

Uppskattning av personantal med hjälp av Wi-Fi

Kassem Abou Nawfal & Adam Adolfsson |
Avdelningen för brandteknik | LTH | LUNDS
UNIVERSITET



Uppskattning av personantal med hjälp av Wi-Fi

Kassem Abou Nawfal & Adam Adolfsson

Lund 2021

Titel: Uppskattning av personantal med hjälp av Wi-Fi
Title: Estimation of occupant load using Wi-Fi

Författare/Authors: Kassem Abou Nawfal & Adam Adolfsson

Report: 5627

ISRN: LUTVDG/TVBB--5627--SE

Antal sidor (utan bilagor) /Number of pages (without attachments): 53

Bilder/Illustrations: Alla bilder och figurer i rapporten tillhör författarna om ingen annan källa är angiven/ All pictures and figures belong to the authors if no other reference is stated.

Sökord:

Personantal, persontäthet, brandskydd, utrymning, Wi-Fi, WLAN

Keywords:

Occupant load, occupant density, fire safety, evacuation, Wi-Fi, WLAN

Abstract:

Knowledge of the occupant load is an important parameter during the fire evacuation design in buildings. Current regulations regarding occupant load does not consider variation in scenarios with great uncertainties. By taking variation of the occupant load into account, the risk levels can be reduced, and a safe evacuation can take place. The aim of this study is to compare visual measurements with collected data from connected devices that support Wi-Fi. The study was conducted through a case study on two university buildings in Lund. Observers noted the number of people entering and leaving the buildings thus the number of occupants could be estimated. During the same measurement time and with the same time interval, data was collected from the devices that connected to the Wi-Fi. Results from measurements and the collected data showed that this type of technology can provide a good estimate of the occupant load with an error margin of only a few percent. Furthermore, results showed great variations in occupant load between and within the measurements. The report found that Wi-Fi has potential to mitigate risk-levels in the future, however it's difficult to draw further conclusions since the Wi-Fi technique is in an early phase. In conclusion, the results show that Wi-Fi has potential to calculate occupant load. Despite few resources and several limitations, good estimates of occupant load were obtained during the studies conducted.

© Copyright: Division of Fire Safety Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund 2021

Avdelningen för Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2021.

Brandteknik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

www.brand.lth.se
Telefon: 046 - 222 73 60

Division of Fire Safety Engineering
Faculty of Engineering
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

www.brand.lth.se
Telephone: +46 46 222 73 60

Förord

Detta examensarbete är det avslutande momentet på vår civilingenjörsutbildning i Riskhantering och brandingenjörsutbildning vid Lunds Tekniska Högskola. Arbetet genomfördes vid Avdelningen för Brandteknik och Riskhantering, Lunds Tekniska Skola.

Stort tack till alla som har hjälpt till under arbetets gång genom att svara på frågor och mail. Författarna skulle vilja rikta ett extra stort tack till följande personer för deras insats och medverkan:

Håkan Frantzich	Universitetslektor och programledare, avdelningen för Brandteknik <i>För god handledning och vägledning genom hela arbetet.</i>
Magnus Jönsson	Anställd vid LDC <i>För god vägledning och hjälp med datainsamling genom hela arbetet.</i>
Per-Erik Isberg	Universitetsadjunkt vid Statistiska institutionen <i>För vägledning vid statistiska beräkningar.</i>
Gunnar Knutsson	Gruppchef vid nätinfrastruktur, LDC <i>För hjälp med datainsamling.</i>
Karl Fridolf	Brand- och riskkonsult, WSP i Malmö <i>För bidragande med sin expertis inom ämnesområdet.</i>
Jesper Lund Rantzer	Brand- och riskkonsult, Brandkonsultbyrån Sverige AB <i>För bidragande med sin expertis inom ämnesområdet.</i>
Alex Åkesson	Student & vän <i>För korrekturläsning och gott sällskap.</i>
Johan Bengtsson	Student & vän <i>För korrekturläsning och gott sällskap.</i>

Lund, 2021-01-12

Kassem Abou Nawfal & Adam Adolfsson

Summary

Knowledge of the occupant load is an important parameter during the fire evacuation design in buildings. In this context, a safe evacuation means that people have enough time to evacuate from a building before critical conditions arise. When designing buildings, conservative values for occupant load are used so that they can be applied to different buildings within a certain category. These values do not take regard to variations in occupant load for specific buildings, which is important in order to handle uncertainties and reduce risk levels. It is therefore interesting to examine whether it is possible to use new technology to measure the occupant load with regard to variation.

Today, there are several established techniques for calculating the occupant load in buildings. Some techniques are: video analysis with fixed cameras, thermal cameras, optical sensors, access controls and ventilation systems (Pettersson, 2015). There are challenges with all technologies, but what many have in common is high operating- and installation costs and that the scope is limited to certain types of buildings.

This thesis examines whether Wi-Fi can be used to estimate the occupant load in buildings. The Wi-Fi technology can use existing technique and only needs a data collection software in addition. There have primarily been three goals for this thesis: to compare visual measurements of the occupant load with collected data from connected devices in the same place at the same time. Furthermore, another goal is to create a deeper understanding of the subject area by compiling literature and present suggestions on how the application of Wi-Fi can be used. Finally, this thesis was intended to answer the following research questions:

- How well does Wi-Fi work to estimate occupant load?
- How can the information from the technical system be used to reduce the risk levels in buildings?

To answer the research questions, a literature study was conducted on the subject area. The literature study identified a need for techniques that can estimate occupant load over time and take variations into account. Today's regulations and recommendations on occupant load are based on the worst-case scenario and do not take the variation for specific types of buildings into account. Furthermore, the literature study shows that there is good potential to use Wi-Fi for estimating the occupant load in buildings.

In addition, a case study was conducted where a series of measurements were performed at Studiecentrum and the University Library in Lund. The number of people entering and leaving the building was visually noted at specific time intervals. During the same measurement time and with the same time interval, data was collected from the connected devices in the building. Thereafter, the observed occupant load and collected data was compared.

The results from measurements and collected data show that the Wi-Fi technology provides a good estimate of the occupant load at Studiecentrum with a margin of error of a few percent. This can be explained by the fact that a large proportion of students use the wireless networks. At the University Library, the margin of error was higher, which can be explained by the fact that fewer people connected to the wireless networks. Furthermore, the results show that the precision of the Wi-Fi technology was affected by the measurement time and the occupant load. In addition, the results show a large variation in occupant load between and within the conducted measurements. Finally, the results were discussed as well as how the technology could potentially be used to reduce the risk levels in buildings.

In summary, the results show that the Wi-Fi technology has good potential. Despite small resources and several limitations, good estimates of occupant load could be obtained. In order to be able to use the technology as a reliable basis and examine how it can be used to reduce the risk levels in buildings, it needs to be further developed and validated. Furthermore, the Wi-Fi technology needs to collect data from all identified devices and not just connected devices, in order to be applicable to more buildings.

Sammanfattning

Kunskap om personantal är en viktig parameter att beakta vid utrymningsdimensionering av byggnader. Säker utrymning innebär att personer hinner utrymma en byggnad innan kritiska förhållanden uppstår. Vid projektering av byggnader nyttjas konservativa värden för personantal för att de ska kunna tillämpas på olika verksamheter inom en viss kategori. Värdena tar inte hänsyn till variationer i personantal för specifika verksamheter vilket är viktigt för att kunna hantera osäkerheter och minska risknivåerna. Det är därför intressant att undersöka om det går att nyttja ny teknik för att mäta personantal med hänsyn till variation.

Idag finns flera etablerade tekniker för att räkna fram personantalet i byggnader. Några tekniker är: videoanalys med fasta kameror, värmekameror, optiska sensorer, passerkontroller och ventilationssystem (Pettersson, 2015). Det finns utmaningar med alla tekniker men vad många har gemensamt är höga drift- och installationskostnader samt att tillämpningsområdet är begränsat till vissa typer av verksamheter.

I detta examensarbete undersöks om Wi-Fi kan användas för att uppskatta personantal. Wi-Fi-tekniken kan nyttja redan befintlig teknik och behöver utöver detta endast mjukvara för datainsamling. Det har primärt funnits tre mål: att jämföra visuella mätningar av personantalet med insamlade data kring uppkopplade enheter i samma lokal vid samma tidpunkter, att skapa en djupare förståelse kring ämnesområdet genom att sammanställa litteratur samt att presentera förslag på hur tillämpningen av Wi-Fi kan användas. Vidare hade arbetet för avsikt att besvara följande frågeställningar:

- Hur väl fungerar Wi-Fi för att uppskatta personantal?
- Hur kan informationen från det tekniska systemet användas för att minska risknivåerna i byggnader?

För att besvara frågeställningarna sammanställdes litteratur kring ämnesområdet. Genom litteraturstudien identifierades ett behov av tekniker som kan uppskatta personantal över tid och ta hänsyn till variationer. Dagens regelverk och rekommendationer om personantal bygger på värsta tänkbara scenarion och tar inte hänsyn till variationen för specifika verksamhetstyper. Vidare visar litteraturstudien att det finns god potential att använda Wi-Fi för uppskattning av personantal.

Dessutom genomfördes en fallstudie där en serie mätningar utfördes vid Studiecetrum och Universitetsbiblioteket i Lund. Antalet in- och utpasserande personer noterades visuellt vid bestämda tidsintervall. Under samma mättid och med samma tidsintervall samlades data om uppkopplade enheter i byggnaden. Därefter kunde de observerade personantalen och insamlade data jämföras.

Resultatet från mätningar och insamlade data visar att Wi-Fi-tekniken ger en god uppskattning av personantal på Studiecetrum med en felmarginal på några få procent. Detta kan förklaras av att en stor andel av studenterna använder de trådlösa nätverken. På Universitetsbiblioteket var felmarginalen desto högre vilket bland annat kan förklaras av att färre personer kopplade upp sig. Vidare visar resultatet att Wi-Fi-teknikens precision påverkades av mättiden och personantalet. Dessutom visar resultatet stora variationer i personantal mellan och inom mätningarna. Slutligen diskuterades resultatet och hur tekniken potentiellt skulle kunna användas för att minska risknivåerna i byggnader.

Sammanfattningsvis visar resultatet att Wi-Fi-tekniken har god potential. Trots små resurser och flera begränsningar kunde goda uppskattningar av personantal erhållas. För att kunna använda tekniken som ett tillförlitligt underlag, och undersöka hur den kan nyttjas för att minska risknivåerna i byggnader, behöver den utvecklas vidare och valideras. Vidare behöver Wi-Fi-tekniken samla data om alla identifierade enheter, inte bara uppkopplade enheter, för att kunna tillämpas på fler verksamhetstyper.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE OCH MÅL	2
1.3	FRÅGESTÄLLNING	2
1.4	METOD	2
1.4.1	LITTERATURSTUDIE	2
1.4.2	FALLSTUDIE	3
1.4.3	DISKUSSION	3
1.5	AVGRÄNSNINGAR OCH BEGRÄNSNINGAR	4
2	LITTERATURSTUDIE	5
2.1	RISK	5
2.1.1	OLIKA SYNSÄTT PÅ RISK	5
2.1.2	RISK OCH OSÄKERHETER LUNDIN (1999)	5
2.1.3	RISK OCH OSÄKERHETER ENLIGT PATÉ-CORNELL (1996)	6
2.2	WI-FI	7
2.2.1	BAKOMLIGGANDE FUNKTIONER	7
2.2.2	ANSLUTNING	7
2.3	UPPKOPPLING OCH INTERNETANVÄNDNING	8
2.4	REGELVERK OCH REKOMMENDATIONER	9
2.4.1	DIMENSIONERANDE PERSONANTAL	9
2.4.2	DIMENSIONERANDE PERSONTÄTHET	10
2.4.3	DATASKYDDSFÖRORDNINGEN OCH PERSONUPPGIFTLAGEN	10
2.5	UTMANINGAR MED DAGENS REGELVERK	10
2.6	TEKNIKER FÖR UPPSKATTNING AV PERSONANTAL	11
2.6.1	PERSONANTAL MED HJÄLP AV WI-FI & MOBILA ENHETER.....	11
2.6.2	PERSONANTAL I KOMBINATION AV WI-FI OCH PERSONERS AKTIVITETSNIKIVÅ.....	12
2.6.3	INFRARÖDA SENSORER	13
2.6.4	FÖRÄNDRINGAR I KOLDIOXIDKONCENTRATION	13
2.6.5	VIDEOANALYS MED FASTA KAMEROR	13
2.7	TEKNIKER FÖR LOKALISERING AV PERSONER	14

2.7.1	LOKALISERING AV PERSONER MED SIGNALBASERADE SYSTEM	14
2.7.2	LOKALISERING AV PERSONER MED BÅDE SIGNAL- OCH SENSORBASERADE SYSTEM	15
3	FALLSTUDIE	17
3.1	UPPLÄGG	17
3.1.1	PRESENTATION AV ERHÅLLNA DATA	18
3.1.2	VAL AV VERKSAMHETER.....	19
3.1.3	BEARBETNING AV ERHÅLLNA DATA	19
3.2	STUDIECENTRUM.....	21
3.2.1	BESKRIVNING	21
3.2.2	METOD	23
3.2.3	RESULTAT	23
3.2.4	ANALYS AV RESULTAT - SC.....	31
3.3	UNIVERSITETSBIOTEKET	32
3.3.1	BESKRIVNING	32
3.3.2	METOD	34
3.3.3	RESULTAT	36
3.3.4	ANALYS AV RESULTAT - UB	42
3.4	KÄNSLIGHETSANALYS.....	43
4	DISKUSSION	45
5	SLUTSATSER	49
6	FRAMTIDA FORSKNING	50
	LITTERATURFÖRTECKNING	51
	BILAGA A – FÖRSÖKSPLAN.....	A
	BILAGA B – ORDLISTA	B
	BILAGA C – FÖRDELNING UNIKA ENHETER.....	C
	BILAGA D – BERÄKNINGSGÅNG KONFIDENSINTERVALL	D

1 Inledning

I detta kapitel presenteras arbetets bakgrund, syfte, mål och frågeställningar. Vidare beskrivs metod, avgränsningar och begränsningar.

1.1 Bakgrund

I Sverige projekteras brandskyddet efter de föreskrifter och allmänna råd som är angivna i Boverkets byggregler (BBR) (2011). Det finns två tillvägagångssätt; det första är förenklad dimensionering vilket innebär att projektören utgår från föreskrifter och allmänna råd i BBR. Om projektören använder andra lösningar än de som täcks av de allmänna råden i BBR tillämpas istället analytisk dimensionering. I utrymningskontext kan projektörer, enligt både förenklad och analytisk dimensionering, utgå från det maximala antalet personer som förväntas vistas i byggnaden (Boverket, 2011). I BBR finns värden som projektörer kan använda. Där anges dimensionerande persontätheter för olika verksamhetstyper. Persontätheterna bygger på mätningar med manuella och automatiska personräknare. Dessa värden är konservativa och kan användas för alla verksamheter inom samma verksamhetskategori.

Det är dock svårt att ta hänsyn till variation i personantal för specifika verksamheter. Om projektörer exempelvis projekterar en restaurang och nyttjar schablonvärden från BBR, hanteras osäkerheterna i form av konservativa värden på personantalet. Vidare tas ringa hänsyn till variationer i personantal för den specifika verksamheten och hur det påverkar risknivåerna. Antalet personer i en verksamhet kan variera kraftigt och det kan bero på olika faktorer, exempelvis geografisk placering. Erdsjö och Lindberg (2008) fann att köpcentrum belägna i stadskärnor hade högre persontäthet jämfört med köpcentrum utanför stadskärnorna och fastslog att geografisk placering bör beaktas för att nå skäliga risknivåer. Vidare fastslog författarna att personantalet varierar över tid. Inför högtider besöker fler personer butiker och under tentamensperioder besöker fler studenter skolor och bibliotek. Variation i personantal är viktigt att ta i beaktning så att ett representativt värde på personantalet kan nyttjas som utgångspunkt för utrymningsdimensionering. På så sätt kan osäkerheter i personantal hanteras och därmed skulle risknivåerna kunna minskas. Det är därför intressant att undersöka om det går att nyttja ny teknik för att mäta personantal med hänsyn till variation.

Idag finns det etablerade tekniker som kan användas för att räkna fram personantalet i byggnader. Några tekniker är: videoanalys med fasta kameror, värmekameror, optiska sensorer, passerkontroller och ventilationssystem (Pettersson, 2015). Det finns utmaningar med alla tekniker men vad många har gemensamt är höga kostnader och att tillämpningsområdet är begränsat till vissa typer av verksamheter.

En annan teknik som skulle kunna tillämpas för att uppskatta personantal är Wi-Fi som är ett samlingsnamn för lokala, trådlösa nätverk (Chandra & Lide, 2007). Det huvudsakliga ändamålet med Wi-Fi är att förse enheter inom dess räckvidd med trådlös uppkoppling. Data kring de enheter som nätverket detekterar kan sparas kontinuerligt vilket gör det möjligt att använda Wi-Fi för att uppskatta antalet personer. Utöver ett Wi-Fi kräver lösningen endast mjukvara för datainsamling vilket begränsar installationskostnaderna. När lösningen är installerad kan data kontinuerligt samlas in för att uppskatta personantal över tid, och på så sätt ta hänsyn till den naturliga variationen. Longo, Redondi och Cesana (2019) nyttjade Wi-Fi och Bluetooth för att uppskatta personantal. De undersökte hur Wi-Fi och Bluetooth fungerade tillsammans och var för sig i olika miljöer med varierande personantal. Longo et al. (2019) menar att lösningen med Wi-Fi och Bluetooth är billig och ger en träffsäker skattning av personantalet. Longo et al. använder annorlunda teknik och tillvägagångssätt än denna rapport. Dessutom nyttjar Longo et al. extern utrustning i sina mätningar vilket också skiljer sig från detta examensarbete.

Internetstiftelsen (2019) fann att 92 procent av svenskarna över tolv år ägde en smarttelefon och att 95 procent av svenskarna över tolv år använde internet år 2019. Vidare förutspår Cisco (2020) att det kommer finnas 628 miljoner publika Wi-Fi-nätverk år 2023 vilket tyder på att Wi-Fi-användningen kommer fortsätta att växa. Wi-Fi-teknikens goda potential och framtida förutsättningar gör det intressant att vidare undersöka hur den kan användas för att uppskatta personantal.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att utvärdera hur Wi-Fi kan tillämpas för att uppskatta personantal. Arbetet syftar även till att undersöka hur tillämpningen av Wi-Fi kan användas för att påverka risknivåerna i byggnader avseende personsäkerhet.

Målet med arbetet är att jämföra visuella mätningar av personantalet med insamlade data kring uppkopplade enheter i samma lokal vid samma tidpunkter. För att skapa en djupare förståelse är ytterligare ett mål att sammanställa litteratur kring ämnesområdet. Vidare är ett mål med arbetet att presentera förslag på hur tillämpningen av Wi-Fi kan användas.

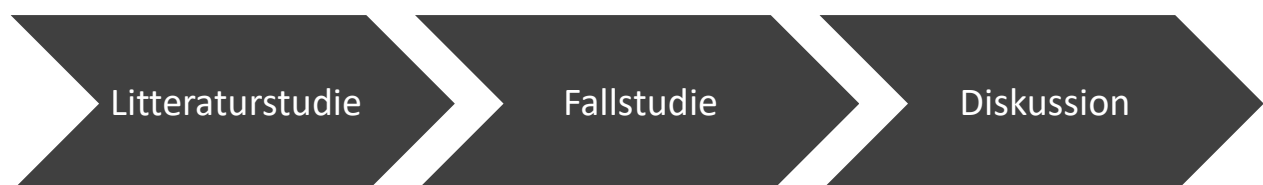
1.3 Frågeställning

Hur väl fungerar Wi-Fi för att uppskatta personantal?

Hur kan informationen från det tekniska systemet användas för att minska risknivåerna i byggnader?

1.4 Metod

För rapportens olika delar har boken *Att genomföra examensarbete* (Höst, Regnell, & Runeson, 2011) använts som underlag. I figur 1 illustreras arbetsprocessen för detta arbete. De olika delarna: litteraturstudie, fallstudie och diskussion beskrivs i detta kapitel. Fallstudien beskrivs mer detaljerat i ett separat kapitel.



Figur 1. Överskådlig arbetsprocess för arbetet.

1.4.1 Litteraturstudie

För att kartlägga det nuvarande kunskapsläget kring Wi-Fi, uppskattning av personantal och lagstiftning om personantal, inleddes arbetet med en litteraturstudie. För att få en tydlig struktur och för att ge en helhetsbild av ämnet delades litteraturstudien upp i olika delar. I den första delen presenteras ett avsnitt om risk. Här presenteras risk och osäkerheter samt olika synsätt på begreppen och hur osäkerheterna kan kategoriseras. I nästa del ges en generell beskrivning av Wi-Fi och funktionerna bakom tekniken. I denna del beskrivs även hur anslutning uppnås och vilken data som skickas mellan avsändare och mottagare. Vidare beskrivs dagens internet- och mobilanvändning samt framtidsprognoser. Detta görs i syfte att få en uppfattning om internet- och mobilanvändningens utbredning. Därefter behandlas regelverk och rekommendationer om personantal samt hantering av personuppgifter. Denna del syftar

till att ge ökad kunskap om dagens regelverk och rekommendationer, däribland plan- och bygglagen, BBR och personuppgiftslagen (GDPR). Det presenteras även ett avsnitt om utmaningar med dagens regelverk. I litteraturstudien presenteras slutligen tekniker för uppskattning av personantal och tekniker för lokalisering av personer. Kunskapen från litteraturstudien användes för att utforma fallstudien och för att diskutera resultaten från den.

Litteraturstudien inleddes med vetenskapliga artiklar om Wi-Fi och tillämpningsområden. Detta lade grunden för det fortsatta sökandet av litteratur. Under arbetet med litteraturstudien noterades ämnesspecifika nyckelord som användes för vidare sökning. Sökningen gjordes i bland annat databasen Scopus. Vidare söktes information i LUBsearch som är en söktjänst inom biblioteken vid Lunds universitet. Information söktes även i LUBcat vilket är en bibliotekskatalog med bland annat böcker och tidskrifter (Lunds universitet, 2020). Några av de nyckelord som använts vid sökningen är: Wi-Fi, WLAN, persontäthet, personantal, utrymning, brandskydd, occupant load och occupant density. Till en början var sökningen bred men smalnades av i takt med att kunskaperna om ämnet ökade. Det blev då tydligt hur sökningen skulle genomföras för att hitta relevant litteratur.

För att hitta ytterligare litteratur studerades referenserna i de böcker och artiklar som lästes. Tillvägagångssätt kallas för *snowballing* och gör det enkelt att hitta ytterligare information om det aktuella ämnet (University of Groningen, 2020).

I litteraturstudien har även kurslitteratur från utbildningen använts. Detta avser litteratur från brandingenjörsprogrammet och civilingenjörsprogrammet i riskhantering vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) som är centrerad kring risk och brandsäkerhet.

1.4.2 Fallstudie

För att bedöma hur väl det går att uppskatta personantal med hjälp av Wi-Fi utfördes en fallstudie där totalt sju mätningar genomfördes. Under bestämda tillfällen räknades antalet in- och utpasserande personer i en byggnad visuellt för att få kunskap om hur många som befann sig i byggnaden. Detta jämfördes sedan med data över uppkopplade enheter på Wi-Fi-nätverken i byggnaden under samma tillfällen. Denna data erhöles från Lunds datacentral (LDC) som är en intern leverantör av IT-tjänster vid Lunds universitet (LU) (LDC, 2019). Mätningarna utfördes i universitetets lokaler där LDC har tillgång till data över uppkopplade enheter. LDC avidentifierade och sammanställde data innan den skickades till observatörerna. I denna data erhöles ingen personlig information. Vid genomförandet av fallstudien uppkom därmed ingen etisk problemställning.

Resultatet från mätningarna och datainsamlingen jämfördes för att se hur väl värdena korrelerade med varandra. Dessutom gjordes en kvalitativ känslighetsanalys för att bestämma vilka parametrar som påverkade resultatet.

1.4.3 Diskussion

När fallstudierna var slutförda kunde resultatet jämföras med resultatet från litteraturstudien. För att kunna besvara frågeställningarna och dra slutsatser av resultatet fördes en diskussion. I diskussionen behandlas felkällor, avgränsningar, begränsningar, antaganden och studiens giltighet. Vidare beskrivs arbetets osäkerheter och hur dessa kan ha påverkat resultatet. I diskussionen diskuteras även framtida tillämpningsområden och hur Wi-Fi-tekniken potentiellt kan användas för att påverka risknivåer i byggnader.

Utifrån diskussionen sammanfattades arbetets viktigaste resultat och diskussionspunkter i en slutsats. Slutligen presenterades förslag på framtida forskning.

1.5 Avgränsningar och begränsningar

Litteraturstudien avgränsades till ämnesområden som kan kopplas till Wi-Fi, uppskattning av personantal och regelverk om personantal.

Fallstudien avgränsades vidare till ett par verksamheter för att det skulle vara möjligt att genomföra studien inom ramen av examensarbetet. Dessa verksamheter ansågs vara mest lämpliga för fallstudien. Gemensamt för dem är att byggnaderna endast har en eller två ingångar för besökare, att de är publika och att förhållandevis många personer vistas i dem. Vidare förvaltas byggnaderna av LU och universitetets nätverk fanns tillgängligt.

Inför fallstudien tillfrågades flera företag om samarbete. Företagen kontaktades eftersom det var intressant att undersöka huruvida Wi-Fi-tekniken lämpas för andra sorters verksamheter såsom butiker och träningscenter. Företagen som tillfrågades hade inte möjlighet att delta.

Studien avgränsades vidare till att endast samla data kring de enheter som ansluter till nätverken. Detta beror på att LDC inte sparar data om detekterade enheter utan bara om anslutna enheter.

2 Litteraturstudie

I detta kapitel redovisas resultatet av litteraturstudien. Inledningsvis ges en översiktlig beskrivning av begreppet risk. Vidare presenteras olika synsätt på risk och osäkerheter. Fortsättningsvis beskrivs Wi-Fi och funktionerna bakom tekniken samt möjliga tillämpningsområden. Vidare presenteras statistik om uppkoppling och internetanvändning följt av regelverk och rekommendationer kring personantal och personuppgiftshantering. Därefter presenteras ett avsnitt om utmaningar med dagens regelverk. I kapitlet beskrivs även tekniker för uppskattning av personantal och tekniker för lokalisering av personer.

2.1 Risk

En förutsättning för att kunna hantera osäkerheter i personantal, och minska riskerna, är kunskap om hur personantalet varierar. Vidare följer en hel del osäkerheter med tekniker för uppskattning av personantal, framför allt vid datainsamling. För att reda ut begreppen risk och osäkerheter presenteras i detta avsnitt olika synsätt. Vidare presenteras hur de kan kategoriseras och hanteras.

2.1.1 Olika synsätt på risk

Synsättet på risk utvecklas ständigt. ISO (2018) definierar risk som ”effect of uncertainty on objectives”. ISO förklarar *effect* som avvikelser från det förväntade och beskriver att *objectives* kan vara olika sorters mål.

Kaplan (1997) menar att, ur ett tekniskt perspektiv, kan risk definieras enligt den så kallade risktrippletten. Risktrippletten avser att svara på följande tre frågor: *Vad kan hända? Hur sannolikt är det? Vilka är konsekvenserna?* Summan av alla scenerier, med respektive sannolikheter och konsekvenser beskriver Kaplan (1997) som risk. Författaren förklarar att riskerna redovisas som antalet dödsfall och kan utgöra ett underlag för framtida beslut hos beslutsfattare. Renn (1998) menar att det tekniska risksynsättet inte tar hänsyn till den mångfald av negativa sidor som folk i allmänhet förknippar med risk. Enligt Nilsson (2003) bygger människors negativa tolkning av risker på flera faktorer. Forskning som Otway och Von Winterfeldt (1982) bedrivit har funnit bland annat att människors acceptans av risker och riskkällor främst bygger på hur ofrivilligt utsatt individen är mot risken, graden av den personliga kontrollen och erfarenheten av riskkällan.

Enligt Tehler (2020) är risktrippletten ett lite äldre synsätt på risk och skiljer sig från ISO:s definition som fokuserar mer på osäkerheter. Risksynsättet med sannolikhet och konsekvens lever dock kvar än idag och utgör många människors syn på risk.

2.1.2 Risk och osäkerheter Lundin (1999)

De osäkerheter som uppkommer i samband med risker och riskkällor beskriver Lundin (1999) med fyra klasser. De fyra klasserna är: resurser, antaganden och beslut, matematiska modeller samt indata.

Osäkerheter i resurser inkluderar exempelvis aktuellt kunskapsläge av ämnet eller ofullständiga frågeställningar. Vidare menar Lundin att osäkerheter som uppkommer i samband med resursklassen inte är relaterade till ingenjörens förmåga utan bygger på begränsningar som fastställts av utomstående faktorer.

Osäkerheter som uppkommer i samband med antagande och beslut handlar, till skillnad från resurs klassen, om ingenjörens analysförmåga. Här menar Lundin att osäkerheterna uppstår i de analysval som

väljs och ingenjörens beskrivande förmåga. De osäkerheter som uppkommer i samband med matematiska modeller handlar om hur väl sanningen återspeglas i beräkningarna, menar Lundin. Den fjärde sortens osäkerhet handlar om kvaliteten i indata.

2.1.3 Risk och osäkerheter enligt Paté-Cornell (1996)

Paté-Cornell (1996) menar att det är svårt att definiera och hantera osäkerheter för riskkällor som kan innebära dödsfall på flera tusen människor. Att exempelvis förstå hur människans levnadssätt påverkar jorden och klimatet är en problemformulering med stora osäkerheter. Riskanalysmetoder har utvecklats de senaste 30 åren, enligt författaren. De metoder som utvecklats delas in i hälsa- och miljöriskanalyser samt ingenjörsriskanalyser. För att kvantifiera riskerna och osäkerheterna, förlitar sig ingenjören på sannolikheter och konsekvenser. Fortsättningsvis menar författaren på att hanteringen av osäkerheter kan vara komplex och kostsam vilket leder till att beslutsfattare oftast väljer de enklaste och billigaste metoderna.

Paté-Cornell (1996) lyfter fram begreppet epistemiska osäkerheter som uppkommer i samband med brist på information eller kunskap kring riskkällan. För att hantera epistemiska osäkerheter krävs en djup förståelse för riskkällan och för relevanta modeller. Författaren belyser att sådana djupgående analyser är komplexa och kostsamma jämfört med den traditionella, kvantitativa riskhanteringen.

Vissa risker kräver djupgående analyser medan andra endast kräver enklare analyser. Författaren menar på att goda beslutsfattningar har gjorts på båda sätten. Paté-Cornell (1996) presenterar sex nivåer kring hur hantering av osäkerheter hos riskkällor kan ske.

I nivå noll beskrivs risken kvalitativt. Uppenbara riskkällor kan hanteras utan att kvantifiera riskerna. För att exemplifiera nämner författaren ett scenario med en mindre damm som kan orsaka drunkningsolyckor. Åtgärder såsom stängsel runt dammen kräver inte någon vidare analys om lösningen är relativt billig. Denna typ av hantering är effektiv när beslutet är uppenbart och kostnaderna är låga.

Nästa nivå baseras på att ackumulera de värsta tänkbara antaganden i teorin och kombinera detta med den maximala förlustnivån. Nivå ett tar alltså inte hänsyn till sannolikheter utan är ett tillvägagångssätt som baseras på ”värsta tänkbara scenariot”.

Till skillnad från nivå ett introduceras troliga, övre gränser i nivå två. I denna nivå genomförs en analys för att utvärdera värsta möjliga scenariot, trots att det värsta tänkbara scenariot kantas av stora osäkerheter. Paté-Cornell exemplifierar med jordbävningar. Det är inte möjligt att förutspå magnituden eller när en jordbävning kan komma att uppstå. Även konsekvenserna är svåra att kvantifiera då riskkällan i sig innehar en rad osäkerheter som är komplexa och dyra att utreda. Författaren skriver att hanteringen enligt nivå två har blivit populär hos myndigheter eftersom riskkällor hanteras på ett kostsamt och tidseffektivt sätt.

Nivå tre bygger på punktskattningar som exempelvis medelvärden och medianvärden. Paté-Cornell menar att punktskattningar ger ett bra underlag för beslutsfattare gällande exempelvis miljö- och hälsorisker. Att använda medelvärde har den bästa förankringen för att minimera kostnaderna men författaren lyfter även fram utmaningar med denna nivå. Bland annat är punktskattningar känsliga för extremvärden och tar inte hänsyn till osäkerheter som förknippas med riskkällorna.

Hantering i nivå fyra bygger på en så kallad probabilistisk riskanalys med sannolikheter och konsekvenser. Med hjälp av en riskkurva kan sannolikheter och konsekvens redovisas tydligt för att underlätta för beslutsfattare.

Den sista nivån liknar nivå fyra, men istället för att enbart redovisa osäkerheterna i form av en enda riskkurva, redovisas flera. Paté-Cornell menar att osäkerheterna och dess påverkan på konsekvenserna kan studeras mer ingående. Detta görs antingen analytiskt eller via Monte-Carlo simuleringar. På så vis erhålls en probabilistisk distribution för flera ingående variabler som tillsammans redovisar de osäkerheter som påverkar risknivåerna för riskkällan.

2.2 Wi-Fi

Wi-Fi är lokala trådlösa nätverk som förser enheter med internetanslutning. Med enheter avses i rapporten anordningar såsom smarttelefoner, datorer och surfplattor. Idag är det en väletablerad teknik som används överallt i samhället. Många funktioner i enheter såsom mobiltelefoner bygger på att internetanslutning sker trådlöst. Tekniken används i privata verksamheter såväl som flertalet publika verksamheter såsom centralstationer, restauranger och träningsanläggningar där personal och besökare ofta har gratis tillgång. I detta avsnitt ges en mer ingående beskrivning av tekniken och funktionerna bakom den.

2.2.1 Bakomliggande funktioner

Wi-Fi använder sig likt andra trådlösa nätverk av radiovågor som skickas mellan sändare och mottagare (Strålsäkerhetsmyndigheten, 2018). Eftersom Wi-Fi är ett lokalt nätverk är spridningen av radiovågorna begränsad. Petre, Chilipirera, Baratchi, Dobre och van Steen (2017) menar att räckvidden för trådlösa nätverk ofta är mindre än vad tillverkaren påstår eftersom signalen kan störas av omgivande miljö. Störningar som exempelvis störande ljud eller material mellan sändare och mottagare kan påverka räckvidden, enligt författarna.

Räckvidden kan även påverkas av vilken typ av enhet som ansluter till nätverket. Cunche (2013) utförde mätningar för att se hur långt Wi-Fi-signaler nådde två telefoner av olika modeller. Författaren fann att nätverket kunde kommunicera med ena modellen med ett avstånd på maximalt 30 meter. Den andra modellen kunde kommunicera med nätverket över 100 meter bort.

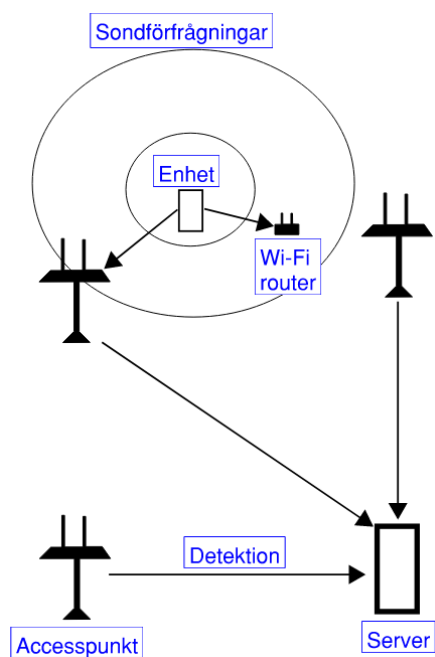
2.2.2 Anslutning

I *Smart Sensor Networks* (2017) beskriver Petre et al. de grundläggande funktionerna bakom tekniken. En router kan ansluta till enheter via ett trådlöst nätverk och kan förstärkas av accesspunkter. Enligt författarna är en accesspunkt en anordning som dirigerar trafiken i ett nätverk och som kontinuerligt sparar signalerna den mottar. Författarna förklarar att det finns två sätt för enheter att ansluta till ett nätverk. Det första är att accesspunkter sänder ut signaler till enheter som är kompatibla för Wi-Fi och som befinner sig inom nätverkets räckvidd. Därefter svarar enheterna på signalerna.

Petre et al. (2017) beskriver att det andra sättet för enheter att ansluta till ett nätverk är att enheterna själva skickar ut regelbundna signaler med information till accesspunkterna. Signalerna som enheterna skickar ut kallas för sondförfrågningar och skickas oavsett om enheterna ansluter till nätverket eller inte. I en sondförfrågan finns en hel del information om enheten som ansluter. Enligt författarna innefattar denna information bland annat enhetens MAC-adress som är en unik identifierare vilken gör det möjligt att urskilja enheter från varandra. Annan information som sondförfrågan kan innehålla är en lista med unika identifierare (SSID) för de nätverk som enheten tidigare anslutit till. Slutligen skriver författarna

att även signalstyrkan (RSSI) kan skickas till accesspunkten. Eftersom enheterna söker en så god uppkoppling som möjligt kommer de ständigt försöka ansluta till de accesspunkter som förser enheterna med bäst uppkoppling.

Utöver att förse användare med trådlös anslutning finns flera tillämpningar med Wi-Fi. Eftersom MAC-adressen gör det möjligt att urskilja enheter från varandra förklarar Petre et al. (2017) att Wi-Fi kan nyttjas för detektion av mobila enheter. Författarna definierar detektion enligt följande: En identifikation av en unik enhet samt en unik accesspunkt vid en given tidpunkt. Oavsett om en enhet är ansluten eller inte skickar den signaler med information som sedan kan lagras i en server, se figur 2. Med hjälp av denna teknik går det att ta reda på vilka enheter som nätverket identifierar samt vid vilken tidpunkt de identifieras. Denna information kan sedan användas till en rad ändamål. Eftersom det är möjligt att detektera enheter går det även att nyttja Wi-Fi för att även uppskatta antalet personer. Petre et al. (2017) skriver att det finns samhällsmässiga intressen att uppskatta personantal men att det finns utmaningar med att göra denna typ av uppskattning. Bland annat skriver de att antalet enheter per person varierar eftersom vissa använder flera enheter medan andra inte använder någon alls. Dessutom menar författarna att de slumpmässiga MAC-adresserna kan göra det svårt att urskilja olika enheter från varandra.



Figur 2. Konceptuell illustration över detektion av enheter.

2.3 Uppkoppling och internetanvändning

Samhället blir allt mer uppkopplat och anpassat efter nya tekniska applikationer. Internetstiftelsen genomför årliga studier av svenskarnas internetanvändning och presenterar detta i årliga rapporter. Den senaste upplagan, *svenskarna och internet 2019* (Internetstiftelsen, 2019), visar statistik fram till år 2019. Rapporten visar hur omfattande svenskarnas internetanvändning är. Bland annat ägde 92 procent av svenskarna över tolv år en egen smarttelefon år 2019. Vidare visar rapporten att 95 procent av svenskarna över tolv år använder internet och att 91 procent använder internet dagligen. Rapporten visar att andelen som avsiktligt ansluter till publika Wi-Fi minskar. Internetstiftelsen hävdar att detta bland annat beror på att människor är mer säkerhetsmedvetna (2019).

Enligt företaget Ciscos årliga internetrapport (2020) varierar internetanvändningen kraftigt mellan olika delar av världen där Nordamerika ligger i framkant och Afrika och Mellanöstern ligger i underkant. Enligt rapporten kommer det finnas god tillgång till publika Wi-Fi-nätverk i framtiden. Cisco prognoserar det globala antalet publika Wi-Fi-nätverk till 628 miljoner år 2023. I rapporten förutspås även att antalet smarttelefoner år 2023 är omkring 6,7 miljarder.

2.4 Regelverk och rekommendationer

I detta avsnitt presenteras regelverk och rekommendationer om personantal och persontäthet i syfte att erhålla en ökad förståelse om dagens regelverk kring värden på personantal som används vid dimensionering. Vidare beskrivs hantering av personuppgifter och utmaningar med dagens regelverk.

2.4.1 Dimensionerande personantal

I samband med uppförande av en byggnad ska samhällets minimikrav uppfyllas. Detta görs genom att uppfylla föreskriftskrav angivna i Plan- och bygglagen (PBL), Plan- och byggförordningen (PBF) och i Boverkets Byggregler (BBR). Det är byggherren som ansvarar att föreskriftskraven uppfylls på ett tillfredsställande sätt (Sveriges riksdag, 2010:900).

För att säkerställa en säker utrymning från byggnader innan kritiska förhållanden uppstår, krävs information om byggnadens faktiska personantal och hur detta varierar över tid. På så sätt kan tillfredsställande dimensionering av utrymningsvägar och väg till utrymningsvägar ske så att samhällets minimikrav uppfylls. I dagens BBR är samtliga värden konservativa för att möjliggöra en bred tillämpning för alla typer av byggnader och verksamheter, trots stora osäkerheter kring det verkliga personantalet för en specifik verksamhet. (Boverket, 2011)

Genom en ökad kunskap om personantalet och dess variation för en specifik byggnad, kan exempelvis utrymningsdörrar utföras med en bredd som minimerar risken att köbildning uppstår i samband med en utrymningsituation (Boverket, 2011).

Byggnader med ett högt personantal utmanar byggnadens befintliga brandskydd. Ett exempel på byggnadstyp med högt personantal är samlingslokaler som BBR definierar enligt följande:

”...där det vistas personer som inte kan förväntas ha god lokalkännedom, som har förutsättningar att själva sätta sig i säkerhet och som kan förväntas vara vakna.”
(Boverket, 2011)

Fortsättningsvis drar BBR en tydlig gräns vid 150 personer. Om en byggnad har för avsikt att inhysa fler än 150 personer ställs högre krav på bland annat utrymningsvägar och bredd på utrymningsdörrar. I nyare upplagor av BBR benämns denna indelning för verksamhetsklass 2A respektive 2B. Just indelningen av verksamhetsklasser introducerades för första gången år 2012 när BBR 19 tillkom. Efter införandet av verksamhetsklasser har gränsdragningen på 150 personer bestått och är idag en vedertagen dimensioneringsförutsättning i den fortsatta projekteringen av nybyggnationer i samlingslokaler.

Just gränsdragningen vid personantalet 150 personer återfinns i äldre regelverk. I byggnadsstadgan från 1946 är definitionen på en samlingslokal en lokal som inhyser fler än 150 personer (Kungl. Byggnadsstyrelsens publikationer, 1946:1).

2.4.2 Dimensionerande persontäthet

I BBR (Boverket, 2011) kan det dimensionerande personantalet fastställas via tabell 5:333 dimensionerande persontäthet. I tabellen återfinns schablonvärden som multipliceras med nettoarean för att få det dimensionerande personantalet för en specifik byggnad. En kontorsbyggnad har exempelvis en lägre persontäthet än en danslokal per nettoarea. Samtliga värden hittas i *Utrymningsdimensionering* (Boverket, 2006) som innehåller sammanställda värden från bland annat tidigare experiment. Samtliga värden är konservativt framtagna för att inneha en bred tillämpning för en rad olika verksamheter.

I en rapport publicerad av Erdsjö och Lindberg (2008) har mätningar av persontäthet i köpcentrum gjorts. Författarna hade för avsikt att undersöka om det schablonmässiga värdet i tabell 5:333 i BBR på varuhus genererar en risknivå som är skäligt i förhållande till dess geografiska placering. Författarna fann att varuhus och köpcentrum belägna centralt i större stadskärnor hade en högre persontäthet jämfört med köpcentrum belägna utanför eller i utkanten av en tätort. Erdsjö och Lindberg kom fram till att vid bestämmande av persontäthet ska byggnaders geografiska placering beaktas så att risknivåerna är skäliga avseende brandskydd.

2.4.3 Dataskyddsförordningen och personuppgiftslagen

Den 25 maj 2018 beslutade Europeiska Unionen (EU) om en ny lag som skulle gälla för unionens medlemsstater. Det huvudsakliga syftet med den nya lagen är att skydda enskilda individers grundläggande rättigheter och friheter (Datainspektionen, u.d.). Lagen kallas idag för dataskyddsförordningen (GDPR). I Sveriges har det tidigare varit personuppgiftslagen (PUL) som beskrivit vem som får hantera personuppgifter och i vilken omfattning (Sveriges riksdag, 2020). Datainspektionen tydliggör dock att flertalet av de regler som fanns i PUL, återfinns i GDPR.

GDPR reglerar bland annat hur länge det är tillåtet att spara känslig information. Datainspektionen (u.d.) menar att GDPR inte specificerar hur länge det anses vara tillåtet. Istället menar Datainspektionen att personuppgifter får sparas så länge som de behövs för ändamålet med personuppgiftsbehandlingen. När uppgifterna inte behövs längre, ska de tas bort eller avidentifieras.

Som privatperson menar Datainspektionen (u.d.) att privatpersoner får ett utökat kontroll gällande hur myndigheter, företag och organisationer behandlar individers personuppgifter. Exempelvis står det i GDPR att den som behandlar privatpersonens personuppgifter måste ge detaljerad information om hur de används. Vidare ska privatpersoner bland annat veta i vilket syfte som personuppgifterna kommer användas, hur länge dessa kommer lagras och om personuppgifterna kommer delas med en tredje part.

Om myndigheter, företag och organisationer ertappas med att brista i sin behandling av personuppgifter, kan de enligt datainspektionen dömas till vite. Vitet som de kan utdömas till, kallad för sanktionsavgift, kan vara på upp till 20 miljoner euro eller fyra procent av företagets globala omsättning (Datainspektionen, u.d.). För Sveriges del är det berörd tillsynsmyndighet som har mandat att fatta beslut om böter. Centralt kommer det finnas en styrelse i EU som kontinuerligt tar fram nya riktlinjer och kommer ut med nya tolkningar, som respektive land ska förhålla sig till.

2.5 Utmaningar med dagens regelverk

I rapporten *Survey of Occupant Load Densities in Retail Buildings* skriver De Sanctis, Moos och Aumayer om persontäthet i butiker (2019). Rapporten behandlar främst schweizisk byggglagstiftning och i rapporten presenterar författarna en studie genomförd i schweiziska butiker. Författarna skriver att rätt

utrymningsdimensionering kan minska risken för dödsfall. För att uppnå rätt utrymningsdimensionering krävs en god uppfattning om personantalet och hur det varierar över tid, menar De Sanctis et al (2019).

Dagens dimensionerande personantal bygger på standarder i lagstiftningen som i sin tur bygger på insamlade data. Författarna menar att det är oklart vad denna data bygger på och att den ofta är orealistiskt. Exempelvis nämner De Sanctis et al. (2019) en studie där persontäthet uppskattades utifrån intervjuer med en butikschef. Butikschefen fick uppskatta ungefär hur många personer som maximalt fick vistas i dennes butik. Dessa uppskattade värden hittas än i dag i vissa föreskrifter och råd, skriver författarna.

Vidare skriver De Sanctis et al (2019) att persontätheten i byggnader inte beror på den kapacitet som byggnaden kan inhysa utan snarare på sådant som gör att personer aktivt väljer en specifik butik. Detta kan exempelvis vara efterfrågan på specifika produkter som leder till stora variationer i personantal över tid. Idag är det vanligt att dimensionera byggnaden utifrån det maximala antalet personer som förväntas besöka byggnaden. Nackdelen med denna metod är att detta mätvärde inte säger någonting om personantalet under resterande del av året, hävdar författarna. Det är oklart om det är rimligt att dimensionera brandskyddet utifrån ett maximalt personantal som endast uppnås någon enstaka gång per år. För att kunna få mer korrekta personantal behövs istället metoder som mäter antalet personer över tid och tar hänsyn till variation, skriver författarna.

I rapporten presenterar De Sanctis et al. (2019) resultatet från en omfattande studie om persontäthet i schweiziska butiker. I studien mättes persontätheter i 96 butiker under ett helt år vilket innebar att de mest besökta dagarna såväl som det minst besökta dagarna omfattades. Vidare tog författarna hänsyn till parametrar som antogs påverka antalet besökare, exempelvis geografisk plats och typ av butik. Författarna skriver att ungefär tre fjärdedelar var matbutiker och resterande var andra sorters butiker. Utöver uppmätta personantal kunde författarna med denna metod även dra slutsatser om andra parametrars inverkan. Studien visade att butikstyp var den parameter som påverkade personantalet mest och författarna påstår därför att detta borde tas i beaktning vid utrymningsdimensionering.

Författarna skriver att risknivåerna avseende brandskyddet kan vara för höga i många länder. Detta beror på att brandskyddskraven vid en specifik persontäthet kraftigt varierar i olika länders lagstiftningar. För kraftigt belastade matbutiker menar dock författarna att kraven kan vara för låga.

Vidare påvisade studien stor variation i persontäthet över tid. Författarna menar att det därför är osannolikt att en brand skulle utbryta just när maxantalet uppnås. Författarna skriver att detta bör tas i beaktning vid framtida utrymningsdimensionering.

2.6 Tekniker för uppskattning av personantal

Tekniker för uppskattning av personantal används dagligen i olika verksamheter. Som ett resultat av teknikens utveckling går det att räkna personer med små felmarginaler. I detta avsnitt redovisas både äldre och nyare tekniker som används för uppskattning av personantal.

2.6.1 Personantal med hjälp av Wi-Fi & mobila enheter

En teknik som studerats av Longo, Redondi och Cesana (2019) för att uppskatta personantalet i en byggnad är att nyttja Wi-Fi och Bluetooth genom mobila enheter. Flertalet av dagens mobila enheter är kompatibla med att sända ut Wi-Fi- och Bluetoothsignaler. Longo et al. (2019) skriver att år 2021

förutspås cirka 11,6 miljarder aktiva mobila enheter finnas runt omkring i världen med möjlighet till Wi-Fi och Bluetoothuppkoppling.

Som tidigare nämnts i avsnitt 2.2.2, skickas det konstant sondförfrågningar mellan accesspunkter och mobila enheter, oberoende av om den mobila enheten väljer att ansluta till Wi-Fi-nätverket eller inte. För att kunna erhålla en uppskattning av personantalet i en byggnad och minimera felkällor måste kunskap om accesspunkternas räckvidd kartläggas, menar Longo et al. (2019). Sondförfrågningar som skickas mellan accesspunkterna och mobila enheter sparas i en central server med hjälp av regressionsmodeller. Givet ett tidsintervall kan personantalet enligt författarna uppskattas i realtid. Longo et al. (2019) nämner att felkällorna vid nyttjande av Wi-Fi kan minimeras med en ökad förståelse av tekniken. För det första kan mobila enheter med svaga signalstyrkor till accesspunkten filtreras bort för att undvika att personer som befinner sig utanför en byggnad räknas med i den insamlade data. Detta görs främst genom att analysera signalstyrkan till accesspunkten och införa ett villkor som säger åt servern att inte räkna enheter med en svag signalstyrka då sannolikheten är stor att dessa befinner sig utanför byggnaden. För det andra nämner Longo et al. (2019) att varje enhet har en unik adress även kallad för MAC-adress. Detta har beskrivits närmare i avsnitt 2.2.2. Kortfattat menar författarna att med hjälp av signalstyrkan och MAC-adressen, kan personantalet i ett utrymme eller byggnad uppskattas.

Vidare skriver Longo et al. (2019) att trots att människor oftast har på sig en mobil enhet, så är det inte representativt att anta att det enbart registreras en enhet per person. Författarna menar att beroende på vilken verksamhet som studeras, ska lokala förutsättningar tas i beaktning. Det är exempelvis inte helt ovanligt att en student i en föreläsningssal antecknar på en dator som är uppkopplad på det trådlösa nätverket samtidigt som mobiltelefonen är i fickan och uppkopplad på Wi-Fi. Vidare nämner Longo et al. (2019) att det finns personer som stänger av sin enhet och även där ska det tas i beaktning.

Longo et al. (2019) fann att deras teknik gav en träffsäker uppskattning av personantalet. Författarna undersökte även hur Wi-Fi och Bluetooth kunde uppskatta personantalet var för sig. Det visade sig att Wi-Fi var träffsäkert men att kombinationen av teknikerna var bäst. Författarna fann även att tekniken var relativt billig vilket ökar dess potential.

2.6.2 Personantal i kombination av Wi-Fi och personers aktivitetsnivå

Det finns intresse för fastighetsägare som bedriver kontorsverksamheter att kunna uppskatta personantalet i realtid (Azam, Blayo, Venne, & Allegue-Martinez, 2019). Författarna nämner bland annat att en god kännedom om personantalet kan minimera driftskostnader i form av energi, temperatur, ventilation och belysning. Exempelvis beskriver författarna att luftflödet i en byggnad kan regleras om systemet i förväg kan uppskatta personantalet och på så sätt förbättra vistelsen i den aktuella byggnaden. Azam et al. (2019) utförde flera experiment som syftar till att kartlägga hur väl personantalet kan uppskattas med hjälp av Wi-Fi i kombination med artificiell intelligens (AI). AI:n programmerades till att detektera olika typer av samband och mönster, som sparas kontinuerligt och med hjälp av algoritmer kan systemet uppskatta personantalet i en byggnad.

Azam et al. (2019) studerade ett våningsplan bestående av kontorsverksamhet. Två accesspunkter placerades på olika delar av planet och täckte in samtliga utrymmen. När personer befann sig inom accesspunkternas räckvidd, mättes aktivitetsnivån som uppstår vid förflyttningen och data sparades. Som kontroll uppmätte författarna antalet personer momentant varje timme. Experimenten visade på en mycket god träffsäkerhet vad gäller uppskattning av personantal. Enligt Azam et al. (2019) kunde tekniken uppskatta personantalet med en träffsäkerhet på 99%. Sättet att uppskatta personantalet på har dock studerats i kontorsmiljöer med ett lågt personflöde. Författarna lyfter fram flera

utvecklingsmöjligheter vid nyttjande av tekniken, bland annat genom att studera byggnader med ett högt personflöde och en stor variation av verksamheter såsom resecentraler och köpcentrum.

2.6.3 Infraröda sensorer

Passiva infraröda sensorer (PIR-sensorer) kan installeras i ett rum eller i en byggnad för att beräkna personantalet. Sensorerna mäter förändringar i den infraröda strålningen som uppstår när personer förflyttar sig (Chen, Jiang, & Xie, 2018). Chen et al. (2018) menar att det finns flera metoder för att samla in data om personantalet med hjälp av PIR-sensorer. En av metoderna använder sensorer som känner av personer i ett rum för att sedan tillämpa bayesiansk teori och uppskatta personantalet. Andra metoder som nämns nyttjar statistiska regressionsmodeller samt algoritmer som fokuserar på förändringar i infraröd strålning som uppstår i samband med förflyttning av personer.

Chen et al. (2018) lyfter fram flera fördelar med PIR-sensorer, varav den främsta är den låga installationskostnaden av tekniken. Däremot nämner författarna en begränsning med tekniken vilket är att det krävs konstant förflyttning för att PIR-sensorerna ska kunna upptäcka personer i en lokal. Personer som står helt stilla upptäcks därmed inte.

2.6.4 Förändringar i koldioxidkoncentration

I allt fler byggnader styrs till- och frånluften i ventilationssystemet via olika sensorer, enligt Chen et al. (2018). Driftskostnader i en byggnad kan regleras på ett energibesparande sätt tack vare olika typer av indikatorer. En sådan indikator kan vara förändringar i koldioxidkoncentration i ett rum eller i en byggnad (Mysen, Schild, Berntsen, & Nafstad, 2005).

Chen et al. (2018) förklarar att antalet personer i en lokal kan beräknas genom att ställa upp en massbalanskvation för inomhuskoncentrationen av koldioxid. Författarna förklarar vidare att öppningar, som exempelvis dörrar och fönster, kartläggs för att få en korrekt förändring i koldioxidkoncentration. Med hjälp av algoritmer och insamlade data om koldioxidkoncentrationerna, kan personantalet uppskattas approximativt.

Både Mysen et al. (2005) och Chen et al. (2018) förklarar att uppskattningen av personantal är en komplex process eftersom modellering av den exakta koldioxidkoncentrationen inte är möjlig idag. Vidare nämner Chen et al. (2018) att den största begränsningen med att uppskatta personantal med hjälp av förändringar i koldioxidkoncentrationer är tidsfördröjning på grund av den långsamma spridningen av koldioxid.

2.6.5 Videoanalys med fasta kameror

Att tillämpa videoanalys med hjälp av fasta kameror är en annan metod för att uppskatta personantalet i byggnader. Tekniken är väletablerad och utvecklas kontinuerligt för att minimera felkällor och öka tillförlitligheten, enligt Chen et al. (2018). Författarna presenterar en generell arbetsgång som består av tre steg för uppskattning av personantal. I det första steget filtreras objekt bort om de inte identifieras som en människa. I det andra steget sker en så kallad spårning som kan ske på flera sätt. Conte, Foggia, Percannella och Vento (2013) skriver att ett sätt för en kamera att spåra människor i en folkmassa är att leta efter karaktärsdrag som är specifikt relaterat till människor. Conte et al. (2013) lyfter fram bland annat ögon, näsa och mun som en viktig del i spårningen. Det tredje och sista steget som Chen et al. (2018) skriver om, är igenkänning. Igenkänningen innebär att en person som genomgått samtliga steg identifieras som en person och räknas med.

Ett annat sätt för kameror att identifiera människor är enligt Chen et al. (2018) att kameran förses med ett filter som urskiljer människors huvudform från exempelvis möbler och inredning. Med hjälp av algoritmer kan kamerorna i en byggnad räkna personantalet med en träffsäkerhet på cirka 95 procent. Författarna menar att tekniken har en hög träffsäkerhet jämfört med andra tekniker samt att tekniken ständigt utvecklas för att bli mer tillförlitlig. Chen et al. (2018) menar dock att tekniken innehar vissa begränsningar, vilka är komplexa beräkningar och integritetsfrågor då människor filmas utan samtycke. Slutligen lyfter författarna fram att kostnaderna för att installera och underhålla kameror är höga.

2.7 Tekniker för lokalisering av personer

I en rapport skriven av Fuchs, Aschenbruck, Martini och Wieneke (2010) berättar författarna hur lokalisering av människor utomhus sker med hjälp av Global Positioning System (GPS). GPS är en väletablerad teknik och används för att kunna ta sig från punkt A till punkt B utomhus. Eftersom tekniken är väletablerad är felmarginalerna små. Det är först när människor befinner sig inne i en byggnad som problematiken med lokalisering uppstår på grund av förlorad signalmottagning. Den förlorade signalmottagningen gör att GPS inte lämpas för inomhusmiljöer. För att möta det ökade behovet av personlokalisering, har andra tekniker utvecklats och som redovisas i kommande avsnitt.

2.7.1 Lokalisering av personer med signalbaserade system

Tekniker för lokalisering av personer används dagligen utomhus i form av GPS. Som ett resultat av teknikens utveckling har ett behov av lokalisering av personer inomhus uppstått. I detta avsnitt redovisas några tekniker som använts för lokalisering av personer inomhus.

2.7.1.1 Behov av lokalisering under räddningsinsatser

Fuchs et al. (2010) lyfter fram en studie som utfördes av *National Institute of Standards and Technology* (NIST) som vänder sig till räddningstjänster. NIST kom fram till att det fanns stort behov av ett navigeringssystem för brandmän som kunde lokalisera människor inomhus och med en god träffsäkerhet. NIST fann även att det var viktigt att ett framtida navigeringssystem har en bra träffsäkerhet på omkring 1 meter, att systemet kan appliceras på alla typer av byggnader och att tekniken inte är alltför dyr att implementera.

Det finns ett behov att utveckla navigeringssystem åt räddningstjänster i samband med räddningsinsatser, enligt Harris (2013). Navigeringssystemet syftar att nyttjas inomhus för att räddningsledare, i realtid, ska kunna lokalisera räddningspersonal i en byggnad. Harris beskriver en teknik som kom att kallas för *Precision Personnel Locator* (PPL). Tekniken bestod av en signalmottagare som monterades på räddningstjänstens fordon. Brandmännen fick en radio som kontinuerligt avgav signaler som plockades upp av mottagarna. Med hjälp av detta kunde räddningsledare få information om brandmännens lokalisering i byggnaden. Brandmännen fann flera fördelar vid nyttjandet av PLL. Systemet var trådlös, hade en lång batteritid och kostnaden för mottagarna var låga. Den största begränsningen med tekniken var att räddningsledaren miste signalen när ytterväggarna var uppbyggda av metall.

Harris (2013) beskriver en annan teknik som kallas för *Navigation System for Emergency Responders* (GLANSER). GLANSER hade liknande uppbyggnad som PPL. GLANSER förlitade sig dock inte enbart på signalavgivning, utan signalavgivaren förseddes med en sensor och GPS. Förutom signalavgivning till mottagarenheten, skickades även signaler till övriga signalavgivare. Om en signalavgivare tappade signalen med mottagarenheten, fastställdes positionen ändå med hjälp av övriga signalavgivare. Fördelen med GLANSER var att signalavgivarna kunde lokalisera personer inomhus,

även vid störning av radiovågorna. Harris (2013) menar dock att kostnaderna var höga och att många räddningstjänster inte har råd med tekniken.

2.7.1.2 Bluetooth

I en rapport publicerad av Orujov, Maskeliunas, Damasevicius, Wei och Li (2018) presenterar författarna ett tillvägagångssätt att lokalisera människor inomhus med hjälp av Bluetooth på mobiltelefoner. Bluetooth är ett signalbaserat system som avger signaler till en mottagare, i detta fall en så kallad Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon. Omfattande experiment utfördes av författarna där olika typer av byggnader studerades för att utvärdera tillförlitligheten och begränsningar med tekniken.

Den mobila enheten skannade kontinuerligt av omgivningen efter mottagare och anslöt sig till den närmaste mottagaren. De faktorer som den mobila enheten fick ta ställning till var storleken på rummet, signalstyrka och placering av mottagare. Författarna fann att tekniken gav en bra uppskattning givet att signalstyrkan var tillräckligt hög.

2.7.1.3 RFID-taggar med inbyggt Wi-Fi

För företag kan det finnas säkerhetsmässiga intressen i att lokalisera var anställda befinner sig i realtid när arbetet är förlagt i riskfyllda miljöer, exempelvis byggarbetsplatser. I en rapport publicerad av (Woo, o.a., 2010) presenteras en serie experiment som utförts på en byggarbetsplats i Kina. Anställda utrustades med en RFID-taggar med inbyggt Wi-Fi som kontinuerligt mätte signalstyrkan till de olika accesspunkterna som fanns på byggarbetsplatsen. För att kunna lokalisera de anställda, var det av yttersta vikt att signalstyrkan var jämn.

Woo et al. (2010) ville att experimenten skulle spegla den verkliga miljön för byggarbetare, med bland annat höga temperaturer och långa avstånd från det trådlösa nätverket. Därför gjordes förutsättningarna utmanande under de genomförda testerna. Författarna fann att lokaliseringen kunde ske med en felmarginal på mindre än 5 meter.

2.7.2 Lokalisering av personer med både signal- och sensorbaserade system

Fuchs et al. (2010) skriver att sensorbaserade system baseras på olika typer av sensorer som mäter det undersökta objektets acceleration eller orientering med hjälp av en magnetometer. Magnetometern fastställer orienteringen av objektet relativt jordens magnetiska fält.

Nilsson, Rantakokko, Skoglund och Hendeby (2014) presenterar ett system som kombinerar både signalbaserade och sensorbaserade system. Författarna menar att en kombination av de olika systemen är ett sätt att minimera felmarginalerna som kan uppstå i samband med lokalisering av personer inomhus. Vidare förklarar författarna att tekniken ska kunna appliceras i vilken byggnad som helst. Författarna presenterar gjorda försök med tekniken där tillämpligheten utvärderas och felkällor diskuteras.

Tekniken använder sig av en kontinuerlig uppdaterad signalstyrka, som sedan integreras med sensorer som är placerade i försökspersonernas skor. Nilsson et al. (2014) menar att tekniken har potential att bistå med en hög träffsäkerhet och robusthet i sådan omfattning att tekniken kan nyttjas av bland annat räddningstjänsten i samband med insatser. Den insamlade informationen gör det möjligt för systemet att detektera när en person förflyttar sig till ett utrymme som tidigare registrerats av sensorn.

Nilsson et al. (2014) kom fram till att en kombination av signal- och sensorbaserade system kompletterar varandra vilket resulterar i en minimering av osäkerheterna som kan tänkas uppstå i samband med lokalisering av personer inomhus. Genom att algoritmen samlar in data på tidigare gjorda gångmönster inne i byggnaden så förbättras lokaliseringen och minimerar felkällor.

3 Fallstudie

I detta kapitel presenteras det generella upplägget för fallstudien. Därefter delas kapitlet upp i de verksamheter som valdes. Specifik beskrivning, metod, resultat och analys av resultat presenteras för varje verksamhet. Slutligen presenteras en känslighetsanalys av resultatet.

3.1 Upplägg

För att bedöma hur väl det går att uppskatta personantal med hjälp av Wi-Fi jämfördes observerat antal personer i en byggnad med data om antalet uppkopplade enheter i byggnaden. I rapporten utgås det från att det observerade personantalet är nära det verkliga personantalet. Mätningarna planerades i en försöksplan, se bilaga A. Det gjordes flera mätningar för varje byggnad. Under dessa mätningar räknades in- och utpasserade personer visuellt när de passerade genom ingångarna. Gränsdragningen vid ingången gjordes främst för att underlätta för observatörerna, men även för att byggnadens väggar antogs ha betydelse för nätverkens räckvidd i enlighet med Petre et al. (2017). Var femte minut antecknades det totala antalet in- och utpasserande personer vid just den tidpunkten. Med denna metod kunde antalet personer som befann sig i byggnaden vid varje tillfälle beräknas genom att subtrahera antalet utpasserande personer från antalet inpasserande personer, se ekvation 1.

$$N_{inpasserande} - N_{utpasserande} = N_{personer\ i\ byggnaden} \quad (\text{Ekvation 1})$$

Räkningen av antalet personer gjordes med hjälp av manuella personräknare, se figur 3. Observatörerna var utrustade med två personräknare vardera. En som räknade antalet inpasserande och en som räknade antalet utpasserande. Vid de tillfällen observatörerna använde Wi-Fi räknades de med i datainsamlingen.



Figur 3. Den typ av personräknare som användes vid mätningarna.

Under samma mättid och med samma tidsintervall samlade LDC in data över uppkopplade enheter i byggnaden. Denna data skickades från LDC efter varje mätning. Datainsamlingen omfattade enheter som var uppkopplade på universitetets nätverk.

Det huvudsakliga nätverket på universitetet kallas Eduroam. Detta nätverk har studenter och personal vid LU har inloggning och gratis tillgång till. Eduroam är ett stort samarbete mellan olika högskolor och universitet vilket gör det möjligt för studenter och anställda att ansluta till nätverket på alla högskolor och universitet i samarbetet (Eduroam, u.d.). Om en person tidigare anslutit till nätverket med en enhet

så ansluts enheten automatiskt till nätverket om den är nära en accesspunkt och om Wi-Fi är påslaget. Eduroam-nätverket har flera tusen accesspunkter vilket gör det möjligt att erhålla en god anslutning i universitetets lokaler (Jönsson & Knutsson, 2020).

Personer som varken är studenter eller anställda på universitetet kan logga in på samma nätverk med en tillfällig inloggning. För dessa personer är nätverksnamnet istället LU-Guest. Anslutning till LU-Guest uppnås genom att en kod skickas via mail eller sms. Koden är giltig under ett bestämt antal timmar (Lund University Library, 2020). LDC skiljer på Eduroam och LU-Guest i sin datainsamling. Därför kommer LU-Guest behandlas som ett eget nätverk i denna rapport. Det finns dessutom ytterligare nätverk på universitetet vilka också omfattades i datainsamlingen.

LDC kodade ett script som automatiskt samlade in data om enheterna och som automatiskt anonymiserade denna data. Anonymiseringen gjordes i enlighet med GDPR för att ingen känslig information eller personuppgifter skulle skickas. Därmed uppstod inga etiska problemställningar under den genomförda studien.

3.1.1 Presentation av erhållna data

Data som erhöles från LDC presenterades enligt tabell 1. I den första kolumnen visas ett avidentifierat värde som är unikt för varje enhet. Vidare i rapporten kallas detta för enhets-id. I den andra kolumnen redovisas ett avidentifierat värde som är unikt för varje inloggad användare. Vidare i rapporten kallas detta för användar-id. LDC kunde endast ta fram användar-id för användare som var inloggade på Eduroam. För användare inloggade på övriga nätverk redovisas detta med tre bindestreck, se tabell 1.

I den tredje kolumnen redovisas längden på uppkopplingen för enheten. Uppkopplingen redovisas i dagar, timmar och minuter. I den fjärde kolumnen visas namnet på nätverket som enheten är uppkopplad på. I tabell 1 syns nätverksnamnen Eduroam och LU-Guest men det finns ytterligare nätverk som enheterna skulle kunna ha anslutit till. I kolumn fem presenteras accesspunkten som enheten är uppkopplad på. I den sista kolumnen redovisas vilken typ av enhet det är. Systemet kan identifiera olika typer av datorer, mobiltelefoner och surfplattor. I de fall där systemet inte lyckas identifiera en enhet redovisas detta som *unknown*.

För varje tidpunkt presenterades tre summerade värden, se längst ned i tabell 1. Här redovisas antalet unika enheter på alla nätverk och antalet unika enheter på nätverket Eduroam. Ytterligare ett värde som presenteras är antalet unika användare på Eduroam. Scriptet från LDC kunde se vilka enheter som användes på en enskild inloggning på Eduroam. På så sätt kunde antalet unika användare på det nätverket summeras. Om en person exempelvis var inloggad på Eduroam med en dator och en mobiltelefon räknades denne som en användare. Detta minskade risken för dubbelräkning av personer vid sammanställning av data. Det var inte möjligt att se antalet unika användare på de andra nätverken.

Tabell 1. Visar hur insamlade data presenterades från LDC.

Enhets-id	Användar-id	Uppkopplingslän	Nätverksam	Accesspunkt	Enhets-typ
7b44cb0e7a3dfd9152d8e737bf9dfdf0	b9edc097fca6f9e	00:00:40	eduroam	LU-LUND-194-HUS1-VAN2-AP-04	Win 10
ec8a15d3b98cd901cd9ddedd517df290	0209f4ae9a2d23a	00:00:31	eduroam	LU-LUND-a194-HUS1-VAN1-AP-06	unknown
a68edab00a6a0d6433890824eafa17cf	de595b74fc7d55f	00:00:16	eduroam	LU-LUND-a194-HUS1-VAN2-AP-09	Win 10
4074d0ecae469e094c7329c481d5f7a4	8f25de7a6a42ca2	05:18:52	eduroam	LU-LUND-194-HUS1-VAN2-AP-04	Win XP
3cb7216f6066f39da576a2fb12d0b4cd	9a1a8479c67ec10	00:00:13	eduroam	LU-LUND-a194-HUS1-VAN2-AP-08	Win XP
cc78e3a6b9701d5bcfe8293dd4bf44e3	ad1c7f3507055c3	00:00:30	eduroam	LU-LUND-a194-HUS1-VAN1-AP-02	Win XP
a06c622d0522a7194e9539d7ba2093af	---	00:00:37	Guest	LU-LUND-194-HUS1-VAN2-AP-04	Windows
f2f2732620f6a533939bbf10a0f93936	8db4b768642313	00:00:00	eduroam	LU-LUND-a194-HUS1-VAN1-AP-06	unknown
7a0ee25e59c8c30649b8948054b05f49	517d63d4d0baf3e	00:00:26	eduroam	LU-LUND-a194-HUS1-VAN1-AP-02	iPhone
86f0dd4f99d3d33ee9d0b3160450d1e8	45f720382c7c187	00:00:44	eduroam	LU-LUND-194-HUS1-VAN2-AP-04	iPhone
Unika enheter på alla nät: 199					
Unika enheter på eduroam: 194					
Unika användare på eduroam: 126					

3.1.2 Val av verksamheter

De verksamheter som valdes för fallstudien var Studiecetrum (SC) och Universitetsbiblioteket (UB). Urvalet av verksamheterna baserades på flera parametrar. De behövde vara del av LU så att datainsamlingen av LDC skulle kunna vara möjlig. I verksamheterna behövde dessutom universitetets trådlösa nätverk finnas tillgängligt. För att få tillräckligt med data valdes publika verksamheter där personantalet förväntades vara relativt stort och där det fanns ett konstant personflöde. Verksamheternas byggnader hade antingen en eller två huvudingångar vilket gjorde det möjligt att räkna in- och utpasserande personer. Den del av fallstudien som genomfördes på SC respektive UB presenteras i separata avsnitt.

3.1.3 Bearbetning av erhållna data

Efter varje mätning erhöles en datafil från LDC. För att kunna ta fram resultatet för mätningarna behövde data bearbetas och sammanställas.

Inledningsvis noterades hur länge enheterna i mätningen hade varit uppkopplade. De enheter som varit uppkopplade under lång tid vid mätningens början och som inte antogs representera personer togs bort från mätningarna. Det fanns inte en bestämd tidslängd för vilken enheterna togs bort. Bedömningen gjordes vid varje specifik mätning eftersom mätningarna började vid olika klockslag och genomfördes på olika verksamheter med olika förutsättningar. I tabell 2 visas ett par enheter vid en given tidpunkt som varit anslutna i 1 dag och 18 timmar respektive 16 dagar och 12 timmar. Dessa enheter antogs inte representera en person och exkluderades därför från sammanställningen av data och benämndes *räknas inte med 1 & 2*.

Tabell 2. Två unika enheter som varit anslutna i flera dagar och som därmed togs bort från sammanställningen av data.

Enhets-id	Användar-id	Uppkopplingslängd	Nätverksam	Accesspunkt	Enhets-typ
bbd79c890cbaf24962975894	1ffa3b70630e90e928ed7f8	00:00:00	eduroam/34:fc:b9:1b:75:b0/a-VHT	LU-LUND-144-HUS1-VAN4-AP-10	unknown
Räknas inte med 1	9f23e840fd749031ac6408	01:18:10	eduroam/38:17:c3:9d:63:60/g-HT	LU-LUND-144-HUS1-VAN1-AP-13	iPhone
Räknas inte med 2	d7ccdfff0b4a9f561b089566	16:12:06	eduroam/20:a6:cd:40:63:f0/a-HT	LU-LUND-144-HUS1-VAN2-AP-05	unknown
2f95c5389e3965a272b7f2fd2	b57dd6716c0e6446275f66	00:00:12	eduroam/24:f2:7f:bc:38:00/g-HT	LU-LUND-144-HUS1-VAN3-AP-01	Linux
e141bbbedccf8e7c2f1abd3b12	b036a6ba5d5654d399563	00:01:40	eduroam/24:f2:7f:c2:a9:30/a-VHT	LU-LUND-144-HUS1-VAN6-AP-08	Linux

Vidare sammanställdes data enligt tabell 3. Varje rad i datainsamlingen är sammanställda data från en tidpunkt. Intervallet mellan dessa tidpunkter är fem minuter. I kolumn *minuter* redovisas tidslängden i minuter. Eftersom fallstudierna hade olika längder anpassades denna kolumn utefter hur länge mätningarna pågick.

Enheterna kategoriserades efter enhetstyp, se tabell 3. I kolumn *datorer och surfplattor* summerades enheter som systemet identifierade som OS X, Windows, Linux och Ipad. I kolumn *mobiltelefoner* summerades de enheter som identifierades som Iphone eller Android. De enheter som systemet inte kunde identifiera sammanställdes i kolumn *ej identifierad enhetstyp*. Uppdelningen i tre kategorier gjorde det möjligt att jämföra antalet personer med specifika enhetstyper. Slutligen summerades de tre kategorierna i kolumn *totalt antal enheter*.

Tabell 3. Bild över bearbetade data över enhetstyp.

Minuter	Os X	Windows	Linux	Ipad	Datorer och surfplattor	Iphone	Android	Mobiltelefoner	Ej identifierad enhetstyp	Totalt antal enheter
0	0	0	1	0	1	3	0	3	0	4
5	6	3	2	1	12	12	0	12	1	25
10	9	5	4	1	19	17	0	17	4	40
15	12	6	4	1	23	16	0	16	8	47
20	19	9	6	1	35	24	1	25	9	69
25	20	12	7	1	40	25	1	26	10	76
30	26	16	9	1	52	27	1	28	12	92

En person som befinner sig på UB eller SC kan i praktiken ha flera uppkopplade enheter med sig. Om antalet uppkopplade enheter skulle användas för att uppskatta personantal skulle en person med flera enheter räknas som flera personer. De utmaningar som beskrivits ovan nämner Petre et al. (2017) i sin rapport. För att kunna göra en mer träffsäker uppskattning av personantalet insamlades därför data om antalet användare på nätverken. Uppskattningen av personantalet med hjälp av insamlade data om antalet användare hänvisas till i den fortsatta rapporten som *tekniken*.

Sammanställningen av denna data redovisas i tabell 4. Antalet användare på nätverket Eduroam presenteras i kolumn *unika användare Eduroam*. Varje student och anställd på LU har en unik inloggning på nätverket vilket innebär att varje användare bör motsvara en enskild person. Om en person är inloggad på flera enheter med sin inloggning kommer denna fortfarande räknas som en person.

För övriga nätverk var det inte möjligt för LDC att samla data om antalet användare. Därför gjordes ett antagande att andelen användare per enhet på övriga nätverk var lika stor som den var på Eduroam. Antalet användare på övriga nätverk uppskattades genom att multiplicera antalet enheter med en medelfraktion, se ekvation 2. Medelfractionen är den genomsnittliga andelen användare per enhet på nätverket Eduroam. Beräkningarna gjordes för varje tidpunkt för varje enskild mätning. Det uppskattade antalet användare på övriga nätverk redovisas i kolumn *övriga nätverk * medelfraktion* i tabell 4.

$$N_{Enheter} \times Medelfraktion = N_{Användare} \quad (\text{Ekvation 2})$$

Där:

$N_{Enheter}$ är enheter på övriga nätverk,

$Medelfraktion$ är den genomsnittliga andelen användare per enhet på nätverket Eduroam,

$N_{Användare}$ är uppskattat antal användare på övriga nätverk.

Slutligen summerades antalet användare på Eduroam och antalet uppskattade användare på övriga nätverk i kolumn *summa unika användare*, se tabell 4. Antalet användare kunde sedan jämföras med det observerade antalet personer.

Tabell 4. Sammanställning av antalet unika användare på universitetets nätverk.

Unika användare Eduroam	Övriga nätverk * Medelfraktion	Summa unika användare
4	0	4
15	0	15
24	0	24
30	1	31
42	1	43
48	1	49
58	1	59

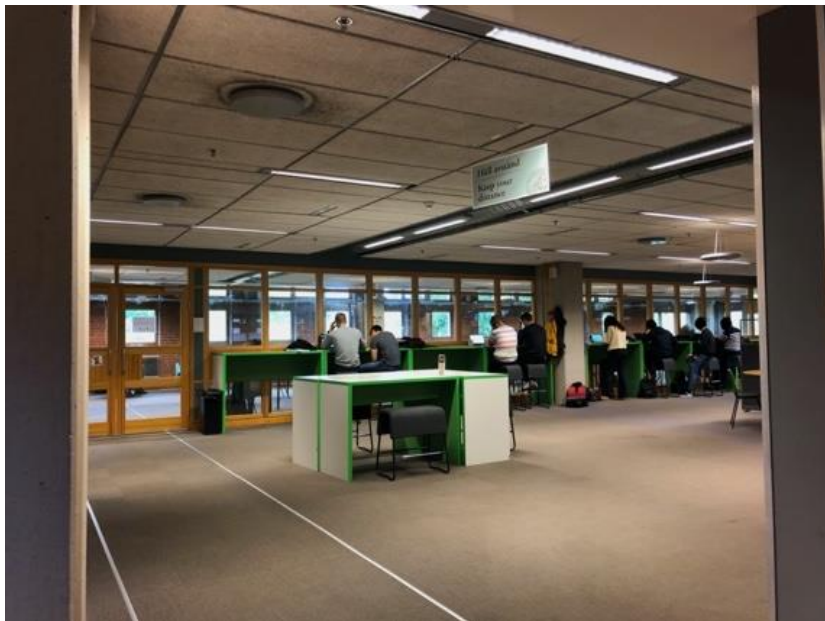
För att kunna dra ytterligare slutsatser beräknades hur väl teknikens uppskattning stämde överens med det observerade personantalet. Som tidigare nämnts finns inneboende osäkerheter vid uppskattning av personantal. I enlighet med Paté-Cornells (1996) nivåer krävs kunskap om osäkerheterna i indata som kompletterar den data som presenteras kring personantal. Ett lämpligt sätt att presentera osäkerheter och variationer i personantal är genom ett dubbelsidigt konfidensintervall (KI) med konfidensgraden 95 %. Medelvärden berättar i relativa mått hur stor Wi-Fi teknikens genomsnittliga felskattning är. Den statistiska felmarginalen beskriver osäkerheterna i medelvärdet. Tillsammans ger medelvärdet och den statistiska felmarginalen ett konfidensintervall som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med 95 % konfidens. Beräkningarna för konfidensintervallen redovisas i bilaga D.

3.2 Studiecentrum

I detta avsnitt beskrivs Studiecentrum (SC). Dessutom motiveras valet av verksamheten. Vidare presenteras metod och resultat för den del av fallstudien som utfördes på SC.

3.2.1 Beskrivning

SC beläget centralt på LTH:s campusområde. Här finns bokhandel, bibliotek, café, kontor samt ett stort antal studieplatser, se figur 4. Byggnaden besöks flitigt av studenter och anställda på universitetet. Många besökare sitter här under en längre tid och studerar eller arbetar medan andra gör kortare besök på exempelvis caféet eller biblioteket. Detta resulterar i ett högt besökarantal och ett konstant personflöde.



Figur 4. Studieplatser på SC.

På SC finns tillgång till universitetets trådlösa nätverk. Majoriteten av besökarna förväntas ansluta till byggnadens accesspunkter under sin vistelse vilket gör byggnaden lämpad för mätningar. De som besöker byggnaden är främst studenter och anställda på LTH som har inloggning till Eduroam. Har de tidigare loggat in på nätverket med den aktuella enheten kommer de automatiskt logga in om de har Wi-Fi påslaget. Eftersom SC ligger centralt på LTH:s campusområde antas antalet externa besökare vara litet. Med externa besökare avses personer som inte är anställda eller studenter på universitetet. Externa besökare har dock möjlighet att koppla upp sig på gästnätverket LU-Guest.

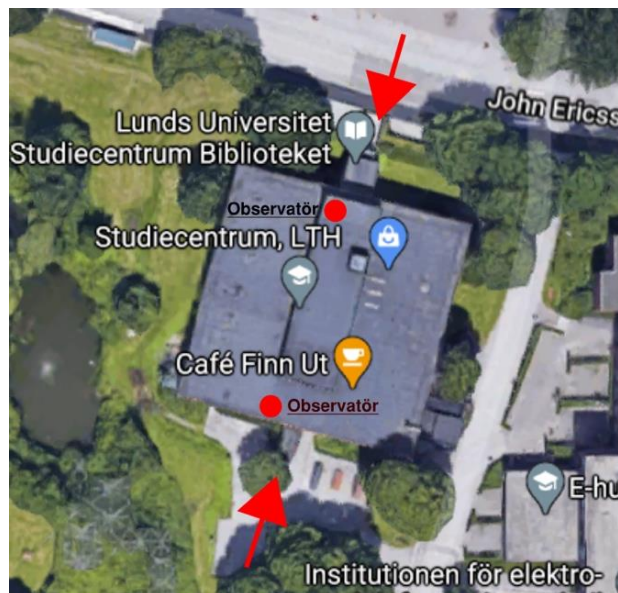
Besökare kan gå in på SC genom någon av byggnadens två huvudingångar, se figur 5. En ingång är belägen på byggnadens norra sida på plan två och den andra är belägen på byggnadens södra sida på plan ett. På sidan av byggnaden finns personalingång och godsintag. I byggnaden finns dessutom utrymningsdörrar som besökarna inte använder vid normal verksamhet. Förutsättningarna gör det enkelt att räkna antalet in- och utpasserande personer vilket gör byggnaden lämpad för mätningar.



Figur 5. SC:s två huvudingångar. Vänster bild visar norra ingången på plan två. Höger bild visar Södra ingången på plan ett.

3.2.2 Metod

Under mätningarna stod en observatör vid varje huvudingång, se placering i figur 6. På grund av ett begränsat antal observatörer kunde inte fler dörrar observeras. De personal som passerade via personalingången kunde därmed inte räknas. Eventuella leveranspersonal som passerade genom godsintaget kunde inte heller räknas.



Figur 6. Studiecentrum sett uppifrån. Röd cirkel betecknar observatör. Den övre pilen visar norra ingången på plan 2 och den undre pilen visar södra ingången på plan 1. Bildkälla: Google Maps (Google, 2005).

Totalt gjordes fyra mätningar som alla startade då SC öppnades. Tider för mätningarna presenteras i kronologisk ordning i tabell 5. Besökarantalet förväntades variera beroende på veckodag och därför genomfördes mätningar under olika veckodagar. Eftersom personal är lediga under lördagar blev det genom mätning 3a möjligt att eliminera felkällor från anställda och leveranspersonal, som använder andra ingångar än de som observerades. Den sista mätningen genomfördes under nio timmar till skillnad från de andra som genomfördes under fyra timmar. Denna mätning genomfördes för att se hur mättiden påverkade resultatet. Mätningar utförda på SC benämns enligt följande: 1a, 2a, 3a och 4a. Se tidsangivelser i tabell 5.

Tabell 5. Mätningar på SC i kronologisk ordning.

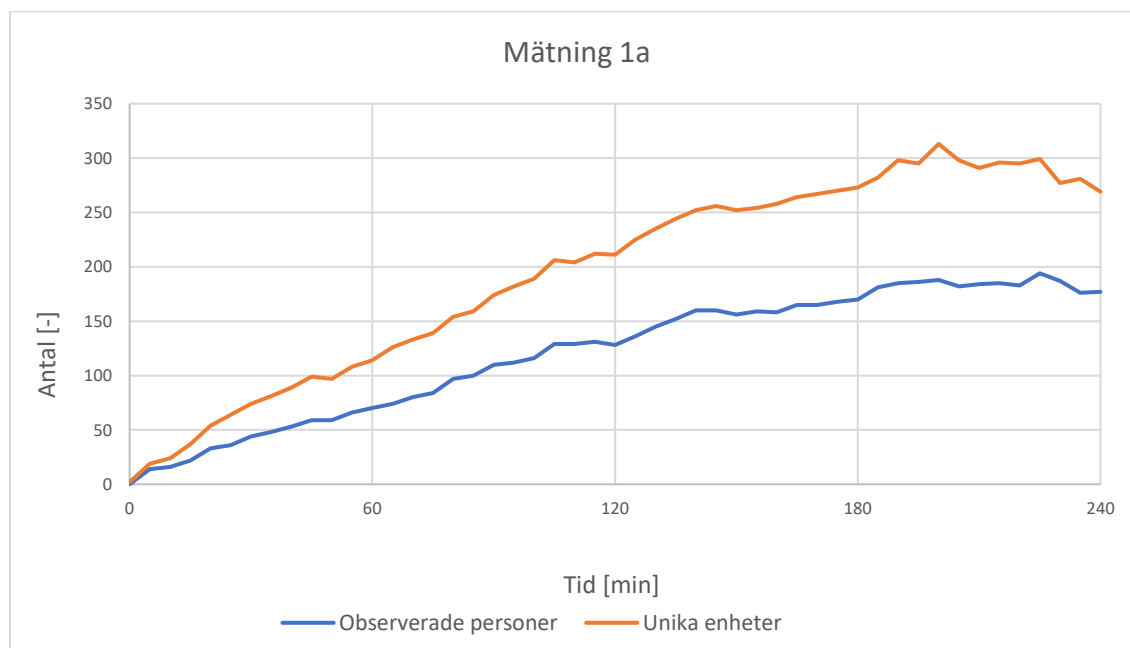
Benämning	Datum	Klockslag	Total tid
Mätning 1a	Fredag 2/10	08:00-12:00	4 h
Mätning 2a	Onsdag 7/10	08:00-12:00	4 h
Mätning 3a	Lördag 10/10	10:00-14:00	4 h
Mätning 4a	Fredag 16/10	08:00-17:00	9 h

3.2.3 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultat från den del av fallstudien som genomfördes på SC. Resultatet delas in i de fyra mätningarna som genomfördes. I bilaga C har en mer detaljerad kategorisering av unika enheter presenterats i ett diagram som visar fördelningen av enhetstyper.

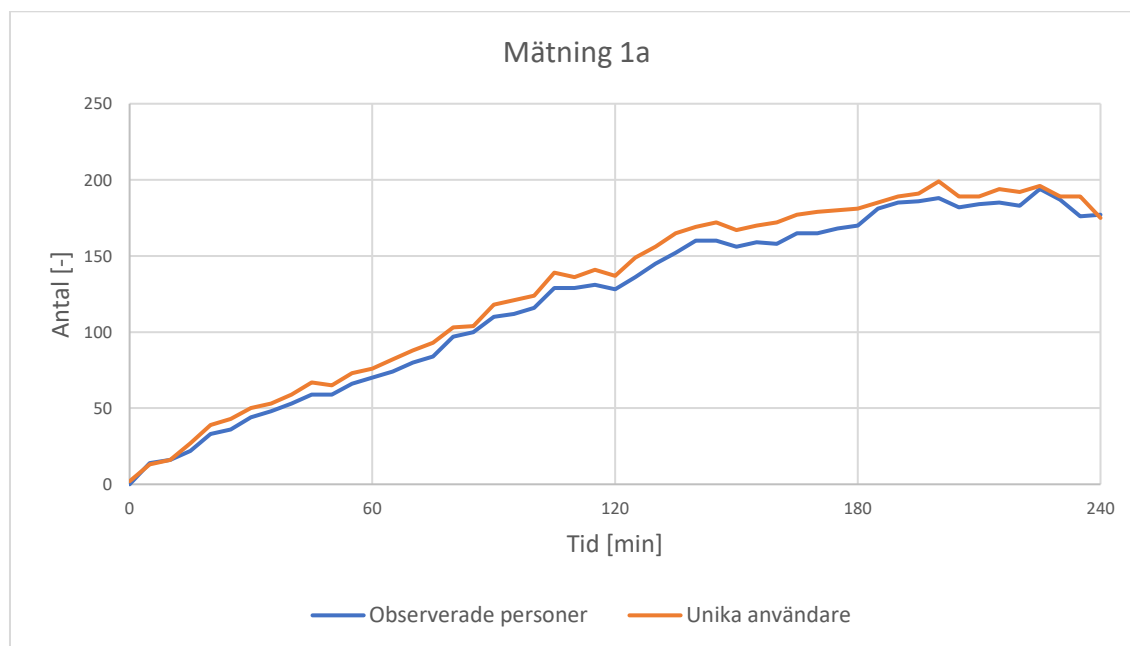
3.2.3.1 Mätning 1a

I figur 7 visas antalet observerade personer och antalet unika enheter över tid. Skillnaden ökar parallellt med antalet. Resultatet visar en konstant ökning som stagnerar efter ungefär 200 minuter.



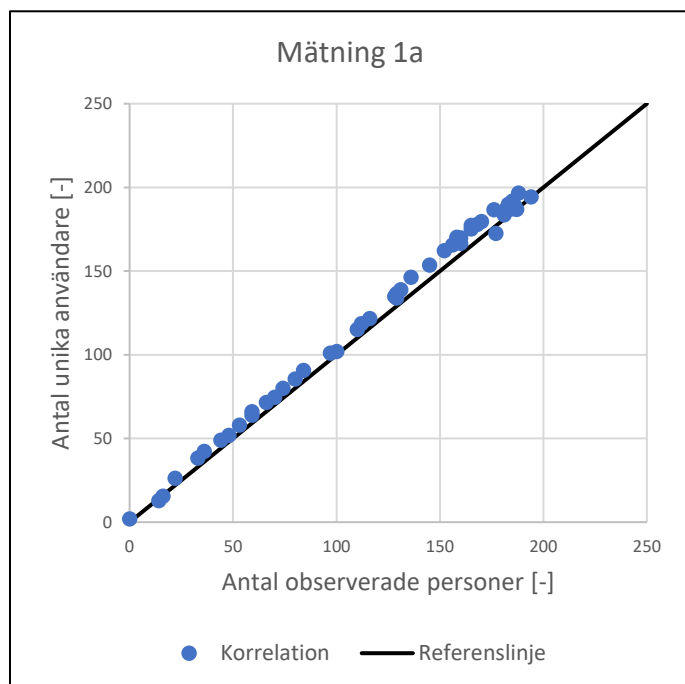
Figur 7. Antal observerade personer och antal identifierade unika enheter över tid. Från klockan 08:00 till klockan 12:00.

I figur 8 visas antalet observerade personer och antalet unika användare över tid. Antalen ökar fram till ungefär 200 minuter då det börjar minska. Antalet användare överstiger antalet personer under nästan hela mätningen.



Figur 8. Antal observerade personer och antal identifierade unika användare över tid. Från klockan 08:00 till klockan 12:00.

I figur 9 presenteras ett spridningsdiagram över observerat antal personer och antal identifierade unika användare. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig korrelation. Diagrammet visar att tekniken överskattar antalet personer eftersom referenslinjen befinner sig under mätpunkterna.



Figur 9. Spridningsdiagram över antal observerade personer och antal identifierade unika användare var femte minut. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig överensstämmelse.

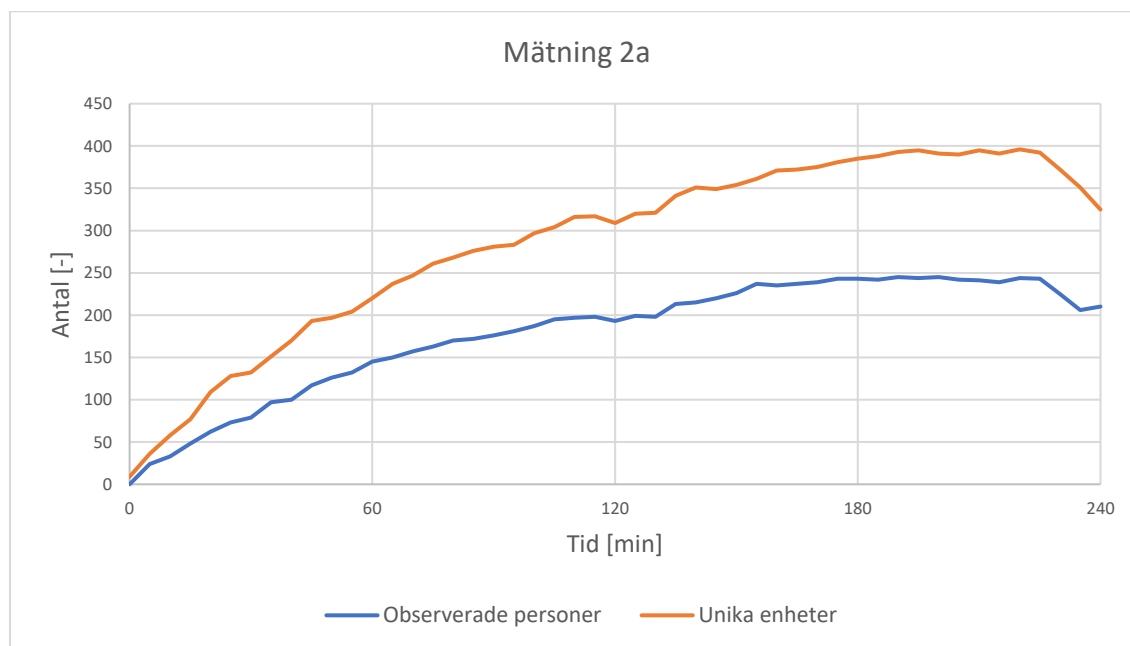
I tabell 6 redovisas det beräknade konfidensintervallet som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med ett 95 % konfidens. Tekniken överskattar i genomsnitt antalet personer med cirka 4–7 %.

Tabell 6. Konfidensintervall på teknikens genomsnittliga felskattning.

Mätning 1a			
Medelvärde [%]	Standardavvikelse [%]	Statistiska felmarginalen [%]	KI [%]
$\bar{X} = 5,75$	$\sigma = 4,71$	$Z = 1,37$	$X_1 = 7,12$ $X_2 = 4,38$

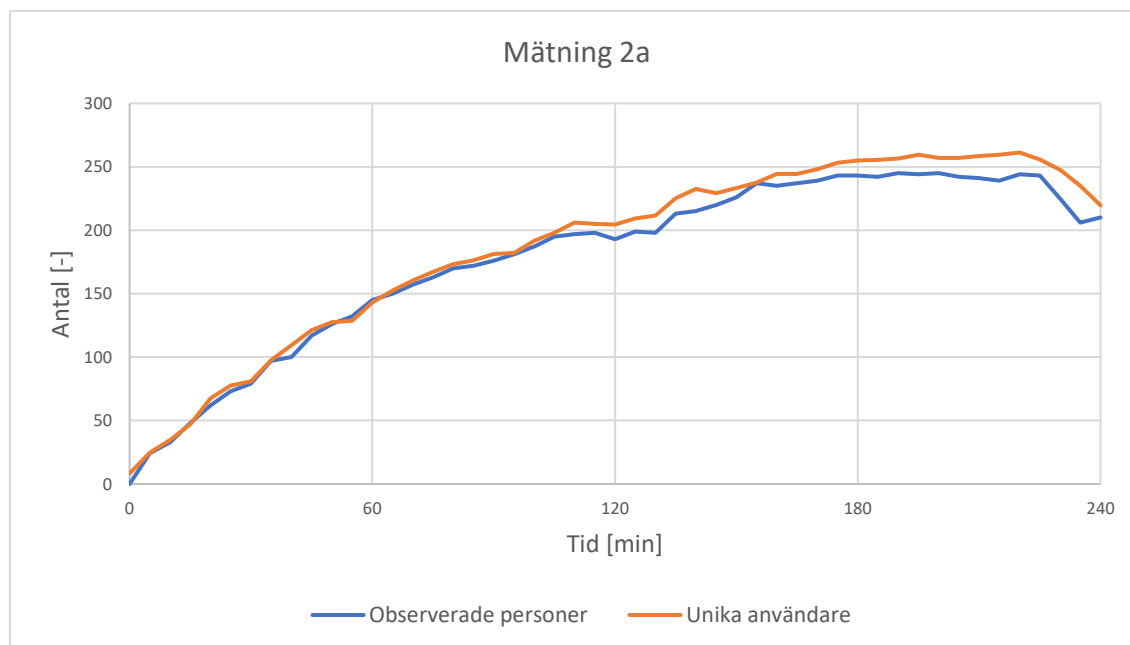
3.2.3.2 Mätning 2a

I figur 10 presenteras antalet observerade personer och antalet identifierade unika enheter över tid. Skillnaden ökar parallellt med antalen. Efter ungefär 200 minuter börjar personantalet minska.



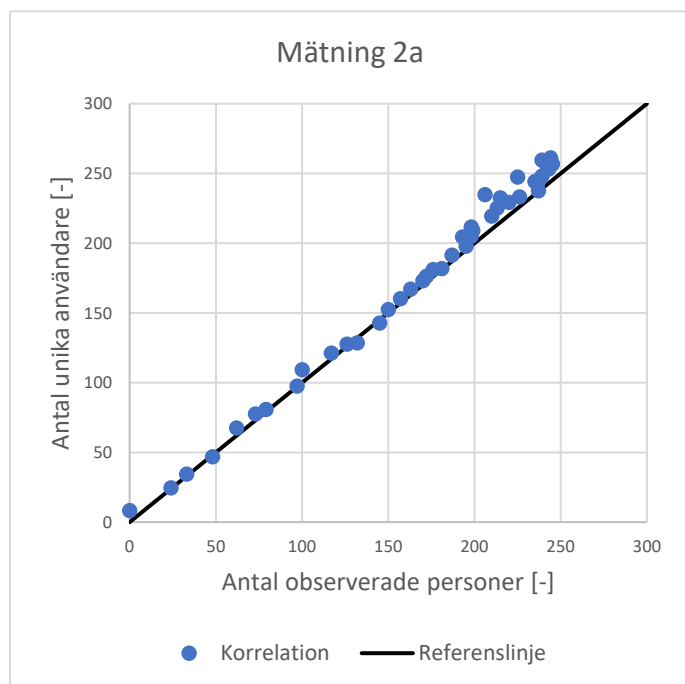
Figur 10. Antal observerade personer och antal identifierade unika enheter över tid. Från klockan 08:00 till klockan 12:00.

I figur 11 visas antalet observerade personer och antalet identifierade unika användare över tid. Antalet unika användare överstiger antalet observerade personer under majoriteten av mätningen. Mot slutet av mätningen avstannar ökningen av antalet personer och användare och skillnaden mellan dem ökar.



Figur 11. Antal observerade personer och antal identifierade unika användare över tid. Från klockan 08:00 till klockan 12:00.

I figur 12 redovisas ett spridningsdiagram över observerat antal personer och antal identifierade unika användare. Antalet användare och personer korrelerar någorlunda bättre vid lägre antal. Vid högre personantal överskattar tekniken antalet eftersom referenslinjen befinner sig under mätpunkterna.



Figur 12. Spridningsdiagram över antal observerade personer och antal identifierade unika användare var femte minut. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig överensstämmelse.

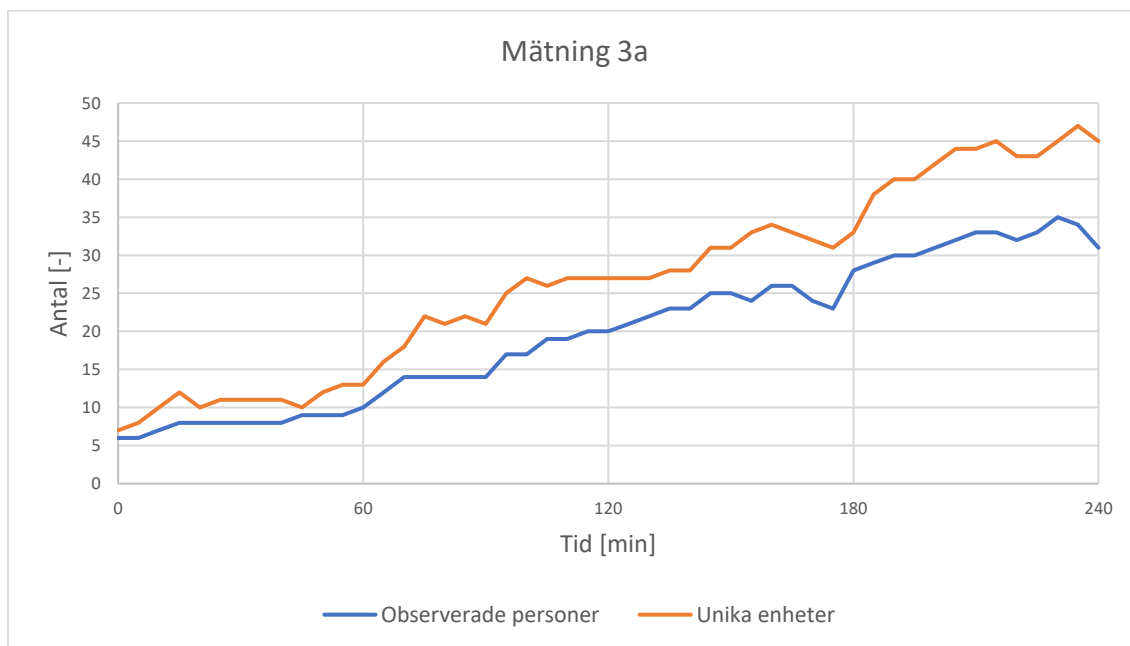
I tabell 7 redovisas det beräknade konfidensintervallet som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med 95 % konfidens. Tekniken överskattar i genomsnitt antalet personer med cirka 3–5 %.

Tabell 7. Konfidensintervall på teknikens genomsnittliga felskattning.

Mätning 2a				
Medelvärde [%]	Standardavvikelse [%]	Statistiska felmarginalen [%]	Statistiska felmarginalen	KI [%]
$\bar{X} = 4,27$	$\sigma = 3,18$	$Z = 0,92$		$X_1 = 5,20$ $X_2 = 3,35$

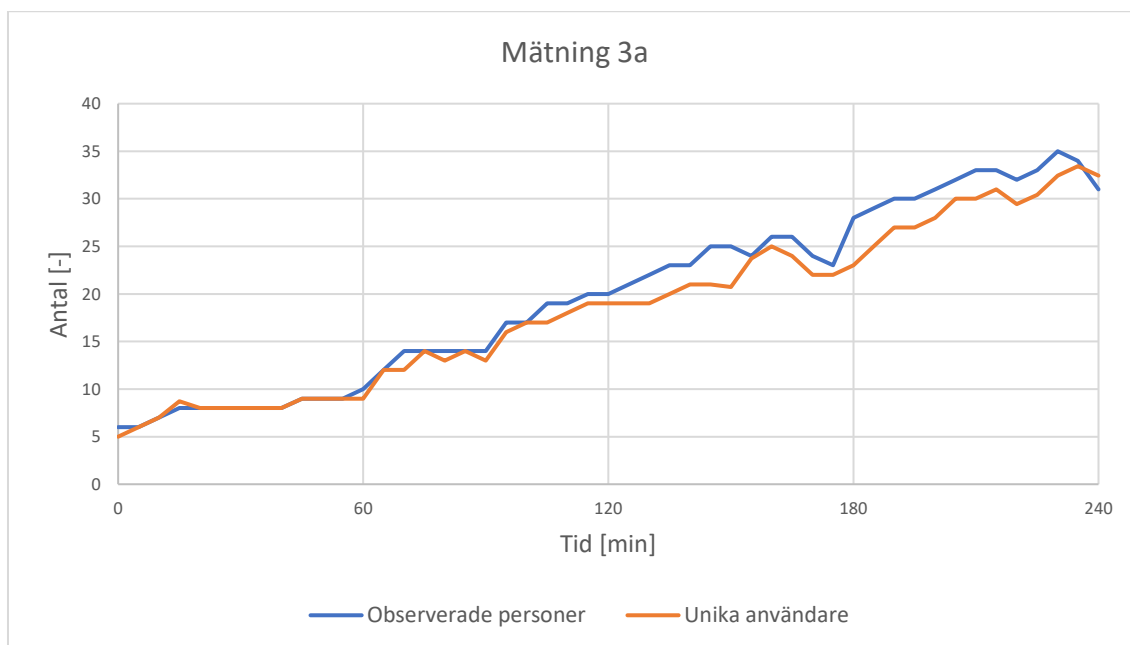
3.2.3.3 Mätning 3a

I figur 13 visas antalet observerade personer och antalet unika enheter över tid. Antalet enheter överstiger antalet personer under hela mätningen.



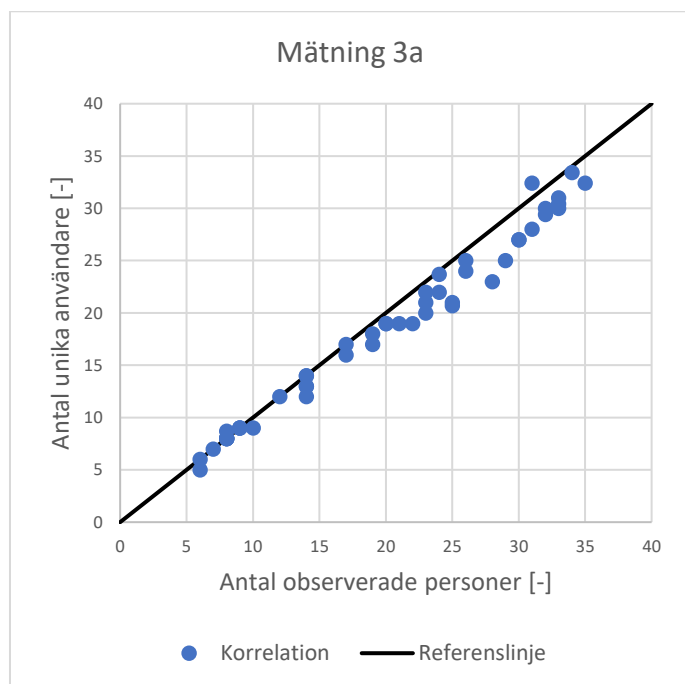
Figur 13. Antal observerade personer och antal identifierade unika enheter över tid. Från klockan 10:00 till klockan 14:00.

I figur 14 visas antalet observerade personer och antalet identifierade unika användare över tid. Antalet användare understiger antalet personer under majoriteten av mätningen.



Figur 14. Antal observerade personer och antal identifierade unika användare över tid. Från klockan 10:00 till klockan 14:00.

I figur 15 visas ett spridningsdiagram över observerat antal personer och antal identifierade unika användare. Diagrammet visar att tekniken underskattar antalet personer under majoriteten av mätningen eftersom referenslinjen befinner sig ovanför mätningpunkterna.



Figur 15. Spridningsdiagram över antal observerade personer och antal identifierade unika användare var femte minut. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig överensstämmelse.

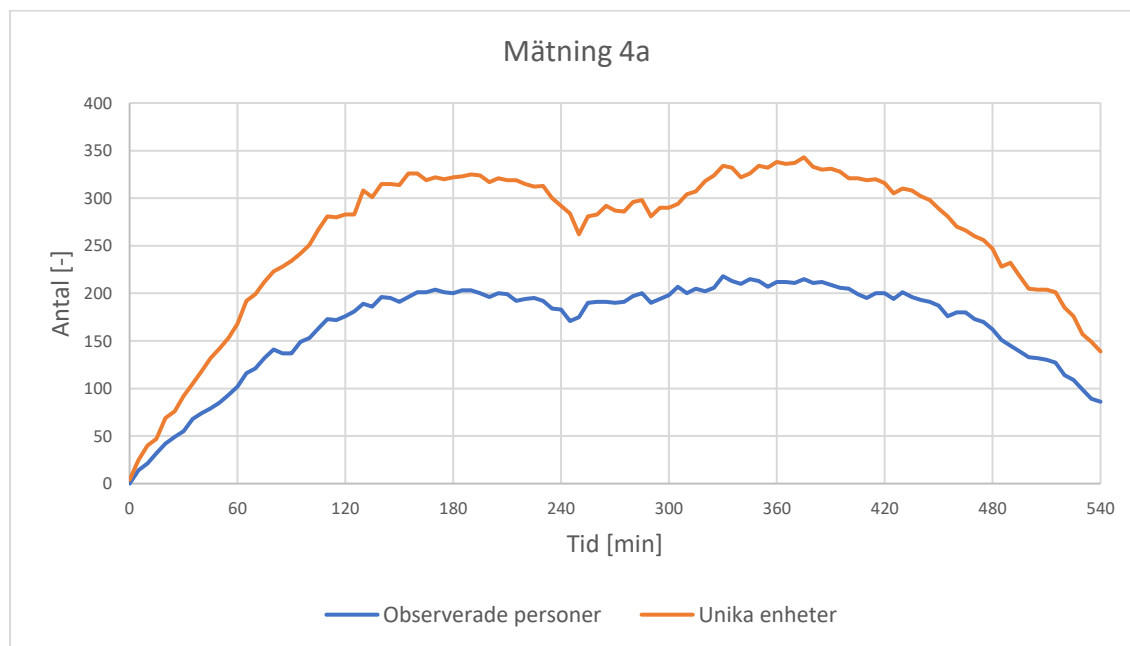
I tabell 8 redovisas det beräknade konfidensintervallet som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med 95 % konfidens. Tekniken underskattar i genomsnitt antalet personer med cirka 4–8 %.

Tabell 8. Konfidensintervall på teknikens genomsnittliga felskattning.

Mätning 3a			
Medelvärde [%]	Standardavvikelse [%]	Statistiska felmarginalen [%]	KI [%]
$\bar{X} = -5,80$	$\sigma = 6,01$	$Z = 1,73$	$X_1 = -4,08$ $X_2 = -7,53$

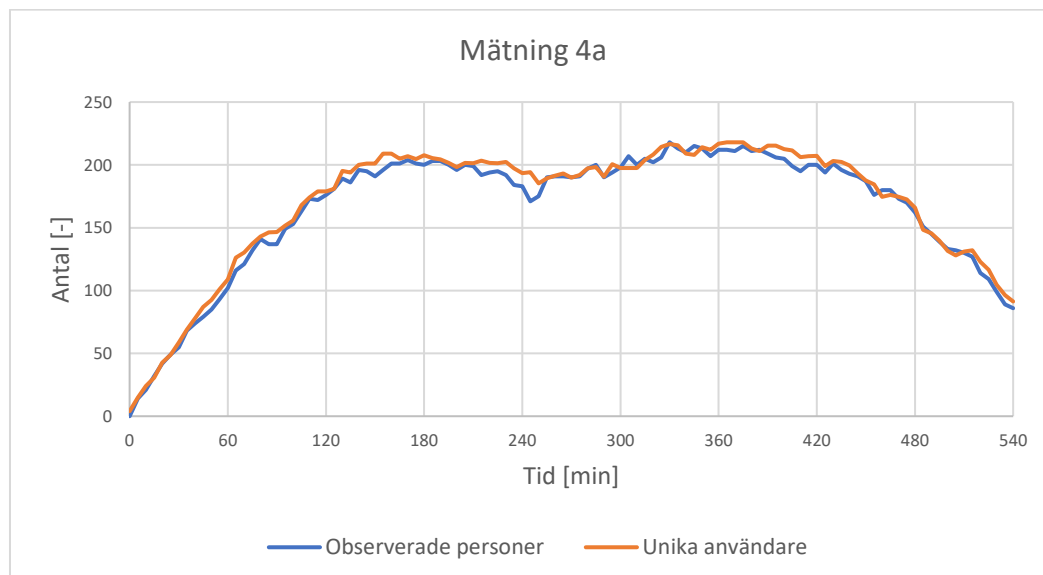
3.2.3.4 Mätning 4

I figur 16 visas antalet observerade personer och antalet unika enheter över tid. Skillnaden mellan antalet personer och enheter är högst under mitten av mätningen och lägst i mätningens början och slut.



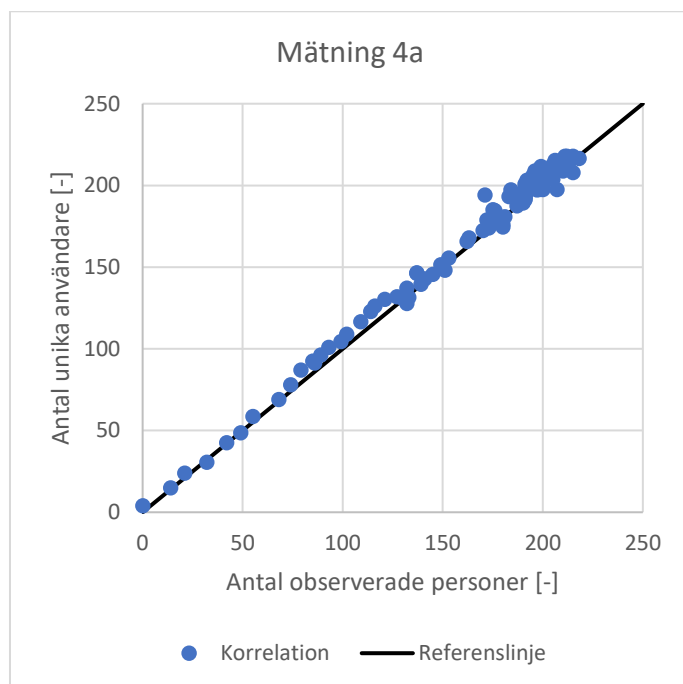
Figur 16. Antal observerade personer och antal identifierade unika enheter över tid. Från klockan 08:00 till klockan 17:00.

I figur 17 visas antalet observerade personer och antalet identifierade unika användare över tid. Antalet användare och personer korrelerar mest i början och slutet av mätningen. Antalet användare överstiger antalet personer under större delen av mätningen.



Figur 17. Antal observerade personer och antal identifierade unika användare över tid. Från klockan 08:00 till klockan 17:00.

I figur 18 visas ett spridningsdiagram över observerat antal personer och antal identifierade unika användare. Diagrammet visar att antalet unika användare är lätt överskattat under större delen av mätningen eftersom referenslinjen befinner sig under mätpunkterna.



Figur 18. Spridningsdiagram över antal observerade personer och antal identifierade unika användare var femte minut. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig överensstämmelse.

I tabell 9 redovisas det beräknade konfidensintervallet som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med 95 % konfidens. Tekniken överskattar i genomsnitt antalet personer med cirka 2–3 %.

Tabell 9. Konfidensintervall på teknikens genomsnittliga felskattning.

Mätning 4a				
Medelvärde [%]	Standardavvikelse [%]	Statistiska felmarginalen [%]		KI [%]
$\bar{X} = 2,83$	$\sigma = 3,40$	$Z = 0,65$		$X_1 = 3,47$ $X_2 = 2,18$

3.2.4 Analys av resultat - SC

Vid jämförelse av figur 7 och figur 8 från mätning 1a är det tydligt att antalet användare och personer korrelerar bättre än antalet enheter och personer. Detta gäller även för resterande mätningar på SC. Detta tyder på att personerna i mätningarna hade fler än en enhet som var uppkopplad på skolans nätverk. Detta resonemang styrks av figurerna över fördelning av enhetstyp i bilaga C. Diagrammen visar att antalet observerade personer korrelerar bra med antalet datorer och surfplattor i byggnaden samtidigt som det även finns en hel del mobiltelefoner och oidentifierade enheter uppkopplade.

Resultaten från mätning 2a liknar resultaten från mätning 1a. Under mätning 2a besökte dock fler människor SC. Efter ungefär halva mätningen börjar tekniken överskatta antalet användare, se figur 11. Detta skulle bland annat kunna förklaras av att personer som är utanför byggnaden är anslutna. Under mätningarna på SC noterades exempelvis att studenter ibland åt lunch utanför byggnaden. Personerna utanför byggnaden som anslöt till något av nätverken räknades inte av observatörerna vilket kan ha bidragit till överskattningen. I figur 12 syns det att antalet användare och personer korrelerar sämre när antalen ökar. Detta kan bero på att fler personer anslöt utanför byggnaden när personantalet var som störst. Det kan även bero på att risken för felräkning ökar när fler personer beträder byggnaden.

Under mätning 3a var antalet besökare betydligt färre än under de andra mätningarna. Det maximala antalet observerade personer var endast 35, se figur 13. Ytterligare något som skiljde denna mätning från övriga var att ingen personal befann sig i lokalerna eftersom mätningen utfördes under en lördag. Därmed var risken för att missa personer som använder personal- och leveransingången högst osannolik. Under denna mätning understiger antalet unika användare antalet observerade personer under större delen av mätningen, till skillnad från de tidigare mätningarna på SC. En möjlig förklaring till denna underskattning av personantalet är det låga antalet besökare som gör att få personer får en betydande påverkan på resultatet, exempelvis personer som inte bär på en smarttelefon. Ytterligare en möjlig förklaring till det avvikande resultatet är att personalen inte stör resultatet, vilket antas ha skett under de andra mätningarna.

Mätning 4a gjordes under nio timmar till skillnad från de andra mätningarna som gjordes under fyra timmar. Under denna dag var besökarantalet stort med maximalt 218 personer i byggnaden samtidigt. I figur 17 och i figur 18 syns det att antalet användare och antalet personer korrelerar mycket bra. Under denna mätning erhöles lägst felskattning av personantalet vilket tyder på att förhållandena var goda för tekniken.

3.3 Universitetsbiblioteket

I detta avsnitt beskrivs Universitetsbiblioteket (UB). Vidare motiveras valet av verksamheten. Vidare presenteras metod och resultat för den del av fallstudien som utfördes på UB.

3.3.1 Beskrivning

UB är Lunds universitetets största bibliotek och är beläget i centrala Lund. I byggnaden finns utöver biblioteksverksamheten även café, mötessalar och studieplatser, se figur 19. I byggnaden vistas många studenter som framförallt nyttjar lokalerna för att studera. Byggnaden besöks flitigt, under 2019 besökte totalt 174 771 personer biblioteket (Lunds Universitet, 2020). Det stora besökarantalet och personflödet gör byggnaden lämpad för fallstudien.



Figur 19. Studieplatser på UB.

I biblioteket finns universitetets trådlösa nätverk tillgängligt vilket gör det möjligt att samla data kring uppkopplade enheter i byggnaden. I anslutning till entrén finns informationslappar med instruktioner över hur studenter och anställda ansluter till Eduroam och instruktioner över hur andra besökare ansluter till LU-Guest. Detta antas öka sannolikheten att besökare ansluter till något av nätverken.

Av studenterna och bibliotekets anställda antas majoriteten använda universitetets lokala nätverk Eduroam. Det finns flera anledningar till detta antagande. För det första har samtliga studenter och anställda inloggningar till nätverket och kopplas då automatiskt upp på nätverket, givet att de har tidigare loggat in med den enheten som används samt att de har Wi-Fi påslaget. För det andra vistas ofta personer där under en längre tid för att studera eller för att arbeta vilket ökar sannolikheten att de medvetet kopplar upp enheterna på nätverket. Besökare med bärbara datorer är ofta beroende av uppkoppling och kommer troligtvis ansluta till enheternas förvalda nätverk. Övriga besökare kan istället ansluta till nätverket LU-Guest. Sannolikheten är hög att övriga besökare ansluter till detta nätverk eftersom det är tillgängligt för alla och då tydliga instruktioner finns på informationslapparna.

Bibliotekets placering och utformning är bra lämpad för mätningarna. Byggnaden är fristående vilket minskar risken att personer i intilliggande byggnader ansluter till byggnadens accesspunkter. Det finns en huvudingång som samtliga besökare passerar genom, se figur 20. Bredvid huvudingången finns dessutom en ingång för människor med nedsatt funktionsförmåga med hiss som leder till samma entré. Detta gör det enkelt att kontrollräkna besökare. På byggnadens baksida finns en huvudingång för anställda på biblioteket. Övriga ingångar är leveransingång, extra ingångar för personal samt flera utrymningsdörrar som inte används vid vanlig verksamhet.



Figur 20. UB:s huvudingång.

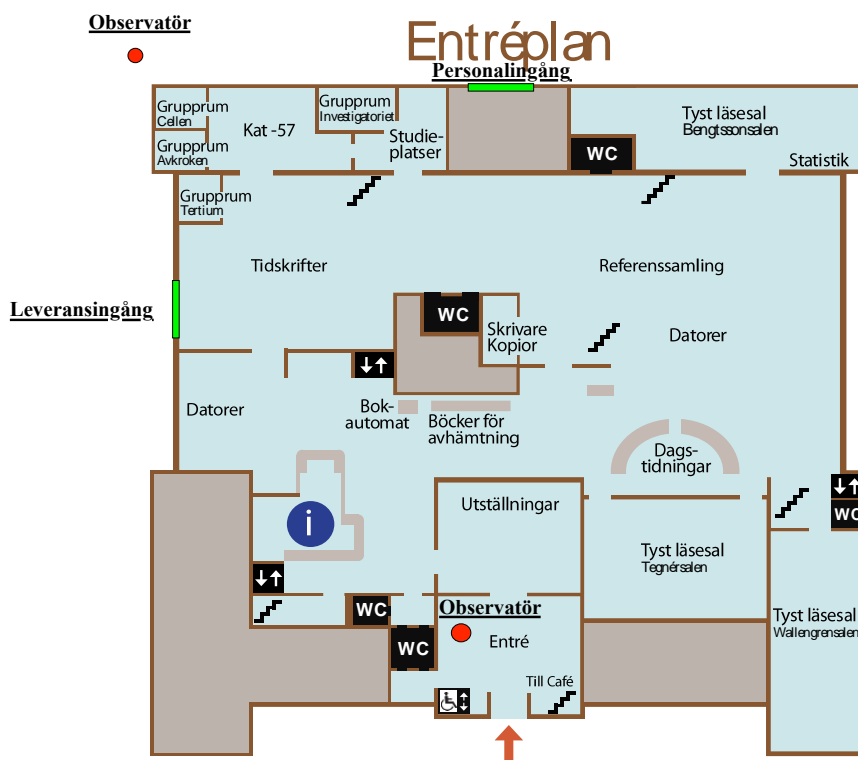
3.3.2 Metod

Under mätningarna stod en observatör i bibliotekets entré och räknade. Detta gjordes under samtliga mätningar från och med öppning vilket var klockan 10:00 alla dagar. Datum, klockslag och total tid för mätningarna på UB redovisas i tabell 10. Mätningar utförda på UB benämns enligt följande: 1b, 2b och 3b. Se tidsangivelser i tabell 10.

Tabell 10. Mätningar på UB i kronologisk ordning.

Benämning	Datum	Klockslag	Total tid
Mätning 1b	Onsdag 14/10	07:00-12:00	5 h
Mätning 2b	Torsdag 15/10	07:00-12:00	5 h
Mätning 3b	Lördag 17/10	10:00-15:00	5 h

Den andra observatören stod vid personalingången och räknade under den första mätningen. Detta gjordes från klockan 07:00 eftersom majoriteten av personalen antogs komma efter denna tidpunkt. Under första mätningen informerade överbibliotekarien att en stor andel av personalen nyttjade leveransingången istället för personalingången. Under resterande mätningar stod istället observatören på byggnadens hörn där det var möjligt att se både personalingången och leveransingången, se figur 21. Den andra mätningen genomfördes också från klockan 07:00 eftersom det var en vardag. Den sista mätningen genomfördes under en lördag från klockan 10:00. Mätningen började vid 10:00 eftersom det endast var ett par anställda schemalagda denna dag. Antalet övriga anställda som besökte UB innan denna tidpunkt på antogs vara litet.



Figur 21. UB:s entréplan. Röd cirkel betecknar observatör. Gröna rektanglar markerar ungefärliga positioner av leveransingång och personalingång. Kartan är hämtad från UB:s hemsida med godkännande från administrationen.

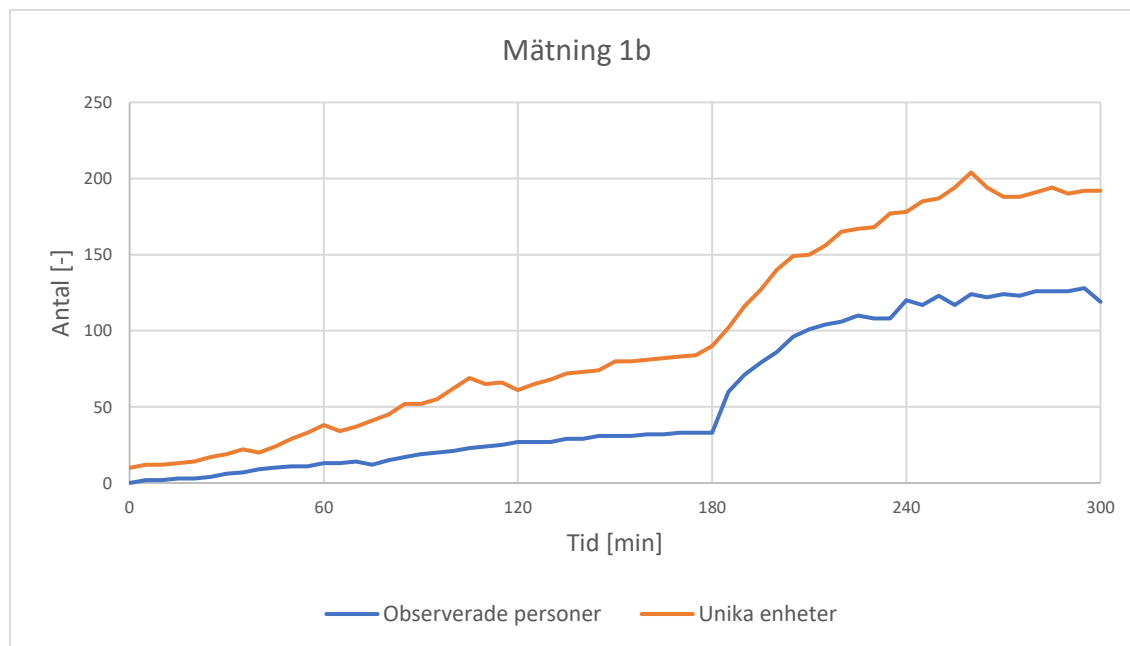
Totalt genomfördes tre mätningar som alla genomfördes under totalt fem timmar. Dagarna för mätningarna varierades eftersom besökarantalet antogs variera över tid. Eftersom endast två anställda var schemalagda under lördagen genomfördes denna mätning för att minimera felkällor från personal. Personalingång och leveransingång observerades ändå för att några anställda förväntades besöka jobbet även under ledig tid. Lördagens mätning gjorde det möjligt att räkna personer under hela tidsperioden då UB var öppet för besökare. Denna mätning gjorde det därför möjligt att se hur bra tekniken fungerade när personantalet minskade.

3.3.3 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultat från den del av fallstudien som genomfördes på UB. Resultatet delas in i de tre mätningarna som gjordes. I bilaga C har en mer detaljerad kategorisering av unika enheter presenterats i ett diagram som visar fördelningen av enhetstyper.

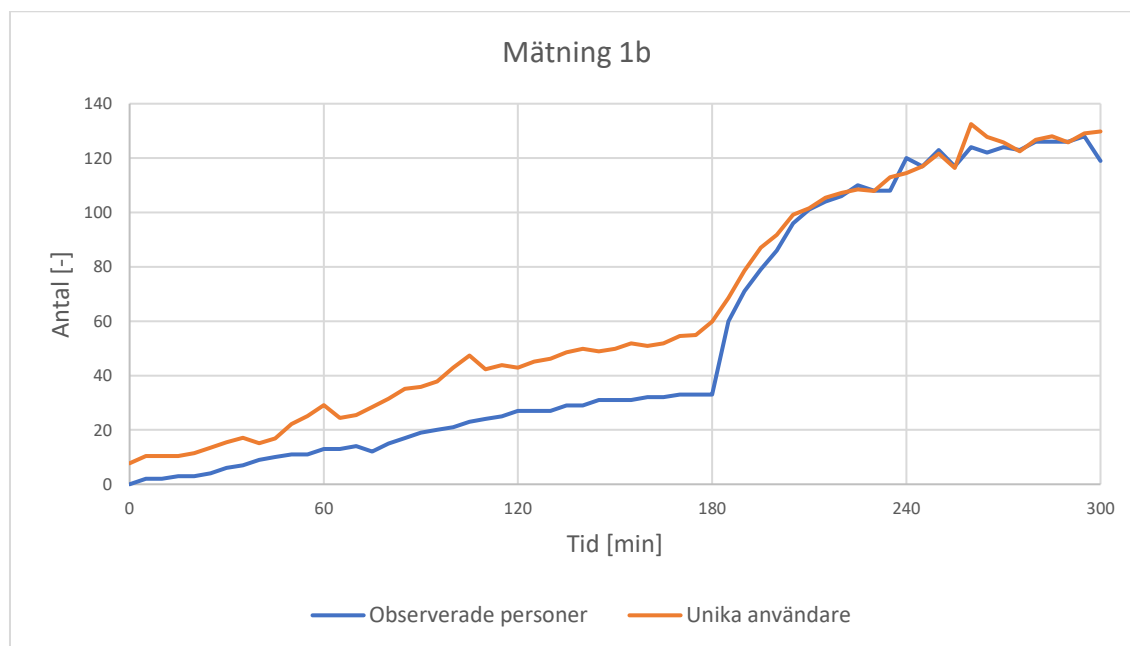
3.3.3.1 Mätning 1b

I figur 22 visas antalet observerade personer och antalet unika enheter över tid. Resultatet visar en långsam ökning fram till 180 minuter. Efter denna tidpunkt syns en tydlig ökning då UB öppnar för allmänheten.



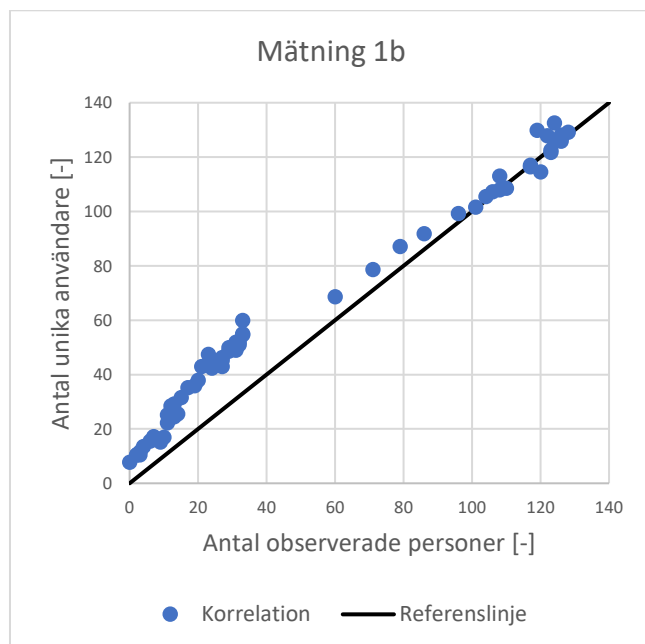
Figur 22. Antal observerade personer och antal identifierade unika enheter över tid. Från klockan 07:00 till klockan 12:00.

I figur 23 visas antalet observerade personer och antalet identifierade unika användare över tid. Antalen ökar kraftigt efter 180 minuter. Störst skillnad mellan antalet unika användare och personer är innan biblioteket öppnar.



Figur 23. Antal observerade personer och antal identifierade användare över tid, från klockan 07:00 till klockan 12:00.

I figur 24 presenteras ett spridningsdiagram över observerat antal personer och antal unika användare. I figuren visas även en referenslinje som motsvarar fullständig överensstämmelse. Diagrammet visar att tekniken överskattar personantalet eftersom referenslinjen befinner sig under mätpunkterna.



Figur 24. Spridningsdiagram över antal observerade personer och antal unika användare var femte minut. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig överensstämmelse.

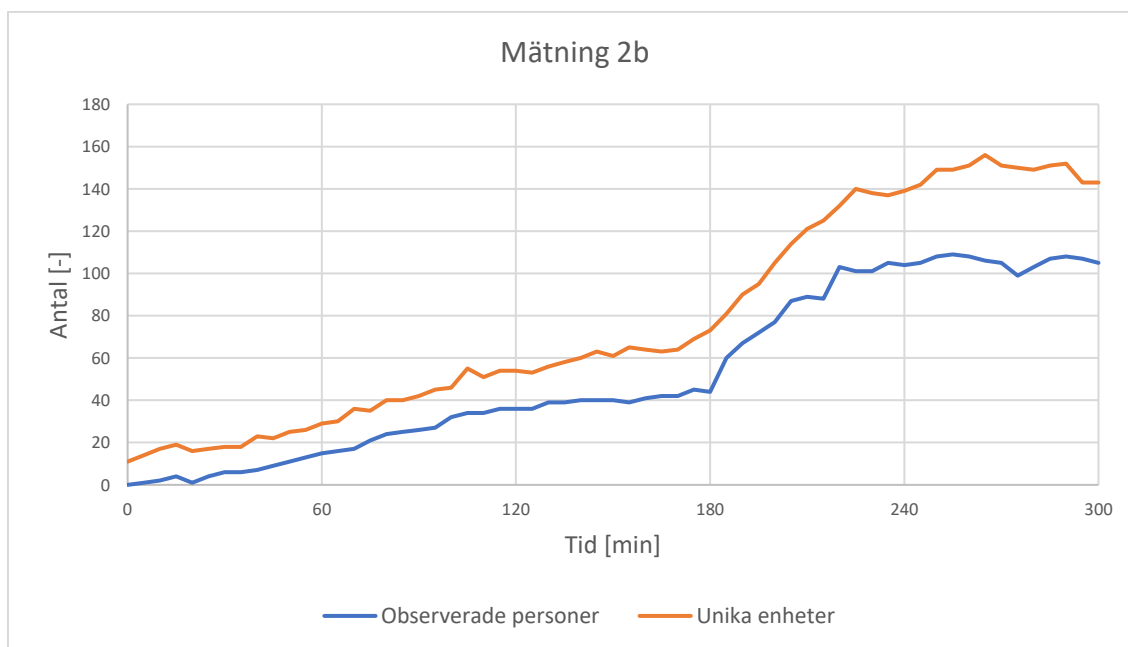
I tabell 11 redovisas det beräknade konfidensintervallet som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med 95 % konfidens. Tekniken överskattar i genomsnitt antalet personer med cirka 50–97 %.

Tabell 11. Konfidensintervall på teknikens genomsnittliga felskattning.

Mätning 1b			
Medelvärde [%]	Standardavvikelse [%]	Statistiska felmarginalen [%]	KI [%]
$\bar{X} = 73,20$	$\sigma = 91,31$	$Z = 23,59$	$X_1 = 96,79$ $X_2 = 49,61$

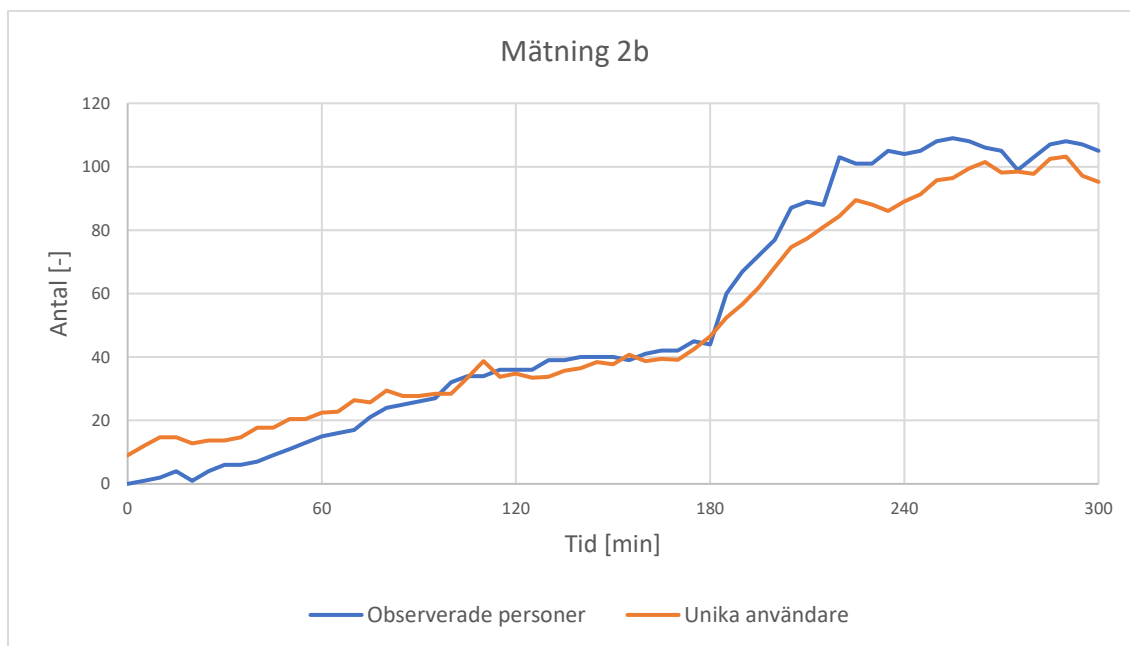
3.3.3.2 Mätning 2

I figur 25 presenteras antalet observerade personer och antalet identifierade enheter över tid. Antalen ökar kraftigt efter 180 minuter då UB öppnar för allmänheten.



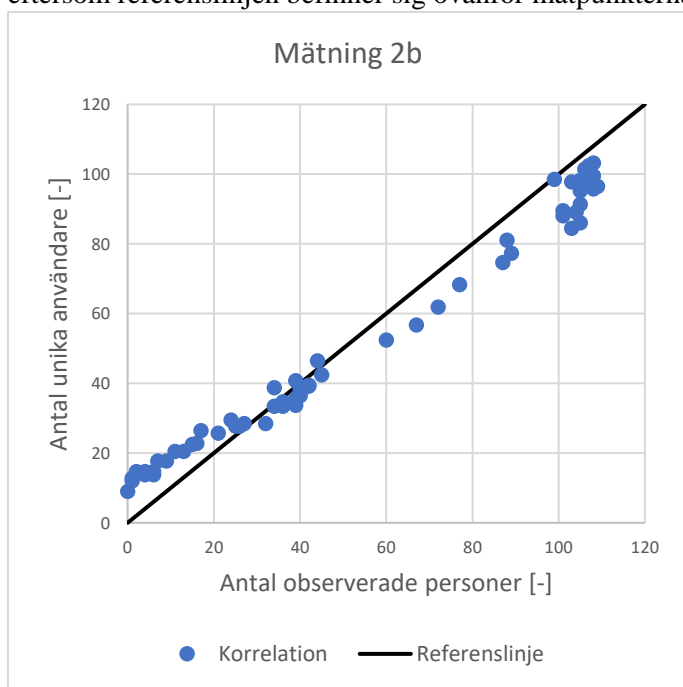
Figur 25. Antal observerade personer och antal identifierade enheter över tid, från klockan 07:00 till klockan 12:00.

I figur 26 visas antalet observerade personer och antalet unika användare över tid. Antalen personer ökar efter 180 minuter.



Figur 26. Antal observerade personer och antal identifierade unika användare över tid, från klockan 07:00 till klockan 12:00.

I figur 27 presenteras ett spridningsdiagram över observerat antal personer och antal unika användare. Diagrammet visar att tekniken ger en överskattning när personantalet är litet eftersom referenslinjen befinner sig under mätpunkterna. Vidare sker en underskattning av personantalet när antalet ökar eftersom referenslinjen befinner sig ovanför mätpunkterna.



Figur 27. Spridningsdiagram över antal observerade personer och antal unika användare var femte minut. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig överensstämmelse.

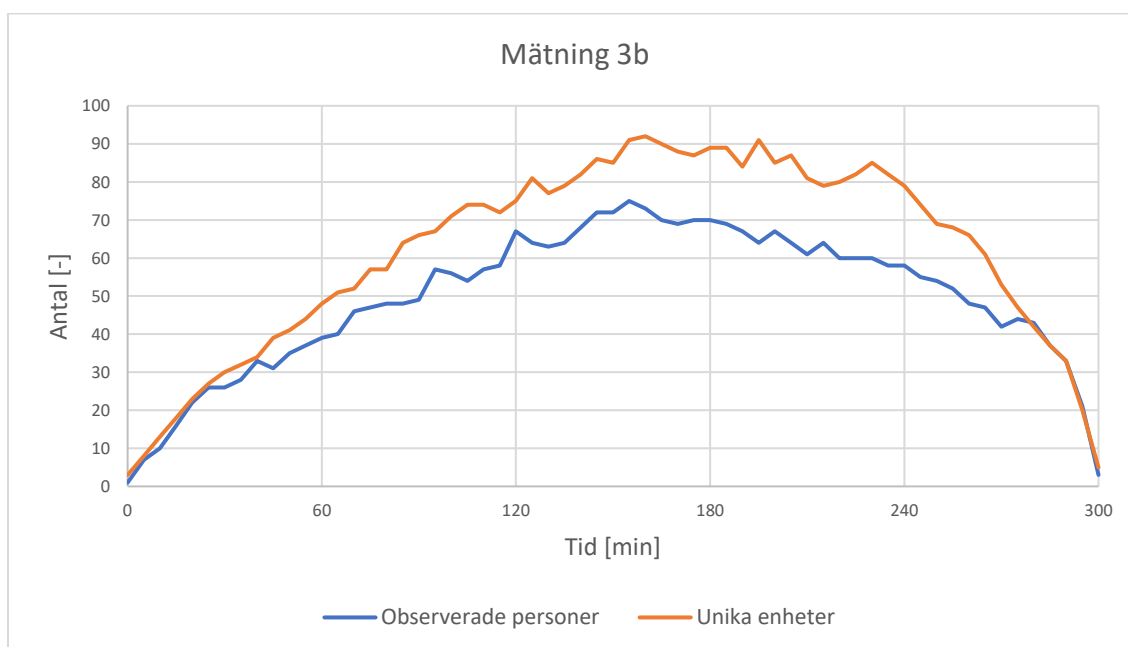
I tabell 12 redovisas det beräknade konfidensintervallet som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med 95 % konfidens. Tekniken överskattar i genomsnitt antalet personer med cirka 9–124 %.

Tabell 12. Konfidensintervall på teknikens genomsnittliga felskattning.

Mätning 2b			
Medelvärde [%]	Standardavvikelse [%]	Statistiska felmarginalen [%]	KI [%]
$\bar{X} = 66,32$	$\sigma = 223,54$	$Z = 57,75$	$X_1 = 124,10$ $X_2 = 8,57$

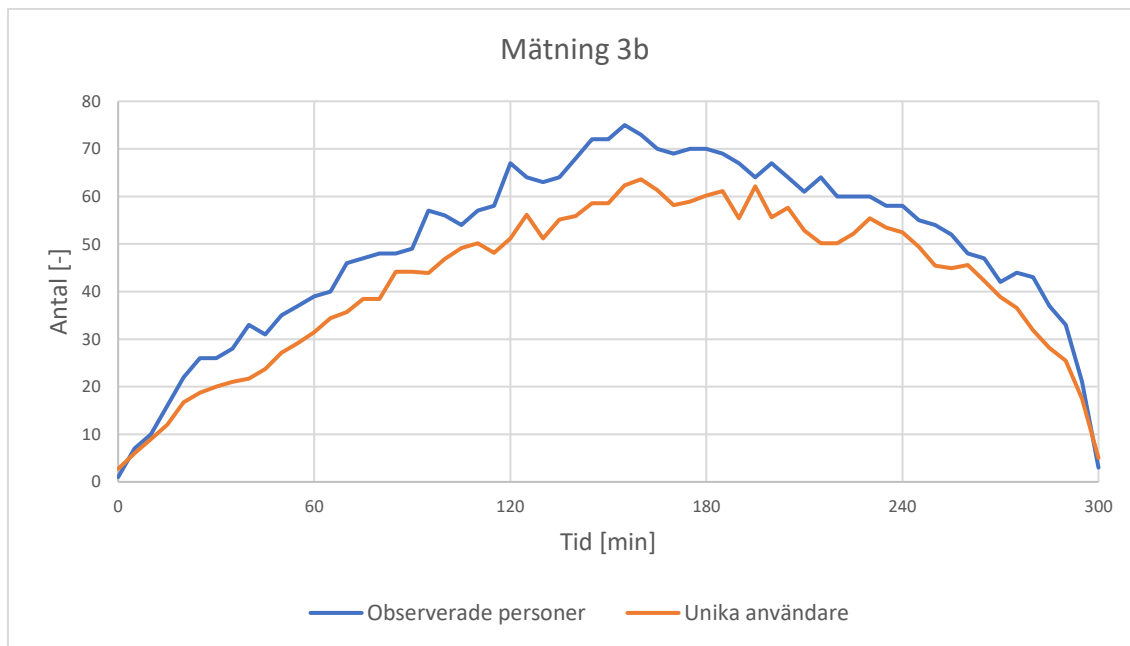
3.3.3.3 Mätning 3b

I figur 28 visas antalet observerade personer och antalet identifierade enheter över tid. Antalen ökar fram till 160 minuter och minskar sedan fram till mätningens slut.



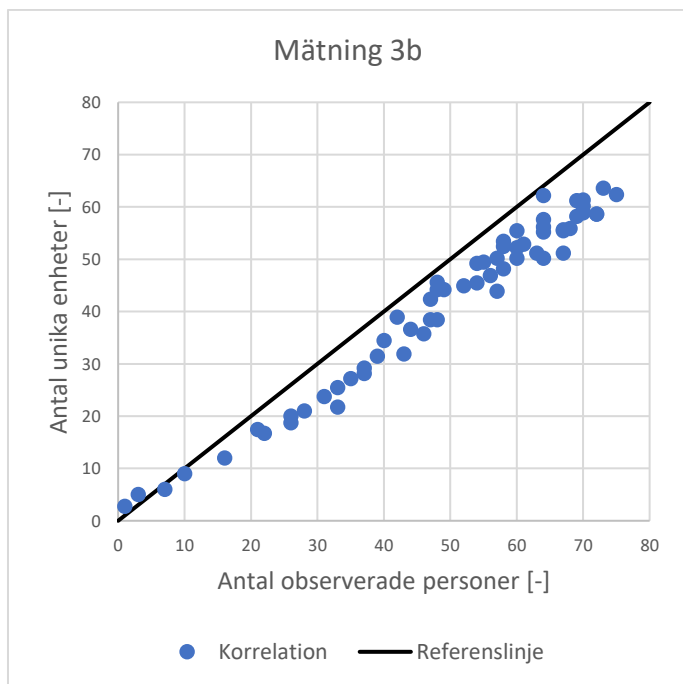
Figur 28. Antal observerade personer och antal identifierade enheter över tid. Från klockan 10:00 till klockan 15:00.

I figur 29 redovisas antalet observerade personer och antalet unika användare över tid. Antalen ökar fram till 160 minuter och minskar sedan fram till mätningens slut.



Figur 29. Antal observerade personer och antal identifierade unika användare över tid, från klockan 10:00 till klockan 15:00.

I figur 30 presenteras ett spridningsdiagram över observerat antal personer och antal unika användare. Diagrammet visar att tekniken underskattar personantalet under majoriteten av mätningstiden eftersom referenslinjen befinner sig ovanför mätpunkterna.



Figur 30. Spridningsdiagram över antal observerade personer och antal unika användare var femte minut. I figuren visas även en referenslinje som visar fullständig överensstämmelse.

I tabell 13 redovisas det beräknade konfidensintervallet som visar vilka värden teknikens genomsnittliga felskattning varierar mellan med 95 % konfidens. Tekniken underskattar i genomsnitt antalet personer med cirka 5–19 %.

Tabell 13. Konfidensintervall på teknikens genomsnittliga felskattning.

Mätning 3b			
Medelvärde [%]	Standardavvikelse [%]	Statistiska felmarginalen [%]	KI [%]
$\bar{X} = -11,95$	$\sigma = 26,91$	$Z = 6,89$	$X_1 = -5,06$ $X_2 = -18,84$

3.3.4 Analys av resultat - UB

Under mätning 1b är antalet unika enheter högre än observerade antalet personer, se figur 22. De andra två mätningarna gav liknande resultat, se figur 25 och figur 28. En möjlig förklaring till detta är att merparten av besökarna är där för att studera. Detta ökar sannolikheten att de använder en dator eller en surfplatta vilket i sin tur leder till att de har flera enheter. I figurerna som visar fördelningen av enhetstyper för UB i bilaga C framgår det att antalet datorer och surfplattor är den vanligaste enhetstypen. Resultatet överensstämmer med antagandet att många går till UB för att studera.

Under de första 180 minuterna på mätning 1b understiger personantalet kraftigt antalet unika användare, se figur 23. En förklaring till detta är att observatören var placerad vid personalingången. Efter samtal med överbibliotekarien under denna mätning framgick det att personal även nyttjade leveransingången. Efter detta placerade sig observatören i en position som gjorde det möjligt att se både personal- och leveransingången. Ändringen gjordes inför mätning 2b och 3b vilket resulterade i att det observerade personantalet blev mer träffsäkert. Ändringens effekt syns tydligt vid jämförelse av figur 23 från mätning 1 och figur 26 från mätning 2. Efter 180 minuter öppnar UB för allmänheten vilket förklarar uppgången i de båda diagrammen.

Under mätning 2b är antalet observerade personer lägre än antalet uppkopplade användare till en början, se figur 26. Efter 180 minuter har antalet observerade personer passerat antalet uppkopplade användare med marginal. Denna trend håller i sig ända tills mätningen avslutas vid lunchtid. En förklaring till att antalet användare överstiger personantalet under de första 180 minuterna kan vara att anställda beträdde byggnaden och anslöt till nätverken innan observatörerna började räkna personer. När UB sedan öppnades för allmänheten översteg personantalet antalet användare, vilket antas bero på att vissa besökare inte anslöt till nätverken.

I mätning 3b syns en stabil ökning av personantalet från mätningens början för att sedan vid lunchtid, minska fram till mätningens slut, se figur 29. Diagrammets utseende beror på att mätningen genomfördes från öppning till stängning. Under mätning 3b är antalet personer högre än antalet unika användare under hela mätningen, se figur 29. Resultatet kan förklaras av att antalet externa besökare är högt och att besökstiden är kort.

Generellt finns en viss variation i resultaten från mätningarna på UB. I mätning 1b överskattar tekniken antalet personer. I mätning 2b överskattar tekniken antalet personer under halva mätningen och underskattar antalet under andra halvan. Under mätning 3b underskattar tekniken antalet personer under

hela mätningen. Denna variation i resultaten antas bero på bland annat mätmetod, antalet externa besökare och personantal.

Konfidensintervallen för mätningarna på UB varierar en hel del. Under mätning 1b och 2b överskattade tekniken antalet med 50–97 % respektive 9–124 %. Dessa resultat kan bland annat förklaras av metoden för beräkning av KI. Vid normering av resultat som redovisats i ekvation 3 i bilaga D, beräknades differensen mellan antalet användare och personer. Därefter dividerades skillnaden med antalet personer. Vid de allra första tidpunkterna på UB hade endast enstaka personer observerats. Eftersom anställda hade tillgång till UB innan mätningarnas början, gav detta utslag vid beräkning av KI. Om exempelvis 10 anställda hade beträtt byggnaden innan mätningens början och registrerats av tekniken, samtidigt som endast 1 person observerats av observatörerna blev teknikens överskattning följande:

$$\frac{10-1}{1} = 9, \text{ det vill säga en överskattning med } 900 \text{ \%}.$$

När färre anställda befanns i byggnaden innan mätningens början, blev normeringen mindre känslig och gav därför inte lika extrema värden. Om exempelvis 10 personer hade beträtt byggnaden efter mätningens början och registrerats av tekniken, samtidigt som 8 personer observerats av observatörerna blev teknikens överskattning följande:

$$\frac{10-8}{8} = 0,25, \text{ det vill säga en överskattning med } 25 \text{ \%}.$$

Höga antal användare i kombination med få observerade personer resulterade i att både medelvärdet och den statistiska felmarginalen blev hög. De få tidpunkter med extrema värden fick stor påverkan på KI för hela mätningen, eftersom värdena var mycket stora i jämförelse med resterande värden.

Mätning 3b genomfördes på en lördag då majoriteten av de anställda var lediga. Detta resulterade i att färre personer beträdde byggnaden innan mätningen startade. Därmed minskade risken för extrema värden såsom i mätning 1b och 2b vilket syns i resultatet. Under mätning 3b underskattade istället tekniken personantalet med 5–19 %.

3.4 Känslighetsanalys

Vid jämförelse av resultaten från fallstudien går det att se stora skillnader mellan SC och UB. KI för mätningarna på de olika verksamheterna skiljer sig tydligt. I spridningsdiagrammen och i diagrammen över användare och personantal syns det att resultaten från SC överensstämmer mer. De genomsnittliga felskattningarna för SC är generellt lägre än för UB, se tabell 14.

KI för SC varierar mindre mellan mätningarna såväl som inom mätningarna jämfört med UB, se tabell 14. KI för samtliga mätningar på SC är ensiffrigt jämfört med UB där flera värden är tvåsiffriga och ett värde är tresiffrigt. Resultaten skiljer sig trots att mätningarna genomförts på snarlika vis. Detta antas bero av besökarna och deras beteenden snarare än själva verksamheten i sig. Det är annorlunda fördelning av människor på SC jämfört med UB. Eftersom SC ligger mitt på LTH:s campus antas antalet externa besökare vara litet. Under fallstudien observerades att en stark majoritet av besökarna var studenter och anställda. Detta skiljer sig från UB där det var en mer varierad fördelning besökare. Det var exempelvis många äldre besökare på UB. Fördelningen av människor som besökte verksamheterna har i sin tur koppling till hur många som ansluter till nätverken. Andelen personer med inloggning på skolans nätverk antas vara högre på SC. Observationerna och resultatet från fallstudien visar också att

en högre andel anslöt till nätverken på SC. Resultatet tycks vara känsligt för hur stor andel personer som anslöt till nätverken vilket är logiskt eftersom det har en direkt koppling till datainsamlingen.

Det finns osäkerheter i fallstudien som kan ha påverkat resultatet men skillnaderna mellan verksamheterna är markanta. Eftersom SC generellt gav ett mer tillförlitligt resultat kommer mätningarna på SC ligga i fokus under den fortsatta känslighetsanalysen. Den naturliga variationen i resultatet från UB gör det svårare att dra slutsatser om påverkande parametrar.

Tabell 14. Sammanställning av KI från samtliga mätningar. För varje verksamhet visas mätningarna i kronologisk ordning.

Verksamhet	Mätning	KI [%]
SC	1a	4.38, 7.12
	2a	3.35, 5.20
	3a	-7.53, -4.08
	4a	2.18, 3.47
UB	1b	49.61, 96.79
	2b	8.57, 124.10
	3b	-18.84, -5.06

För SC blev teknikens genomsnittliga felskattning minst under mätning 4a som utfördes under en fredag, se tabell 14. Under denna mätning överskattade tekniken personantalet vilket även skedde under mätning 1a och 2a, som också utfördes under vardagar. Under mätning 3a, som utfördes på en lördag, underskattade tekniken personantalet. Resultatet visar en viss skillnad mellan vardagar och helger vilket antas bero på andra variabler än vilken veckodag det är. Det avvikande resultatet på mätning 3a kan bland annat förklaras av det låga antalet besökare denna dag. Det maximala antalet personer i SC var 35 under mätning 3a, jämfört med 194, 245 och 218 under mätning 1a, 2a och 4a. Ett lägre personantal tycks öka sannolikheten att tekniken underskattar antalet. Ett högre personantal gör att felmarginerna bli små i förhållande till personantalet i byggnaden. Om exempelvis tio personer utan enheter beträdder byggnaden blir antalet förhållandevis litet om det totala personantalet i byggnaden är högt. Det gör att påverkan på resultatet blir liten. Om det totala personantalet däremot är litet kommer personerna utan enheter få en betydande påverkan på resultatet. Resultatet är därmed känsligt för låga personantal.

Ytterligare en parameter som varierades på SC var längden på mätningarna. Mättiden var fyra timmar de första tre mätningarna och nio timmar under mätning 4a. Teknikens felskattning blev lägst under mätning 4a, se tabell 14. Resultatet kan jämföras med mätning 2a som gav näst lägst felskattning. Förutom mättiderna skiljer sig antalet besökare mellan dessa mätningar. Det genomsnittliga antalet besökare under mätning 2a var 178 jämfört med 166 under mätning 4a. Mätning 2a gav större felskattning även då det genomsnittliga antalet besökare var högre. En förklaring till detta kan vara den betydligt kortare mättiden. Mätning 4a utfördes under mer än dubbelt så lång tid vilket gör att mätpunkter med avvikande resultat får en mindre påverkan. Vidare tas hänsyn till hela dagens förutsättningar och beteende bland besökarna vilket i sin tur ett mer tillförlitligt resultat. En längre mättid antas på samma sätt som ett högre personantal minska påverkan från avvikelser. Resultatet är därmed känsligt för korta mättider. Huruvida personantalet eller mättiden har störst påverkan på resultatet är inte fastställt. Även tillfälliga skillnader mellan mätningarna, såsom andel uppkopplade personer, kan givetvis påverka resultatet

4 Diskussion

Under de mätningar som utfördes i fallstudien räknades personerna precis när de beträdde byggnaderna. Om en person stod utanför ingången räknades den inte med. Denna gränsdragning gjordes för att underlätta räkningen men även eftersom ytterväggarna ansågs begränsa räckvidden av Wi-Fi-signalerna i enlighet med Petre et al. (2017). Observatörerna noterade dock att det var möjligt att ansluta till nätverken utanför ingångarna vid både SC och UB. Den exakta räckvidden noterades dock inte. Det finns därför risk att människor utanför byggnaden också varit anslutna till något av nätverken. Som tidigare nämnt fann Cunche (2013) att en mobil kunde anslutas då den var över 100 meter bort under rätt förhållanden. De personer som vistats utanför byggnaderna och som möjligtvis har anslutit till något av nätverken har inte räknats med i fallstudien och är en osäkerhet i resultatet. Denna typ av osäkerheter i indata har tidigare lyfts fram av Lundin (1999) som en begränsning som uppkommer i samband med resurser och grundas i utomstående faktorer. Sådana osäkerheter är svåra att hantera men skulle kunna lösas genom att exkludera användare med svag anslutning som anses vara utanför byggnaden likt Longo et al. (2019) gjorde under liknande experiment.

En osäkerhet som genomsyrar hela fallstudien är risken för mätfel hos observatörerna. Mänskliga fel som identifierats inkluderar dubbelräkning av personer såväl som att personer missas. Vid vissa tidpunkter under mätningarna, exempelvis runt lunchtid, var det särskilt högt personflöde och då ökade risken för felräkning hos observatörerna vilket bidrar till osäkerheter kring den insamlade data. I litteraturstudien har det nämnts hur Lundin (1999) beskriver att osäkerheter som uppstår under datainsamlingar hänförs till de antaganden och beslut som görs under arbetets gång. Lundin fann att osäkerheterna påverkar resultatets utfall och berodde framförallt på metodval. Fortsättningsvis finns risker för mänskliga fel under själva databearbetningen då det observerade personantalet beräknades och data från LDC sammanställdes.

På UB kunde observatörerna notera att antalet barn var relativt högt jämfört med SC. Observationen kan påverka utfallet på resultaten eftersom risken är stor att yngre barn inte äger en egen smarttelefon. Vidare, av de barn och vuxna som har en smarttelefon antas majoriteten inte koppla upp sig på nätverket då dessa oftare gör kortare besök på UB. Osäkerheterna påverkar resultatet eftersom observatörerna noterade barn och äldre vuxna vid ingångarna medan tekniken inte kan registrera dem. Som tidigare nämnts har Internetstiftelsen (2019) konstaterat att över 92 % av svenskarna över tolv år ägde en smarttelefon år 2019. Detta är en stark majoritet som talar för att de flesta ändå äger en smarttelefon. Dock utgör troligen äldre personer en stor andel av de 8 % som inte äger en smarttelefon varför resultaten i studien faktiskt kan ha påverkats av de äldre som beträdde byggnaden.

På SC finns det två ingångar för besökare som observerades under fallstudien. Därför var det inte möjligt att räkna personer vid personal- och leveransingången. De som beträdde byggnaden via dessa ingångar kan ha varit uppkopplade på nätverken men noterades inte av observatörerna. Följden blir skillnader mellan teknikens uppskattning och det observerade personantalet. Efter samtal med anställda framkom det att antalet anställda som vistades på SC under tiden då mätningarna genomfördes var relativt litet. Detta kan vara en förklaring till varför denna felkälla inte påverkade resultatet särskilt mycket.

Under fallstudien registrerades endast de enheter som anslöts till nätverken. Personer som inte anslöt till nätverken registrerades därför inte av tekniken. Att utföra mätningar med denna begränsning lämpas endast till ett begränsat antal verksamhetstyper där en stor andel av personerna förväntas ansluta. I fallstudien valdes därför en skolbyggnad och ett bibliotek. I enlighet med tidigare resonemang antas det att resultaten blev bättre på SC än på UB eftersom en högre andel personer varit uppkopplade på

nätverken. En annan verksamhetstyp som potentiellt kan lämpas för experimentella undersökningar är kontor. För att göra en mer utförlig utvärdering av tekniken, krävs det att tillämpningsområdet breddas så att ett större statistiskt underlag kan samlas in. Ett sätt att bredda tillämpningsområdet är att samla data om alla enheter som nätverket identifierar. Som tidigare nämnt kan accesspunkter samla data kring de sondförfrågningar som enheter kontinuerligt skickar ut och som undersökts av De Sanctis et al. (2019). Att samla data från samtliga detekterade enheter hade förbättrat precisionen av uppskattningen eftersom fler personer hade identifierats av systemet. Det hade också gjort tekniken tillämpbar på andra verksamhetstyper, såsom exempelvis köpcentrum där färre personer antas ansluta till nätverken.

I tidigare avsnitt har det redogjorts för andra tekniker som kan nyttjas för uppskattning av personantal. Videoanalys med fasta kameror är en bra teknik för att räkna personer, men väcker en del integritetsfrågor då människor filmas utan deras samtycke, vilket redogjorts i tidigare avsnitt. Chen et al. (2018) lyfte fram detta som en tydlig begränsning med tekniken. Vidare har det nämnts att GDPR började gälla den 25:e maj 2018 för EU:s medlemsstater syftade till att beskriva vem som får hantera känsliga personuppgifter och i vilken omfattning (Datainspektionen, u.d.). Att filma personer utan att de givit sitt samtycke kan innebära en risk för att dömas till vite om data hanteras på fel sätt. Därför kan det ibland vara problematiskt att använda videoanalys för att uppskatta personantal. Uppskattningen av personantal med hjälp av Wi-Fi som undersökts i detta arbete har genomförts genom att LDC bistod med data över uppkopplade enheter. Några etiska problemställningar uppstod inte eftersom LDC automatiskt avidentifierade MAC-adresser och istället redovisade ett anonymiserat enhets-id. På så sätt erhöles den värdefulla informationen om antalet unika enheter samt andelen unika användare utan att väcka några integritetsfrågor.

I rapporten har det identifierats hur dagens regelverk och rekommendationer i bland annat BBR anger dess risknivå. Regelverken har valt att reglera risknivåerna som kan översättas till Paté-Cornells (1996) nivå två med värsta troliga scenarier. I situationer som kantas med stora osäkerheter, sparas både tid och pengar genom att tillämpa hanteringen enligt nivå två med värsta troliga scenarier. Specifikt för personantal kan värden variera kraftigt för verksamheter och därför är det intressant att titta närmare på variationen för att erhålla kunskap om det verkliga personantalet. Denna kunskap kan sedan användas för att hantera risker. Som tidigare nämnts menar De Sanctis et al. (2019) att persontätheter i butiker inte beror på den kapacitet som byggnaden kan inhysa utan snarare på sådant som gör att personer aktivt väljer en specifik butik. Vidare kan efterfrågan på specifika produkter leda till stora variationer i personantal över tid. För att kunna få korrekta personantal behövs metoder som mäter antalet personer över tid och tar hänsyn till variation. De Sanctis et al. (2019) gjorde detta med hjälp av optiska sensorer och kunde med hjälp av resultatet från studien dra slutsatser om dagens brandtekniska riktlinjer. Liknande försök, men i betydligt mindre omfattning, gjordes i detta arbete som fann att ett Wi-Fi-nätverk tillsammans med mjukvara för datainsamling kan mäta personantal över tid på egen hand. Det går därmed att mäta variation i personantal. Om tekniken utvecklas skulle det kunna bli möjligt att nyttja den för att hantera osäkerheter och minska risknivåerna i byggnader.

I början på arbetet avsågs det att uppskatta personantalet med antalet uppkopplade enheter. Under litteraturstudien har det identifierats en hel del utmaningar med detta tillvägagångssätt som Petre et al. (2017) lyfter fram. Författarna menar på att antalet enheter per person varierar kraftigt. Exempelvis har vissa personer en enhet i medan andra har flera och detta fenomen går att se tydligt i resultatet som entydigt visar att antalet enheter överstiger antalet observerade personer, se exempelvis figur 7. För att hantera utmaningarna med antalet enheter nyttjades istället antalet användare för att uppskatta personantalen. Om en person var inloggad på två olika enheter räknades det som en användare och därmed undveks dubbelräkning. Detta tillvägagångssätt visade sig förbättra skattningen av personantalet på både SC och UB, jämför exempelvis figur 7 och figur 8. Eftersom det var möjligt att se hur länge

användare varit inloggade var det vidare möjligt att exkluderade sådana som varit inloggade länge och därmed inte antogs representera en person. Dessa åtgärder bidrog till träffsäkerheten i studien och visar att det är möjligt att hantera de utmaningar som Petre et al. (2017) identifierat.

Resultaten visar att det finns potential med att tillämpa Wi-Fi för att skatta personantal med god precision. Under mätningarna på SC var felmarginalerna ofta väldigt små. Om tekniken utvecklas skulle osäkerheterna kunna minimeras och felmarginalerna bli ännu mindre. Det kommer dock alltid finnas aleatorisk osäkerhet som är omöjlig att eliminera. För att tekniken ska kunna fungera helt felfritt behöver exempelvis alla personer bära enheter som kan identifieras av nätverken. Det är inte möjligt att undkomma sådana osäkerheter varför tekniken bör nyttjas för att ge en ungefärlig skattning av personantalet snarare än en exakt skattning. Om exempelvis tekniken förlitas på fullständigt finns risk för att den som använder mätningarna som underlag använder ett felaktigt personantal. Konsekvensen av detta skulle kunna bli ökade risker för personer som vistas i byggnaderna. Oftast är dock en approximativ uppskattning av personantalet tillfredsställande nog. De optiska sensorerna som De Sanctis et al. (2019) använde hade exempelvis en felmarginal på cirka två procent. De ofrånkomliga osäkerheterna antas därför inte hindra tekniken från att ge lika bra skattningar som dagens tekniker.

Det finns goda förutsättningar för att tillämpa Wi-Fi för att uppskatta personantal. Som tidigare nämnt äger majoriteten av svenskarna över tolv år en egen smarttelefon och använder internet dagligen. En stor andel av de som inte ägde smarttelefon eller använde internet utgörs av äldre personer. Siffrorna visar att en stark majoritet av svenskarna alltså kan identifieras av Wi-Fi-nätverk. I framtiden antas siffrorna bli ännu högre i takt med att de som växt upp i ett uppkopplat samhälle utgör den äldre generationen. I litteraturstudien har det identifierats att färre kopplar upp sig på offentliga Wi-Fi-nätverk eftersom de bland annat är mer säkerhetsmedvetna. Detta gör det svårare att identifiera personer om mjukvaran för datainsamlingen är beroende av att enheterna kopplar upp sig. Om det är möjligt att samla data om samtliga enheter som nätverket identifierar är detta dock inget problem. Denna sortens utmaningar kan därmed hanteras relativt lätt. Wi-Fi teknikens framtida förutsättningar är dessutom goda eftersom antalet publika Wi-Fi nätverk kommer fortsätta att öka.

För att kunna hantera olika risker med tekniker behöver riskerna identifieras och analyseras. En risk med att uppskatta personantal med hjälp av Wi-Fi är att personantalet kan underskattas om personer av någon anledning inte identifieras. Om det är en signifikant mängd personer som inte identifierats kan informationen från mätningen göra att fel beslut tas. Om exempelvis tekniken tillämpas i en byggnad där en stor mängd personer inte använder smarttelefoner kommer det uppskattade personantalet underskattas. Om informationen från mätningen används som underlag för utrymningsdimensionering kan det resultera i risk för personskada i händelse vid brand. Det är därför inte lämpligt att nyttja tekniken i verksamheter där en signifikant mängd personer inte använder mobiltelefoner. Vidare bör tekniken enligt tidigare resonemang nyttjas för en approximativ skattning av personantalet snarare än en exakt skattning. Dessutom bör uppskattning av personantal med hjälp av Wi-Fi valideras med andra tekniker. Om exempelvis Wi-Fi används i en verksamhet under en längre tid bör personantalet kontrolleras för att se om det finns en signifikant skillnad från det verkliga antalet personer.

Det finns flera potentiella tillämpningsområden med tekniken. Om tekniken används för en befintlig byggnad skulle den kunna mäta hur personantalet varierar över tid i byggnaden. Denna information kan vara användbar till en rad ändamål. Exempelvis skulle det uppskattade personantalet kunna jämföras med det maximalt tillåtna personantalet. Om det maximala personantalet överskrids utsätts personerna som vistas i byggnaden för oskäliga risker. Med hjälp av informationen från tekniken kan då åtgärder implementeras för att minska risknivåerna i byggnaden. Exempel på åtgärder skulle kunna vara ett uppdaterat brandskydd eller ökad kontroll av hur många som beträder byggnaden. Med hjälp av

Åtgärderna förbättras personernas förutsättningar att utrymma byggnaden och därmed minskar risken att personerna skadas i händelse av brand. Detta är dock bara förslag på hur tekniken kan tillämpas för att minska risknivåerna. Det är inte möjligt att fastställa exakt hur tekniken kan minska risknivåerna utifrån denna rapport eftersom störst fokus har riktats mot att undersöka teknikens potential. För att kunna dra slutsatser kring hur informationen från tekniken kan användas för att minska risknivåerna måste tekniken först utvecklas vidare och valideras.

För somliga verksamheter, exempelvis köpcentrum, kan personantalet variera kraftigt. Eftersom det är svårt att uppskatta personantal för sådana verksamheter hade en möjlighet varit att i realtid beakta personantalet med hjälp av Wi-Fi tekniken. Om personantalet uppskattas i realtid skulle exempelvis tekniken kunna användas för att varna när personantalet i byggnaden är för högt. I exempelvis köpcentrum skulle anställda då kunna reducera riskerna för personerna i byggnaden, genom att vidta omedelbara åtgärder för att minska personantalet. Åtgärder skulle kunna vara att inflödet till köpcentret stoppas eller att personer uppmanas att lämna butiken. Detta är ett endast förslag på hur informationen från tekniken potentiellt skulle kunna nyttjas för att minska risknivåerna.

Fortsättningsvis skulle tekniken kunna fungera som ett underlag vid dimensionering av nybyggnationer genom att data samlas in och sparas för framtida användning. Om det finns tillförlitliga data kring personantal och dess variation för en viss verksamhetstyp skulle den informationen kunna utgöra underlag vid nybyggnationer av liknande verksamheter. Som tidigare nämnts beskrev Erdsjö och Lindberg (2008) att geografisk placering bör beaktas för att nå skäliga risknivåer i byggnader. Om exempelvis en kommun har för avsikt att bygga ett nytt köpcentrum i stadskärnan, så kan insamlade data från liknande köpcentrum med liknande förutsättningar nyttjas för att uppskatta personantalet. Med informationen sparas både tid och pengar samtidigt som verksamheten dimensioneras utifrån ett rimligt personantal med hänsyn till variation. Tekniken skulle på detta sätt kunna användas för att dimensionera skäliga brandskydd och undvika att personer utsätts för höga risknivåer. Resonemangen i detta stycke är likt tidigare stycken om tillämpningsområden, endast tankar om potentiella användningsområden och hur det kan påverka risknivåerna i byggnader. Det är inte möjligt att dra slutsatser om hur tekniken kan nyttjas för att minska risknivåerna eftersom tekniken inte är etablerad ännu.

5 Slutsatser

För arbetet har det primärt funnits tre mål: att jämföra visuella mätningar av personantalet med insamlade data kring uppkopplade enheter i samma lokal vid samma tidpunkter, att skapa en djupare förståelse kring ämnesområdet genom att sammanställa litteratur samt att presentera förslag på hur tekniken kan användas. Vidare hade arbetet för avsikt att besvara följande två frågeställningar:

- Hur väl fungerar Wi-Fi för att uppskatta personantal?
- Hur kan informationen från det tekniska systemet användas för att minska risknivåerna i byggnader?

Det första målet anses uppfyllt eftersom visuella mätningar jämfördes med insamlade data i fallstudien. Jämförelsen visar att tekniken kan ge en god uppskattning. Vidare visar resultatet att teknikens precision påverkades av mättiden och personantalet. Dessutom visar resultatet stora variationer i personantal mellan och inom mätningarna.

För att uppnå det andra målet genomfördes litteraturstudien som visar att det idag finns etablerade tekniker som nyttjas för personräkning, men som kantas av diverse utmaningar. Det har identifierats ett behov av tekniker som kan uppskatta personantal över tid och ta hänsyn till variation. Dagens regelverk och rekommendationer om personantal bygger på värsta tänkbara scenarion och tar ringa hänsyn till variation hos specifika verksamheter.

I försök att uppnå det tredje målet har det presenterats potentiella tillämpningsområden. Det är dock svårt att säga exakt hur tekniken kan användas i framtiden. För att fastställa detta behöver tekniken utvecklas vidare och implementeras i verkliga situationer. I samband med diskussion kring tillämpningsområden har den andra frågeställningen försökt besvarats. Det har presenterats förslag på hur risknivåerna för personer i byggnader kan minskas. Det är dock svårt att dra slutsatser kring detta eftersom tekniken inte är etablerad ännu. Att minska risknivåerna är ett senare stadie i teknikens utveckling varför denna frågeställning kan ha varit för komplicerad för detta arbete.

Avslutningsvis visar resultatet att tekniken har god potential. Trots små resurser och flera begränsningar kunde goda uppskattningar av personantal erhållas. För att kunna använda tekniken som ett tillförlitligt underlag, och undersöka hur den kan nyttjas för att minska risknivåerna i byggnader, behöver den utvecklas vidare och valideras. Vidare behöver tekniken samla data om alla identifierade enheter för att kunna tillämpas på fler verksamhetstyper.

6 Framtida forskning

Vid framtida forskning bör osäkerheterna vid mätningstillfällena minskas. Eftersom resurserna var begränsade under detta arbete blev även mätningarnas kvalitet begränsad. Exempelvis kunde inte alla anställda räknas eftersom några började arbeta, och fick tillgång till lokalerna, innan mätningarna påbörjades. För att få ett bättre statistiskt underlag bör denna typ av osäkerheter hanteras.

Teknikens prestanda över tid bör undersökas vidare. De genomförda mätningarna är endast några timmar långa varför det inte varit möjligt att bedöma hur tekniken presterar över längre tid.

Det bör undersökas vidare vilka gränsdragningar som ska göras vid datainsamlingen, i syfte att förbättra precisionen. Exempelvis går det att exkludera enheter med låg signalstyrka som inte antas finnas i byggnaden såsom Longo et al. (2019) gjorde under liknande experiment.

I detta arbete samlades som tidigare nämnts endast data från de enheter som uppkopplades vilket begränsade tillämpningsområdet till några få verksamhetstyper. För att bredda tillämpningsområdet är det intressant att undersöka hur väl personantalet kan uppskattas om data samlas in från alla identifierade enheter.

Eftersom arbetet avgränsades till två verksamheter är det intressant att titta vidare på hur tekniken lämpas åt andra verksamhetstyper såsom exempelvis köpcentrum. Detta under förutsättning att alla enheter kan identifieras.

Sammanställd litteratur indikerar att tillämpningen av Wi-Fi är billigt relativt många andra tekniker för uppskattning av personantal. För att fastställa teknikens kostnad bör kostnads-nyttoanalyser genomföras.

Berntsen et al. (2005) beskriver om hur ändringar i koldioxidkoncentrationer kan användas för att reglera driftkostnader, exempelvis för ventilation. Ett förslag på framtida forskning är att undersöka om uppskattning av personantal med hjälp av Wi-Fi kan tillämpas på liknande sätt.

Det har identifierats ett behov av teknik för att kunna lokalisera personer, speciellt i riskfyllda miljöer. Ett förslag på vidare forskning är därför att undersöka om Wi-Fi kan tillämpas för detta ändamål.

Litteraturförteckning

- Boverket. (2006). *Utrymningsdimensionering*. Boverket.
- Boverket. (2011). *Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd*. Boverket.
- Boverket. (2011). *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*. Boverket.
- Chandra, P., & Lide, D. (2007). Wireless Local Area Networks. i P. Chandra, & D. Lide, *Wi-Fi Telephony - Challenges and Solutions for Voice over WLANs* (ss. 79 - 108). Newnes.
- Chen, Z., Jiang, C., & Xie, L. (den 5 April 2018). Building occupancy estimation and detection: A review. *Elsevier*, ss. 260-270.
- Cisco. (2020). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*. Cisco.
- Conte, D., Foggia, P., Percannella, G., & Vento, M. (2013). *Counting moving persons in crowded scenes*. Machine Vision & Applications.
- Cunche, M. (den 27 December 2013). I know your MAC address: targeted tracking of individual using Wi-Fi. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*, ss. 219 - 227.
- Datainspektionen. (u.d.). *Dataskyddsförordningen (GDPR)*. Hämtat från [Datainspektionen.se: https://www.datainspektionen.se/lagar--regler/dataskyddsförordningen/](https://www.datainspektionen.se/lagar--regler/dataskyddsförordningen/) Oktober 2020
- De Sanctis, G., Moos, M., & Aumayer, C. (2019). *Survey of Occupant Load Densities in Retail Buildings*. Gaithersburg: SFPE Educational & Scientific Foundation.
- Eduroam. (u.d.). *About Eduroam*. Hämtat från [Eduroam.org: https://www.eduroam.org/about/](https://www.eduroam.org/about/) November 2020
- Erdsjö, T., & Lindberg, C. (2008). *Persontäthet vid utrymningsberäkningar*. Lund: Department of Fire Safety Engineering and System Safety.
- Fuchs, C., Aschenbruck, N., Martini, P., & Wieneke, M. (den 14 Juli 2010). Indoor tracking for mission critical scenarios: A survey. *Elsevier*, ss. 1-15.
- Google. (den 1 december Februari 2005). *Maps*. Hämtat från [Google.se: https://www.google.se/maps/place/Studiecentrum,+LTH/@55.7115862,13.2087718,18.56z/data=!4m5!3m4!1s0x465397ca4873d495:0x5330814b3b76eab6!8m2!3d55.7115319!4d13.2094281](https://www.google.se/maps/place/Studiecentrum,+LTH/@55.7115862,13.2087718,18.56z/data=!4m5!3m4!1s0x465397ca4873d495:0x5330814b3b76eab6!8m2!3d55.7115319!4d13.2094281) December 2020
- Höst, M., Regnell, B., & Runeson, P. (2011). *Att genomföra examensarbete* (Vol. 1:6). Lund: Studentlitteratur AB.
- Harris, M. (den 30 September 2013). The way through the flames. *spectrum.ieee.org*, ss. 30-35.
- Internetstiftelsen. (2019). *Svenskarna och internet 2019*. Internetstiftelsen.
- ISO. (2018). *Risk management - Guidelines*. Hämtat från [ISO - Risk Management - Guidelines: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en) Oktober 2020
- Jönsson, M., & Knutsson, G. (den 9 September 2020). Frågor om Lunds universitets uppkoppling. (A. Adolfsson, & K. Abou Nawfal, Intervjuare)

- Kaplan, S. (Augusti 1997). The Words of Risk Analysis. Risk Analysis. *John Wiley & Sons*, ss. 407-417.
- Kungl. Byggnadsstyrelsens publikationer. (1946:1). *Anvisningar till byggnadsstadga*.
- LDC. (den 4 April 2019). *Om LDC - Uppdraget*. Hämtat från Lunds universitet: <https://www ldc lu se/om-ldc/uppdraget> Oktober 2020
- LibGuides. (Juli 2020). *Information Literacy History: Search methods*. Hämtat från Libguides.rug.nl: <https://libguides.rug.nl/c.php?g=470628&p=3218096#:~:text=The%20snowball%20method%20is%20a,relevant%20titles%20on%20your%20subject>. September 2020
- Longo, E., Redondi, E., & Cesana, M. (den 9 November 2019). Accurate occupancy estimation with Wi-Fi and bluetooth/BLE packet capture. *Elsevier*, ss. 106-876.
- Lund University Library . (den 24 September 2020). *Lund University Library - Computers and networks*. Hämtat från Lund University: <https://www.ub.lu.se/en/services/computers-networks>
- Lundin, J. (1999). *Model Uncertainty in Fire Safety Engineering*. Lund University, Department of Fire Safety Engineering. Lund: Report 1020.
- Lunds universitet. (den 17 December 2020). *Biblioteken vid Lunds universitet - LUBcat*. Hämtat från Lu.se: <https://www.lub.lu.se/sok/lubcat> Januari 2021
- Lunds Universitet. (den 12 Oktober 2020). *Universitetsbiblioteket - Fakta och siffror*. Hämtat från Lunds Universitet: <https://www.ub.lu.se/om-ub/fakta-och-siffror>
- Mysen, M., Schild, P., Berntsen, S., & Nafstad, P. (December 2005). Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. *Elsevier*, ss. 1234-1240.
- Nilsson, J. (2003). *Introduktion till riskanalysmetoder*. Lund, Sweden: Department of Fire Safety Engineering .
- Nilsson, M., Rantakokko, J., A. Skoglund, M., & Hendeby, G. (den 27-30 October 2014). Indoor Positioning Using Multi-Frequency RSS with Foot-Mounted INS. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Orujov, F., Maskeliunas, R., Damasevicius, R., Wei, W., & Li, Y. (July 2018). Smartphone based intelligent indoor positioning using fuzzy logic. *Elsevier*, ss. 335-348.
- Otway, H., & Von Winterfeldt, D. (Juni 1982). Beyond acceptable risk: on the social acceptability of technologies. *Policy sciences*, ss. 247-256.
- Paté-Cornell, M. (November - December 1996). Uncertainties in risk analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering and System Safety*, ss. 95-111.
- Petre, A.-C., Chilipirea, C., Baratchi, M., Dobre, C., & van Steen, M. (2017). Wi-Fi Tracking of Pedestrian Behaviour. i F. Xhafa, F.-Y. Leu, & L.-L. Hung, *Smart Sensors Networks: Communication Technologies and Intelligent Applications* (ss. 309-337). Academic Press.
- Pettersson, E. I. (2015). *Tekniska system för uppskattning av personantal och personers placering i byggnader*. Lund: Department of Fire Safety Engineering - Lund University.

- Renn, O. (den 1 Januari 1998). The role of risk perception for risk management. *Reliability Engineering and Systems Safety*. Elsevier , ss. 49-62.
- Strålsäkerhetsmyndigheten. (den 26 Januari 2018). *Trådlösa datornätverk och wifi*. Hämtat från Strålsäkerhetsmyndigheten:
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/omraden/magnetfalt-och-tradlos-teknik/tradlos-teknik/tradlosa-datornatverk-och-wifi/> September 2020
- Sveriges riksdag. (2010:900). *Plan- och bygglagen (PBL)*. Hämtat från Boverket.se:
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/om-bbr/#:~:text=PBL%2C%20PBF%2C%20BBR%20och%20EKS%20inneh%C3%A5ller%20samh%C3%A4llets%20minimikrav%20p%C3%A5%20det,uppfylla%20de%20krav%20som%20g%C3%A4ller.> September 2020
- Sveriges riksdag. (den 31 Mars 2011). *Riksdagen.se*. Hämtat från Plan- och byggförordningen (PBF): https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-byggforordning-2011338_sfs-2011-338
- Sveriges riksdag. (den 10 Oktober 2020). *Personuppgiftslag (1998:204)*. Hämtat från riksdagen.se: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/personuppgiftslag-1998204_sfs-1998-204
- Tehler, H. (den 3 november 2020). *Kursintroduktion till Riskhanteringsprocessen*. Hämtat från Canvas : <file:///Users/adamadolfsson/Downloads/Riskhanteringsprocessen%20-%20kursintroduktion%202020.pdf>
- University of Groningen. (den 17 Juli 2020). *Information Literacy History: Search methods*. Hämtat från rug.nl:
<https://libguides.rug.nl/c.php?g=470628&p=3218096#:~:text=The%20snowball%20method%20is%20a,relevant%20titles%20on%20your%20subject.> September 2020
- Woo, S., Jeong, S., Mok, E., Xia, L., Choi, C., Pyeon, M., & Heo, J. (den 3 May 2010). Application of WiFi-based indoor positioning system for labor tracking at construction sites: A case study in Guangzhou MTR. *Elsevier*, 20, ss. 3-13.

Bilaga A – Försöksplan

I följande tabell redovisas försöksplanen som datainsamlingarna utgick från. I försöksplanen presenteras vilken information om enheter som önskades från LDC vid mätningarna.

Byggnad	Önskade data
UB	<p>Antal uppkopplade enheter samt typ av enhet var femte minut. Alla accesspunkter i byggnaden. Mätning sker från och med öppning av byggnaden.</p> <p>En mätning under vardag i fem timmar klockan 07:00-12:00.</p> <p>En mätning under vardag i fem timmar klockan 07:00-12:00</p> <p>En mätning under en helgdag i fem timmar klockan 10:00-15:00.</p>
SC	<p>Antal uppkopplade enheter samt typ av enhet var femte minut. Alla accesspunkter i byggnaden. Mätning sker från och med öppning av byggnaden.</p> <p>Två mätningar under vardagar i fyra timmar klockan 08:00-12:00.</p> <p>En mätning under vardag i nio timmar klockan 08:00-17:00</p> <p>En mätning under en helgdag i fyra timmar klockan 10:00-14:00.</p>

Tabell 15. Försöksplan för de olika byggnaderna.

Bilaga B – Ordlista

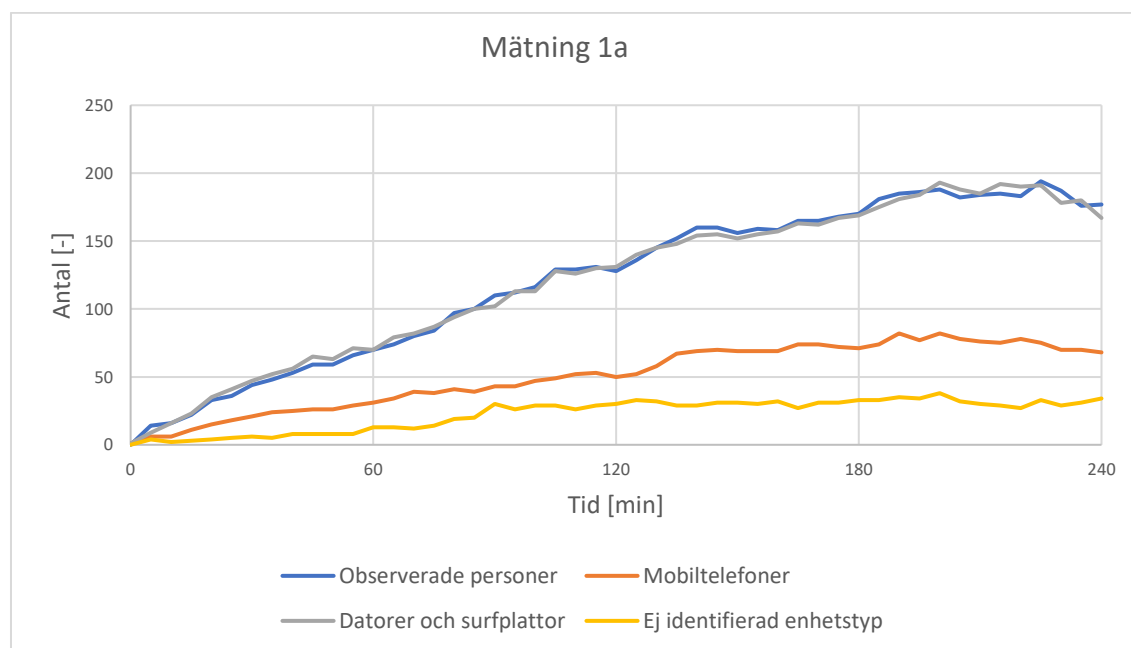
Accesspunkt	En anordning som dirigerar trafiken i ett nätverk
GLANSER	Navigation System for Emergency Responders. Ett signalbaserat system bestående av en signalavgivare och en signalmottagare.
MAC-adress	Unik identifierare för en enhet
Occupant load	Engelsk benämning för persontäthet
Occupant density	Engelsk benämning för persontäthet
PLL	Precision Personnel Locator. Ett signalbaserat system bestående av en signalavgivare och en signalmottagare
RFID	Radio Frequency Identification. Ett signalbaserat system som används för att lokalisera människor.
RSSI	Signalstyrka för trådlösa nätverk. Enheten anges i Decibel (db) eller %.
SSID	Förkortning för Service Set Identifier vilket är en unik identifierare för nätverk
WLAN	Förkortning av wireless local area network vilket betecknar Wi-Fi

Bilaga C – Fördelning unika enheter

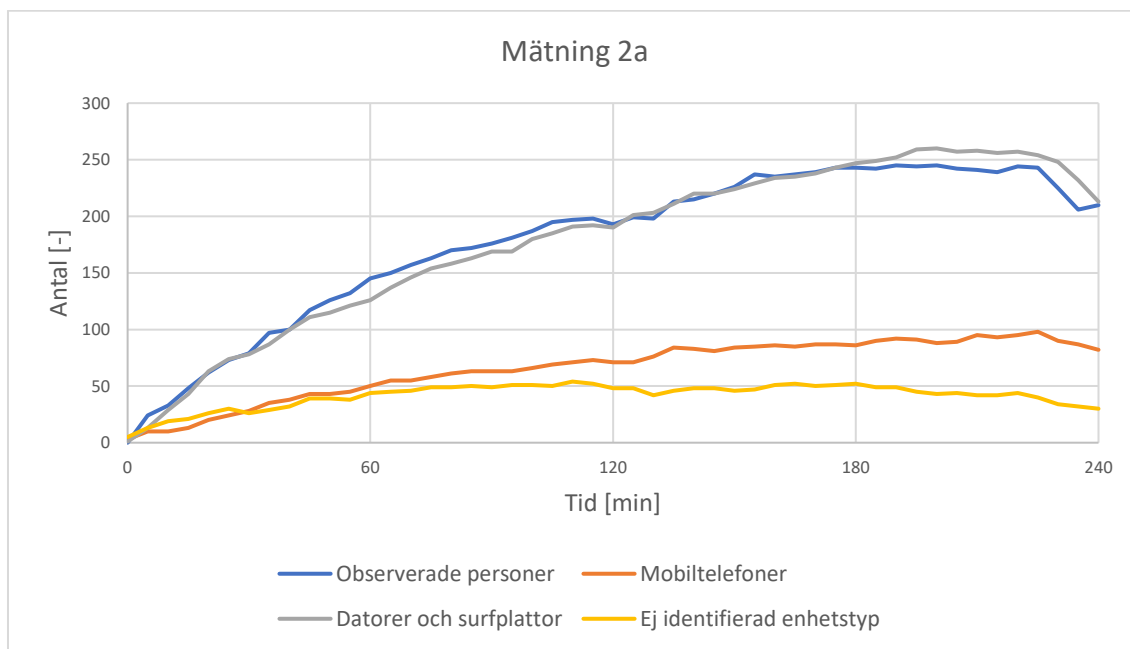
Nedanstående figurer redovisar fördelningen över antalet unika enheter som varit uppkopplade under fallstudien. Totalt gjordes 7 fallstudier som redovisats mer ingående i avsnitt 3.2.3 och i avsnitt 3.3.3.

Fördelning över unika enheter på SC:

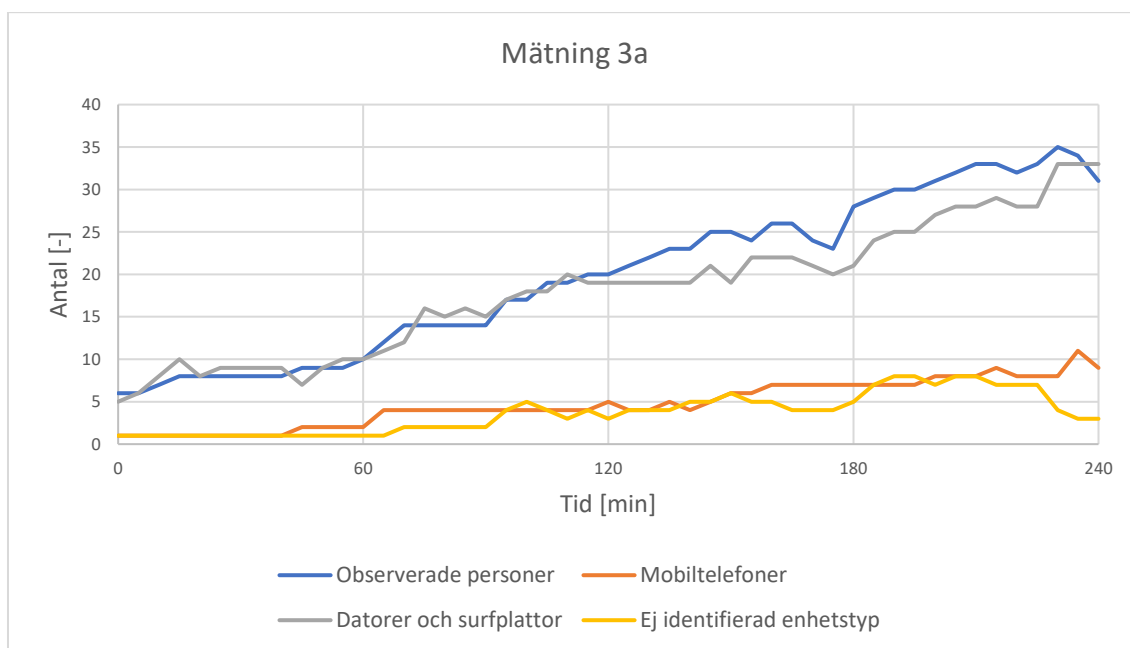
Nedanstående figurer redovisar andelen datorer och tablets och mobiltelefoner. Vissa enheter kunde nätverken inte identifiera och redovisas under ej identifierad enhetstyp, se figur 31, figur 32, figur 33 samt figur 34.



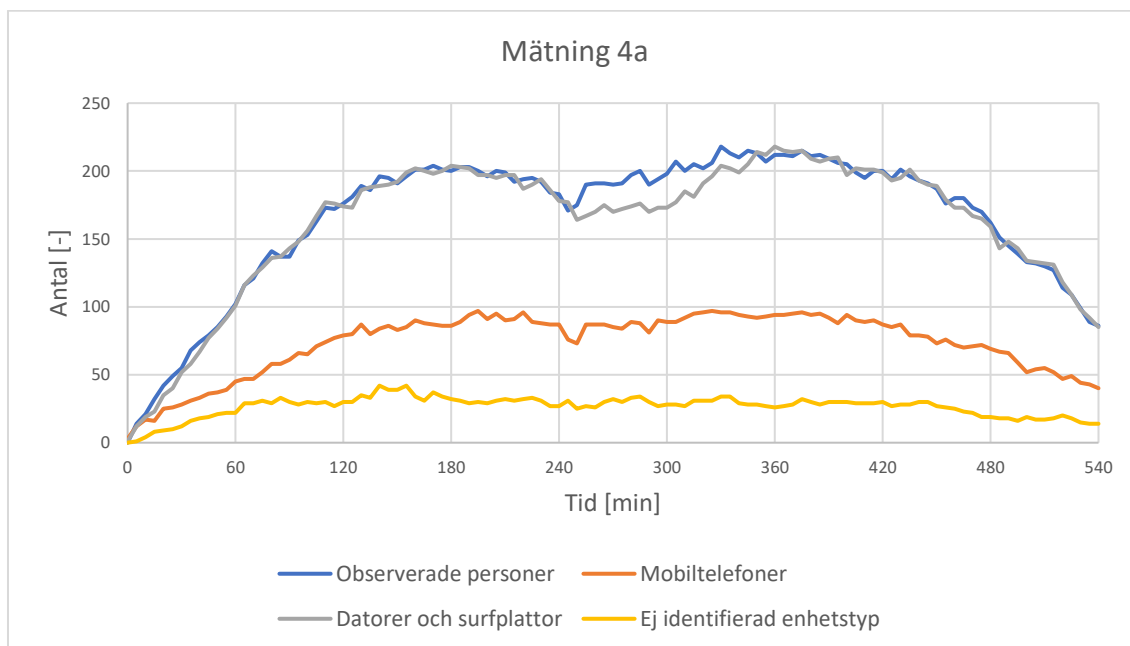
Figur 31. Antal observerade personer och fördelning över olika typer av enheter över tid.



Figur 32. Antal observerade personer och fördelning över olika typer av enheter över tid.



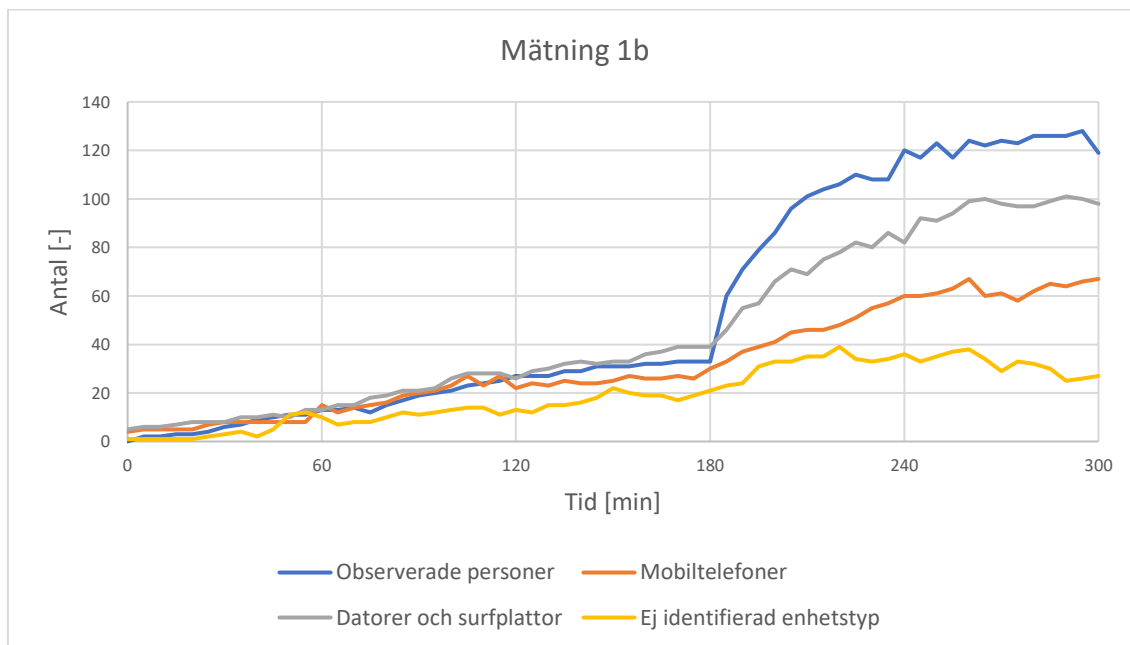
Figur 33. Antal observerade personer och fördelning över olika typer av enheter över tid.



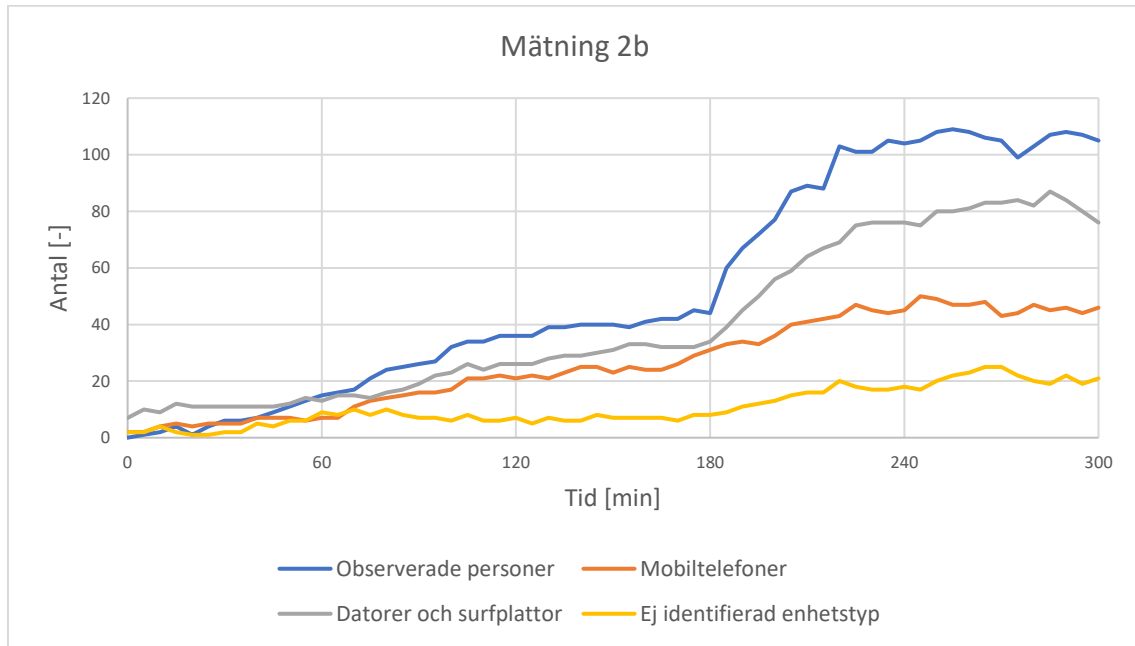
Figur 34. Antal observerade personer och fördelning över olika typer av enheter över tid.

Fördelning över unika enheter på UB:

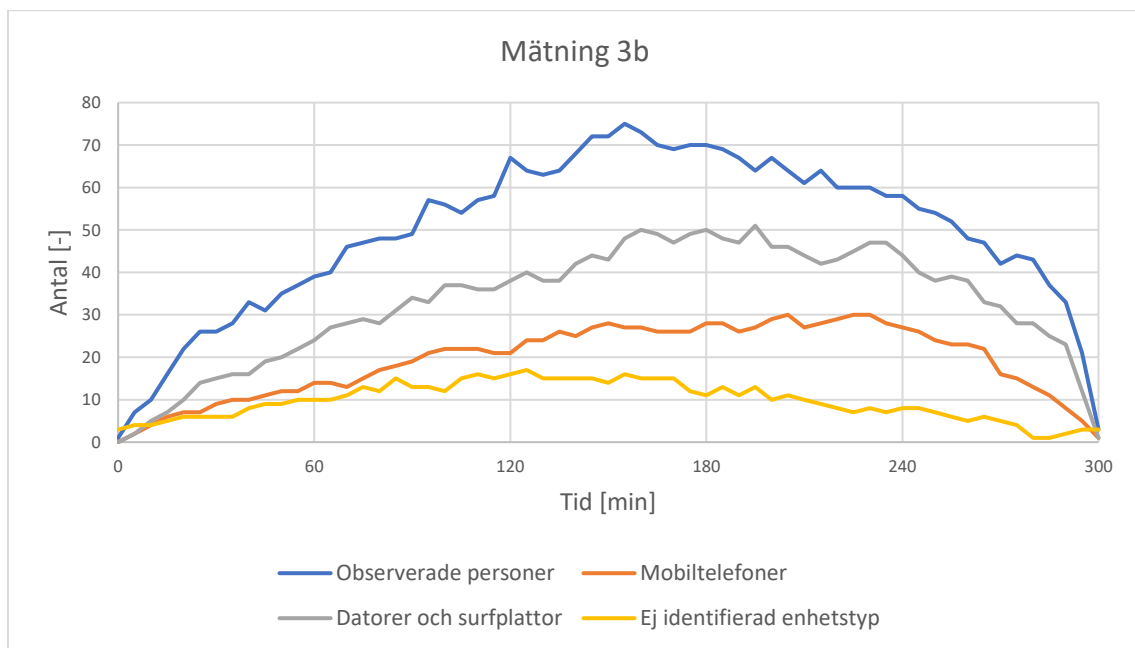
Nedanstående figurer redovisar andelen datorer och tablets och mobiltelefoner. Vissa enheter kunde nätverken inte identifiera och redovisas under ej identifierad enhetstyp, se figur 35, figur 36 samt figur 37.



Figur 35. Antal observerade personer och fördelning över olika typer av enheter över tid.



Figur 36. Antal observerade personer och fördelning över olika typer av enheter över tid.



Figur 37. Antal observerade personer och fördelning över olika typer av enheter över tid.

Bilaga D – Beräkningsgång konfidensintervall

I denna bilaga redovisas beräkningsgången för det dubbelsidiga konfidensintervallet (KI) med konfidensgraden 95 %. Samtliga beräkningar gjordes med hjälp av datorprogrammet Microsoft Excel. Observera att samma beräkningsgång tillämpades för samtliga genomförda mätningar och därför kommer enbart beräkningar för mätning 2b på SC att redovisas i aktuell bilaga.

Först beräknades differensen mellan uppskattningen av antalet användare och det observerade antalet personer. Därefter dividerades denna differens med antalet personer som befann sig i byggnaden vid samma tidpunkt, se ekvation 3. Detta steg normerar resultatet och visar hur stor teknikens felskattning är i förhållande till antalet personer i byggnaden vid just den tidpunkten, se tabell 16. Vid de fall antalet personer var 0 exkluderades denna tidpunkt från beräkningarna.

$$\text{Felskattning} = \frac{(N_{\text{användare}} - N_{\text{personer}})}{N_{\text{personer}}} \quad (\text{Ekvation 3})$$

Tabell 16. Felskattning och normering av den bearbetade data.

Differens unika användare och observerat antal personer
0,0274
0,0503
-0,0214
0,0909
0,0635
0,0250
0,0063
0,0929
0,0367
0,0130
-0,0255
-0,0141
0,0174
0,0210
0,0263
0,0192
0,0248
0,0299
0,0052

Ett medelvärde räknades fram för felskattningarna med hjälp av Excel-funktionen *Average* som summerade samtliga normerade värden och dividerade summan med datastorleken. Medelvärdet multiplicerades med 100 för att erhålla det i procent. På samma sätt beräknades standardavvikelsen för datastorleken med hjälp av Excel-funktionen *STDEV*. Även här multiplicerades standardavvikelsen med 100 för att erhålla värdet i procent, se tabell 17.

Tabell 17. Beräknat medelvärde och standardavvikelse för den bearbetade data.

Medelvärde	Standardavvikelse
4,27	3,18

När medelvärdet och standardavvikelsen var känd, kunde den statistiska felmarginalen beräknas med 95 % konfidens för aktuellt medelvärde, i procent. Med hjälp av Excel-funktionen $Confidence.T(0,05; Standardavvikelse; storlek\ på\ data)$, se tabell 18.

Tabell 18. Beräknad statistisk felmarginal.

Statistiska felmarginalen
0,923

Avslutningsvis beräknades konfidensintervallet i procent genom att nyttja ekvation 4:

$$Konfidensintervall = X_{1,2} \pm \text{Statistiska felmarginalen} \quad (\text{Ekvation 4})$$

Där:

X är det beräknade medelvärdet i tabell 17,

Felmarginalen det redovisade värdet i tabell 18.

Gränserna för konfidensintervallet på SC under mätning 2 är följande:

$$X_1 = 3,35 \% \text{ och } X_2 = 5,20 \%$$

Observera att ovanstående beräkningsgång har tillämpats på samtliga genomförda mätningar på SC och UB. Värderna som använts i denna bilaga har varit data från mätning 2a på SC.