatta kulvertar behövde åtminstone två eternit- eller betongkulvertar anslutna till kammaren. Luften kan då flöda genom eternit- eller betongkulvertarna, vilket gör PVC- och PCu-ledningarnas effekt försumbar. Resultatet ger inget definitivt svar på om detta stämmer. Rena och sammansatta kulvertar liknar varandra mer i de jämförelser där urvalsgrupperna är större. Översiktligt är fördelningarna för sammansatta och rena kulvertar mycket lika för egenskaperna *Fukt ventileras ut, Samvarierar med utomhustemperatur* och *Luftfuktigheten är under 60 %*. Största skillnaden mellan fördelningarna är att en mindre andel sammansatta ledningar tar in större mängder fukt. Tekniken för PVC- och PCu-ledningar är modernare och bättre konstruerade för att undvika inläckage än betong- och eternitkulvertar. En kammare i anslutning till fyra eternit- eller betongkulvertar kan därför ha större risk för inläckage än en motsvarande kammare med två eternit- eller betongkulvertar samt två PVC- eller PCu-ledningar, något som inte studerats utförligare i den här studien. Av de sammansatta kulvertarna hade metallstöd störst datapool på tio SAB:ar. Att fördelningar för sammansatta och rena kulvertar bär starka likheter för ledningar med metallstöd kan stärka hypotesen men tillräcklig data saknas för att bekräfta sambandet för resterande konstruktionsstöd. Det finns ingen indikation på om samma fenomen förekommer i kammare med mer blockerade stödtyper som även om kulvertar med cellbetongstöd och polyuretanstöd även uppvisar starka likheter. I vissa tillfällen kan sammansatta kulvertar ha något mer gynnsamma fördelningar. Det skulle kunna bero på utomstående faktorer som att PVC- och PCu-ledningar är nyare, vilket innebär att kammaren mer nyligen setts över då installationen skett. Det här kan innebära att eventuella sprickor och andra problem i kammaren kan ha upptäckts och åtgärdats. Om sammansatta kulvertar indikeras ta in mindre fukt skulle det kunna gynna nätet eftersom man med tid kommer behöva byta fler äldre kulvertar till PVC- eller PCu-ledningar. Även om samtligt äldre kulvertar inte byts ut samtidigt kan det kontinuerliga underhållet gynna närliggande kulvertar som inte byts, främst när mindre fukt tar sig in tack vare att aktiva läckage åtgärdas eller potentiella läckage förhindras.

När fördelningar för kulvertar med metallstöd respektive polyuretanstöd jämförs utifrån antalet medierör de byggts med syns tydliga likheter. Det här indikerar att antalet medierör som används inte har märkbar påverkan på ventilationen och luftfuktigheten i kammare. Singelledningar i kulvertar av sandwichkonstruktionen visar istället stora skillnader till motsvarande dubbelledningar. Vidare undersökning skulle krävas här, men kan potentiellt indikera att konstruktionsskillnaderna mellan singel- och dubbelledningar inte är försumbara för sandwichkonstruktioner, och därför borde betraktas som separata kategorier. Övriga konstruktionstyper uppvisar inga, eller mindre skillnader i fördelningarna för singel- och dubbelledningar jämförs. Detta är troligtvis ett resultat av att skillnaden i konstruktion för singel- och dubbelledningar för resterande konstruktionstyper inte avsevärt förändrar isoleringen och kapaciteten för luftgenomströmning.

Analysen tyder på att högre temperatur i kammare innebär lägre kammarluftfuktighet. Medeltemperaturen för varje kammare används för att beräkna ett genomsnittligt värde för respektive kulvertkonstruktion. Då medelvärdet för temperaturen för varje kulvertkonstruktion rangordnas efter storlek är det direkt omvänd ordning i jämförelse med när sinusapproximationerna rangordnas efter genomsnittlig luftfuktighet. Alltså finns potential att både temperatur och luftfuktighet kan utnyttjas för statusbedömningar. Sambandet är dock starkare när medelvärden analyseras eftersom samvariationen inte var tydligt synlig i superpositionsdiagram. Då en högre temperatur i kammare kan hjälpa

att torka en fuktig kammare, har Öresundskraft i vissa fall tagit bort isolering från ledningar genom kammaren. Värmespillet från medierör assisterar då att torka kammaren på fukt som trängt in. Sambandet mellan relativ luftfuktighet och temperatur kan även fungera som en negativ spiral när regn- och grundvatten som läcker in sänker temperaturen i kammaren och därmed ger högre luftfuktighet och långsammare torkning. I dessa ledningar kan bra ventilation vara extra viktig. Eftersom uppvärmningen i kammare främst sker på grund av spillvärme från ledningar finns en möjlighet att kammare anslutna till fler ledningar lättare värms upp. Eftersom storleken på värmeförlusterna i ledningarna beror på mängden och temperaturen på varmvattnet ledningarna transporter, skulle vidare undersökningar behövas för att undersöka om effekten är urskiljbar.

Dubbla ventilationstorn ger bättre förutsättningar för ventilation i ledningar med metallstöd, polyuretanstöd och cellbetongstöd. Betongkulvertar och sandwichkonstruktioner visade andra mönster. Betongkulvertar hade sämre ventilation samtidigt som luftfuktighetsmätningar över 60 % undveks vid användningen av dubbla ventilationstorn. Jämförelsen av fördelningen för ledningar med sandwichkonstruktion utmärker sig eftersom ventilationen identifieras försämrats då dubbla ventilationstorn används. Oavsett antal ventilationstorn har ledningar med sandwichkonstruktion exakt samma andel i varje kategori för om luftfuktigheten är under 60 %.

Kulvertar med sandwichkonstruktion uppfattas återkommande ha avvikande beteenden och fördelningar av kategoriseringar som inte överlappar med övriga konstruktionstyper. Där andra kulvertar förbättras med dubbla ventilationstorn, försämrats ledningar med sandwichkonstruktion. Variationen i ledningarnas konstruktion av singel- och dubbelledningar har i studien bekräftats påverka ventilationsförmågan, något som inte observeras i andra konstruktioner. Dessutom finns större skillnader i rena och sammansatta kulvertar med sandwichkonstruktion i jämförelse med resterande kulvertar, där skillnaden inte är påtaglig. Dessa observationer kan dels bero på att konstruktionen, specifikt för singelledningar som motsvarar 12 av 15 SAB:ar i urvalet, är mycket annorlunda från andra kulvertkonstruktioner, något som kan resultera i annorlunda fenomen. Om det inre eternithöljet blir vått finns liten möjlighet för den att torka då luftflödet är delvis blockerat. Även om ett hölje skulle torka finns ingen garanti att båda gör det, i så fall omges medieröret konstant av fukt. Tillståndet i blockerade kulvertar som cellbetong och polyuretanstöd framstår inte mätas av SAB:ar i motsvarande närliggande kammare. Mätningar för ledningar med sandwichkonstruktion, som teoretiskt sätt har ett luftflöde som närmare beskrivs som blockerat, skulle kunna vara en mer realistisk bild av förhållandet i blockerade kulvertar. Om ledningar i stängda kulvertar beskrivs av mätvärdena från ledningar med sandwichkonstruktion finns därför flera varierande beteenden som inte kan förklaras i nuläget. Hurvida kulvertar med sandwichkonstruktionen skiljer sig skarpt från resterande kulvertar alternativt om de förklarar vad som händer inuti andra blockerade ledningar med exempelvis polyuretanstöd eller cellbetongstöd krävs vidare undersökning av.

Samvariationen mellan utomhustemperaturen och luftfuktighet i kammare observerades inte öka i samband med att bortforslingen av fukt förbättrades eller höga luftfuktighetsnivåer minskades. I Olssons arbete användes korrelationen mellan utomhustemperatur och kammairluftfuktighet som ett mått på bra ventilation eftersom det ska indikera att luft utomhus leds till kammare med hjälp av ventilationstorn. Ett stadigt luftflöde ska då indikera att kammaren har kapacitet att ventileras ut fukt. I figur 36 är det synligt att kammare sällan har en medeltemperatur under 20 °C och mycket ofta är över 25 °C. Det innebär att i det svenska klimatet uppstår sällan utomhustemperaturer högre än kammartemperaturerna. Ventilationstornen leder därför in kall luft som kyler ner kammaren, vilket skulle kunna vara en nackdel då effekten av att höjd temperaturer kan sänka luftfuktigheten i kammaren just diskuterats. Anledningen att samvariationen till utomhustemperatur inte förbättras när andra egenskaper förbättras kan bero på studiens metod. Skarpa ändringar i luftfuktigheten på grund av nederbörd och ventilationsreaktionen som eventuellt följer avviker ofta från temperaturkurvan av utomhusluften. I den här studien kommer en kammare där fukt tas in ofta eller i stora mängder men besitter förmågan att ventileras ut fukten effektivt därför ha svårt att klassificeras i en hög klass för egenskapen *Samvariation med utomhustemperatur*. Det här utesluter inte att ledning-

en är bra, men egenskaperna *Samvariation till utomhustemperatur, Fukt ventileras ut och Luftfuktighet är under 60 %* förbättras inte tydligt när en annan egenskap förbättras. Det här tyder på att samvariationen på egen hand är otillräcklig för att uttrycka vilka ledningar och kammare som är bra och dåliga.

5.2 Validitet av resultat

Resultatet är starkt beroende av metod och datan som används för att genomföra beräkningarna. I följande del diskuteras validiteten av dessa faktorer. SAB:ar som uppmätt den använda indatan är placerade i majoriteten av alla nedstigbara kammare i Helsingborg. För de utnyttjade mätningarna hade fuktmetningarna en onoggrannhet på $\pm 2\%$ och temperaturvärdena en onoggrannhet på $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Förutom urvalet som gjordes för att välja betong- och eternitkulvertar valdes ytterligare 14 ledningarna bort på grund av bristande konstruktionsinformation. Dessutom valdes 55 SAB:ar bort på grund av att mätvärdena ansågs vara bristfälliga. Urvalet var nödvändigt men framstår fortfarande som en förlust för helhetsbilden i resultatet. Eftersom data saknas eller misstänks vara missvisande var det ett nödvändigt urval. Mätare där luftfuktigheten mättes överstiga hundra procent har med stor sannolikhet blivit felkalibrerade alternativt gått sönder, mätvärden därifrån bör därför inte användas. En mätare kunde även ha stor variation mellan mätvärden på kort tid. I Olssons arbete (2022) nämns det här också eftersom mätningar utgick från varje specifik mätpunkt då. Genom att använda medelvärden hoppas dessa felkällor minimeras även om de fortfarande varit en felkälla. Nollor har även uppmäts i 13 SAB:ar som totalt mäter 374 nollor under perioden. Den här felkällan betraktas som liten och försumbar. Det främsta det indikerar är att mätarna har kapacitet för felmätningar, vilket är en större osäkerhet. Att ett värde mäts till noll kan både indikera att sensorn är trasig men oftast indikerar det problem i uppkoppling mellan mätare och databas. Om inte SAB:en lyckas kopplas upp tillräckligt länge för att överföra värden registreras de som noll i databasen och de faktiska värdena går förlorade.

Som diskuterat tidigare var urvalet av vissa attribut mycket begränsat när jämförelsen mellan antal ventilationstorn gjordes. Bland annat kunde ingen jämförelse av rena och sammansatta betongkulvertar göras eftersom de få sammansatta betongkulvertarna som existerade inte uppfyllde kravet på mätdata. Urvalet försökte dock hållas så stort som möjligt för att undersöka beteendet på många olika ledningar. Om inte urvalsmängden var lika prioriterad skulle SAB:ar med mindre avbrott och mätningar för mindre än ett år med fördel sällats bort i andra scenarion. Eftersom alla 274 SAB:arna har minst ett avbrott i deras luftfuktighetsmätningar valdes det här alternativet bort. Summeras tiden av uteblivna mätningar har varje enhet i genomsnitt 25 dagars avbrott. Dessa avbrott sker dock inte sammanhängande under perioden maj 2021- december 2023 eftersom de då inte skulle uppfyllt datahanteringskriterierna som sattes i metoden.

Mätningar sker med korta intervall och är mycket användbara för att observera tillstånd i kulvertar och kammare vid full funktion. Det finns brister i mätningarna vilket sänker pålitligheten, avbrotten på 4 % av mättillfällena är påtagliga men anses ha begränsad påverkan på resultatet. De största problemen är när avbrott sker vid viktiga ögonblick, exempelvis hög nederbörd. Det blir då svårt för underhållspersonal att observera förändringar i kammare. Samtidigt blir datan svårare att använda i studier likt denna.

Klassificeringarna av SAB:arna utgår från närliggande kammare och ledningar. Dels fanns osäkerheter i tillgängliga specifikationer eftersom vissa ledningar tidigare blivit felklassificerade. Det här är ett aktivt problem på Öresundskraft som då och då uppdaterar felklassificerade ledningar. Dessa felklassificeringarna antas dock vara få eftersom man i dagsläget har infört kategorin okänd för kulvertar som driftpersonal inte kommer åt, och därför inte kan klassificera. Som tidigare nämnt är kulvertarna även byggda med stor variation på grund av ospecifika byggstandarder och utvecklingen av teknik som skett senaste årtiondena. Varje konstruktion anpassas dels till omgivningen den byggs i men hantverkare kan även påverka konstruktionen. Till exempel innehåller vissa eternitkulvertar med cellbetongstöd och polyuretanstöd endast halva stödet. Det här innebär att ledningarna vilar på stödet samtidigt som överdelen av kulverten är öppen,

vilket troligen påverkar luftflödet. Alla dessa modifikationer gör fjärrvärmeledningarna svårklassificerade och minskar pålitligheten i resultatet. Att genom fysiska besök observera alla stöd i angränsning till alla SAB fanns inte heller tid för i omfånget av det här arbetet, något som annars kunde varit användbart för att bekräfta stödtyperna. Begränsad sikt eller oåtkomliga stöd är den främsta anledningen till att vissa SAB:ar inte kunde klassificeras. Eftersom intervallen är delvis subjektivt bestämda med en viss felmarginal är analyser utifrån exakta procentsatser inte aktuella. Generella mönster och trender är därför fokuset i rapporten.

Eftersom datamängden var stor kondenserades informationen med medelvärden för varje timme under perioden. Det här gjordes bland annat för att det minsta intervallet SMHI:s genomförde vädermätningar var en gång i timmen. Medelvärden gör dock avbrott mindre synliga eftersom medelvärdet av ett värde per timme behandlas ekvivalent som medelvärdet av 10 värden på en timme. Approximationen kan dock anses rimlig eftersom luftfuktighetsförändringen i kulvertar generellt är långsam samtidigt som man kan ta hänsyn till variation i luftfuktighet mellan natt och dag.

I metoden lades stor vikt på observationer och okulär kategorisering vilket introducerar den mänskliga faktorn. Det här ger dock möjlighet att göra små observationer av saker som kan vara av intresse som en mer beräkningstung metod försummar. Ett alternativ till det skulle kunnat vara att använda korrelationsvärden, något som Olssons arbete (2022) utnyttjade för att se hur luftfuktigheten i kammare korrelerade till nederbörden. Det här skulle kunnat varit ett bra alternativ för exempelvis *Samvarierar med utomhustemperatur* och *Tar inte in fukt*. Det skulle ge kategoriseringarna mer kvantitativa värden på en större skala istället för endast tre värden.

Gränserna för kategoriseringen som beskrivs i tabell 2 valdes genom observationer, något som är subjektivt. Det saknas en pålitlig metod för att kvantifiera och automatisera beräkningen av tid som krävs för att ventileras ut fukt efter inläckage. Därför har alla dessa tider individuellt kartlagts med hjälp superpositionsdiagram av timmedelvärden av luftfuktighet. Minimumgränsen för när fukt tränger in valdes till 5 procentenheters ökning för att undvika påverkan de naturliga variationerna luftfuktigheten utomhus har som följd av att temperaturen ändras under ett dygn. En tydligare motiverad minimumgräns som tar hänsyn till luftfuktigheten utomhus skulle kunna sättas genom att istället beräkna variationen på luftfuktigheten utomhus. För både *Tar inte in fukt* och *Ventilerar ut fukt* baseras varje SAB:s kategori på tillfället då mest fukt trängt in alternativt långsammast ventilation skett. Det här innebär att kategoriseringen ofta är centrerad kring SAB:arnas reaktion vid årets största mängd nederbörd eller årets mest regnintensiva period, något som kan anses missvisande för generella beteenden. Hurvida kammare hanterar dessa oväder kan dock ha stor inverkan på deras förhållanden långt tid framöver, speciellt om fukt inte ventileras ut. För ventilationen söktes en gräns som kunde indikera relativt snabb reaktionsförmåga, därav 7 dagar. Att ha lägre gräns kunde förtydligat kammare med mycket snabb ventilation ytterligare. Mycket snabb förändringar sker dock sällan och en nedgång på cirka en dag skulle mycket få SAB:ar uppvisat. Detsamma gäller den övre gränsen på en månad som mycket väl kan korrigeras. En månad valdes främst som mellangränsen eftersom längre perioder innebar att luftfuktigheten inte hann sjunka innan den ökar igen som följd av nya regnoväder. När intervallet för *Luftfuktigheten är under 60 %* skapades fanns en målsättning att tydligt skilja de SAB:ar som spenderade mycket tid över 60 % luftfuktighet från de som endast hade ett fåtal mätningar av den storleken. Som illustrerat i tabell 3 skulle en justerad gräns från 1000 luftfuktighetsmätningar över 60 % till 200 eller 2000 endast förändra kategoriseringen för 7 respektive 6 SAB:ar, vilket troligen har liten effekt på resultatet.

För att avgöra hur bra fukt leds ut ur kammare skulle andra metoder kunna användas. Metoden måste dels avgöra när luftfuktigheten ökar som som en reaktion på nederbörd. Något som då eventuellt kan behöva utnyttja korrelationsvärdet mellan nederbörd och kammarluftfuktigheten. Därefter skulle det behöva avgöras vilken luftfuktighetsnivå som den ska återvända till när luftfuktigheten minskar. Därifrån skulle en lutning kunna bestämmas. Det skulle i så fall kanske vara aktuellt att istället för att observera hela året, välja ett par tillfällen där kraftig nederbörd sker och jämföra hur alla kammare

påverkas av det. Att jämföra lutningen på kurvan skulle dessutom vara mer fördelaktigt än att jämföra tiden den tar att för luftfuktigheten att minska. Lutningen skulle då indikera kammarens förmåga att leda ut fukt och inte hur långt tid det tar för kammaren att leda ut samma mängd fukt som redan tagits in.

Jämförelsen av förhållandet mellan medeltemperatur och medelluftfuktighet i samma kammare i förhållande till antalet luftfuktighetsmätningar över den korrosiva gränsen gjordes. Tyvärr har alla SAB:ar inte varit aktiva under hela mätperioden som undersöks. Det innebär att användningen av antal mätpunkter kan vara missvisande då vissa SAB:ar varit aktiva dubbelt så länge. Ett mer objektiva sätt att uttrycka luftfuktighetsmätningar över 60 % skulle vara att beräkna vilken procentuell andel av den totala antalen mätningar de motsvarar. Att uttrycka de procentuellt skulle även vara gynnsamt då intervallen för *luftfuktighet är under 60 %* bestäms.

5.3 Användning av resultatet

Kategoriseringar och mönstrena som upptäckts kring respektive kulvertkonstruktion kan ge en indikation för vad som bör prioriteras för respektive kulvertkonstruktion. Stängda kulvertar kan ventileras ut fukt intaget i kammare snabbt och effektivt vilket innebär att de inte är lika känsliga för det. I öppna kulvertar kommer troligen fukt som tränger in färdas långt i systemet och det här kan nödvändigtvis vilja minimeras. Dessa framstår dock ha lägre luftfuktigheter som följd av att fukten sprids ut genom serien av kammare och kulvertar. Eftersom stängda kulvertar inte har den här förmågan kan läckage som sker längs eternithöljet och dess skarvar fastna i kulverten. Eftersom luftfuktighet i kammare inte kan antas med säkerhet mäta detta behövs något sätt att kontrollera och åtgärda fukt i kulvertmiljöer kring stängda kammare. Alternativet kan det ses som en anledning att stängda kulvertar borde bytas i snabbare takt än öppna.

Eftersom luftfuktigheten i öppna kulvertar sprids i systemet existerar ett mycket starkt samband mellan närliggande kulvertar. Det skulle innebära på att nya mätningar som görs inte strikt behöver vara i varje kammare kring öppna kulvertar. För stängda kulvertar, som saknar denna koppling, är det desto viktigare att göra mätningar i alla kammare av intresse. Det är dock i nuläget inte säkert om stängda kulvertar kan mäta förhållanden i kulvertarna, utan att informationen endast ger insyn i kammarens miljö. Det här kan vara mer aktuellt för fjärrvärmeförtag som ännu inte satt upp SAB:ar. De kan då utveckla en prioriteringsordning för vilka kammare mätningar bör göras i.

För att ytterligare undersöka om cellbetongstöd faktiskt blockerar luftgenomströmningen kan närliggande kammare undersökas för att se om fenomenen är isolerade. Att jämföra med hur närliggande kammare i anslutning till endast PVC eller PCu påverkas kan även vara relevant för att se om dessa visar tecken på att vara blockerade i samma utsträckning som blockerade eternitkulvertar.

Om en metod att analytiskt beräkna lutningen för reduktion av luftfuktighet vid ventilation utvecklas skulle det kunna användas i mer vardagliga sammanhang för att observera statusen av kammare efter exempelvis kraftig nederbörd. Kammare som ventileras ut fukt långsammare kan då prioriteras att åka ut till och pumpa ut eventuellt inträngt vatten.

5.4 Förslag på framtida utveckling

Ett ytterst viktigt koncept i maskininlärning och datamodellering är insamling av bra indata och användning av bra egenskaper för att få en modell som ger ett gott resultat. Det här kan bland annat innebära att Öresundskraft, om de i framtiden vill kunna implementera datamodellering i sin verksamhet, redan idag kan behöva spendera arbetstimmar på att samla, kategorisera och lagra datan på ett kvantitativt sätt likt vad som gjordes i det här arbetet. Det skulle även minska arbetsbördan för framtida studier som ska göras på datan eftersom datan inte behöver samlas in på nytt. Exempelvis kulvertmaterial, antal ventilationstorn, ventilationstornstyp, ledningstjocklek, byggnadsår, isoleringsmaterial kan alla vara bra data att samla för att sedan analysera. Majoriteten

av den datan existerar redan i Trimble och NIS, men det skulle behöva översättas till ett tabellformat som är mer lätthanterligt i programmeringssammanhang.

Då arbetet inleddes fanns ingen färdig definition vad som kvantitativt definierar en bra eller dålig kulvert. Under arbetets gång har inga definitiva gränser för detta skapats. Istället har egenskaper som kan vara bidragande för om förhållandena i kulverten är gynnsamma eller inte introducerats. Hur yttre påverkan och varierande attribut påverkar dessa egenskaper agerar därför riktmärke för vad som i framtiden kan indikera en bra eller dålig ledning. Om mer definitiva och kvantitativa undersökningar ska göras finns ett behov av att tydligare definiera vad som är en bra ledning och hur det kan mätas. Är det ledningar som aldrig tar in fukt eller är det de som lätt kan ventilera ut mycket fukt? Att man därför vill veta exakt hur mycket fukt varje kammare tar in för att avgöra dess status? Är det ledningar med låg luftfuktighet eller en luftfuktighet kring ett exakt värde? Kan man lita på att luftfuktighetsmätningarna i blockerade kulvertar kan användas i det här syftet, även om de rapporterar kammarens luftfuktighetsnivåer och inte kulvertens luftfuktighetsnivå? Eller är det ledningar som korroderar långsamt? Kan korrosionstakten på medierören då mätas för att avgöra vilken ledning som är bäst. Den här studien har kommit fram till att samvariationen mellan luftfuktighet och utomhus-temperatur inte på egen hand är en fullständig indikation för det här. Om samvariationen mellan luftfuktigheten och utomhustemperaturen som korrelationsvärden utifrån samma variabler är däremot inte bekräftat. Konstruktionstypernas variation i beteenden gör det även svårt att sätta ett samlat omdöme som inkluderar alla eternitkulvertar och betongkulvertar. Eftersom Öresundskraft under senaste halvåret gjort stora framsteg i sina hålfasthetstjockleksmätningar, ett mått som kan representera korrosionstakten i medieröret, finns stora möjligheter att använda dessa för framtida studier. Det kan då finnas ett givet värde för korrosionstakten i en ledning, något som kan användas som indikator på hur bra en ledning är när andra attribut och konstruktionstyper analyseras.

Ett sätt att använda all data som har använts i den här studien tillsammans med hålfasthetstjockleksmätningarna kan vara inlärningsmodeller som exempelvis beslutsträd (decision trees på engelska). Beroende på vilka attribut av en ledning som ger bäst pålitlighet i modellen ger det en bra indikation på vilka attribut som har störst inverkan på hur hög eller låg korrosionstakt som skett i röret. Det här kan dels indikera vilka attribut som är viktiga att behålla men kan även indikera kombinationer av attribut som historiskt haft hög korrosionstakt. Den här metoden skulle främst vara en grund för ett klassifieringsverktyg, inte för att identifiera enskilda ledningar som behöver bytas. Exempelvis kan det utveckla en prioriteringsordning för vilken sorts ledning som har högst korrosionstakt och därmed eventuellt byte har högst prioritet.

Öresundskraft använder främst SAB:ar för att observera systemets beteenden i mindre och svåråtkomliga områden. SAB:ar, eller en likande teknologi, skulle även kunna appliceras i liknande sammanhang för avlopp och elnät och annan nedgrävd infrastruktur. De kan både användas som informationsamlare, rapportera rådande tillstånd och indikera larm.

Studien kan även nyttjas av företag med liknande fjärrvärmenät, bestående helt eller delvis av kulvertlösningar. Studiens resultat förstärker förståelsen, som många fjärrvärmeföretag redan upptäckt, att behovet av underhåll endast kommer öka. Att ha kunskap om vad som händer i hela fjärrvärmesystemet kan assistera i att koncentrera underhållet där det är nödvändigast. Om planerat underhåll kan beslutas genom en god grund av data och kunskap kan pengar sparas vilket mycket väl kan vara värt investeringen som krävs för att genomföra datainsamlingen.

6 Slutsats

Arbetets mål var att ge insikter i Öresundskrafts kulvert nätverk och idéer på hur uppmätt data i systemet kunde användas. Eftersom förebyggandet av korrosion är centralt i fjärrvärmeunderhåll har fokus varit på förhållanden kring fukt och ventilation. De analyserade kulvertarna var antingen betong- eller eternitkulvertar. Dessutom konstrueras eternitkulvertar med fyra olika stödtyper; polyuretanstöd, metallstöd, cellbetongstöd samt sandwichkonstruktion.

De kännetecken Olof Olsson nämner i sitt arbete om stängda respektive öppna kulvertar återfinns även här. Eftersom stängda kulvertar inte har ett luftutbyte med närliggande kammare, där mätningar genomförs, ger det upphov till spekulation att pålitliga mätningar för stängda kulvertar inte går att genomföras i dagsläget. Därmed saknas inblicken SAB:ar ska tillföra i stora delar av kulvertsystemet.

Det går att urskilja att antal ventilationstorn är en givande parameter att dela upp sitt urval efter, där två ventilationstorn regelbundet verkar ge bättre ventilationsmöjligheter. Eftersom kulvertar med sandwichkonstruktion regelbundet uppvisar annorlunda beteenden och mönster i sina mätvärden behöver de undersökas separat i många fall. Det skulle krävas ytterligare undersökningar för upptäcka vad som ger upphov till dessa skillnader. Analysen tyder även på att sammansatta och rena kulvertar inte uppvisar tillräckligt avvikande beteenden för att försvara separering av kategorierna i framtida analyser. Det är dock inte bekräftat för alla sorters kulvertkonstruktioner.

Mätningar av kammartemperatur, som tidigare inte utnyttjats i Öresundskrafts undersökningar, upptäcktes ha ett samband till luftfuktighetsmätningar i samma kammare. Användning av informationen och ytterligare undersökningar tros vara ett steg på vägen för att få fler användningsområden för uppmätt data. Metoden sker manuellt och automatisering av processen skulle vara nödvändigt för att kunna göras oftare eller på större skala.

För Öresundskraft uttrycks tre viktiga områden för eventuella framtida arbeten; Att samla information om systemet och omvandla den till ett lättillgängligt format för datahantering. Att definiera mått för hur ledningar kan uttryckas som bra eller dåliga kvantitativt, exempelvis genom korrosionstakten på ledningar eller medelluftfuktigheten i närliggande kammare. Om båda dessa saker görs kan informationen användas för att utvärdera fler attribut och hur kombinationer av attribut påverkar kvalitén och livslängden på kulverten.

I dagsläget finns mängder av sätt att använda data i analyssammanhang och framtiden ser ut att innehålla ännu fler verktyg. Att redan idag lägga tid, energi och pengar på att samla information ser därför ut att vara en mycket hållbar strategi som kan gynna fler, både inom fjärrvärmebranschen och andra industrier.

Referenser

- Öresundskraft AB (u.å.). *Full av energi sedan 1859*. URL: <https://www.oresundskraft.se/om-oss/historik/>.
- AB Eternitrör (1967-1972). *Eternitrör kulvertssystem*. Produktpärm Asbestcementkulvert.
- Elfgren, L. (u.å.). *Betong*. [2024-06-17]. Nationalencyklopedin. URL: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/betong>.
- Energimyndigheten (2022). *Energiläget 2022- en översikt*.
- Frederiksen S. & Werner, S. (1993). *Fjärrvärme: Teori, teknik och funktion*. Studentlitteratur.
- (2013). *District Heating and Cooling*. Studentlitteratur.
- Mattsson, E. (u.å.). *Korrosion*. [2024-06-04]. Nationalencyklopedin. URL: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/korrosion>.
- Mccafferty, E. (2010). *Introduction to corrosion science*. Springer Science Business Media.
- Månsson J. & Nordbeck, P. (2011). *Endimensionell Analys*. 9 uppl. Studentlitteratur.
- Ohlsson, M. (opublicerad). *Betongkoll*.
- Ohlsson, Magnus (2024). *Teknisk chef, Öresundskraft AB*. personlig konversation.
- Olsson, O. (2022). "Undersökning av luftfuktighetens förändring över tid och dess påverkande faktorer i fjärrvärmekulvert: Analys av mätdata från Öresundskrafts fjärrvärmenät". Masteruppsats, Energivetenskaper. Lunds Universitet.
- Sernhed, K., Ekdahl, E. Skoglund, P. (2012). *Statusbedömning av Betongkulvert*. Rapport 2012:9. Svensk Fjärrvärme AB.
- SMHI (u.å.). *Ladda ner meteorologiska observationer*. [2024-03-11]. URL: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airHumidity,stations=core,stationid=62040>.
- Svensk Fjärrvärme (2015). *Underhållshandboken för Fjärrvärmedistribution*. URL: https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/det-erbjuder-vi/rapporter-och-dokument-fjarrvarme/underhallshandboken_2015-webb-ratt.pdf.
- Wern, L. (2013). *Luftfuktighet - variationer i Sverige*. METEOROLOGI 154. URL: <https://www.smhi.se/publikationer/luftfuktighet-variationer-i-sverige-1.34704>.
- Wikipedia (2024). *Polyvinylklorid*. [2024-06-20]. URL: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Polyvinylklorid>.

Information om SAB:ar

Följande tabell visar attribut och konstruktioninformation för varje SAB som använts i undersökningen. För kulvertmaterial används 3 kategorier;

- 1: Ren betongkulvert
- 2: Ren eternitkulvert
- 5: Sammansatt eternitkulvert

Antalet ventilationstorn uttrycker om kammaren har ett eller 2 ventilationstorn.

Stödtyp uttrycker vilket av fyra olika stöd eternitkulvertarna har;

- 1: Polyuretanstöd
- 2: Cellbetongstöd
- 3: Metallstöd
- 4: Sandwichkonstruktion

Femte kolumnen *Singel- eller Dubbelledning* uttrycker antalet medierör i kulverten;

- 1: Ett medierör, en singelledning
- 2: Två medierör, en dubbelledning
- 3: Ledningarna som gränsar till kammaren är byggda som både singel- och dubbelledningar.

De ledningar som har avbrott längre än två veckor indikeras med en 1:a i kolumn *Har avbrott i temperatur*. Endast SAB:ar med tomma rutor i denna kolumn inkluderades i temperaturmedelvärdena.

Att alla dessa SAB:ar ingår i analysen ses i kolumn *I urval* där 1 indikerar att de ingår.

SAB	Kulvertmaterial	Antal ventilationstorn	Stödtyp	Singel eller dubbelledning	Har avbrott i temperatur	Urval
1015-00	2	2	2	1		1
10233-00	5	1	3	2		1
16001-00	1	1		2		1
16005-00	2	2	2	1	1	1
17004-00	2	2	2	1		1
17015-00	5	2	2	1		1
17016-00	2	1	2	1		1
17022-00	2	1	2	1		1
17102-00	2	1	3	2		1
17106-00	2	1	3	2		1
17303-00	2	1	3	2	1	1
20007-00	5	1	2	3		1
21004-00	5	2	2	3	1	1
21007-00	2	1	2	1	1	1
21010-00	2	1	2	1	1	1
21011-00	2	1	2	1	1	1
23004-00	5	1	2	1		1
23011-00	2	1	2	3		1
23016-00	2	1	2	3	1	1
23404-00	2	1	3	2		1
23754-00	2	1	3	2		1
23757-00	2	1	3	2	1	1
24102-00	2	1	3	2		1
26001-00	2	1	2	1	1	1
26003-00	2	1	1	2	1	1
26004-00	2	1	1	2	1	1
26154-00	2	1	3	2	1	1
27252-00	2	1	3	2	1	1
28004-00	2	1	2	1	1	1
29006-00	5	1	1	2		1
29009-00	2	1	1	2		1
29257-00	2	1	1	2	1	1
29263-00	2	1	3	2		1
29352-00	5	1	1	2		1
29357-00	2	1	1	2		1
29358-00	2	1	1	2		1
29359-00	2	1	1	2		1
29361-00	5	1	3	2		1
29363-00	2	1	3	2		1
31003-00	2	1	2	2	1	1
32002-00	1	1		2		1
32005-00	1	1		2		1
32017-00	1	1		2	1	1
32341-00	1	2		2		1
33001-00	2	1	1	2		1
33003-00	2	1	1	2		1
33318-00	2	2	1	2		1
35003-00	2	1	1	2		1

35007-00	5	1	1	2	1	1
35022-00	5	1	1	2		1
35105-00	2	1	1	2		1
35303-00	2	1	1	2	1	1
36005-00	2	1	1	1		1
36100-00	2	1	3	2		1
36101-00	2	1	3	2		1
36102-00	2	1	3	2		1
36537-00	5	2	3	1		1
38002-02	2	1	1	2		1
38004-00	2	1	1	2		1
38005-00	5	1	1	2		1
38006-00	2	1	1	2	1	1
38009-00	2	1	1	2		1
38101-00	2	1	1	2		1
38103-00	2	1	1	2	1	1
38202-00	5	1	3	2		1
38301-00	2	1	3	2		1
38303-00	2	1	3	2		1
38303-01	2	1	3	2		1
38304-00	2	1	3	2		1
38357-00	2	1	3	2		1
38358-00	2	1	3	2	1	1
40001-00	1	2		2	1	1
40013-00	1	1		2		1
40014-00	1	1		2		1
41305-00	2	1	3	2		1
41307-00	2	1	3	2		1
42001-00	1	1		2		1
42004-00	1	1		2		1
42006-00	1	1		2		1
42007-00	1	1		2	1	1
42008-00	1	1		2		1
42009-00	1	1		2		1
42011-00	1	1		2		1
42012-00	1	1		2		1
42013-00	1	1		2		1
42016-00	1	1		2		1
42100-00	2	2	3	2		1
42102-00	2	1	3	2		1
43005-00	2	1	1	2	1	1
45001-00	2	1	3	1		1
45002-01	2	1	3	1		1
45003-00	2	1	3	1		1
45004-00	2	1	3	1		1
45005-00	2	1	3	1		1
45007-00	2	1	3	1		1
45008-00	2	1	3	1		1
45011-00	2	1	3	1	1	1
45012-00	2	1	3	1		1

45014-00	2	1	3	1		1
45015-00	2	1	3	1		1
45016-00	2	1	3	1		1
45018-00	2	1	3	1		1
45019-00	2	1	3	1	1	1
45020-00	2	1	3	1		1
45021-00	2	1	3	1		1
45022-00	2	1	3	1		1
45023-00	2	1	3	1		1
45024-00	2	1	3	1		1
45203-00	2	1	3	1		1
45253-01	2	1	3	2	1	1
45501-00	2	1	1	1		1
45502-00	2	1	1	1		1
45507-00	2	1	1	1		1
45509-00	2	1	1	1		1
46009-00	2	1	3	2		1
46152-00	5	1	3	2		1
46153-00	2	2	3	2		1
46550-00	2	1	3	2		1
48004-00	1	1		2		1
48008-00	1	1		2		1
48009-00	1	1		2		1
48010-00	1	1		2		1
48012-00	1	1		2		1
48013-00	1	1		2	1	1
48014-00	1	1		2		1
48015-00	1	1		2		1
48016-00	1	1		2		1
48018-00	1	1		2		1
48021-00	1	1		2		1
48022-00	1	1		2		1
48107-00	2	1	3	2		1
48202-00	2	1	3	2		1
48251-00	2	1	3	2		1
48550-00	5	1	3	2	1	1
48557-00	2	1	3	2	1	1
49002-00	1	1		2		1
49003-00	1	1		2		1
49005-00	1	1		2		1
49012-00	1	1		2		1
49013-00	1	1		2		1
49014-00	1	1		2		1
49017-00	1	1		2		1
49018-00	1	1		2		1
49019-00	1	1		2	1	1
49022-00	1	1		2		1
50001-00	2	1	3	1	1	1
50002-00	2	1	3	1	1	1
50003-00	2	1	3	1		1

50006-00	2	1	3	1		1
50007-00	2	1	3	1	1	1
50008-00	2	1	3	1	1	1
50010-00	2	1	3	1	1	1
50011-00	2	1	3	1	1	1
50012-00	2	1	3	1	1	1
50013-00	2	1	3	1		1
50015-00	2	1	3	1		1
50153-00	2	1	3	2	1	1
52253-00	2	1	1	1		1
52257-00	2	1	1	1		1
52301-00	2	1	4	2		1
52302-00	5	1	4	2		1
52304-00	2	1	4	2		1
52305-00	2	1	4	2		1
53001-00	1	1		2		1
53003-00	1	2		2		1
53004-00	1	2		2		1
53005-00	1	1		2	1	1
53007-00	1	1		2		1
53009-00	1	1		2		1
53013-00	1	1		2		1
53015-00	1	2		2		1
53020-01	1	2		2		1
53021-01	1	2		2	1	1
54000-00	2	2	4	1		1
54001-00	2	2	4	1		1
54005-00	2	1	4	1		1
54007-00	2	1	4	1		1
54008-00	5	1	4	1		1
54009-00	2	1	4	1		1
54010-00	2	1	4	1		1
54011-00	2	2	4	1		1
54201-00	5	2	4	1		1
54203-00	2	2	2	1		1
54204-00	2	2	2	1		1
54205-00	2	2	2	1		1
54206-00	2	2	2	1		1
54207-00	5	2	2	1		1
55002-00	2	2	1	1		1
55003-00	2	2	1	1	1	1
55005-00	2	2	1	1		1
55006-00	2	2	1	1	1	1
59004-00	1	2		2	1	1
59007-00	2	2	1	1	1	1
59009-00	2	2	1	1	1	1
59010-00	2	2	1	1	1	1
59012-00	2	2	1	1	1	1
59012-01	2	2	1	1	1	1
59013-00	2	2	1	1		1

59014-00	2	2	1	1	1	1
59015-00	5	1	1	3		1
59201-00	2	1	1	2		1
59204-00	2	1	1	2	1	1
59205-01	2	1	1	2		1
59701-00	2	1	3	2	1	1
59702-00	2	1	3	2	1	1
60001-01	1	1		2		1
60003-00	1	1		2		1
60004-00	1	1		2		1
60005-00	1	1		2		1
60006-00	1	1		2		1
60007-00	1	1		2	1	1
60008-00	1	1		2		1
60009-00	1	1		2		1
60012-00	1	1		2		1
60015-00	1	1		2		1
60021-00	1	1		2		1
60023-00	1	1		2	1	1
60024-00	1	1		2	1	1
60026-00	1	1		2		1
60400-00	2	1	3	2		1
60402-00	5	1	3	2		1
60451-00	2	1	3	2		1
60504-00	2	1	3	2		1
61002-00	2	2	1	1		1
61003-00	2	2	1	1		1
61005-00	2	2	1	1		1
61006-00	2	2	1	1		1
61007-00	2	1	1	1		1
61008-00	2	2	1	1		1
61009-00	2	2	1	1		1
61010-00	2	2	1	1		1
61011-00	2	2	1	1		1
61012-00	2	2	1	1		1
61013-00	2	2	1	1		1
61015-00	2	2	1	1		1
61016-00	2	2	1	1		1
61604-00	2	1	1	1		1
64008-00	5	2	3	2		1
64008-02	2	1	3	2		1
64012-00	2	1	3	2		1
65001-00	2	1	3	2		1
65002-00	2	1	3	2		1
65007-00	2	1	3	2		1
65008-00	2	2	3	2		1
65011-00	2	2	3	2		1
65063-00	2	1	3	2		1
65064-00	5	1	3	2		1
65069-00	2	1	3	2		1

65071-00	2	1	3	2	1	1
65072-00	2	1	3	2		1
65074-00	2	1	3	2		1
69001-00	2	1	3	2		1
69002-00	2	1	3	2		1
69003-00	2	1	3	2		1
69004-00	2	1	3	2		1
7032-00	2	1	2	1		1
72003-00	2	2	4	1		1
72004-00	2	2	4	1		1
72005-00	2	1	4	1		1
72006-00	2	1	4	1		1
72008-00	2	1	4	1		1
72014-00	5	2	1	1		1
72015-00	2	2	1	1		1
73001-00	2	1	3	2	1	1
73004-00	5	2	3	2	1	1
74001-00	1	1		2		1
74003-00	1	1		2		1
74004-00	1	1		2		1
74005-00	1	1		2		1
74009-00	1	2		2		1
74016-00	1	1		2		1
74018-00	1	1		2		1
74021-00	1	1		2		1
8013-00	2	1	1	1	1	1

Kategorisering av SAB:ar

Tabellen indikerar vilken kategori respektive SAB kategoriserats i för egenskaperna *Tar inte in fukt*, *Ventilerar ut fukt*, *Samvarierar med utomhustemperatur* och *Luftfuktighet är under 60 %*. Kategorierna går från 1-3 vilket motsvarar låg, medel och hög förhållning till egenskapen.

SAB	Tar inte in fukt	Ventilerar ut fukt	Samvarierar med utomhustemperatur	Luftfuktighet är under 60%	I urval
1015-00	2	3	2	3	1
10233-00	3	2	2	2	1
16001-00	2	1	1	1	1
16005-00	1	1	1	1	1
17004-00	2	2	3	2	1
17015-00	2	2	2	3	1
17016-00	1	3	3	2	1
17022-00	2	2	2	2	1
17102-00	2	2	3	3	1
17106-00	2	3	3	3	1
17303-00	3	3	3	3	1
20007-00	1	3	3	2	1
21004-00	2	2	3	3	1
21007-00	2	1	1	1	1
21010-00	2	2	2	3	1
21011-00	3	2	3	3	1
23004-00	2	2	2	3	1
23011-00	1	1	2	1	1
23016-00	3	2	3	3	1
23404-00	3	2	2	3	1
23754-00	2	3	1	2	1
23757-00	2	2	2	3	1
24102-00	2	2	3	3	1
26001-00	2	2	1	1	1
26003-00	2	1	1	3	1
26004-00	3	2	2	3	1
26154-00	2	2	3	3	1
27252-00	2	3	2	3	1
28004-00	2	2	3	3	1
29006-00	2	3	3	3	1
29009-00	3	2	3	3	1
29257-00	3	2	3	2	1
29263-00	2	3	3	3	1
29352-00	2	3	3	3	1
29357-00	3	2	3	3	1
29358-00	2	3	2	3	1
29359-00	2	3	2	3	1
29361-00	2	2	2	3	1
29363-00	2	2	2	3	1
31003-00	1	2	1	1	1
32002-00	2	2	1	2	1
32005-00	3	2	2	3	1
32017-00	1	2	1	2	1
32341-00	2	3	2	3	1
33001-00	2	3	2	2	1
33003-00	2	1	1	1	1
33318-00	2	2	2	3	1
35003-00	1	3	3	3	1

35007-00	1	1	1	1	1
35022-00	2	2	2	3	1
35105-00	2	2	3	3	1
35303-00	2	1	1	2	1
36005-00	2	1	1	1	1
36100-00	2	2	3	3	1
36101-00	2	2	3	2	1
36102-00	1	3	2	2	1
36537-00	2	2	3	3	1
38002-02	2	3	3	3	1
38004-00	3	2	3	3	1
38005-00	2	3	2	3	1
38006-00	3	2	3	3	1
38009-00	2	2	2	1	1
38101-00	3	2	3	3	1
38103-00	2	3	3	3	1
38202-00	2	2	3	3	1
38301-00	3	2	3	3	1
38303-00	2	2	1	3	1
38303-01	2	1	1	1	1
38304-00	3	2	1	2	1
38357-00	3	1	1	1	1
38358-00	1	2	1	1	1
40001-00	2	1	1	3	1
40013-00	1	2	2	3	1
40014-00	2	1	1	3	1
41305-00	2	2	3	2	1
41307-00	2	3	3	3	1
42001-00	2	1	2	3	1
42004-00	1	2	1	2	1
42006-00	2	2	2	3	1
42007-00	2	3	2	2	1
42008-00	2	2	1	3	1
42009-00	2	1	1	2	1
42011-00	1	1	1	1	1
42012-00	2	1	1	3	1
42013-00	1	1	1	2	1
42016-00	1	2	1	1	1
42100-00	1	2	1	2	1
42102-00	3	2	3	3	1
43005-00	2	2	2	3	1
45001-00	3	2	2	1	1
45002-01	3	2	1	1	1
45003-00	2	2	2	3	1
45004-00	3	2	3	1	1
45005-00	1	2	2	2	1
45007-00	2	2	2	3	1
45008-00	3	1	2	1	1
45011-00	1	2	1	1	1
45012-00	2	1	1	2	1

45014-00	1	1	1	1	1
45015-00	2	3	1	3	1
45016-00	2	1	1	2	1
45018-00	3	2	2	3	1
45019-00	3	3	3	3	1
45020-00	2	2	3	1	1
45021-00	2	1	1	1	1
45022-00	2	1	1	1	1
45023-00	1	2	1	3	1
45024-00	1	2	1	2	1
45203-00	3	2	1	3	1
45253-01	2	3	2	2	1
45501-00	2	3	3	2	1
45502-00	2	3	3	3	1
45507-00	2	2	2	2	1
45509-00	2	1	1	1	1
46009-00	2	2	2	2	1
46152-00	2	3	3	3	1
46153-00	2	3	3	3	1
46550-00	3	2	3	3	1
48004-00	2	2	2	3	1
48008-00	2	1	1	1	1
48009-00	2	1	1	3	1
48010-00	2	1	1	3	1
48012-00	2	1	1	3	1
48013-00	1	2	1	2	1
48014-00	2	1	2	3	1
48015-00	2	2	2	3	1
48016-00	2	1	1	3	1
48018-00	2	1	1	3	1
48021-00	2	2	1	3	1
48022-00	2	1	1	3	1
48107-00	1	1	1	2	1
48202-00	2	1	1	2	1
48251-00	2	2	1	3	1
48550-00	2	3	2	3	1
48557-00	2	2	2	3	1
49002-00	3	1	2	3	1
49003-00	3	2	1	3	1
49005-00	3	2	3	3	1
49012-00	3	2	3	3	1
49013-00	2	3	2	3	1
49014-00	3	2	2	3	1
49017-00	2	2	2	3	1
49018-00	1	2	2	3	1
49019-00	2	2	1	3	1
49022-00	2	1	1	3	1
50001-00	2	2	2	3	1
50002-00	2	2	2	3	1
50003-00	2	3	2	3	1

50006-00	2	3	2	3	1
50007-00	2	2	2	3	1
50008-00	3	2	3	3	1
50010-00	3	2	3	3	1
50011-00	2	2	3	3	1
50012-00	2	3	3	3	1
50013-00	3	3	3	3	1
50015-00	2	2	2	3	1
50153-00	2	2	2	2	1
52253-00	2	3	2	2	1
52257-00	2	1	1	2	1
52301-00	3	2	1	1	1
52302-00	1	3	1	2	1
52304-00	2	3	3	3	1
52305-00	3	2	2	3	1
53001-00	2	1	1	1	1
53003-00	2	1	1	3	1
53004-00	2	1	1	3	1
53005-00	2	1	1	3	1
53007-00	2	1	1	3	1
53009-00	3	1	1	1	1
53013-00	2	3	2	2	1
53015-00	3	2	3	3	1
53020-01	2	2	1	3	1
53021-01	2	1	1	3	1
54000-00	1	1	1	2	1
54001-00	3	2	3	3	1
54005-00	2	2	2	3	1
54007-00	2	3	3	3	1
54008-00	2	1	1	2	1
54009-00	2	3	3	3	1
54010-00	1	3	2	3	1
54011-00	3	2	2	3	1
54201-00	2	3	3	3	1
54203-00	3	2	3	3	1
54204-00	2	2	1	2	1
54205-00	2	3	1	2	1
54206-00	2	3	1	3	1
54207-00	3	2	1	2	1
55002-00	2	2	2	3	1
55003-00	1	3	1	2	1
55005-00	3	2	3	3	1
55006-00	3	2	3	3	1
59004-00	2	1	1	3	1
59007-00	1	2	1	2	1
59009-00	3	2	3	3	1
59010-00	1	3	2	3	1
59012-00	3	2	3	3	1
59012-01	2	3	3	3	1
59013-00	2	3	3	3	1

59014-00	3	2	1	3	1
59015-00	2	3	3	3	1
59201-00	2	3	3	3	1
59204-00	2	3	3	3	1
59205-01	3	2	2	3	1
59701-00	3	2	3	3	1
59702-00	3	2	2	3	1
60001-01	3	2	1	3	1
60003-00	2	3	2	3	1
60004-00	2	2	2	3	1
60005-00	3	2	3	3	1
60006-00	2	2	3	3	1
60007-00	3	2	2	3	1
60008-00	3	2	3	3	1
60009-00	2	2	2	3	1
60012-00	2	3	1	3	1
60015-00	3	2	3	3	1
60021-00	2	3	2	3	1
60023-00	2	3	2	3	1
60024-00	2	2	3	3	1
60026-00	3	2	3	3	1
60400-00	3	2	2	3	1
60402-00	2	3	2	3	1
60451-00	2	3	3	3	1
60504-00	3	2	3	3	1
61002-00	1	3	3	3	1
61003-00	2	3	3	3	1
61005-00	2	3	2	3	1
61006-00	2	3	1	3	1
61007-00	2	3	3	3	1
61008-00	2	3	2	3	1
61009-00	1	3	1	3	1
61010-00	3	2	1	3	1
61011-00	1	3	2	3	1
61012-00	2	3	2	3	1
61013-00	2	3	3	3	1
61015-00	2	3	2	3	1
61016-00	3	2	2	1	1
61604-00	3	2	3	3	1
64008-00	3	2	2	2	1
64008-02	2	2	2	1	1
64012-00	2	3	2	3	1
65001-00	2	3	3	3	1
65002-00	2	2	2	1	1
65007-00	2	3	1	1	1
65008-00	3	2	1	3	1
65011-00	2	3	3	3	1
65063-00	2	2	1	2	1
65064-00	3	2	1	2	1
65069-00	3	2	3	3	1

65071-00	2	3	3	3	1
65072-00	2	2	1	3	1
65074-00	2	2	2	3	1
69001-00	3	2	2	1	1
69002-00	3	2	1	2	1
69003-00	3	2	1	1	1
69004-00	3	2	1	2	1
7032-00	1	3	2	3	1
72003-00	3	1	1	3	1
72004-00	3	2	1	1	1
72005-00	1	1	1	1	1
72006-00	1	3	2	2	1
72008-00	1	3	2	2	1
72014-00	1	3	1	2	1
72015-00	1	3	2	3	1
73001-00	2	1	1	1	1
73004-00	2	1	1	2	1
74001-00	2	3	1	3	1
74003-00	3	2	1	3	1
74004-00	3	2	3	3	1
74005-00	3	2	2	3	1
74009-00	3	2	3	3	1
74016-00	2	3	2	2	1
74018-00	3	2	1	3	1
74021-00	3	1	1	3	1
8013-00	2	1	2	1	1