

# Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX - ventilation

- En studie med särskilt fokus på vädring

Emelie Bertilsson  
Karina Zandi



**LUNDS**  
UNIVERSITET



# Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX - ventilation

En studie med särskilt fokus på vädring

Emelie Bertilsson  
Karina Zandi

Examensarbete

Avdelningen för Installationsteknik  
Institutionen för Bygg- och miljöteknologi  
Lunds Universitet  
Box 118  
221 00 Lund

© Emelie Bertilsson och Karina Zandi

ISRN LUTVDG/TVIT—23/5093—SE(96)

Institutionen för bygg- och miljöteknologi

Lunds tekniska högskola

Lunds universitet

Box 118

221 00 LUND

# Sammanfattning

- Titel:** Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation – En studie med särskilt fokus på vädring.
- Författare:** Emelie Bertilsson och Karina Zandi.
- Handledare:** Birgitta Nordquist, Universitetslektor vid avdelningen för Installations- och Klimatiseringslära.
- Examinator:** Victor Fransson, biträdande universitetslektor vid avdelningen för Installations- och Klimatiseringslära.
- Bakgrund:** Bygg- och fastighetssektorn stod år 2020 för ungefär en tredjedel av Sveriges totala energianvändning, där energianvändningen främst består av energi för uppvärmning (Boverket 2023). Energibesparingar på en byggnads uppvärmningsenergi kan göras med hjälp av tekniska åtgärder och genom förändring av brukarvanor. Det finns i dagsläget ett gap mellan den förväntade och faktiska energianvändningen i byggnader. Detta pekar på ett behov av att bättre förstå relationen och samspelet mellan design, byggnad och boende för att bättre kunna optimera och förutse byggnaders energianvändning och uppvärmningsbehov (Mattson et al. 2022). Denna rapport kommer granska skillnaden i energianvändning sett till olika brukarbeteenden där främst variation av vädringsbeteenden undersöks.
- Syfte:** Syftet med examensarbetet är att undersöka hur brukare boende i flerbostadshus kan påverka energianvändningen i flerbostadshus med FTX-ventilationssystem. Målet är att ta fram hur mycket det årliga energibehovet förändras mellan olika brukarbeteenden. Studien har ett särskilt fokus på vädring i Umeå där vädringsbeteendet studeras mer i detalj i form av öppningsgrad, frekvens och öppningstid.
- Metod(er):** Studien inleds med en litteraturstudie, vidare görs en fallstudie och ett platsbesök för att erhålla data från verkligheten. Med genomförda studier kan energisimuleringsfall sättas ihop med indata från verkliga mätningar och en enkätstudie och matas in i datorprogrammet IDA-ICE för simulering och sammanställning. Jämförelser av energianvändningen då brukarbeteendens olika parametrar varierats kan då göras.

**Slutsatser:**

Studien visar på att brukare i det studerade flerbostadshuset vädrar olika. Det är lika många som vädrar på glänt som halvöppet och det vanligaste är att vädra dagligen följt av någon gång i månaden. Det är lika många brukare som vädrar med korsdrag som att ha fönstret öppet några timmar. Brukarnas olika vädringsbeteenden visade efter energisimuleringar att den totala energianvändningen skiljde sig som mest med 10 % mellan olika vädringsbeteenden vilket tyder på att brukarbeteenden som vädring har en påverkan på energianvändningen. De vädringsfall med en längre öppningstid och högre frekvens mellan vädringstillfällena resulterade i en högre årlig energianvändning medan de vädringsfall med lägre frekvens visade på lägre årlig energianvändning. Känslighetsanalysen visar att brukarbeteendena hög tappvarmvattenanvändning, hög inomhustemperatur och låg hushållselanvändning påverkade energianvändningen mest om beräkningarna på energianvändning gjordes enligt BBR.

**Nyckelord:**

Flerbostadshus, brukarbeteende, vädring, energianvändning.

## **Abstract**

The aim of this report is to study occupants' behavior to investigate the impact occupants' behaviors, with an extra focus on different window opening behaviors, has on the total annual energy use in an apartment building. Other behaviors that are included in the study are use of household electricity, hot water use, and indoor temperature. The study will be performed as a literature study combined with a case study with a site visit of an apartment building located in Umeå, Sweden. To complete the case study the studied occupants' behaviors are combined to different simulation cases and are used as input data to the computer program IDA-ICE to calculate different behaviors' impact of the energy use in the studied building. This report shows that the occupants' behavior has a great impact on the annual energy use where hot water use has the most impact followed by indoor temperature and household electricity use. The study also shows, regarding the behavior window opening, that high frequency and opening time gives higher energy use than opening degree and having several windows open at the same time.





## Förord

För att avsluta dessa fem fantastiska år på civilingenjörsprogrammet i Väg- och vattenbyggnad på Lunds tekniska högskola har examensarbetet, som omfattar 30 högskolepoäng, genomförts på avdelningen för Installationsteknik. Det har varit ett intressant och lärorikt ämne att dyka in i och vi hoppas att det här arbetet kan bidra till att väcka intresse för vidare forskning kring vädring och brukarbeteenden i flerbostadshus.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Birgitta Nordquist för hennes stora engagemang, positiva energi och vägledning genom arbetets gång samt Victor Fransson som har stöttat oss i vårt arbete i datorprogrammet IDA – ICE.

Slutligen vill vi även passa på att tacka Dennis Johansson och Henrik Davidsson för att vi fick medverka i ert forskningsprojekt uppe i Umeå som gjorde det möjligt för oss att känna att examensarbetet blev mer verklighetsförankrat.

Efter fem långa år väntar nu nya utmaningar i arbetslivet och vi tar med oss minnen, vänner och lärdomar från studietiden som vi sent kommer att glömma.

Tack!

*Lund i maj 2023*

*Emelie Bertilsson & Karina Zandi*



# Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	i
Abstract .....	iii
Förord .....	v
Innehållsförteckning .....	vii
1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	3
1.3 Frågeställningar .....	3
1.4 Metod.....	3
1.5 Avgränsningar.....	4
2 Teori och tidigare studier .....	5
2.1 Energifbalans.....	5
2.1.1 Transmissionsförluster .....	5
2.1.2 Ventilationsförluster .....	6
2.1.3 Förluster på grund av luftläckage.....	7
2.1.4 Solinstrålning och internvärme.....	7
2.1.5 Brukares inverkan på energibalansen.....	7
2.2 Inomhusklimat .....	8
2.2.1 Inomhustemperatur.....	8
2.2.2 Luftkvalitet .....	9
2.3 Brukarindata.....	9
2.3.1 BEN 2 (BFS 2017:6) .....	9
2.3.2 Sveby .....	10
2.3.3 BETSI.....	11
2.3.4 Öppningsgrad vid vädring .....	11
2.4 $A_{temp}$ – definition .....	12
2.5 Tidigare studier.....	13
2.5.1 Internationella studier.....	13
2.5.2 Svenska studier.....	17
3 Metod – Fallstudie.....	23
3.1 Platsbesök i samarbete med forskningsprojekt.....	23
3.1.1 Byggnadsbeskrivning .....	24
3.1.2 Solavskärmning .....	25
3.1.3 Ventilationssystem .....	25
3.1.4 Uppvärmningssystem .....	25
3.1.5 Byggteknik och U-värden.....	25
3.2 Modell för energisimulering .....	28
3.2.1 Klimatdata .....	31
3.2.2 Solavskärmning .....	31
3.2.3 Konstruktion .....	32
3.2.4 Köldbryggor .....	33
3.2.5 Uppvärmning.....	34
3.2.6 Internvärme.....	35

3.2.7	Tappvarmvatten.....	35
3.2.8	Ventilation.....	35
3.2.9	Termiskt klimat.....	35
3.2.10	Övriga inställningar.....	36
3.3	Brukarindata till simuleringsfall.....	36
3.3.1	Indata luftflöden.....	37
3.3.2	Enkätundersökning.....	38
3.4	Utformning av vädringsfall.....	42
3.4.1	Grundfall.....	42
3.4.2	Vädringsfall.....	43
3.5	Sammanställning av fall.....	44
3.6	Känslighetsanalys.....	46
4	Resultat.....	47
4.1	Resultat av enkätundersökning och platsbesök.....	47
4.1.1	Enkätundersökning sammanställning.....	54
4.2	Resultat av simuleringsfall.....	55
4.3	Känslighetsanalys.....	58
5	Analys.....	61
5.1	Simuleringsfall.....	61
5.1.1	Känslighetsanalys.....	61
5.1.2	Ytterlighetsfall och medelbrukare.....	62
5.2	Vädring.....	63
5.3	Vädring på husnivå.....	67
6	Diskussion.....	69
6.1	Felkällor.....	72
6.2	Fortsatta studier.....	72
7	Slutsatser.....	75
	Referenser.....	77
	Bilagor.....	81





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Bygg- och fastighetssektorn stod år 2020 för ungefär en tredjedel av Sveriges totala energianvändning, där energianvändningen främst består av energi för uppvärmning (Boverket 2023). Det gör att en effektiv energianvändning i bland annat bostäder är en viktig del i att minska miljöpåverkan. De samhällsmål som är aktuella i energieffektivisering av bebyggelse omfattas både av globala mål såsom FN:s Agenda 2030 med målet om hållbara städer och samhällen, men även det nationella klimatmålet om att senast år 2045 inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären (Finansdepartementet 2021).

Enligt Energimyndigheten (2022) befinner sig Sverige och övriga länder just nu i en exceptionell situation där bland annat kriget i Ukraina har resulterat i följdverkningar på energimarknaden med försämrade möjligheter att importera el. Sedan tidig höst 2022 har Sverige befunnit sig i ett ansträngt effektläge (Energimyndigheten 2023). Ett ansträngt effektläge innebär att elmarknadens utbud under vissa tidpunkter inte kan möta efterfrågan i ett elområde, vilket stundtals resulterat i mycket höga priser på el (Svenska kraftnät 2022). För många människor kan de högre elpriserna utgöra en utmaning i vardagen, vilket kan skapa incitament till att minska elförbrukningen i hushållen för både fastighetsägare och brukare (Energimyndigheten 2022). Eftersom uppvärmningssäsongen i Sverige uppgår till ungefär 9 månader per år (Sveby 2009) är det av intresse att se över hur energianvändningen kan effektiviseras, både genom tekniska åtgärder och beteendeförändringar hos brukare.

Sedan 31 december 2020 ska alla nya byggnader som byggs inom EU-medlemsstater vara nära-nollenergihus enligt EU direktivet EPBD 2010/31/EC, även byggnader som genomgår större typer av renoveringar som inkluderar klimatskalet om det är en omfattande typ av renovering ska ha ett minimikrav på energiprestandan i byggnaden (Energimyndigheten 2020).

I Sverige finns det olika hjälpmedel för att bedöma hur energieffektiv en byggnad är. Det kan göras med hjälp av mätningar och olika typer av beräkningar (Boverket 2022b). Från 2006 infördes krav på byggnadens specifika energianvändning i Boverkets byggregler (BBR) vilket var en principiell skillnad mot tidigare regler (Boverket 2020b). I samband med detta kom kravet om obligatorisk energideklaration för alla nya byggnader, byggnader som säljs eller hyrs ut samt vissa offentliga byggnader (Boverket 2022c). År 2017 infördes ytterligare nya krav i form av ett primärenergital som är ett mått som beskriver byggnadens energiprestanda. Kravet på energiprimärtalet gäller endast nybyggnad och omfattande om- och tillbyggnader (Boverket 2020b). Eftersom en byggnad ska uppfylla de regler som gäller när byggnaden uppförs innebär det att byggnader uppförda tidigare än 2006 inte omfattas

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

---

av några krav gällande byggnadens energianvändning och sett till en byggnads livstid kan det röra sig om en stor del av det befintliga beståndet i Sverige.

Totalt finns ungefär ca 135 000 flerbostadshus i Sverige, där ca 30 procent ägs av privata fastighetsägare, 40 procent tillhör en bostadsrättsförening och 30 procent tillhör kommunägda bostadsbolag. Eftersom det är fastighetsägare som står för de byggnadstekniska åtgärder som krävs för att energieffektivisera fastigheterna bör ekonomisk lönsamhet för den typen av renovering tas i beaktning då det är en betydande faktor för att genomföra åtgärden (Finansdepartementet 2021). Det kan vara på grund av bristande lönsamhet dessa typer av åtgärder ofta inte utförts tidigare, vilket drabbar de boende i framför allt flerbostadshus som inte kan påverka inomhusmiljön och komforten genom byggnadstekniska åtgärder.

Utöver de energibesparingar som kan göras med hjälp av tekniska åtgärder är det även värdefullt att studera hur mycket brukare själva kan påverka energianvändningen i ett flerbostadshus. Genom energideklarering av byggnader kan information av en byggnads energianvändning och prestanda fås och jämföras med liknande byggnader, där brukarbeteenden även spelar in i energiprestandan. Vid bestämning av hur mycket brukarbeteendet påverkar energianvändningen utgår Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnaders energianvändning vid normalt brukande och ett normalår (BEN 2) från ett så kallat ”normalt brukande” och tar inte med användandet av hushållsel och verksamhetsel i bedömningen (Boverket 2022b).

Eftersom åtgärder i form av beteendeförändring är mindre kostsamma än tekniska åtgärder och i bästa fall gratis, kan de upplevas som mer görbara och kan göra skillnad i att minska den totala energianvändningen i byggnader samt göra skillnad i frågan på eventuella eleffektbrister. Exempel på brukarbeteenden är reglering av inomhustemperaturer, vädringsbeteenden, varmvattenförbrukning, användandet av hushållsel och eventuell solavskärmning,

Enligt Mattson, Bernardo, Johansson, Warell & Ekim (2022) framförs brukarrelaterade beteenden som en viktig faktor till gapet som ofta uppstår mellan den förväntade och faktiska energianvändningen i byggnader. Av den anledningen kan det finnas ett behov av att bättre förstå relationen och samspelet mellan design, byggnad och boende för att bättre kunna optimera och förutse byggnaders energianvändning och uppvärmningsbehov (Mattson et al. 2022). Däremot är brukare komplexa med olika preferenser och agerande som är svåra att styra över vilket gör att variationerna i brukarbeteenden är stora. För att kunna uppfylla den maximala energieffektiviteten i en byggnad och samtidigt uppfylla brukarnas förväntningar är det viktigt att förstå och studera brukarbeteenden (Mattson et al. 2022).



## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att få en större förståelse för hur brukarbeteenden påverkar den totala energianvändningen i bostäder, specifikt flerbostadshus. Genom sammanställning av tidigare forskning och undersökningar inom ämnet kan brukarbeteenden som hushållselanvändning, varmvattenanvändning, ventilation, inomhustemperatur och vädring bestämmas. Examensarbetet avser även att undersöka hur brukare vädrar sina bostäder och hur mycket vädringsbeteendet sett till frekvens, vädringstid samt öppningsgrad påverkar energianvändningen.

## 1.3 Frågeställningar

- Med vilken öppningsgrad, hur ofta, och hur länge vädrar brukare som är boende i flerbostadshus under uppvärmningssäsongen i Umeå?
- Hur påverkar olika vädringsbeteenden energianvändningen, givet i kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub>, ett flerbostadshus med FTX-system och byggår 2004 i Umeå under uppvärmningssäsongen?
- Hur mycket kan variation av brukarbeteendena vädring, hushållselanvändning, tappvarmvattenanvändning och inomhustemperatur påverka energianvändningen i ett flerbostadshus.

## 1.4 Metod

Till en början utfördes en litteraturstudie i syfte att undersöka hur brukarbeteenden, med störst fokus på vädring, påverkar energianvändning i bostadshus. Litteraturstudien delades upp i ett teoriavsnitt och ett avsnitt där tidigare studier presenterades. En grund skapades i teoriavsnittet genom analys av värmeeffektbalansekvationen där samtliga parametrar presenterades och resonemang kring brukarens möjlighet att påverka parametrarna fördes. Vidare presenterades gällande krav och rekommendationer på inomhusklimatet som är relevanta för arbetet. I avsnittet som behandlade tidigare studier sammanfattades ett antal studier som behandlar ämnet. Studierna ämnades användas för att bygga en förståelse och kunskap inom ämnet energianvändning och brukarbeteenden i bostäder, men även för inhämtning av data till fallstudien. Tidigare gjorda svenska undersökningar samt två internationella studier undersöktes.

När litteraturstudien avslutades påbörjades fallstudien. Syftet med fallstudien var att undersöka ett flerbostadshus mer i detalj där informationen som gavs sedan applicerades i en egen modell som skapades i simuleringsprogrammet IDA-ICE. Platsbesöket gjordes i samarbete med ett pågående forskningsprojekt på avdelningen för Installations- och Klimatiseringslära på Lunds Tekniska Högskola, där en bostadsrättsförenings två flerbostadshus belägna i Umeå undersöktes. Forskningsprojektet gick ut på att studera brukares verkliga vädringsbeteenden sett till öppningsgrad, frekvens och öppningstid genom mätningar på fönster och balkongdörrar. Vid platsbesöken genomfördes även en enkätundersökning där de boende fick svara på frågor om bland annat hur de vädrar. Platsbesöket kompletterade

fallstudien för detta arbete genom uppmätning av luftflöden i samtliga lägenheter som deltar i studien.

När relevanta data samlats in för att appliceras på fallstudien påbörjades modelleringen av flerbostadshuset i IDA – ICE. Ritningar och en energideklaration från flerbostadshuset studerades. Tillsammans med presenterad data från litteraturstudien och sammanställd data från platsbesöket samt resultat från enkätundersökningen på det studerade flerbostadshuset fastställdes indata till simuleringsfallen.

För att få fram resultat av energianvändningen i det modellerade flerbostadshuset från fallstudien sattes ett antal simuleringsfall upp som skulle appliceras i IDA – ICE. Simuleringsfallen varierades delvis genom uppsättning av olika brukarbeteendeprofiler. Parametrarna varierades för att symbolisera slösaktiga fall, medelbrukarfall och sparsamma fall där parametrarna hushållselanvändning, tappvarmvattenanvändning och inomhustemperatur varierades. Indata på dessa profiler ansattes genom litteraturstudien och komplettering av ventilationsindata genom platsbesöket. Efter analys på dessa fall påbörjades simuleringarna som varierade vädringsbeteendet. Ett antal vädringsfall sattes upp baserat på de boendes svar om hur de vädrar i lägenheterna och matades in som indata i IDA – ICE.

När samtliga simuleringsfall hade utförts sammanställdes och jämfördes energianvändningen för fallen och en känslighetsanalys av de varierande parametrarna kunde utföras för att en bättre bild av brukares påverkan på energianvändningen.

## 1.5 Avgränsningar

En litteraturstudie följt av en fallstudie kommer utföras och omfattar följande:

- Den aktuella byggnaden som kommer att studeras är ett flerbostadshus i Umeå med byggår 2004.
- Ventilationssystemet är av typen FTX och skillnader för brukarbeteenden på grund av olika typer av ventilationssystem kommer inte att studeras.
- Det brukarbeteende som studeras i fallstudien är främst vädring där verkliga beteenden kommer att efterfrågas och användas till simuleringar. Brukarbeteenden som hushållselanvändning, varmvattenanvändning och inomhustemperatur kommer studeras och insamlas i litteraturstudien och vidare användas i fallstudien.
- Endast de brukarbeteenden som boende själva kan påverka studeras och justeras i parameterstudien.
- Energianvändningen studeras i form av uppvärmningsenergi, fastighetsel, tappvarmvattenanvändning och hushållsenergi.
- Studien genomförs enligt svenska förhållanden i form av klimatdata från Umeå, byggregler, och standarder.

## 2 Teori och tidigare studier

I detta avsnitt presenteras en teoridel som behandlar relevant kurslitteratur, samt studier som hittats via sökning i Lubsearch, via rekommendationer från handledare men även via svenska myndigheters hemsidor.

### 2.1 Energibalans

En byggnads värmebehov kan delas in i två olika typer, värmeeffektbehov som anges i Watt och värmeenergibehov som anges med kilowattimmar. Värmeeffektbehovet påverkas av en rad olika faktorer och kan studeras genom att ställa upp det som en energibalans. Värmeeffektbalansen i en byggnad, för ett uppvärmningsfall, består av den tillförda och bortförda värmen och uttrycks enligt Warfvinge och Dahlblom (2010) förenklat som en stationär energibalans enligt ekvation 2.1 nedan.

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_j \quad [W] \quad (2.1)$$

Där vänsterledet består av effektförluster i form av transmissionsförluster,  $P_t$ , ventilationsförluster,  $P_v$ , samt effektförluster på grund av oavsiktlig ventilation eller luftläckage,  $P_{ov}$ . Högerledet består av effekttillskott från solinstrålning,  $P_s$ , internt genererad värme,  $P_i$ , samt från värmesystemet,  $P_w$  (Warfvinge & Dahlblom 2010).

#### 2.1.1 Transmissionsförluster

Transmissionsförluster avser värmeflödet genom klimatskalet, det vill säga byggnadens golv, väggar, fönster och tak, men även köldbryggor som uppstått via anslutningar av byggnadsdelar. Detta beräknas rum för rum i en byggnad genom att först beräkna den specifika värmeförlustfaktorn på grund av transmission,  $Q_t$ , och sedan kan värmeeffektbehovet på grund av transmission,  $P_t$ , tas fram (Warfvinge & Dahlblom 2010).

Värmeeffektbehovet uttrycks enligt Warfvinge och Dahlblom (2010) enligt ekvation 2.2 nedan:

$$Q_t = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^m \Psi_k \cdot l_k + \sum_{j=1}^p X_j \quad [W/K] \quad (2.2)$$

Där:

$U_i$  = värmegenomgångstal för en byggnadsdel ( $W/m^2K$ )

$A_i$  = byggnadsdelens invändiga area ( $m^2$ )

$\Psi_k$  = värmegenomgångstal för linjär köldbrygga ( $W/mK$ )

$l_k$  = linjära köldbryggans längd ( $m$ )

$X_j$  = värmegenomgångstal för punktformig köldbrygga ( $W/K$ )

Vidare kan värmeeffektbehovet,  $P_t$ , beräknas med hjälp av den specifika värmeförlustfaktorn på grund av transmission,  $Q_t$ , och temperaturskillnaden mellan inomhus och utomhus enligt:

$$P_t = Q_t \cdot (T_{inne} - T_{ute}) \quad [W] \quad (2.3)$$

Där:

$T_{inne}$  = inomhustemperatur (°C)

$T_{ute}$  = utomhustemperatur (°C)

(Warfvinge & Dahlblom 2010). Från ekvationen kan det noteras att inomhustemperaturen är det en brukare kan påverka i energibalansen när det kommer till transmissionsförluster. Genom att sträva efter en lägre inomhustemperatur kan transmissionsförlusterna minska.

### 2.1.2 Ventilationsförluster

Ventilationsförluster innebär förluster som uppkommer från temperaturskillnader mellan inne och uteluften som tas in i byggnaden via ventilationen. Här kan både uppvärmning i rummet via radiatorer och även uppvärmning i luftbehandlingsaggregat via exempelvis värmeåtervinnare inkluderas. För bestämning av effektförlusten på grund av ventilation i rummet beräknas först ventilationens specifika värmeförlustfaktor,  $Q_v$ , och sedan kan värmeeffektbehovet,  $P_v$ , beräknas med hjälp av den ventilationens specifika värmeförlustfaktor och temperaturskillnaden mellan inomhus och utomhus enligt ekvation 2.4 och 2.5 nedan.

$$Q_v = \rho \cdot c_p \cdot q_v \quad [W/K] \quad (2.4)$$

Där:

$\rho$  = luftens densitet, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  = luftens specifika värmekapacitet, 1000 J/kg K

$q_v$  = styrt ventilationsflöde (m<sup>3</sup>/s)

$$P_v = Q_v \cdot (T_{inne} - T_{ute}) \quad [W] \quad (2.5)$$

Där:

$Q_v$  = specifik effekt för värmning av ventilationsluften (W/°C)

$T_{inne}$  = inomhustemperatur (°C)

$T_{ute}$  = utomhustemperatur (°C)

(Warfvinge & Dahlblom 2010). Även i detta fall kan en lägre inomhustemperatur påverka ventilationsförlusterna, genom att brukare strävar efter en lägre inomhustemperatur kan ett lägre  $T_{inne}$  fås, därav lägre effektbehov på grund av ventilation.

### 2.1.3 Förluster på grund av luftläckage

Enligt Warfvinge och Dahlblom (2010) syftar effektförluster på grund av oavsiktlig ventilation till uppvärmningsbehovet av luften som kommer in och ut i byggnaden på grund av luftläckage i klimatskalet. För bestämning av förlusterna beräknas först den specifika läckageförlusten,  $Q_{ov}$ , enligt ekvation 2.6:

$$Q_{ov} = \rho \cdot c_p \cdot q_{ov} \quad [W/K] \quad (2.6)$$

Där:

$\rho$  = luftens densitet, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$c_p$  = luftens specifika värmekapacitet, 1000 J/kg K

$q_{ov}$  = oavsiktligt ventilationsflöde (m<sup>3</sup>/s)

Vidare bestäms värmeeffektbehovet enligt ekvation 2.7:

$$P_{ov} = Q_{ov} \cdot (T_{inne} - T_{ute}) \quad [W] \quad (2.7)$$

Där:

$T_{inne}$  = inomhustemperatur (°C)

$T_{ute}$  = utomhustemperatur (°C)

(Warfvinge & Dahlblom 2010). När det kommer förluster på grund av luftläckage kan brukarna komma att påverka energibalansen återigen genom att hålla nere inomhustemperaturen. Ett lägre  $T_{inne}$  kan ge lägre värmeeffektbehov på grund av oavsiktlig ventilation. Genom att vädra kan brukare även öka flödet vilket också genererar en högre specifik läckageförlust,  $Q_{ov}$ , vilket i sin tur ger ett högre värmeeffektbehov.

### 2.1.4 Solinstrålning och internvärme

Effekttillskott på grund av solinstrålning och internt genererad värme avser transmitterad solinstrålning genom fönster, samt gratisvärme som tillkommer från de personer som vistas i byggnaden, apparater och lampor (Warfvinge & Dahlblom 2010).

### 2.1.5 Brukares inverkan på energibalansen

Sammanfattningsvis när det kommer till energianvändning för uppvärmning är den mest tydliga faktorn som brukare kan påverka inomhustemperaturen. Denna ingår i samtliga ekvationer för värmeeffektförluster. Genom att ha en lägre inomhustemperatur under uppvärmningssäsongen minskar värmeeffektbehovet.

Vidare kan den så kallade gratisvärmen, som kommer från solinstrålning genom fönster och internvärme från människor och apparater, antas vara en betydande faktor då den kan hjälpa till med uppvärmningen och eventuellt avlasta värmesystemet. De brukarbeteenden som går in på dessa poster är dels användning av exempelvis

solavskärmning i fönstren, dels användande av hushållsel eller antal personer som vistas i en bostad eller ett utrymme.

Ett brukarbeteende som kan vara betydande utan att tydligt framgå i tidigare delavsnitt är vädring. Vädring kan räknas in i oavsiktlig ventilation, och det har även en inverkan på inomhustemperaturen som ingår i samtliga poster, eftersom öppning av ett fönster under uppvärmningssäsongen innebär att kall luft tas in och sänker inomhustemperaturen. Det är därför en utmaning att räkna in vädring som en tydlig faktor i det förenklade stationära uttrycket.

Svårigheten med att hantera vädring i den stationära effektbalansen gör att ett dynamiskt simuleringsprogram kan vara en mer lämplig metod att använda sig av för att hantera den vädring som detta examensarbete vill undersöka. I ett dynamiskt simuleringsprogram som IDA – ICE kan en modell av byggnaden byggas upp för att sedan i detalj studera både beräkningar av inomhusklimat och energianvändning. IDA – ICE kan studera flera variabler samtidigt vilket grundar sig i ekvationer där värmeeffektbalansen ingår som en av ekvationerna. Att använda sig av ett dynamiskt simuleringsprogram kan ge mer noggranna beräkningar än att beräkna den stationära effektbalansen för hand.

## 2.2 Inomhusklimat

Enligt Boverket (2022a) spenderar människor i Sverige cirka 90 % av sin tid inomhus, detta inkluderar tiden som spenderas hemma, skola eller arbetsplats. Inomhusmiljön påverkar människans välbefinnande och det är därför av intresse att skapa ett bra inomhusklimat. I BBR:s och Folkhälsomyndighetens föreskrifter och allmänna råd finns riktlinjer och rekommendationer om bland annat inomhustemperaturer och luftkvalitet, dessa presenteras i följande avsnitt.

### 2.2.1 Inomhustemperatur

Enligt Folkhälsomyndigheten (2022b) kan höga inomhustemperaturer leda till symptom såsom illamående, huvudvärk och trötthet. Vid extrema inomhustemperaturer, som kan inträffa under värmeböljor kan mer allvarliga konsekvenser fås, effekter på värme kan vara både sjuklighet och dödlighet (Folkhälsomyndigheten 2022a). Vid för kalla inomhustemperaturer kan blodtrycket påverkas och tros enligt Folkhälsomyndigheten kunna öka risken för lungrelaterade sjukdomar samt hjärt- och kärlsjukdomar (Folkhälsomyndigheten 2022b).

I Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperaturer inomhus (FoHMFS 2014:17) anges råd för inomhustemperaturer i bostadsutrymmen, vilket inkluderar exempelvis kök, sovrum, vardagsrum och badrum. Däremot gäller inte föreskrifterna vid extrema väderförhållanden. I föreskriften rekommenderas den operativa temperaturen till 20 – 23 °C, med riktvärde på en varaktig temperatur på max 24 °C under vinter och 26 °C under sommaren. Vidare anges riktvärdet på den operativa temperaturen till 26 °C

under kortvariga perioder, med en maximal operativ temperatur på 28 °C under sommaren. Riktvärdet för lägsta operativa temperaturen anges till 18 °C.

### **2.2.2 Luftkvalitet**

I Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation (FoHMFS 2014:18) finns riktvärden att följa för att undvika bristande luftkvalitet i bostäder och lokaler där det bland annat står ”Om koldioxidhalten överstiger i ett rum vid normal användning regelmässigt överstiger 1000 parts per million (ppm), bör detta ses som en indikation på att ventilationen inte är tillfredställande” (FoHMFS 2014:18, s.1). Ett annat riktvärde från Folkhälsomyndigheten är att luftomsättningen inte bör understiga 0,5 rumsvolym per timme (rv/h) samt att uteluftsflödet inte får understiga 4 l/s per person (FoHMFS 2014:18).

För att säkerställa att ventilationssystemet kan föra bort hälsofarliga ämnen, luftföroreningar, obehaglig lukt och tillföra frisk luft till byggnaden står det i Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR att uteluftsflödet inte får understiga 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golvarea (BFS 2011:6).

## **2.3 Brukarindata**

I följande avsnitt presenteras relevanta föreskrifter och rekommendationer, utdrag från branschstandarder samt undersökningar om brukarindata som utförts på uppdrag av myndigheter.

### **2.3.1 BEN 2 (BFS 2017:6)**

Vid bestämning av en byggnads energianvändning per år används Boverkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnads energianvändning vid normalt brukande och ett normalår (BEN) som hjälpmedel för hur brukarindata ska hanteras för beräkningar av energianvändningen. I föreskriften behandlas både fastställande om faktorer som används vid mätning och beräkning. Detta används både vid beräkning av en byggnads primärenergital och vid bedömning av en byggnads energiprestanda som görs vid energideklarering (Boverket 2020a).

I Tabell 1 nedan presenteras en sammanställning av brukarindata för ett flerbostadshus energianvändning (BFS 2017:6).

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 1. Sammanfattning av brukarindata för flerbostadshus enligt BEN 2 (BFS 2017:6).

Parameter	Delparameter	Värden
Innetemperatur	Uppvärmningssäsong	21 °C
Luftflöden	Forcering i kök	30 min/dygn
Solavskärmning	Avskärmningsfaktor	0,71
Tappvarmvatten	Där $\eta_{tv}$ är årsverkningsgraden för produktion av varmvatten hos värmekällan	$25/\eta_{tv}$ kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> år
Hushållsenergi	-	30 kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> år
Internlast	Tillgodoräknas under uppvärmningssäsongen	70 %
Personvärme	Effektavgivning	80 W/person
Personvärme	Närvarotid	14/7/52 (h/d/v)
Vädringspåslag	Ökad energianvändning på grund av vädring	4 kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> år

I föreskriften tillkommer även en kompletterande tabell där värden för antal personer i bostaden fastställs i Tabell 2 (BFS 2017:6).

Tabell 2. Utdrag ut Boverkets föreskrifter i BEN 2 om antal personer i en bostad (BFS 2017:6).

Antal rum och kök	1	2	3	4	5+
Personer	1,42	1,63	2,18	2,79	3,51

### 2.3.2 Sveby

Sveby är en svensk branschstandard för energi i byggnader som drivs av bygg- och fastighetsbranschen där materialet har tagits fram med hjälp av flera större företag i byggbranschen. I Svebys Brukarindata för bostäder från 2012 presenteras brukarrelaterade indata som är framtagen med intentionen att standardisera indata om brukarens inverkan som används för att underlätta beräkning av energianvändning för bostäder.

För att ta hänsyn till ökad luftomsättning som kan ske vid vädring rekommenderar Sveby (2012) ett schablonpåslag på den framräknade energiprestandan med 4 kWh/m<sup>2</sup> år. Sveby (2012) menar på att både variationen och osäkerheterna är stora kring vad som är normala vädringsvanor vilket kan påverka schablonpåslaget. Hur mycket och hur länge brukaren vädrar påverkar vilken luftomsättning som erhålls (Sveby 2012).

För att förstå vilken påverkan de boendes vädringsvanor har på energianvändningen har Sveby (2012) sammanställt olika studier om brukares vädringsbeteende. Från Stockholmsenkäten som Sveby (2012) refererar till redovisas bland annat statistik för



vädringsvanor i flerbostadshus byggda mellan 1930-talet till 2007 där brukare har fått svara på frågor om vädringstider och frekvens.

I ytterligare en studie som sammanfattas av Sveby (2012) genomfördes en utökad Stockholmsenkät i MEBY-projektet där enkätresultaten från 393 lägenheter visade att 75 % vädrar dagligen och att 20 % vädrar genom att ha fönster eller balkongdörr öppet antingen ständigt, hela dagen eller hela natten. Från en tredje icke benämnd enkätstudie som Sveby (2012) har sammanfattat visade det sig att av 600 hushåll i flerbostadshus vädrade 39 % sin bostad dagligen följt av 37 % någon gång i veckan under vinterhalvåret. 12 % vädrade istället ett par gånger i månaden medan 9 % aldrig vädrade (Sveby 2012).

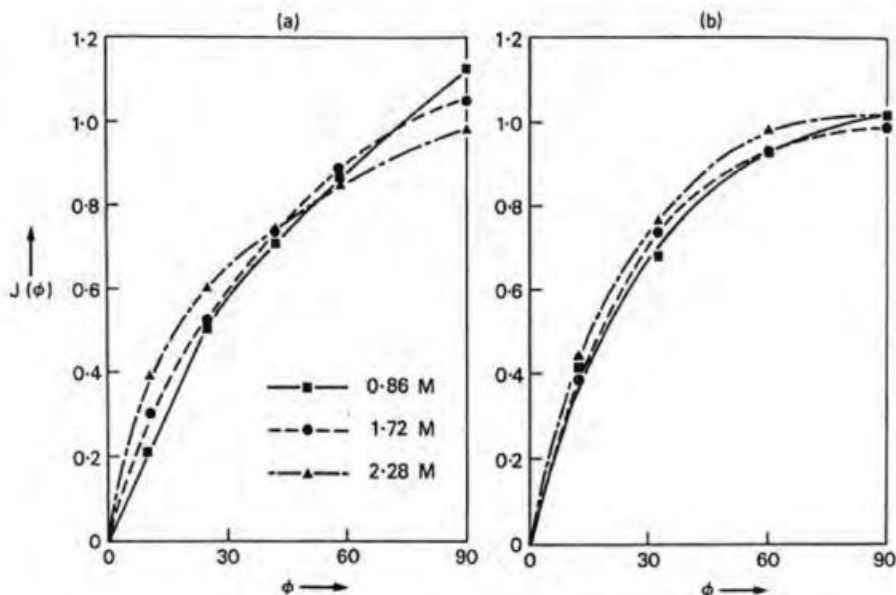
### **2.3.3 BETSI**

BETSI är en undersökning som utfördes under uppvärmningssäsongen 2007 – 2008 av Boverket, på uppdrag av regeringen (Boverket 2022d). BETSI (bebyggelsens energianvändning, tekniska status och innemiljö) gjordes i form av en rikstäckande undersökning av de tre huvudkategorierna flerbostadshus, småhus och lokaler, där data samlades in genom besiktningar, enkätundersökningar och mätningar. Syftet var att ta fram ett riksgenomsnitt för den tekniska statusen i byggnaderna och hur de boende upplever inomhusmiljön. Flerbostadshusen och småhusen delades vidare in i fem ålderskategorier, där den undre gränsen drogs från "före 1961" och den övre gränsen drogs vid 2005. Totalt besiktigades 826 småhus och 560 flerbostadshus. Enkätundersökningarna, som behandlade upplevd ohälsa av de boende, besvarades av 5756 vuxna boende i flerbostadshus och 3890 vuxna boende i småhus (Boverket 2022d).

Resultatet från enkätundersökningarna inkluderade bland annat svar på frågor om vädring angående frekvens och vädringstiden per tillfälle under uppvärmningssäsongen i flerbostadshus, där resultaten sorterades efter kategorin byggnadsålder (Boverket 2009). Resultaten visade på att vädringsfrekvensen var som lägst bland de boende i de äldsta och yngsta lägenheterna och endast 7 % av boende i flerbostadshus angav att de "vädrade sällan/aldrig". Det vanligaste var att vädra dagligen då 67 % angav att de vädrar dagligen, där något fler (71 %) av de boende i flerbostadshus byggda mellan år 1976 – 1985 angav att de vädrade dagligen (Boverket 2009).

### **2.3.4 Öppningsgrad vid vädring**

Vid vädring av ett fönster kan öppningsgraden av fönstret vara av intresse för att få reda på hur flödet genom öppningen förändras beroende på hur öppet fönstret är. I en rapport skriven av Nordquist (1998) studerades ett fönsters öppningsvinkel i ett försök att översätta den till ett resulterande flöde. Nordquist (1998) presenterar förhållandet mellan fönstrets öppningsvinkel och det resulterande flödet via diagrammet som finns i Figur 1 nedan. Det högra diagrammet i Figur 1 gäller för pivot-fönster och det vänstra diagrammet gäller för ett sido-hängt fönster.



Figur 1. Resultande flöde beroende på fönstrets öppningsvinkel (Nordquist 1998, s. 51).

Vidare kan flödet,  $q$ , enligt Nordquist (1998), beräknas genom insättning av det avlästa värdet  $J(\theta)$  i följande grundformel, ekvation 2.8:

$$q = J(\theta) C_D \frac{B}{3} \sqrt{\frac{\Delta T g H^3}{\bar{T}}} \quad [m^3/s] \quad (2.8)$$

Där  $C_D$  är en kontraktionskoefficient för öppning (-),  $B$  är öppningens bredd (m),  $H$  är öppningens höjd (m),  $\Delta T$  är temperaturskillnaden mellan inne och ute ( $^{\circ}C$ ) och  $\bar{T}$  är medeltemperatur ( $^{\circ}C$ ).

## 2.4 $A_{temp}$ – definition

Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR definierar  $A_{temp}$  som summan av golvarean, som begränsas av klimatskärmens insida, för samtliga våningsplan, vindsplan och källarplan som avses att värmas till mer än  $10^{\circ}C$ . För flerbostadshus räknas  $A_{temp}$  till den area som upptas av innerväggar, öppningar för trappa, schakt och dylikt. Det innebär att uppvärmda allmänna utrymmen i flerbostadshus som hiss, trapphus, korridor samt undercentral räknas med i  $A_{temp}$ .  $A_{temp}$  används vid beräkning av en byggnads uppvärmningsenergi.

## 2.5 Tidigare studier

I detta avsnitt redovisas den litteraturstudie som utförts för att lägga en grund för fallstudien och för att få en överblick över tidigare forskning inom området. Både internationella och svenska studier har studerats, där de internationella studierna som refereras nedan har hittats via databasen LUBsearch. Vidare sammanfattas tre svenska studiers resultat, dessa studier har hittats genom rekommendationer från handledaren.

### 2.5.1 Internationella studier

Litteraturen för de internationella studierna har hittats via sökningar på LUBsearch med sökorden: "occupant behavior", "building energy consumption", "residential building" och "window opening".

Den första studien som presenteras, "Understanding energy consumption in high-performance social housing building: A case study from Canada" är skriven av Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) och är en studie som behandlar skillnaden mellan den verkliga och den beräknade energianvändningen i ett flerbostadshus som eftersträvar passivhusstandard.

Den andra studien, "Occupant behavior regarding the manual control of windows in buildings" skriven av Jeong, Jeong och Park (2016), är en fördjupande studie inom brukarbeteendet vädring där en betydande brytpunkt i beteendet då utomhustemperaturen översteg 12,7°C presenteras. Studien fann att frekvensen och öppningstiden för vädringen ökade vid denna utetemperatur.

#### 2.5.1.1 Understanding energy consumption in high-performance social housing building: A case study from Canada

I en studie skriven av Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) presenteras en studie av ett nybyggt flerbostadshus för "social housing" i Quebec City, Kanada. Flerbostadshuset designades för att efterlikna ett passivhus och har studerats för att undersöka vad som orsakar ett energiprestandagap som enligt Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) är skillnaden mellan den verkliga energianvändningen och den beräknade energianvändningen gjord genom simuleringar.

Syftet med studien var dels att jämföra den förväntade energianvändningen mot den uppmätta energianvändningen, dels att öka kunskapen kring vilka parametrar som påverkar energianvändningen mest (Rouleau, Gosselin & Blanchet 2017).

#### Metod

I studien utfördes simuleringar för att beräkna byggnadens energianvändning som sedan jämfördes med mätdata från övervakning genom sensorer i byggnaden.

För att simulera byggnadens energianvändning innan uppförandet av byggnaden använde Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) en programvara kallad Passive House Planning Package (PHPP) som är ett energiberäkningsverktyg för byggnader och

används som stöd för att designa passivhusbyggnader. Programmet är utvecklat av Passivhaus Institute (PHI) som ställer krav på att programmet måste användas för att erhålla passivhuscertifiering (Rouleau, Gosselin & Blanchet 2017).

Byggnaden som modelleras i programmet är ett flerbostadshus med FTX-system och fjärrvärme. Flerbostadshuset har en total golvyta på 3024 m<sup>2</sup> och består av 40 lägenheter där totalt 90 personer med medelåldern 26,6 år är bosatta. Byggnadens planlösning är symmetrisk och har därför utformats med två olika stomsystem i vardera halva i syfte att undersöka om valet av stomsystem ger någon signifikant skillnad i energianvändning mellan lägenheterna. Båda stomsystemen är av trä men den ena halvan har tyngre KL – träpaneler medan den andra halvan består av ett lättare ramverk.

Vidare använder Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) mätutrustning för att under ett års tid samla in data kring energianvändning och termiskt klimat kopplat till VVS systemet där 350 mätpunkter kontinuerligt samlade in data med en 10 minuters frekvens. För att mäta vattentemperaturer, flöde och energi i rör installerades sensorer vid värmeväxlare, radiatorer och i spolrar som förser ventilationssystemet med energi. Sensorer installerades även i tappvarmvattensystemet för varje enskild bostad.

Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) beslutade även att installera ytterligare sensorer i åtta utvalda hörnlägenheter för att kunna mäta temperaturen på inomhusluften, den relativa fuktigheten och elförbrukning. Utöver detta kontrollerades även statusen på dels den mekaniska till- och frånluftventilation eftersom brukaren hade möjligheten styra ventilationssystemet genom att stänga av och på, dels om fönstret var öppet eller stängt.

### **Resultat**

Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) beräknade genom simulering att byggnaden skulle använda 16,6 kWh/m<sup>2</sup> för uppvärmning och 74,3 kWh/m<sup>2</sup> för total energianvändning. Efter mätningarna visade det sig att den faktiska användningen var 36,9 kWh/m<sup>2</sup> respektive 129,1 kWh/m<sup>2</sup>. Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) menar på att dessa värden kan skilja sig på grund av osäkerheter kring antaganden gjorda i simuleringen där exempelvis inverkan av vädring och temperatur visade sig ha stor betydelse för uppvärmningsbehovet som i sin tur är direkt relaterat till brukarens beteende. Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) kom fram till att de viktigaste faktorerna för att spara energi i det undersökta flerbostadshuset var el och tappvarmvattenanvändningen eftersom fördelning av byggnadens totala energibehov var enligt följande; tappvarmvatten 38,3 %, el 33,1 % och uppvärmning 28,6 %.

Vid jämförelsen av energibehovet mellan varje lägenhet observerades stora skillnader där den lägsta konsumtionen var 54,1 kWh/m<sup>2</sup> och den högsta konsumtionen var 273 kWh/m<sup>2</sup>. Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) kunde vid denna jämförelse notera att endast sex lägenheter hade en lägre energikonsumtion än den beräknade och att lägenheterna hade en standardavvikelse på 53,3 kWh/m<sup>2</sup>. För de lägenheter som hade

en högre energianvändning kunde Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) se att detta främst berodde på den höga tappvarmvattenanvändningen vilket tydligt visar på brukarnas inflytande. Resultat från mätningen av tappvarmvattenanvändning visade att varje brukare använde i medeltal 58,3 liter varmvatten per dag vilket var lägre än genomsnittet för en kanadensare som använder 75 liter varmvatten per dag. Från maj till september gjorde brukarna av med 711 m<sup>3</sup> tappvarmvatten vilket motsvarar 51,4 MWh för vattenvärmesystemet (Rouleau, Gosselin & Blanchet 2017).

Med hjälp av mätningarna kunde Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) undersöka relationen mellan en lägenhets storlek och dess energibehov. Resultatet visade att det var svårt att avgöra en lägenhets tappvarmvatten-, energi, och elanvändning samt uppvärmningsbehov utefter lägenhetsstorlek. Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) kom även fram till att antalet boende i lägenheten inte var av så stor betydelse för skillnaden i energianvändning mellan lägenheter. Eftersom varje lägenhet har samma HVAC system tyder det på att brukarens beteende har stort inflytande på energibalansen i en lägenhet enligt Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017). Vid jämförelsen mellan byggnadens olika väggkonstruktioner och lägenheternas placering i förhållande till väderstreck kom studien fram till att ingen betydande skillnad i energianvändning observerades.

För de åtta utvalda lägenheterna gjordes en regressionsanalys kopplat till uppvärmningsbehovet för att kunna identifiera vilken parameter som i energibalansen för en bostad drev behovet av värme. Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) kom fram till att de parametrar som drev på radiatorerna var temperaturskillnaden mellan utomhus- och inomhusförhållanden, elförbrukning, vädring och solstrålning där de tre första parametrarna är starkt beroende av brukarens beteende. Under uppvärmningssäsongen som sträcker sig från oktober till april var medeltemperaturen inomhus i de åtta utvalda lägenheterna 23,9°C vilket visade sig vara högre än medeltemperaturen i kanadensiska hushåll, 20,8°C, under denna säsong.

Avslutningsvis sammanfattade Rouleau, Gosselin och Blanchet (2017) att energibehovet avsevärt kan skilja sig mellan identiska bostäder enbart på grund av brukarens beteende. Brukarbeteendets komplexitet och variation förklarar därför svårigheten av att göra en korrekt förutsägelse av byggnadens energianvändning (Rouleau, Gosselin och Blanchet 2017).

### **2.5.1.2 Occupant behavior regarding the manual control of windows in buildings**

I en artikel skriven av Jeong, Jeong och Park (2016), presenteras en studie där vädringsbeteenden har undersökts för att koppla brukarnas dagliga aktiviteter till vädringen i flerbostadshus samtidigt som yttre faktorer såsom utomhusklimat även undersöktes. Artikelförfattarna menar på att de mer omfattande studierna som tidigare gjorts på kontorsbyggnader, där brukarnas vädringsbeteenden undersökts borde skilja sig från vädring i bostäder, och därför utfördes studien i form av en enkätundersökning

som delades ut till hushåll i tre olika flerbostadshus i Seoul, Sydkorea (Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. 2016).

Syftet med undersökningen var att hitta underlag till varför brukare vädrar sina bostäder för vidare studier samt för att kvantifiera inverkan på faktorer både inomhus och utomhus som spelar in (Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. 2016).

### **Metod**

Undersökningen utfördes i tre olika flerbostadshus lokaliserade i en förort till Seoul, Sydkorea där 20 hushåll tilldelades enkäter som fylldes i för att spåra tidpunkt samt orsak till vädring. Vidare utfördes även mätningar av inomhusklimatet där den torra temperaturen, relativa fuktigheten, CO<sub>2</sub>-halten, samt grova partiklar (PM10) mättes upp i respektive lägenhets vardagsrum eller matsal. Utomhustemperaturer samt relativ fuktighet utomhus hämtades från närmsta metrologiska station. Data till undersökningen delades upp i två delar, till uppvärmningsperioden (December – Februari) och till icke – uppvärmningsperiod (Februari – Maj), för att kvantifiera de yttre miljöfaktorerna (Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. 2016).

Hushållen som studerades valdes ut noggrant av Jeong, Jeong och Park (2016), där hushållen som enligt författarna var av intresse var boende med huvudsaklig sysselsättning inom hemmet, som i det aktuella fallet var hemmafruar. Övriga faktorer som spelade in när urvalsgruppen valdes var antalet familjemedlemmar i hushållet, lägenhetens storlek, våningsnummer samt hur länge hushållet varit boende i lägenheten.

De tre studerade husens olika ventilationssystem var av typerna mekanisk FT – och FTX – system, samt av F – ventilationssystem.

Enkäterna som delades ut var av subjektiv karaktär med tre delar som inkluderade personlig information, generellt ventilationsbeteende och ett bifogat formulär om vädringsaktiviteten i bostaden. I delen som handlade om personlig information inkluderades information som kön, ålder, inkomst, och boendetid. Vidare behandlade andra delen av enkäten information som möjligtvis kunde påverka vädringsbeteendet i bostaden, vilket inkluderade frågor angående det mekaniska ventilationssystemet, vädringen och eventuella luftrenare. Den sista delen av enkäten innehöll ett formulär som utformades som en aktivitetslogg som skulle fyllas i varje gång ett fönster öppnades, samtidigt skulle orsaken till fönsteröppningen samt den termiska komforten noteras (Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. 2016).

### **Resultat**

Resultatet visade på att vädringen starkt kunde kopplas till brukarnas dagliga aktiviteter. Enligt undersökningen kunde ungefär 27 % av vädringstillfällena kopplas till matlagning, 40 % till städning och 33 % för att få in frisk luft. Jeong, Jeong och Park (2016) hävdar att den största anledningen till att man vädrar alltså kan kopplas direkt till aktiviteter (ca 67 %) snarare än att bara få in frisk luft. Antalet öppningar av

fönster per dag i de studerade hushållen varierade mellan 0,5 – 1,8 per dag och antalet vädringstimmar varierade mellan 0,4 – 6,0 timmar per dag, med ett medelvärde på 1,8 timmar per dag för hela perioden.

Fortsättningsvis visade resultaten på att brukarnas vädringsbeteende även berodde på utomhustemperaturen. Under icke – uppvärmningssäsong visade sig vädringen vara ett mer frekvent beteende och brukarna lät även fönsterna stå öppna längre än under uppvärmningssäsongen. Det visades en märkbar ökning då utomhustemperaturen översteg 12,7°C utomhus (Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. 2016).

När det kom till stängning av fönsterna, uppmärksammades det att det 90,6 % av de öppnade fönsterna stängdes innan inomhustemperaturen sjunkit med 4°C under uppvärmningssäsongen. Under uppvärmningssäsongen visade det sig att inomhustemperaturen, den relativa fuktigheten inomhus, samt temperaturminskningen inomhus vägde tyngst när det kommer till att stänga fönstret. Under icke-uppvärmningssäsong visade resultaten på att inomhustemperaturen, utomhustemperaturen och CO<sub>2</sub> koncentrationen var de faktorer som spelade in mest. Som slutsats var inomhustemperaturen den variabel som spelade in mest under bägge säsongerna (Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. 2016).

Författarna presenterade inga resultat av studien som behandlade eventuella skillnader i vädringsbeteende beroende på ventilationssystem.

Slutligen anger artikelförfattarna att de två huvudsakliga anledningarna till att man vädrade ett inomhusutrymme utan luftkonditionering var för att förbättra luftkvaliteten inomhus eller för att kyla ner inomhustemperaturen och öka luftrörelserna inomhus (Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. 2016). Däremot menar Jeong, Jeong och Park (2016) på att det inte var troligt att brukarna öppnade fönsterna under uppvärmningssäsongen för att kyla ner, utan att det mest troliga var att de ville förbättra luftkvaliteten inomhus under denna period.

## **2.5.2 Svenska studier**

De svenska studier som presenteras i detta avsnitt är en fördjupad studie av vädring följt av två examensarbeten som studerar energianvändningen kopplat till brukarbeteenden i ett plusenergihus samt ett miljonprogramshus, där det senare behandlar vädring lite djupare.

### **2.5.2.1 Flagghusen**

I en studie om inomhusklimat, ventilationssystem och vädringsbeteende skriven av Nordquist (2017) presenteras en fördjupad uppföljning av Flagghusen. Flagghusen är ett bostadsområde i Malmö som uppfördes mellan 2005 – 2007 och består av 16 fastigheter med totalt 630 lägenheter med en övervägande majoritet med FTX-system. Två år efter uppförandet visade det sig att många fastigheter hade en högre energianvändning än beräknat vilket bidrog till behovet av att genomföra en fördjupad

undersökning kring energianvändning och inomhusklimat av Flagghusen (Nordquist 2017).

I Nordquist (2017) studie består inomhusklimatuppföljningen av en enkätundersökning och en fördjupad mätstudie. Enligt Nordquist (2017) påverkar vädring både energianvändningen och inomhusklimatet varpå syftet med inomhusklimatuppföljningen har varit att undersöka de lägenheter där vädring förekommer i större omfattning. Genom enkätundersökningen har de boende fått svara på hur de upplever inomhusklimatet men även svarat på frågor om vanor kring energi och vädring.

Från den fördjupade studien av vädring kom Nordquist (2017) fram till att under uppvärmningssäsongen vädrar 55 % dagligen eller nästan varje dag. Vidare svarade 26 % av brukarna att de vädrar någon gång i veckan och 12 % någon gång i månaden. Till sist presenterade Nordquist (2017) att 8 % vädrar sällan eller aldrig. Vidare har Nordquist (2017) undersökt orsakerna kring varför de boende vädrar under uppvärmningssäsongen där den främsta anledningen var på grund av vana eller att brukaren hade det som rutin. Därefter var vädring på grund av upplevelse av instängd dålig luft, dålig luftkvalitet en anledning följt av det termiska klimatet. Utöver dessa orsaker nämner Nordquist (2017) att något färre svarar annan orsak eller upplever att övrig ventilation är otillräcklig.

Nordquist (2017) enkät ställde även frågan kring varför brukaren slutar vädra där 44 % svarade att detta berodde på att man fått tillräckligt mängd oanvänd luft. De två näst största anledningarna var på grund av för kall uteluft (25 %) följt av för stark blåst (20 %) (Nordquist 2017). 16 % svarar att de slutar vädra när de nått tillräckligt låg inomhustemperatur och 14 % säger att de stänger efter en viss tid på grund av vana. Regn, buller eller drag är andra små faktorer som bidrar till att brukaren vill sluta vädra enligt Nordquist (2017).

Vid frågan om hur brukaren vädrar kom Nordquist (2017) fram till att 55 % har öppet vädringsfönster/fönster hela dagen/natten eller några timmar dagligen under uppvärmningssäsongen. Hur stor öppning brukaren väljer att vädra med varierar från mindre än 10 cm till mer än 50 cm. Nordquist (2017) presenterar att 49 % öppnar på glänt, 32 % har det halvöppet medan endast 7 % öppnar helt. När brukaren väl vädrar har Nordquist (2017) kommit fram till att väldigt få öppnar flera fönster eller mindre vädringsfönster och att brukaren istället väljer att endast öppna ett fönster eller balkongdörren. Enligt Nordquist (2017) är det vanligast att öppna ett fönster i sovrum eller balkongdörren i vardagsrum.

Till sist har Nordquist (2017) undersökt hur lång tid brukaren vädrar totalt varje dag under de olika årstiderna. Nordquist (2017) förklarar att vädringstiden ökar ju varmare uteklimatet blir.



### 2.5.2.2 Spara och slösa i plusenergihus

Alfred Forsberg och Ebba Lind har i studien Spara och Slösa (2021) undersökt hur brukare kan påverka energianvändningen i plusenergihus. En fallstudie utfördes där ett plusenergihus energianvändning simulerades i programmet IDA – ICE med indata för olika simuleringsfall som ska representera olika brukartyper, den sparsamma, den slösaktiga och normalbrukaren. Vid indelning av de olika beteendena i de nämnda kategorierna användes regelverk och tidigare studiers indelningar tillsammans med uppmätt statistik, där indata hämtades från mätningar i verkliga bostäder. Därav kunde författarna dela in den sparsamme brukaren till att representera 5:e percentilen av de som använder minst hushållsel, lägst varmvattenanvändning och lägst temperaturinställning, den slösaktige till 95:e percentilen av de brukare som använder mest hushållsel, har högst varmvattenanvändning och högst temperaturinställning och slutligen normalbrukaren som representerade av 45 – 55:e percentilen inom användningen. Vidare delades vädringsvanorna in på samma sätt för att representera de sparsamma, slösaktiga samt normalbrukare. Simuleringsfallen testades även med klimatdata från både norra och södra Sverige (Kiruna och Malmö) för jämförelse mellan de olika klimatförhållandena.

Värdena för sparsamma och slösaktiga brukare tillsammans med de olika filerna med klimatdata användes vidare i olika kombinationer för att kunna dra slutsatser i brukarbeteendets betydelse för energianvändningen. Resultaten påvisade att energianvändningen ökade vid simuleringen då klimatdata från norra Sverige användes, vilket förklarades av att behovet av uppvärmningsenergi ökade (Forsberg & Lind 2021).

För att en jämförelse skulle kunna göras mellan parametrarna som har olika enhet gjordes en känslighetsanalys. Analysen visade på vilka parametrar som varierade mest och minst med ett slösaktigt och sparsamt beteende, vilket för Malmöfallet var varmvattenanvändningen respektive ventilationen. Att höja uteluftsflödet via ventilationssystemet till 7 l/s + 0,35 l/s m<sup>2</sup> ger, på grund av den höga återvinningsgraden, endast en ökning på energianvändningen på 3,1 % i Malmö och 7,2 % i Kiruna. Datapunkterna som användes i studien för att variera varje parameter presenteras i Tabell 3 nedan.

Tabell 3. Datapunkter från Forsberg och Lind (2021) känslighetsanalys.

Parameter	Fall
Inomhustemperatur	[18,6 19 20 21 22 23 24 25,8] °C
Hushållselanvändning	[14,2 30 46] kWh/A <sub>temp</sub> , år
Varmvattenanvändning	[8,9 20 49,4] kWh/A <sub>temp</sub> , år
Ventilation	[0,35 l/s, A <sub>temp</sub> närvarostyrd 14h/dag 0,35 l/s, A <sub>temp</sub> 24h/dygn 0,35 l/s, A <sub>temp</sub> + 7 l/s, person 24h/dygn]
Vädning	Vädringsfall enligt studiens fall från "låg" till "hög" vädning

För Kirunafallet visade sig vädringen vara den parameter som varierade mest vid ett slösaktigt och sparsamt beteende, och som för Malmöfallet var ventilationen den som varierade minst.

Vidare presenterades ordningen på de parametrar som ökade energianvändningen mest enligt:

1. Vädring
2. Varmvattenanvändning
3. Inomhustemperatur
4. Hushållselanvändning
5. Närvarostyrd ventilation

De parametrar som studerades som minskade energianvändningen mest vid sparsamt beteende var:

1. Varmvattenanvändning
2. Inomhustemperatur eller Hushållselanvändning (beroende på ort)
3. Ventilation

Där vädringen inte kunde testas på ett mer sparsamt sätt (Forsberg & Lind 2021). En slutsats som drogs från dessa resultat var att ett välfungerande ventilationssystem var viktigt för att inte vara beroende av vädring under uppvärmningssäsongen. Det kommenterades även att det inte antas vara ett verkligt beteende att vädra lika mycket i Kiruna som i Malmö under uppvärmningssäsongen på grund av det kallare klimatet, därav borde vädringspåslaget på 4 kWh/m<sup>2</sup> som idag är samma för hela landet även ses över och varieras efter klimatzon för att få en bättre approximation (Forsberg & Lind 2021).

Forsberg och Lind (2021) presenterade vidare att simuleringarna visade på att den verkliga medelbrukaren använder 13 % mer energi än vad BEN – data anger. Simuleringarna visade även att den slösaktige brukaren använde tre gånger så mycket hushållsel och fem gånger så mycket varmvatten som den sparsamme. Inomhustemperaturskillnaden mellan den sparsamma och slösaktiga var 7,2°C. Slutligen hävdade författarna även att just för det studerade fallet, som var ett plusenergihus, lönade det sig avsevärt att förbruka mycket hushållsenergi om hänsyn togs till hur energianvändningen beräknas enligt BBR, där hushållsenergin inte räknas med i den årliga energianvändningen (Forsberg & Lind 2021).

### 2.5.2.3 Brukares påverkan av energianvändning i miljonprogramhus

Saffran Rosengarten (2022) har i en fallstudie undersökt brukares påverkan av energianvändning i flerbostadshus i Linero, Lund med fokus på vädring. Flerbostadshuset är ett lamellhus med frånluftsventilation som renoverades 2017 och består av 25 lägenheter. Syftet med studien var att samla in och sammanställa befintliga mätdata gällande brukares vanor för att sedan göra simuleringar och dra slutsatser om hur vädringsvanor påverkar energianvändningen.

För att kunna besvara frågeställningarna sammanställde Rosengarten (2022) befintliga mätdata kring verkliga brukarvanor där vädringsdata från forskningsprojektet PEIRE, som genomfördes för ett bostadsområde med miljonprogramhus i Linero, Lund, användes. Med sammanställda mätdata från åren 2017 – 2019 gjorde Rosengarten (2022) sedan energisimuleringar med programmet IDA – ICE där sju olika simuleringsfall studerades. Simuleringsfallen togs fram med hjälp av resultat från brukarbeteende och vädringsvanor och baserades även på en gruppindelning som gjordes bland lägenheterna.

Rosengarten (2022) redovisade först sammanställningen av brukarvanor för de 12 lägenheter som ingick i fallstudien där lägenheternas totala vädringstid per dygn, vädringsfrekvens och tid för när enskilda öppningar öppnas, presenterades genom medelvärden. Vidare presenterade Rosengarten (2022) en sammanställning över uppmätt vädring i dels de olika lägenheterna, dels för hela byggnaden genom medelvärden per dygn. Dessa medelvärden låg sedan till grund för grupperingen av lägenheterna och brukarna beroende på hur mycket de vädrade, där varje gruppering tilldelades ett vädringsschema.

Medelvärdena för de olika öppningarnas vädringstidpunkter presenterades av Rosengarten (2022) genom tre dygnsfördelningsdiagram för badrumsfönsterna, balkongdörrarna samt ventilationsluckorna i sovrummen. Dygnsfördelningen delades upp enligt följande:

- Morgon: 06:00 – 10:00
- Förmiddag: 10:00 – 12:00
- Eftermiddag: 12:00 – 18:00
- Kväll: 18:00 – 22:00
- Natt: 22:00 – 06:00

I Tabell 4 nedan sammanställs resultaten av de sammanställda tidpunkterna för vädringen enligt författarens dygnsfördelning baserade på inhämtade vädringsdata. Procentsatsen visar på antalet procent av öppningarna som används vid angiven tidpunkt under dagen.

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 4. Sammanställd fördelning av vädring över dygnet från de uppmätta vädringsöppningarna (Rosengarten 2022).

Tidpunkt	Badrumsfönster (%)	Balkongdörr (%)	Ventilationslucka, sovrum (%)
Morgon	22	16	25
Förmiddag	19	13	6
Eftermiddag	40	42	25
Kväll	11	18	5
Natt	7	12	27
Flera dygn	-	-	12

Simuleringsfallen representerade vidare tänkta fall på sparsamt, normalt och slösaktigt beteende men även ett referensfall, grundfall och en känslighetsanalys förekom. Referensfallet, ”Fall 5”, motsvarade den verkliga uppmätta fördelningen av vädring och symboliserar därmed byggnadens verkliga brukarvanor. Rosengarten (2022) antog att de mätningarna som har utförts i de 12 lägenheterna representerade alla 25 lägenheter i byggnaden. I Fall 5 togs ingen hänsyn till öppningsgrad vid mätningarna i PEIRE-projektet och Rosengarten (2022) antog därför en öppningsgrad enligt följande; balkongdörrar 30 %, fönster 10 % och ventilationsluckor 100 %. Utifrån Fall 5 utförde Rosengarten (2022) sedan en känslighetsanalys, ”Fall 7”, för att undersöka hur en förändring i öppningsprocent påverkar energianvändningen där en halvering av öppningsprocenten från referensfallet gjordes enligt följande; balkongdörrar 15 %, fönster 5 % och ventilationslucka 50 %.

Vid jämförelsen mellan Fall 5 och Fall 7, där endast öppningsprocenten skiljde simuleringsfallen åt, kom Rosengarten (2022) fram till att Fall 7 totalt sett har en lägre energianvändning på 17 % jämfört med Fall 5 och en 20 % lägre energianvändning för uppvärmning. Vidare jämförde Rosengarten (2022) Fall 5 och 7 med ett grundfall, ”Fall 6”, där endast avsedd ventilation förekom med ventilationsluckor som är öppna 10 % dygnet runt. Detta fall motsvarar om ingen vädring förekommer via fönster eller dörrar utan bara via ventilationsluckorna som ingår i ventilationssystemet. För Fall 6 blev energianvändningen för uppvärmning 97,3 kWh/m<sup>2</sup> medan den för Fall 5 och 7 blev 146,2 kWh/m<sup>2</sup> respektive 117,4 kWh/m<sup>2</sup>. Rosengarten (2022) konstaterade att öppningsprocenten gav en betydande skillnad och att både Fall 5 och 7 hade ett högre bidrag; 48,9 respektive 20,1 kWh/m<sup>2</sup>, än Svebys rekommenderade schablonvärde för vädring som ligger på 4 kWh/m<sup>2</sup>.

### **3 Metod – Fallstudie**

För studerande av brukarbeteendens påverkan på energianvändningen i flerbostadshus utfördes en fallstudie, där ett hus studerades och sedan modellerades upp i simuleringsprogrammet IDA – ICE. Det studerade flerbostadshuset är beläget i Umeå och för fallstudien studerades sju lägenheter på plats, varav fem av dessa var lägenheter belägna i det studerade huset och de andra två lägenheterna var belägna i en nästintill likadan byggnad. Huset tillhör samma bostadsrättsförening och var beläget intill huset som studerades i denna studie. Lägenheterna som studerades var spridda över olika våningar och de våningar som studerades var våningarna ett, fyra, fem, sex och sju. De boende i de studerade lägenheterna antogs representera beteendet för samtliga boende i huset.

De indata som användes för simuleringarna mättes i första hand upp på plats. Det som kunde mätas upp under platsbesöket var luftflödena från till- och frånluftsdonen. Den information som inte kunde hämtas på plats kompletterades med hjälp av ritningar som hämtades ut på det aktuella stadsbyggnadskontoret, litteraturstudien och även från andra dokument som fåtts tillhanda. Dessa data sammanställs även i detta avsnitt.

För fallstudien studerades endast parametrar som brukare själva kan påverka. Syftet med fallstudien var att få fram hur brukarna kan påverka den årliga energianvändningen i huset, men även se vilket av beteendena som gjorde mest skillnad med ett något större fokus på variationer i vädringsbeteenden.

I detta avsnitt presenteras sammanställningen av den inhämtade data som användes för fallstudien från litteraturstudien och platsbesöket. Därav beskrivs även platsbesöket mer ingående nedan.

#### **3.1 Platsbesök i samarbete med forskningsprojekt**

I samarbete med ett forskningsprojekt som löpte parallellt med examensarbetets gång och som utfördes på Lunds Tekniska Högskola kunde platsbesök göras för att studera huset närmre och för inhämtning av vädringsdata som kunde fås från forskningsprojektet. Forskningsprojektet går ut på att bättre förstå hur brukare vädrar i flerbostadshus i bland annat Umeå och därför utfördes mätningar samt utdelning av enkäter till frivilliga deltagare i det studerade flerbostadshuset. Projektansvarig för forskningsprojektet är Henrik Davidsson, Teknisk Doktor på Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Energi och byggnadsdesign på Lunds Tekniska Högskola som tillsammans med Dennis Johanson mäter hur länge, ofta och hur mycket fönster och balkongdörrar öppnas i lägenheterna. Ansvarig för enkätstudien är Birgitta Nordquist på Institutionen för bygg och miljöteknologi, Installationsteknik på Lunds Tekniska Högskola.

Vid uppsättning av mätinstrumenten fick brukarna själva ange vilka fönster som de vädrar vanligtvis, detta kompletterades med en loggbok där de kunde anteckna eventuella avvikelser av vädringen. Mätinstrumenten var menade att kunna fånga upp vädringens tidpunkt och öppningsgrad för respektive fönster och sitter på fönsterna under ett års tid. Enkäten som delades ut innehöll frågor som även de kompletterade mätningarna med både frågor om vädringsvanor och även frågor om inomhusmiljön sett till ljud, ljus, luftkvalitet, värmekomfort, med mera. Till detta examensarbete var endast frågorna som behandlade hur vädringen skett intressanta. Därav bortsågs orsakerna till att de boende vädrade.

Platsbesöken gjordes vid två tillfällen under mars månad, där det vid ena tillfället utfördes mätningar på luftflöden och temperaturer, okulär besiktning, samt installation av mätinstrumenten som ska inhämta data av vädringen. Vid det andra tillfället kunde enkäterna samlas in och vädringsdata från den första mätperioden inhämtas. På grund av tidsaspekten kunde mätdata inte bearbetas till detta examensarbete, mätperioden hade också varit begränsad och därför användes enbart resultaten av enkätstudien för att studera vädringen i lägenheterna.

För mätningarna av luftflödet användes Swema 3000 som är ett multifunktionellt instrument som tillsammans med ett mätstos vid namn SwemaFlow 125 användes för att mäta luftflöden. Dessa två instrument har använts för att mäta byggnadens till- och frånluftsflöden där det var möjligt. Mätinstrumentet förutsatte att det gick att omsluta till- och frånluftsdonet tätt, därför har frånluftsdonen som var placerade i kökskåporna inte varit möjliga att mäta på. Vidare användes mätinstrumentet SwemaAir 30 för mätning av lufttemperaturer i byggnaden.

### **3.1.1 Byggnadsbeskrivning**

Huset som studerades är beläget i Umeå och är ett friliggande flerbostadshus med nio våningsplan ovan mark. Flerbostadshuset är byggt 2004, består utav totalt 23 lägenheter med tre lägenheter per våningsplan och har ett trapphus samt hiss. Byggnadens bredd angavs till 16,2 m, längd till 30,6 m och  $A_{temp}$  kunde avläsas till 2429 m<sup>2</sup> enligt relationshandlingar. Enligt en energideklaration utförd 2019 hade byggnaden energiklass C och energiprestandan (primärenergitalet) 78 kWh/m<sup>2</sup>, år.

Sett till planlösning var våningsplanen näst intill identiska, med undantag från entréplan, se bilaga A och B. Alla lägenheter har tre rum och kök, förutom en lägenhet på entréplan som har fyra rum och kök. Det som skiljde resterande våningarna åt var eventuella renoveringar samt tillägg på exempelvis solskydd och inglasning på balkonger. Eftersom inglasade balkonger antogs förändra vädringsförhållandena noterades det om balkongen var inglasad eller inte i fallstudien. Vid okulär kontroll kunde sju av 32 balkonger räknas fram till att inte vara inglasade, där samtliga av de balkonger som inte är inglasade vette mot öster.

En gemensam tvättstuga med både tvättmaskiner och torktumlare fanns att tillgå på första våningen, dessutom var vissa av lägenheternas badrum utrustade med både tvättmaskin och torktumlare. Samtliga lägenheter hade diskmaskin.

### **3.1.2 Solavskärmning**

När det kom till solskydd kunde det skilja sig mellan lägenheterna hur mycket solljus som släpptes in. Markiser, persienner och rullgardiner stöttes på under platsbesöket och det skiljde sig åt vad som användes i både olika rum och i olika lägenheter. Antalet fönster som hade markiserna kunde räknas fram till 30.

Vidare noterades att det fanns vegetation och en intilliggande byggnad som delvis täcker solinstrålningen till den studerade byggnaden.

### **3.1.3 Ventilationssystem**

Det ventilationssystem som används i huset är ett FTX – system. Värmeväxlaren var placerad i fläktrummet, beläget på den högsta våningen, som var ett vindsutrymme med självdrag. Avlufts- och uteluftintagen var placerade på taket. I lägenheterna sitter tilluftsdonen i sovrum, klädkammare och vardagsrum medan frånluftsdonen sitter i badrum och kök. På entréplan fanns en tvättstuga med både till- och frånluftsdon, en undercentral, städskrubb samt toalett, båda utrustade med ett frånluftsdon. Trapphuset var utrustat med tilluftsdon på de fyra första våningarna. En obligatorisk funktionskontroll av ventilationssystem (OVK) gjordes senast 1 april 2020.

Vid ytterligare insläpp av uteluft krävs öppning av fönster eller balkongdörr av brukare. Fönsterna var av olika storlekar med både öppningsbara och inte öppningsbara fönster.

### **3.1.4 Uppvärmningssystem**

Byggnaden är ansluten till det kommunala fjärrvärmenätet där fjärrvärme används till både uppvärmning och tappvarmvatten enligt den tekniska beskrivningen.

Lägenheterna värms upp med radiatorvärme med radiatorer som är placerade under fönsterna. Ingen information om maximal effekt kunde finnas på radiatorerna vid besöken eller i underlagen. De allmänna utrymmena såsom entré och trapphus var uppvärmda med radiatorer och lufttemperaturen kunde avläsas till ca 20 °C.

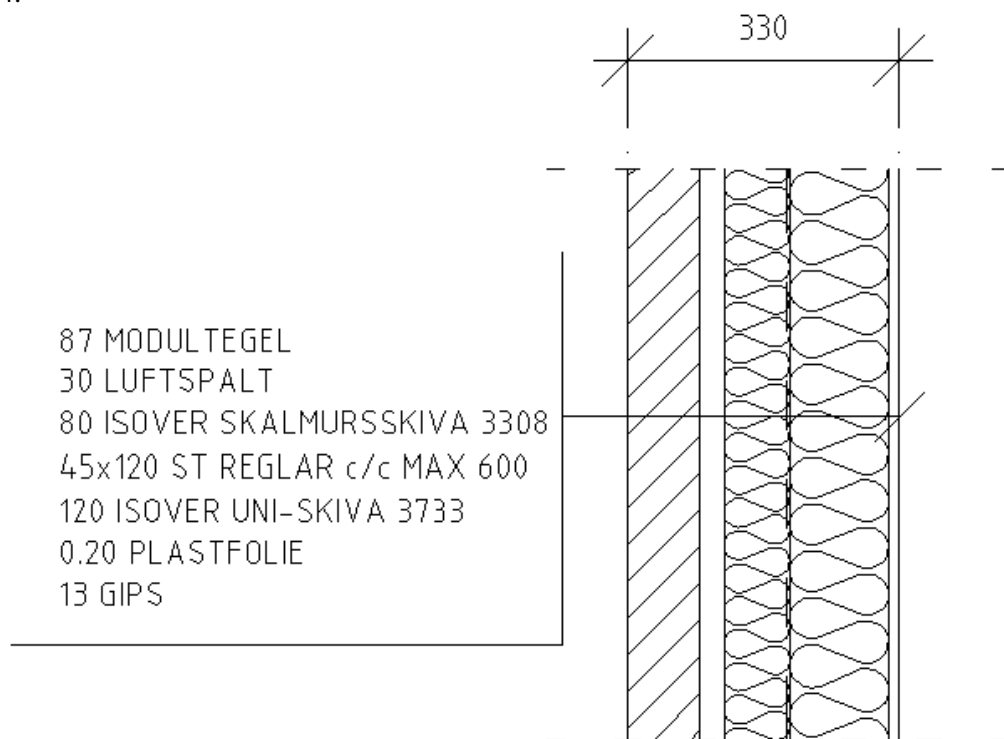
De inglasade balkongutrymmena antogs som icke uppvärmda rum.

### **3.1.5 Byggteknik och U-värden**

Utifrån konstruktionsritningar kunde ytterväggskonstruktioner, grundkonstruktion samt takkonstruktion identifieras med både material och tjocklek. Byggnadens grundplatta lästes av till 220 mm betong, 100 mm styrolit grundskiva S80 liggandes på 150 mm dräneringslager, följt av fyllning. Även bjälklagen lästes av till 220 mm betong. Takkonstruktionen var uppbyggt av fackverk med råspont och papp till underlagstak och vindsbjälklaget bestod utav 220 mm betong, följt av 400 mm lösull.

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

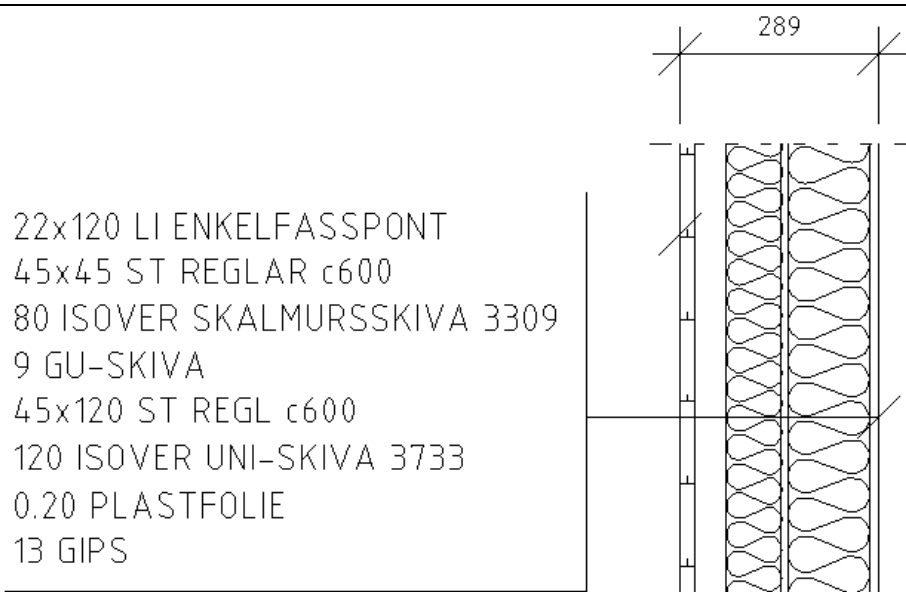
Det fanns tre olika ytterväggskonstruktioner i byggnaden och Figur 2 visar den yttervägg som byggnaden till största del utgjordes av. Vid balkonger och intill den bärande stommen ändrades däremot ytterväggskonstruktionen vilket visas i Figur 3 och 4.



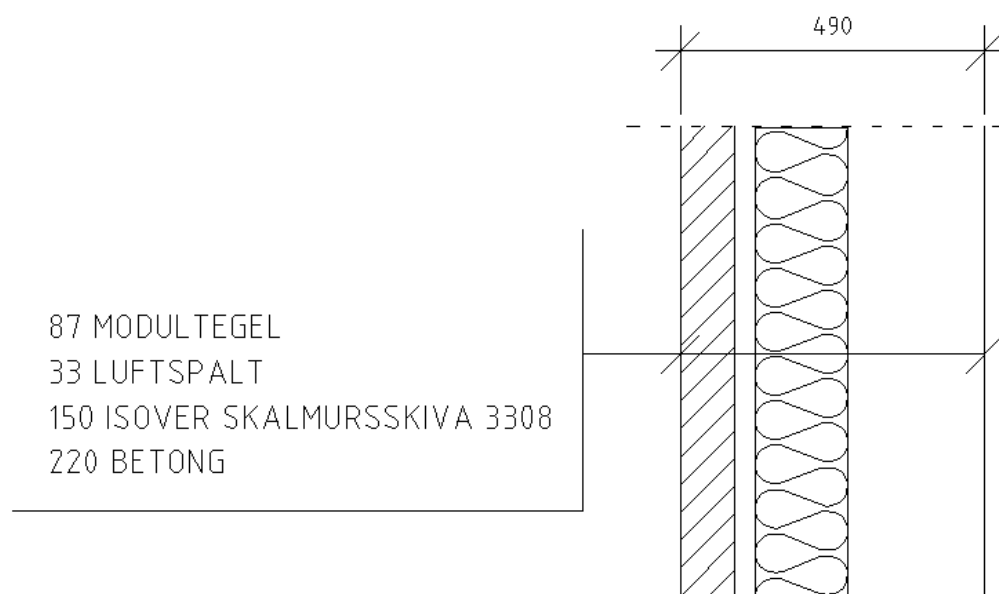
Figur 2. Sektionsritning på den vanligast förekommande ytterväggen i huset.



Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.



Figur 3. Sektionsritning över ytterväggskonstruktionen vid balkonger.



Figur 4. Sektionsritning på den tjockaste varianten av yttervägg som förekommer i huset.

Utifrån en bedömning på plats, samt genom A – ritningar antogs innerväggarna bestå utav träreglar och gipsskivor. De innerväggar som tillhörde den bärande stommen var endast av betong.

I byggnaden kunde åtta olika fönstertyper identifieras, där alla är treglasfönster och har ett maximalt U-värde på  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  enligt relationshandlingar.

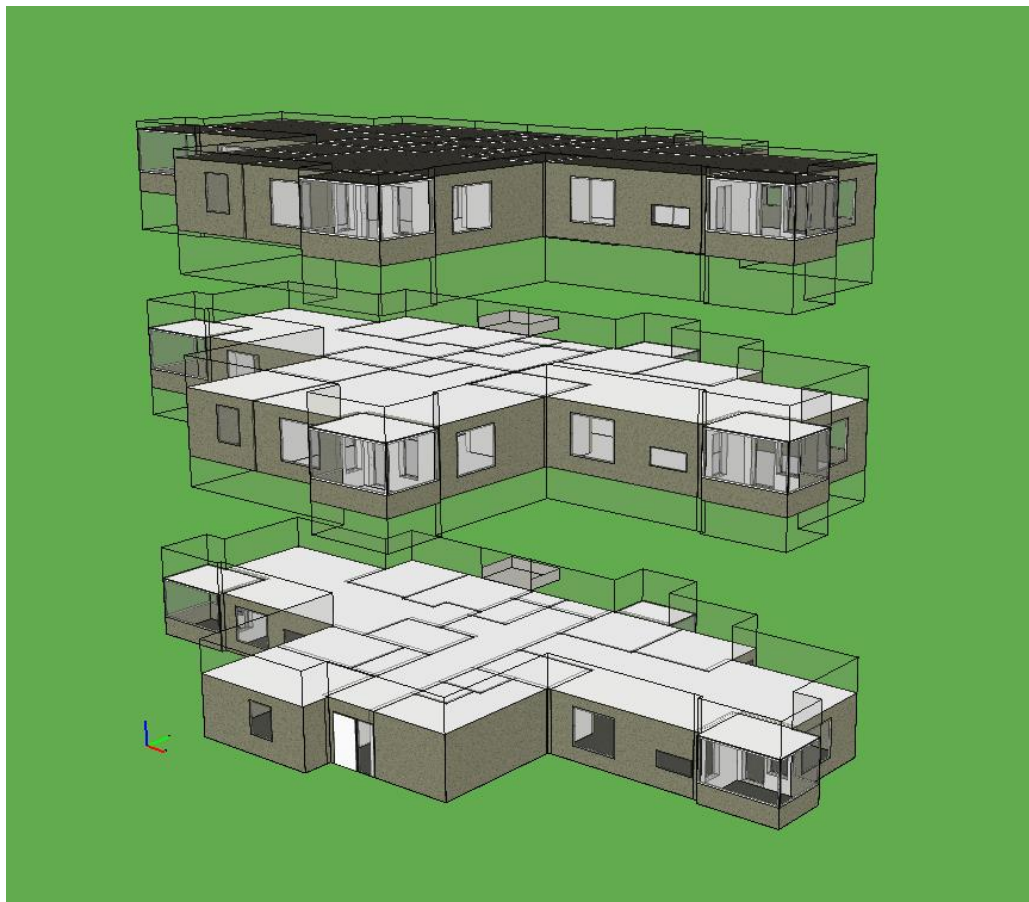
Vid uppförandet av byggnaden fanns ett krav på  $U_m = 0,296 \text{ W/m}^2\text{K}$  där den slutliga genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten hamnade på  $U_m = 0,267 \text{ W/m}^2\text{K}$  enligt den tekniska beskrivningen för byggnaden.

## 3.2 Modell för energisimulering

För att kunna göra energisimuleringar användes programmet IDA Indoor Climate and Energy (ICE). Programmet är ett dynamiskt simuleringsprogram där energianvändningen och det termiska inomhusklimatet kunde studeras i en hel byggnad eller för enskilda zoner i en byggnad.

I detta program byggdes en modell över den valda byggnaden upp med hjälp av konstruktionsritningar hämtade från stadsbyggnadskontoret i Umeå. Modellen var tänkt att efterlikna den valda byggnaden så mycket som möjligt men vissa förenklingar behövde göras på grund av begränsningar i programmet eller på grund av antaganden som gjordes vid brist på information kring byggnadens egenskaper. Modellen byggdes även upp på sådant sätt att frågeställningen kunde besvaras.

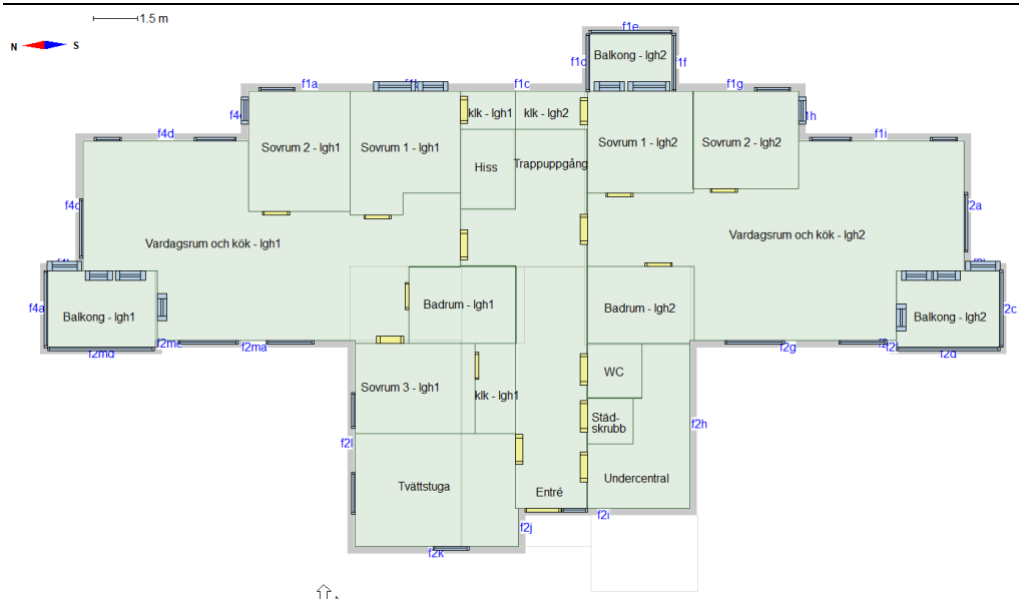
I IDA – ICE delades byggnaden in i zoner där varje enskilt rum i lägenheterna bildade en egen zon. Anledningen till detta var för att vädring skulle kunna studeras på rumsnivå. Då lägenheterna hade en öppen planlösning bildade kök, vardagsrum och hall tillsammans en zon. Eftersom planlösningen för byggnaden såg likadan ut för plan 2 – 8 men skiljde sig åt för plan 1, entréplan, gjordes en förenkling att endast modellera plan 1, 5 och 8. Zonerna i plan 5 multiplicerats därefter med antalet våningar som hade samma planlösning för att få med hela byggnaden i energiberäkningarna. Eftersom plan 9 endast bestod av ett fläktrum med självdrag, gjordes förenklingen att vindsbjälklaget blev ett tak mot utomhusklimatet och att fläktrummet bortsågs från i modellen. Se Figur 5 nedan för en 3D-vy av det förenklade huset uppbyggt i IDA – ICE.



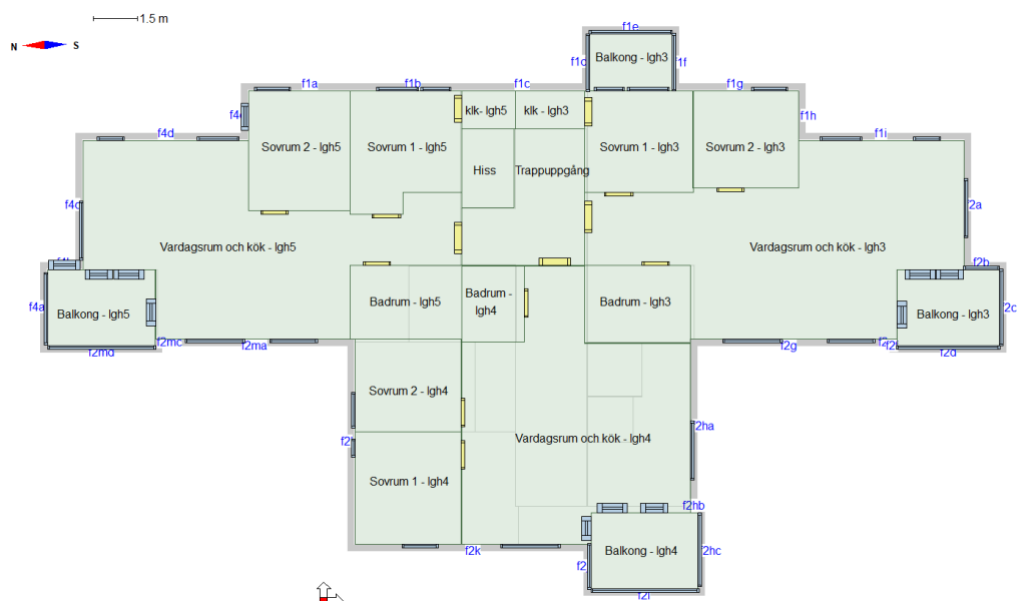
Figur 5. 3D - vy av den förenklade modellen av huset.

Vidare gjordes en förenkling i modellen kring de inglasade balkongerna belägna på den östra sidan av byggnaden. Eftersom det var totalt sju balkonger, varav en på varje våningsplan, som inte var inglasade gjordes förenklingen att de balkongerna utan inglasning var ovanpå varandra samt gick hela vägen upp till våning 8. De inglasade balkongerna utgjorde i sin tur var sin zon i modellen för att de skulle betraktas som icke uppvärmda utrymmen i huset för att ta hänsyn till det väderskydd som det utgjorde, de ingick alltså inte i  $A_{temp}$ . En viss skillnad i  $A_{temp}$  från verkligheten till modellen uppstår på grund av geometriska förenklingar av modellen, eftersom huset i verkligheten hade snett uppsatta väggar som för modelleringen rätades upp. Den slutgiltiga zonfördelningen och planlösningen för modellen presenteras i figurerna 6 och 7, där Figur 6 visar entréplanet och Figur 7 visar planlösningen för plan 2 – 8.

# Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.



Figur 6. Zonindelning på entréplan.



Figur 7. Zonindelning på våningsplan 2–8.

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Byggnadens 23 lägenheter kunde delas upp i fyra lägenhetstyper, ”lgh 1” – ”lgh 5”. Figur 6 och 7 ovan visar de olika planlösningarna och beteckningarna för lägenhetstyperna. Observera att ”lgh 2” och ”lgh 3” har samma planlösning och zonindelning. Se Tabell 5 nedan för lägenheternas totala areor och  $A_{temp}$ .

Tabell 5. Sammanställning av de olika lägenhetsareorna i huset.

Lägenhetstyp	Total area, A (m <sup>2</sup> )	A <sub>temp</sub> (m <sup>2</sup> )
Lgh 1	127,8	118,1
Lgh 2 & 3	112,1	97,7
Lgh 4	95,6	86,3
Lgh 5	106,1	96,6
Total för huset	2658,5	2402,2

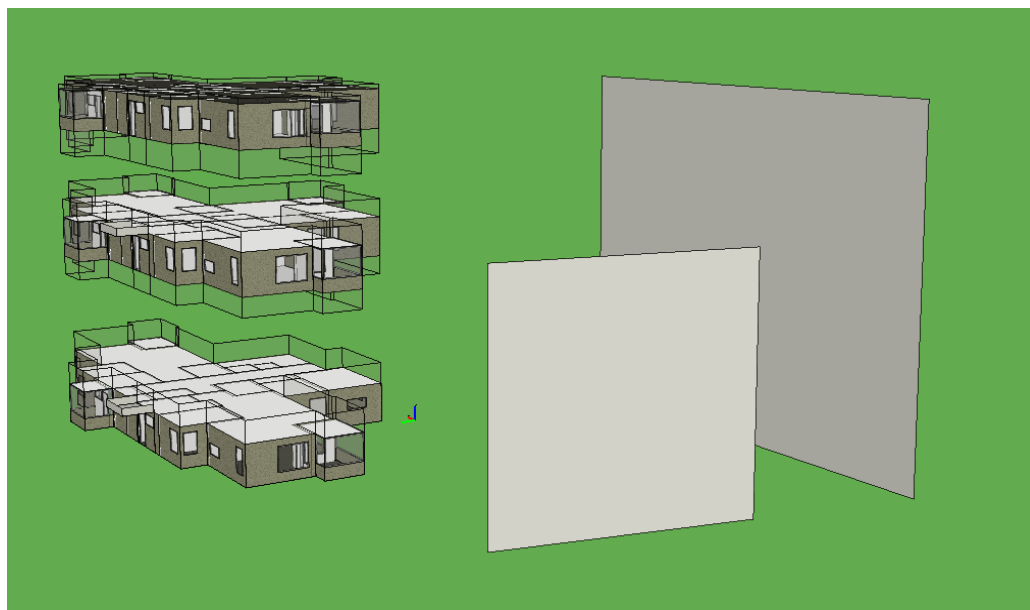
### 3.2.1 Klimatdata

För simuleringsfallen användes Svebys klimatdata för normalårsperioden 1991 – 2020 i Umeå där klimatfilen togs fram med hjälp av Victor Fransson, biträdande universitetslektor vid avdelningen för Installations- och Klimatiseringslära. Ingående data för klimatfilen är vindriktning, vindhastighet, lufttemperatur, luftfuktighet, molntäcke och solinstrålning för ett normalår i Umeå.

Vindprofilen valdes i IDA – ICE till ”suburban” med hänvisning till husets verkliga placering strax utanför innerstaden i Umeå.

### 3.2.2 Solavskärmning

För att ta hänsyn till husets läge i bostadsområdet sett till omkringliggande hus och omgivande vegetation läggs solavskärmande plank med en viss transparens till i modellen för att efterlikna verkligheten så mycket som möjligt. Grannhuset sattes med en transparens på 0 % och för de träd som i verkligheten var placerade runt husen sattes en transparens på 50 % in. Se Figur 8 nedan för en principiell bild av hanteringen av den omkringliggande vegetationen och grannhuset i IDA – ICE.



Figur 8. Modellen i 3D - vy med insatt solavskärmning.

Eftersom det var uppvärmningssäsongen som studerades ansattes solavskärmningen till 0,71 i fönsterna enligt BEN 2, se Tabell 1, för samtliga fall. Därför togs ingen hänsyn till om fönsterna i verkligheten var utrustade med persienner och markiser och de följde endast den standard som anges i föreskrifterna, rapporten behandlade inte solskydd ytterligare. Solavskärmning hanterades i IDA – ICE genom att sätta in ett externt solskydd som motsvarade att fönstrets g – värde var 0,71.

### 3.2.3 Konstruktion

Vid uppbyggnaden av de olika konstruktionselementen i IDA – ICE kunde den totala tjockleken säkerställas men på grund av ett begränsat utbud av valbara material i programmet stämde inte konstruktionselementens material helt överens med konstruktionsritningarna. Material byttes ut men med beaktningen att egenskaperna så som lambdavärdet och värmekapaciteten skulle vara så lika som möjligt med de verkliga konstruktionsdelarna.

Alla olika fönstertyper och fönsterdörrar var treglasfönster och antogs ha samma U – värde. De fönsterpartier som bildade de inglasade balkongerna antogs vara englasfönster med ett U – värde på 5,8 W/m<sup>2</sup>K. I modellen satt dessa fönsterpartier 0,8 m upp från balkongplattan.

I Tabell 6 nedan presenteras de konstruktionselement som har används i IDA – ICE.

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 6. Utformning av konstruktionsdelar i IDA – ICE.

Konstruktionsdel	U – värde beräknat i IDA – ICE (W/m <sup>2</sup> K)	Tjocklek (m)
Yttervägg - vanlig	0,12	0,330
Yttervägg med betong	0,21	0,490
Yttervägg vid balkonger	0,16	0,289
Vindsbjälklag (tak)	0,09	0,620
Grundplatta	0,32	0,470
Bjälklag	3,34	0,220
Fönster	0,90	-
Inglasning av balkong - fönster	5,80	-
Innervägg gips	0,53	0,096
Ytterdörrar	1,09	0,035

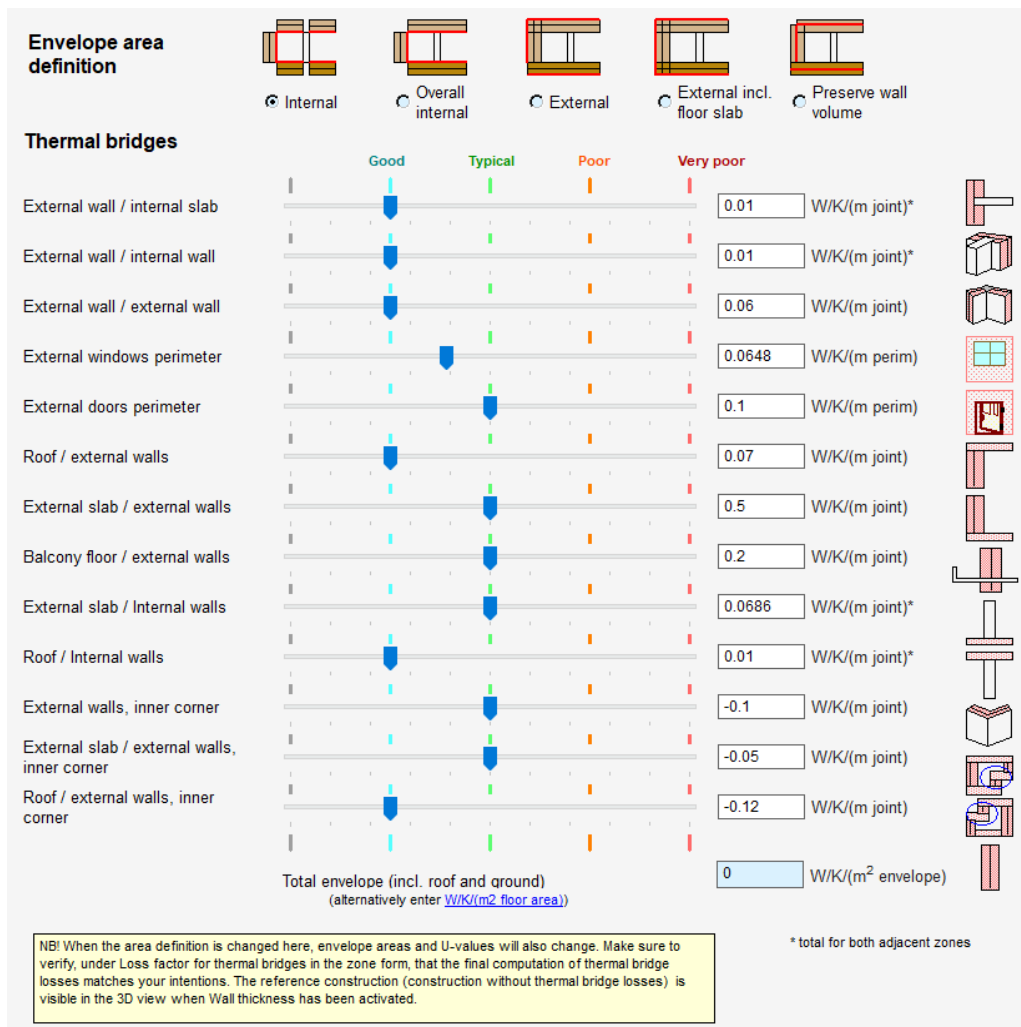
Modellens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient ( $U_m$ ) blev 0,291 W/(m<sup>2</sup>K).

### 3.2.4 Köldbryggor

Att beräkna köldbryggor i en byggnad kan vara komplicerat och ofta krävs hjälp från specifika datorprogram just för beräkning av köldbryggor. I denna studie har beräkningen av köldbryggor förenklats för att noggranna och detaljerade beräkningar inte omfattades av rapporten.

För att göra antaganden av köldbryggorna gjordes en allmän bedömning av hantering av köldbryggor sett till husets byggår 2004. Den andel av värmeförluster som beror på köldbryggor antogs till att ligga mellan 20 – 25 % i IDA – ICE. Vidare gjordes en förenkling för hanterandet av de inglasade balkongerna i modellen. De inglasade balkongerna räknades i programmet som en del av klimatskalet, vilket i sin tur ledde till att transmissionsförluster via modellens klimatskal blir högre än vad som är rimligt i verkligheten. För att kontrollera att materialen som ansattes i modellen var rimliga sett till fördelning av transmissionsförluster och köldbryggor gjordes en variant av modellen där de inglasade balkongerna inte var inkluderade i klimatskalet. När andelen värmeförluster på grund av köldbryggor uppgavs till 22,5 % i IDA – ICE efter en iterativ process samt att husets U – medelvärdeskrav var uppfyllt ansågs modellen vara tillräckligt bra. Inställningar som gjordes i denna modell noterades och tillämpades i den ordinarie modellen. Se Figur 9 nedan för de slutgiltiga inställningarna i IDA – ICE som hanterade byggnadens köldbryggor.

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.



Figur 9. Inställningar för köldbryggor i modellen.

### 3.2.5 Uppvärmning

Ett antagande gjordes om att de inglasade balkongerna utgjorde zoner som skulle tas med i energiberäkningarna. De inglasade balkongerna antogs vara uppvärmda zoner och inget luftflöde eller uppvärmning ansåts i dessa. De balkonger som inte var inglasade togs inte med i byggnadskroppen vid modellering.

Varje zon utrustades med en radiator som skulle uppfylla uppvärmningsbehovet för hela zonen. Dimensionering av radiatorernas maximala effekt vid uppvärmning gjordes genom att först bygga upp den geometriska modellen av huset i IDA – ICE för att sedan göra en "heating load" simulering där resultatet gav den maximalt tillförda effekten som krävdes för att hålla en viss temperatur i varje zon. Denna maximala



effekt sattes därefter in i respektive zons värmesystem så att effekten inte ökade okontrollerat när övriga parametrar som exempelvis öppning av fönster vid vädring förekom.

Inget system för komfortkyla finns i flerbostadshuset, därför togs den bort helt i IDA – ICE modellen.

### **3.2.6 Internvärme**

För att ta hänsyn till den gratisvärme som tillkom från bland annat personvärme togs scheman fram för varje zon med hjälp av indata från BEN 2 gällande närvarotid och antal personer i en viss lägenhetsstorlek. Som tidigare nämnt var antalet personer i en lägenhet, enligt BEN 2, med tre rum och kök 2,18 och 2,79 för en lägenhet med fyra rum och kök.

Ett antagande gjordes att de rum som ansågs vara mest använda som sovrum, kök och vardagsrum fick ett schema där den totala närvarotiden på 14 timmar per dygn, sju dagar i veckan hela året fördelades över dessa zoner. Klädskammare, badrum och balkong antogs inte ha lika hög närvaro under ett dygn och sattes därför till noll personer. Antalet personer i lägenheten fördelades enligt att sovrummen tog halva antalet personer under sju timmar på ett dygn medan kök och vardagsrum, som var en zon, tog totala antalet personer i sju timmar på ett dygn.

### **3.2.7 Tappvarmvatten**

Tappvarmvattnet togs inte hänsyn till under simuleringarna utan adderades på den beräknade energianvändningen i efterhand. Därav försummas den värmeavgivning tappvarmvattenrören kan ha på omgivande ytor i modellen.

### **3.2.8 Ventilation**

Verkningsgraden på FTX – systemet antogs vara 0,75 då ingen annan information fanns att tillgå. Temperaturen på tilluften sattes till 18 °C i IDA – ICE. Till – och frånluftsfläktarna tilldelades en verkningsgrad på 0,7.

Vid energisimuleringarna antogs luftflödena i byggnaden motsvara de projekterade från – och tilluftsflödena vid normalt bruk, som fanns i relationsritningarna.

### **3.2.9 Termiskt klimat**

Gällande inställningar på inomhusklimatet i IDA – ICE gjordes minimala ändringar eftersom inomhusklimatet inte ingick inom rapportens omfattning. CLO värdet ansattes enligt standardinställningarna i programmet vars spann motsvarade vinterklädsel respektive sommarklädsel (0,85 +/- 0,25 CLO).

Även aktivitetsnivån ansattes enligt standardinställningarna till 1,0 MET, det motsvarade kroppens energianvändning vid vilande tillstånd, sittandes.

### 3.2.10 Övriga inställningar

Baserat på egna antaganden och resultat från enkätundersökningen antogs alla badrums – och klädkammardörrar vara stängda konstant medan resterade innerdörrar alltid var öppna.

Klimatskalets infiltration sattes till 0,7 l/s, m<sup>2</sup> vid en tryckskillnad på 50 Pa. Med infiltrationen menas luftläckage som uppstår på grund av otätheter i klimatskalet.

## 3.3 Brukarindata till simuleringsfall

En sammanställning av de inhämtade brukardata som användes för utformning av simuleringsfallen presenteras i detta avsnitt. De olika vädringsfallen baserades delvis på hur tidigare forskning har utformats och delvis på den aktuella fallstudien med enkätundersökningen och inhämtade data från platsbesöket. Vidare varierades övriga brukarindata som hushållselsanvändning, varmvatten och inomhustemperatur enligt Forsberg och Linds (2021) sparsamma, medel och slösaktiga simuleringsfall, se Tabell 7.

Tabell 7. Sammanställning av brukarindata från litteraturstudie (Forsberg & Lind 2021).

Beteende	Sparsam	Medel	Slösaktig
Hushållselanvändning	14,2 kWh/A <sub>temp</sub> , år	27,8 kWh/A <sub>temp</sub> , år	46 kWh/A <sub>temp</sub> , år
Varmvatten	8,9 kWh/A <sub>temp</sub> , år	24,3 kWh/A <sub>temp</sub> , år	49,4 kWh/A <sub>temp</sub> , år
Inomhustemperatur	18,6 °C	22,2 °C	25,8 °C

Dessa tre beteenden gav upphov till simuleringsfallen, Fall 1 (A – C), Fall 2 och Fall 3 (A – C), där de olika parametrarna varierades efter mer sparsamma och slösaktiga fall, se Tabell 8 nedan för de olika kombinationerna som simulerades.

Tabell 8. Sammanställning av hur hushållsel, varmvatten och inomhustemperatur varierar.

	Hushållsel [kWh/A <sub>temp</sub> , år]	Varmvatten [kWh/A <sub>temp</sub> , år]	Inomhustemperatur [°C]
Fall 1	14,2	8,9	18,6
Fall 1A	14,2	24,3	22,2
Fall 1B	27,8	8,9	22,2
Fall 1C	27,8	24,3	18,6
Fall 2	27,8	24,3	22,2
Fall 3	46	49,4	25,8
Fall 3A	46	24,3	22,2
Fall 3B	27,8	49,4	22,2
Fall 3C	27,8	24,3	25,8

### 3.3.1 Indata luftflöden

Den information som fanns att tillgå angående byggnadens ventilation var både via relationshandlingar och genom egna mätningar av luftflödena. I Tabell 9 nedan presenteras resultatet av den egna mätningen av till – och frånluft i de sju lägenheterna samt de projekterade flödena enligt relationsritningar.

Tabell 9. Sammanställning av uppmätta och projekterade luftflöden för sju lägenheter.

Lägenhet	Rum	Till- eller frånluft	Uppmätt flöde [l/s]	Projekterat flöde [l/s]
A	Sovrum 1	T	6,8	4
	Sovrum 2	T	6,3	8
	Klädkammare	T	-	4
	Vardagsrum	T	5,8	12
	Matsal	T	4,0	4
	Badrum	F	20,7	20
	Spisfläkt	F	-	/13–40
B	Sovrum 1	T	7,3	4
	Sovrum 2	T	6,1	8
	Klädkammare	T	3,5	4
	Vardagsrum	T	4,0	12
	Matsal	T	7,3	4
	Badrum	F	19,7	20
	Spisfläkt	F	-	/13–40
C	Sovrum 1	T	5,2	4
	Sovrum 2	T	4,5	8
	Klädkammare	T	2,3	4
	Vardagsrum	T	9,7	12
	Badrum	F	20,0	20
	Spisfläkt	F	-	/10–40
D	Sovrum 1	T	-	8
	Sovrum 2	T	6,4	8
	Vardagsrum	T	9,5	12
	Badrum	F	18,0	20
	Spisfläkt	F	-	/10–40
E	Sovrum 1	T	7,6	4
	Klädkammare, sovrums 1	T	-	4
	Sovrum 2	T	-	8
	Sovrum 3	T	4,5	4
	Klädkammare, sovrums 3	T	3,2	4

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

F	Vardagsrum	T	9,6	12
	Badrum	F	19,9	20
	Spisfläkt	F	-	/17–40
	Sovrum 1	T	7,4	4
	Sovrum 2	T	6,8	8
	Klädkammare	T	-	4
	Vardagsrum	T	-	12
	Matsal	T	4,6	4
	Badrum	F	21,0	20
	Spisfläkt	F	-	/13–40
G	Sovrum 1	T	7,9	8
	Sovrum 2	T	6,4	8
	Vardagsrum	T	8,6	12
	Badrum	F	20,4	20
	Spisfläkt	F	-	/10–40

För att bättre kunna jämföra de uppmätta luftflödena med de projekterade beräknades ett medelvärde av de uppmätta luftflödena i respektive rum som redovisas i Tabell 10 nedan.

Tabell 10. Medelvärde av uppmätt luftflöde för varje enskilt rum.

Rum	Medelvärde av uppmätt flöde [l/s]	Projekterat flöde [l/s]
Sovrum 1	6,9	4
Sovrum 2	6,3	8
Klädkammare	3,0	4
Vardagsrum	7,9	12
Matsal	4,5	4
Badrum	20,0	20

De uppmätta luftflödena skiljde sig inte mycket från de projekterade luftflödena och därför togs beslutet att använda de projekterade luftflödena som indata i de olika simuleringsfallen.

### 3.3.2 Enkätundersökning

Vädringsdata inhämtades från sju lägenheter där brukarna angett vilka fönster som vanligtvis används vid vädring. Resultaten från enkäterna som fylldes i av de boende som deltog i forskningsprojektet beskrivs mer i detalj och sammanställs i resultatavsnittet. Endast de frågor som behandlade frekvens, öppningstid och öppningsgrad vid vädring i enkäten tas hänsyn till och frågorna presenteras nedan.

- Fråga 12: ”Hur ofta vädras det vanligtvis under uppvärmningssäsongen (dvs september-april)?” Med svarsalternativen:
  - ”Dagligen/nästan varje dag”
  - ”Ungefär 1 gång i veckan”
  - ”Någon gång i månaden”
  - ”Vädrar sällan eller aldrig”
- Fråga 13: ”När det vädras sker det oftast genom att...?” Med svarsalternativen:
  - ”Ha vädringsfönster/fönster öppet hela dagen/natten”
  - ”Ha vädringsfönster/fönster öppet några timmar”
  - ”Ha korsdrag några minuter”
  - ”Vädrar aldrig”
- Fråga 17: ”Hur ofta vädrar du vanligtvis under vintern?” Med svarsalternativen för respektive öppning:
  - ”3 gånger eller mer per dag”
  - ”2 gånger per dag”
  - ”1 gång per dag”
  - ”1 – 3 gånger per vecka”
  - ”1 – 3 gånger per månad”
- Fråga 18: ”Hur ofta vädrar du vanligtvis under vår och höst?” Med svarsalternativen för respektive öppning:
  - ”3 gånger eller mer per dag”
  - ”2 gånger per dag”
  - ”1 gång per dag”
  - ”1 – 3 gånger per vecka”
  - ”1 – 3 gånger per månad”
- Fråga 20: ”Hur lång tid vädrar du vanligtvis per vädring? (vinter/vår och höst)”
  - Svar anges i minuter för respektive öppning och årstid.
- Fråga 21: ”Med hur stor öppningsgrad vädrar du under uppvärmningssäsongen?” Med svarsalternativen för respektive öppning:
  - ”På glänt (upp till 10 cm)”
  - ”Halvöppet (20 – 50 cm)”
  - ”Helt öppet (mer än 50 cm)”

I enkätundersökningen definieras uppvärmningssäsongen som september till april, där vinter definieras som november – mars. Vår och höst definieras som april, september – oktober.

Utifrån resultatet från enkätundersökningen som berör brukarnas vädringsbeteenden enligt frågorna ovan har sju olika vädringsfall, ett för varje lägenhet, konstruerats baserat på enkätsvaren i Tabell 11.

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus  
med FTX – ventilation.

Tabell 11. Sammanställning av enkätsvar.

Lgh.	Rum	Typ av fönster	Fråga 17	Fråga 20 (vinter/vår & höst)	Fråga 21	Fråga 13
A (vån 5)	Vardagsrum	Balkongdörr	1–3 ggr per månad	10 min/-	Helt öppet	-
	Sovrum 1	Balkongdörr	-	-	-	
B (vån 7)	Vardagsrum	Balkongdörr	1–3 ggr per månad	5 min/10 min	Halvöppet	Fönster öppet några tim
	Sovrum 1	Balkongdörr	1–3 ggr per vecka	5 min/10 min	Halvöppet	
C (vån 4)	Vardagsrum	Balkongdörr	-	-	-	Korsdrag några min
	Sovrum 1	Balkongdörr	1 gång per dag	45 min/60 min	Halvöppet	
	Sovrum 2	Fönster	-	-	-	
D (vån 6)	Vardagsrum	Balkongdörr	-	-	Helt öppet	Fönstret öppet några tim
	Sovrum 1	Fönster	-	-	På glänt	
E (vån 1)	Vardagsrum	Fönster	1 gång per dag	10 min/-	På glänt	Korsdrag några min
	Sovrum	Balkongdörr	1–3 ggr per vecka	10 min/-	-	
	Kök	Fönster	1 gång per dag	15 min/10 min	På glänt	
F (vån 7)	Vardagsrum	Balkongdörr	-	-	-	Fönster öppet några tim
	Sovrum 1	Balkongdörr	1 gång per dag	10 min/-	Halvöppet	
	Kök	Fönster	-	-	-	
G (vån 1)	Vardagsrum	Balkongdörr	1–3 ggr per månad	5 min/10min	Helt öppet	Korsdrag några min
	Sovrum 1	Fönster	1–3 gånger per månad	5 min/5 min	På glänt	
	Kök	Fönster	1–3 gånger per månad	5 min/5min	På glänt	

För att kompletta vädringsfall skulle fås krävs ytterligare information som hämtades från tidigare studier, se kommande avsnitt.

### 3.3.2.1 Öppningsgrad översättning till IDA – ICE

I de tilldelade enkäterna tillfrågades brukarna om öppningsgraderna vid vädringstillfällena. De alternativ som fanns angavs i enkäten till ”på glänt”, ”halvöppet” och ”helt öppet”. Enligt enkätundersökningen definierades dessa öppningsgrader enligt:

- På glänt: 0 – 10 cm
- Halvöppet: 20 – 50 cm
- Helt öppet: > 50 cm

För möjliggörandet av insättande i IDA – ICE krävdes justering av de definierade öppningsgraderna i enkäterna till värden som motsvarade värden mellan 0 – 1, där faktorn 0 innebär ett helt stängt fönster och 1 innebär ett helt öppet fönster.

En förenkling gjordes genom att välja medelvärdet av de spann som definierade vardera öppningsgrad vid översättandet av definitionen ”halvöppen”. Det innebär att 0,35 m öppningsgrad motsvarade ”halvöppet” för att översättandet av spannet skulle förenklas. ”Helt öppet” definierades vid översättning som en öppningsvinkel på 90 grader eftersom samtliga studerade fönster hade 90 grader som maximal öppningsgrad. Detta motsvarade alltså en öppningsfaktor i IDA – ICE på 1,0.

Vidare beräknades resterande vinklar för de studerade fönstertyperna som motsvarade avståndet för vardera öppningsgrad. Utifrån de beräknade vinklarna kunde vidare öppningsfaktorer läsas av mellan spannet 0 – 1, enligt Figur 1 i avsnitt 2.3.4, för vardera fönstertyp. För vidare tilldelning av endast en översättande öppningsgrad för vardera öppningsvinkel, oavsett fönstertyp, gjordes ytterligare en förenkling att medelvärdet i spridningen valdes för samtliga fönstertyper. I Tabell 12 nedan finns de beräknade öppningsgraderna och faktorer för de studerade fönstertyperna.

Tabell 12. Öppningsgrader och faktorer beräknade för de olika fönstertyperna.

Fönsterstorlek, b · h (m <sup>2</sup> )	h/b (-)	Vinkel, glänt (°)	Faktor, glänt (-)	Vinkel, halvöppet (°)	Faktor, halvöppet (-)
0,985x2,195	2,2	5,8	0,1	20,8	0,58
1,185x1,385	1,2	4,8	0,1	17,1	0,45
0,585x1,585	2,7	9,8	0,2	36,7	0,75
1,585x0,685	0,4	3,6	0,1	12,8	0,23
1,385x0,685	0,5	4,1	0,1	14,6	0,25
1,985x1,585	0,8	2,9	0,075	10,1	0,15
Medelvärde			0,11		0,40

De slutgiltiga öppningsgraderna som motsvarar de faktorer som matades in i IDA – ICE presenteras i Tabell 13 nedan.

## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 13. Öppningsgradsfaktor beräknade enligt diagrammen från Nordquist (1998) till IDA-ICE.

Öppningsgrad, enkätsvar	Öppningsgradsfaktor, IDA – ICE
På glänt	0,1
Halvöppet	0,4
Helt öppet	1,0

### 3.4 Utformning av vädringsfall

För simulering av hur olika brukarbeteenden påverkade energianvändningen konstruerades olika simuleringsfall. Eftersom brukarbeteendet kunde variera stort var det svårt att skapa simuleringsfall som var helt verklighetstroga. Med hjälp av litteraturundersökning, resultat från enkätundersökningen och egna antaganden togs olika simuleringsfall fram för den studerade byggnaden.

Simuleringsfallen utformades så att vädringsfallen kunde studeras på lägenhetsnivå. Det innebar att data från vädringen tillämpades så att ett vädringsfall gällde för samtliga lägenheter i flerbostadshuset för respektive fall. Endast enkätsvaren som behandlade vädringen under vinterperioden (november – mars) behandlades för uppbyggnad av simuleringsfallen. Det gjordes för att uppvärmningsbehovet är som störst under vintern. Eftersom IDA – ICE gör en årssimulering betyder det att vädringen som sker under vinterperioden applicerades på hela året även om brukaren förmodligen inte vädrar likadant under de andra årstiderna.

Själva tidpunkterna för när vädringen sker på dygnet baserades på den dygnsfördelning som uppmätts i verkliga lägenheter från Rosengartens (2022) fallstudie, se avsnitt 2.5.2.3. Denna dygnsfördelning tillämpades som stöd tillsammans med egna antaganden för att skapa vädringsscheman till simuleringsfallen som kompletterade enkätsvaren.

#### 3.4.1 Grundfall

I grundfallet baserades parametrar för brukarindata från BEN 2:s schablonvärden och tappvarmvatten från litteraturstudien av Forsberg och Lind (2021). Parametrarna som anges i Tabell 14 nedan gällde för uppbyggnaden av samtliga fall, om inget annat anges vidare i rapporten. För vädringsfallen ersätts däremot vädringspåslaget med brukarnas vädringsbeteende för respektive fall enligt ett vädringsschema.



## Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 14. Brukarindata för grundfallet.

Parameter	Delparameter	Indata
Solavskärmning	Avskärningsfaktor	0,71
Personvärme	Effektavgivning	80 W/person
Personvärme	Närvarotid	14/7/52 (h/d/v)
Personvärme	Antal personer	2,18*
Hushållsel		30 kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> , år
Tappvarmvatten		24,3 kWh/A <sub>temp</sub> , år
Inomhustemperatur		21°C
Ventilation		Proj. flöden enligt tabell 9.
Vädringspåslag		4 kWh/m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> , år
*2,79 för lägenhet E		

### 3.4.2 Vädringsfall

I Tabell 15 nedan visas en sammanställning på simuleringsfallen som skapats baserat på enkätundersökningen och Rosengartens (2022) resultat på vädringstidpunkter. Vid översättningen av frekvens från enkätundersökningen till vädringsfall gjordes en förenkling att svarsalternativet ”1 – 3 gånger i månaden” blev 1 gång i veckan i vädringsfallet på grund av begränsningar i IDA – ICE vid skapandet av scheman. För att svarsalternativet ”1 – 3 gånger i veckan” inte skulle bli för likt valdes översättningen att vädringen skedde tre gånger i veckan.

Tabell 15. Slutgiltiga simuleringsfallen för de olika vädringsbeteendena.

Fall/Lgh.	Rum	Typ av fönster	Fråga 17	Fråga 20 (vinter/vår & höst)	Fråga 21	Fråga 13	IDA indata - Frekvens	IDA indata - Tidpunkt	IDA indata - Faktor för öppning
4/A	Vardagsrum	Balkong dörr	1–3 ggr per månad	10 min/-	Helt öppet	-	1 gång i veckan (tors)	16:00 – 16:10	1,0
5/B	Vardagsrum	Balkong dörr	1–3 ggr per månad	5 min/10 min	Halvöppet	Fönster öppet några tim	1 gång i veckan (söndag)	16:00 – 16:05	0,4
	Sovrum 1	Balkong dörr	1–3 ggr per vecka	5 min/10 min	Halvöppet		2 gånger i veckan (mån, ons), 1 gång i veckan (sön)	07:30 – 07:35, 16:00 – 16:05	0,4

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

6/C	Sovrum 1	Balkong dörr	1 gång per dag	45 min/60 min	Halvöppet		Varje dag	08:00 – 08:45	0,4
7/D	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8/E	Vardagsrum	Fönster	1 gång per dag	10 min/-	På glänt	Korsdrag några min	Varje dag	16:00 – 16:15	0,1
	Kök	Fönster	1 gång per dag	15 min/10 min	På glänt	Korsdrag några min	Varje dag	16:00 – 16:15	0,1
	Sovrum	Balkong dörr	1–3 ggr per vecka	10 min/-	På glänt	-	3 gånger i veckan (mån, ons, lör)	22:00 – 22:10	0,1
9/F	Sovrum 1	Balkong dörr	1 gång per dag	10 min/-	Halvöppet	Fönster öppet några tim	Varje dag	22:00 – 22:10	0,4
10/G	Vardagsrum	Balkong dörr	1–3 ggr per månad	5 min/10 min	Helt öppet	Korsdrag några min	1 gång i veckan (söndag)	15:00 – 15:05	1,0
	Kök	Fönster	1–3 gånger per månad	5 min/5 min	På glänt		1 gång i veckan (söndag)	15:00 – 15:05	0,1
	Sovrum 1	Fönster	1–3 gånger per månad	5 min/5 min	På glänt		1 gång i veckan (söndag)	15:00 – 15:05	0,1

### 3.5 Sammanställning av fall

När samtliga indata hade sammanställts och presenterats kunde bildandet av de slutgiltiga simuleringsfallen för fallstudien göras. I Tabell 16 nedan finns en sammanställning på samtliga simuleringsfall.

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 16. Sammanställning av studiens samtliga simuleringsfall

	Hushållsel [kWh/A <sub>temp</sub> , år]	Varmvatten [kWh/A <sub>temp</sub> , år]	Temperatur inomhus [°C]	Vädring, påslag [kWh/A <sub>te</sub> mp,år]	Vädring, beskrivning
Grundfall	30	24,3	21	4	
Fall 1	14,2	8,9	18,6	4	
Fall 1A	14,2	24,3	22,2	4	
Fall 1B	27,8	8,9	22,2	4	
Fall 1C	27,8	24,3	18,6	4	
Fall 2	27,8	24,3	22,2	4	
Fall 3	46	49,4	25,8	4	
Fall 3A	46	24,3	22,2	4	
Fall 3B	27,8	49,4	22,2	4	
Fall 3C	27,8	24,3	25,8	4	
<b>Vädringsfall</b>					
Fall 4	30	24,3	21	-	Ett fönster en gång per vecka, helt öppet i 10 min
Fall 5	30	24,3	21	-	Korsdrag en gång i veckan i 5 min, vädra ett fönster två gånger i veckan 5 min, samtliga halvöppna
Fall 6	30	24,3	21	-	Varje dag i 45 min, halvöppet
Fall 7	30	24,3	21	-	Ingen vädring
Fall 8	30	24,2	21	-	Två fönster i korsdrag varje dag i 15 min och ett fönster tre gånger i veckan i 10 min, samtliga på glänt
Fall 9	30	24,3	21	-	Ett fönster halvöppet 10 min per dag
Fall 10	30	24,3	21	-	Korsdrag tre fönster samtidigt 5 min per dag, 2 på glänt och ett helt öppet

### 3.6 Känslighetsanalys

För jämförelse och analys av de olika parametrarna som varierats användes metoden ”känslighetsanalys” enligt rapporten RäknaF (Wallentén 2018), som är en sammanställning av dokument som finns till stöd för beräkningar som rör exempelvis värme – och fuktberäkningar. Med känslighetsanalysen var syftet att ställa parametrarna mot varandra trots att de har olika enheter och skalor. För känslighetsanalysen i denna rapport utfördes en grafisk metod där parametrarna skalades om till ett värde mellan 0 och 1 för att möjliggöra redovisning av värdena på samma x – axel. För parametrarna hushållselanvändning, varmvatten, inomhustemperatur och vädring skalades parametrarna om till dimensionslösa x – värden enligt ekvation 3.1 nedan.

$$x = \frac{b - b_{min}}{b_{max} - b_{min}} \quad (3.1)$$

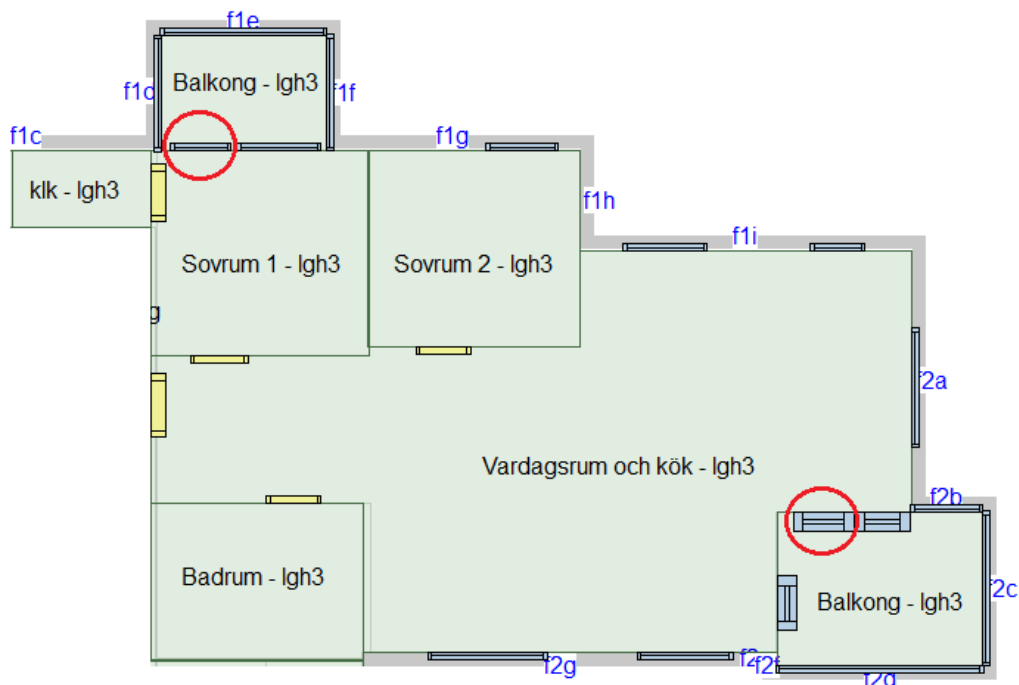
Där x är det dimensionslösa x värdet, b är det värde på den parameter som ska omvandlas till dimensionslöst,  $b_{min}$  är det lägsta värdet inom parameterns spann och  $b_{max}$  är ett maximala värdet inom parameterns spann (Wallentén 2018). Samtliga omräknade dimensionslösa x-värden presenteras i Tabell 17 nedan.

Tabell 17. Dimensionslösa x-värden till känslighetsanalys.

	$b_{min}$	$b_{max}$	Fall	b	x
Hushållsel	14,2 kWh/A <sub>temp</sub> , år	46 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1A	14,2 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0
			2	27,8 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,43
			3A	46,0 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1
Temperatur	18,6 °C	25,8 °C	1C	18,6 °C	0
			2	22,2 °C	0,5
			3C	25,8 °C	1
Varmvatten	8,9 kWh/A <sub>temp</sub> , år	49,4 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1B	8,9 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0
			2	24,3 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,38
			3B	49,4 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1
Vädring	59,0 kWh/A <sub>temp</sub> , år	65,1 kWh/A <sub>temp</sub> , år	7	59,0 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0
			10	59,3 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,05
			4	59,4 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,07
			5	59,7 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,11
			9	60,8 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,30
			8	60,9 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,32
			6	65,1 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1



### Lägenhet B



Figur 11. Lägenhet B, planlösning med markerade vädringsfönster.

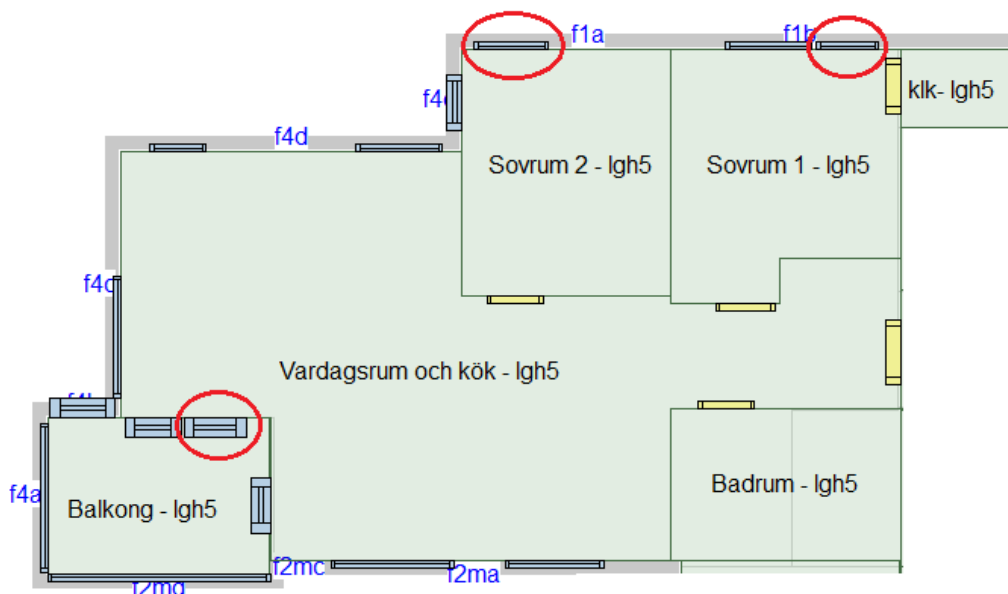
I lägenhet B angavs, under platsbesöket, att de fönster som öppnas vid vädring var balkongdörrarna till de inglasade balkongerna i det ena sovrummet och i vardagsrummet, se Figur 11 ovan.

Under uppvärmningssäsongen uppgavs att vädring sker ungefär 1 gång i veckan. Vädringen sker genom att ha fönsterna öppet i några timmar. Öppningsgraden angavs för båda öppningarna till att öppnas halvöppet vid vädring.

Balkongdörren i vardagsrummet angavs öppnas ca 1 – 3 gånger per månad och balkongdörren i sovrummet angavs öppnas 1 – 3 gånger per vecka under vinterperioden. Under vintern rapporteras respektive balkongdörr öppnas i ungefär fem minuter per vädringstillfälle.

Under vår och höst angavs balkongdörren i sovrummet till att öppnas en gång per dag, där öppningstiden var 10 minuter. Balkongdörren i vardagsrummet uppgavs öppnas ungefär 1 – 3 gånger per vecka, öppningstiden per vädring angavs till 10 minuter.

### Lägenhet C



Figur 12. Lägenhet C, planlösning med markerade vädringsfönster.

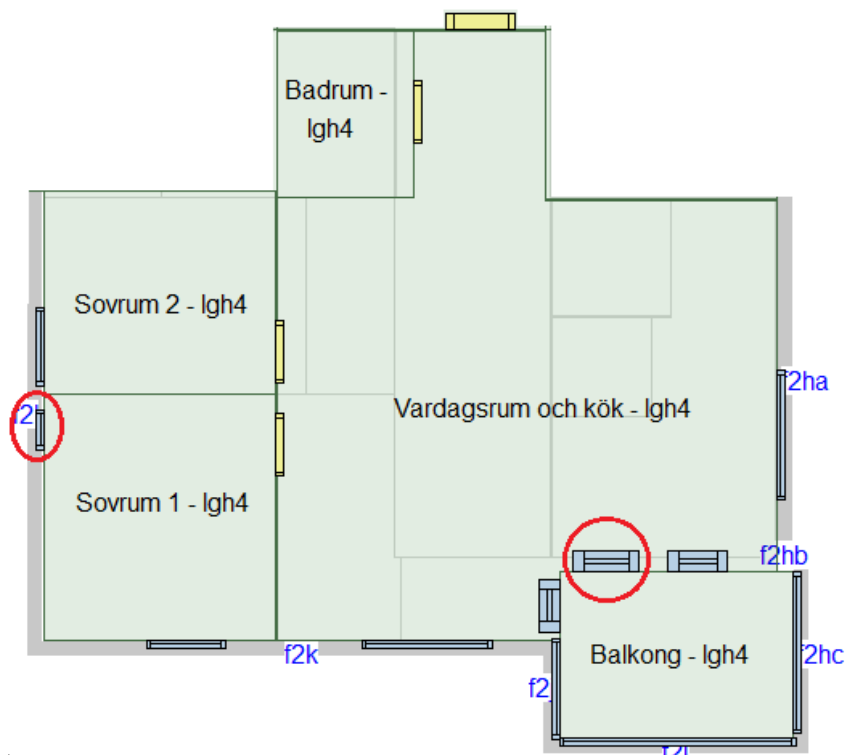
Vid tillfrågan på platsbesöket nämnde brukaren att både balkongdörr i vardagsrum och sovrums 1 brukade öppnas vid vädring samt ett fönster i sovrums 2, se Figur 12. Däremot vid enkätundersökningen angavs det att endast balkongdörren i sovrumsrummet brukade öppnas vid vädring. Balkongen i fråga var inte inglasad.

Vid vädring under uppvärmningssäsong angavs öppningsgraden på balkongdörren till halvöppet. Vidare angav brukaren i enkätundersökningen att när vädring väl sker är det oftast genom att ha korsdrag några minuter.

Brukaren angav att vädring av sovrumsrummet skedde 1 gång per dag, i ca 45 minuter under vintern.

Under våren angavs att vädringen skedde genom öppning av balkongdörren i sovrumsrummet skedde en gång per dag. Öppningstiden per vädring angavs till 60 minuter.

### Lägenhet D



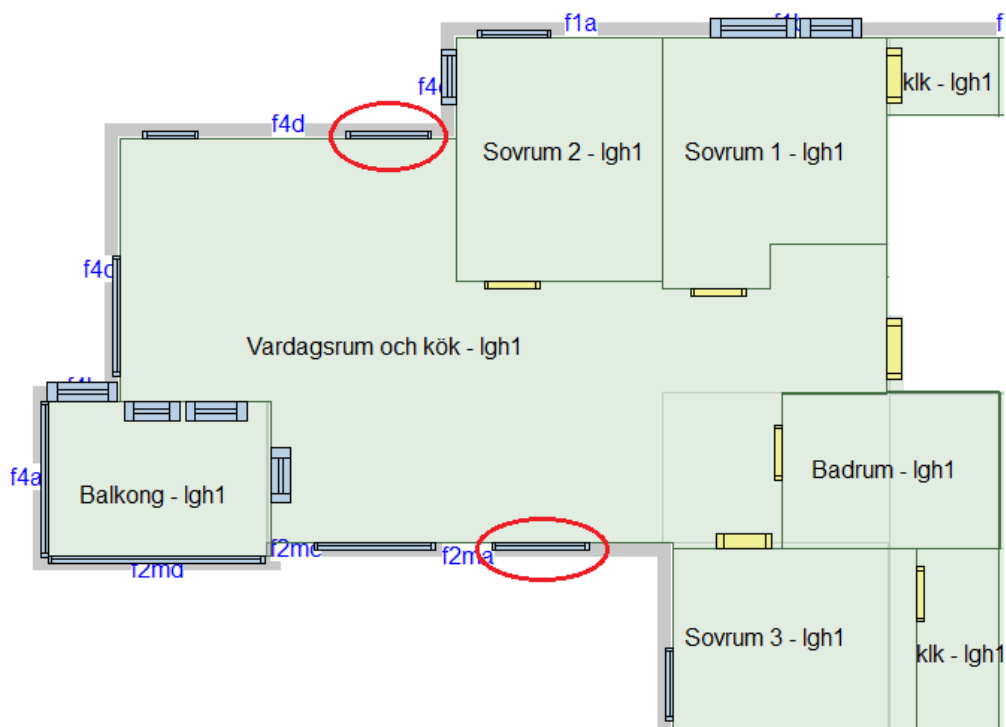
Figur 13. Lägenhet D, planlösning med markerade vädringsfönster.

Vid platsbesöket angav boende i lägenhet D att vädring sker enligt de markerade fönsterna i Figur 13. I enkätundersökningen angav boende att vädring under uppvärmningssäsongen sällan eller aldrig sker. När det väl vädras sker det antingen genom balkongdörren i vardagsrummet som då är helt öppet eller genom ett smalt fönster i sovrummet som då står på glänt, se Figur 13. Generellt sett över uppvärmningssäsongen angav brukaren att vädring sker genom att ha fönster öppet några timmar.

Under vår och höst angav brukaren att vädring vanligtvis sker 1 – 3 gånger per månad. Ingen specifik tidsangivelse vid vädring under vår och höst angavs i enkätundersökningen. Ingen vädring uppges under vintern.



### Lägenhet E



Figur 14. Lägenhet E, planlösning med markerade vädringsfönster.

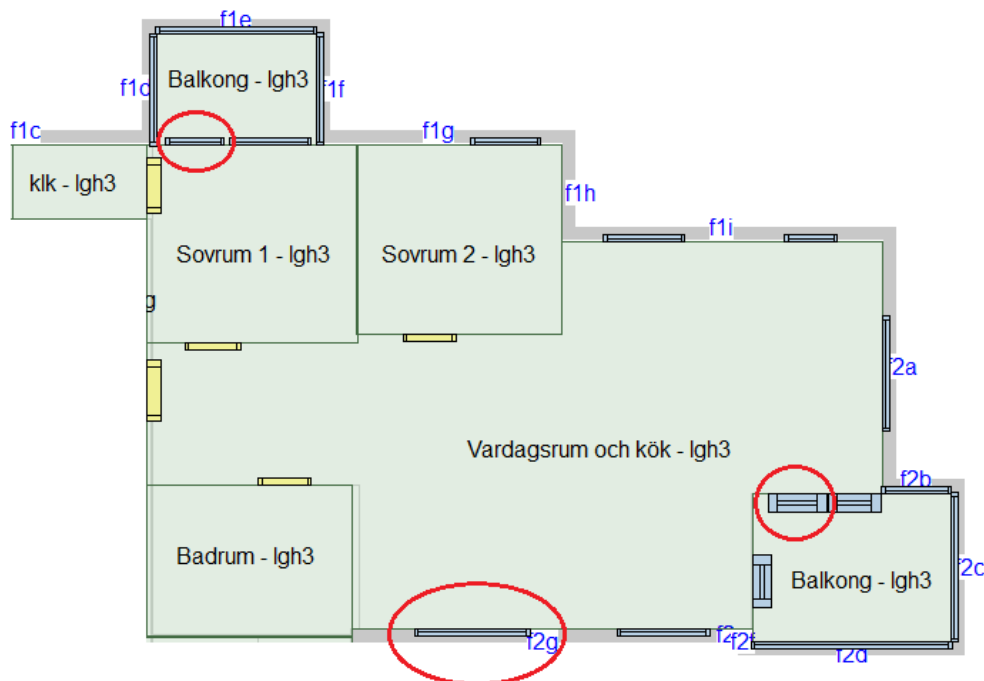
I lägenhet E angavs, vid platsbesöket, att de fönster som öppnas vid vädring var fönstret i vardagsrummet samt fönstret i köket, se Figur 14 ovan.

Under uppvärmningssäsongen uppgavs att vädring sker dagligen, eller nästan varje dag. Vädringen uppgavs ske genom att ha korsdrag under några minuter. Samtliga fönster angavs öppnas till på glänt vid vädring under uppvärmningssäsongen.

Under vintern angavs vädring i fönstret i sovrummet förekomma 1 – 3 gånger per vecka. Fönstret i vardagsrummet angavs öppnas en gång per dag, samma gäller för fönstret i köket. Fönsterna i sovrummet och vardagsrummet öppnas i 10 minuter per vädring under vinter, fönstret i köket angavs öppnas i 15 minuter per vädring.

Vid vår och höst öppnas fönsterna för vädring 1 – 3 gånger per månad. De fönster som anges öppnas under denna period är fönstret i vardagsrummet och köket. Öppningstiden per vädring rapporteras då till 10 minuter.

### Lägenhet F



Figur 15. Lägenhet F, planlösning med markerade vädringsfönster.

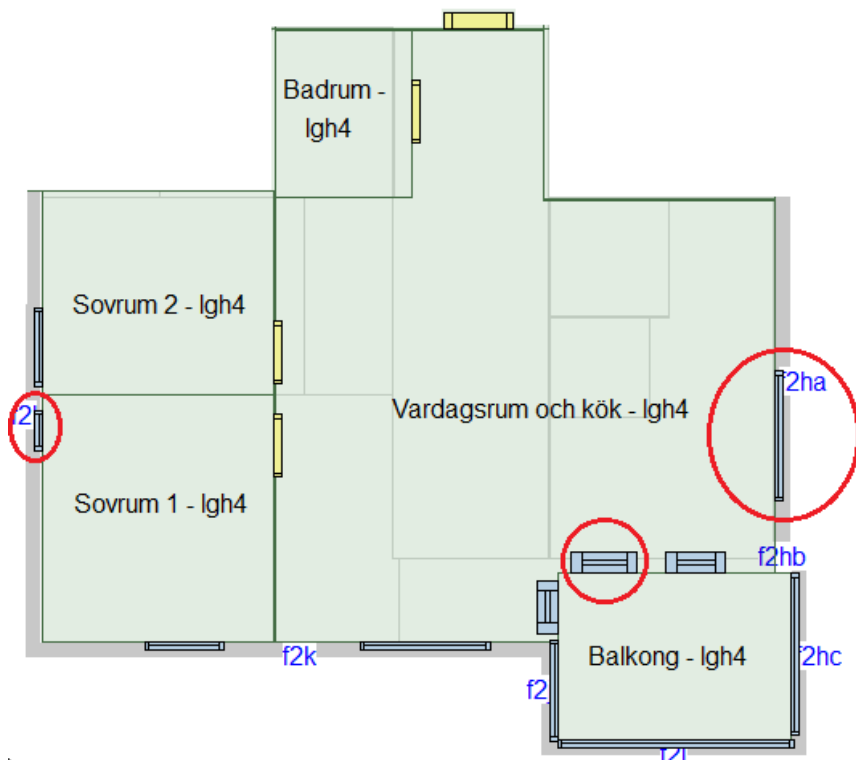
I lägenhet F angav brukaren vid platsbesöket att balkongdörr i vardagsrum och sovrums eller fönstret i köket öppnas vid vädring, se Figur 15. I enkätundersökningen angav brukaren däremot att endast balkongdörrarna användes vid vädring och inte fönstret i köket.

Brukaren angav att vädring sker vanligtvis dagligen eller nästan varje dag under uppvärmningssäsongen genom att ha öppet några minuter. Vid vädring under uppvärmningssäsongen uppgavs att balkongdörrarna är halvöppna. Balkongen i sovrums 1 är egentligen inte inglasad i verkligheten.

Under vintern vädrade brukaren båda balkongdörrarna 1 gång per dag där vädringen varade i ca 10 minuter.

Ingen information fanns att tillgå under våren och hösten eftersom brukaren var nyinflyttad till lägenheten.

### Lägenhet G



Figur 16. Lägenhet G, planlösning med markerade vådringsfönster.

I lägenhet G angavs, vid platsbesöket, att de fönster som normalt sett öppnades vid vådring var det minsta fönstret i sovrummet, fönstret i köket, samt balkongdörren, se Figur 16 ovan.

Under uppvärmningssäsongen angavs det i enkätundersökningen att det vådras någon gång i månaden. Vådringen sker oftast genom att ha korsdrag i några minuter. Fönsterna angavs öppnas med en öppningsgrad på glänt på samtliga fönster förutom balkongdörren som angavs öppnas till halvöppen eller helt öppet.

Under vintern uppges fönstret i sovrummet, fönstret i köket och balkongdörren i vardagsrummet öppnas 1 – 3 gånger i månaden. Öppningstiden per vådring angavs till ca 5 minuter per vådring för samtliga fönster.

Under våren och hösten anges vådringen ske med samma frekvens som under vintern, 1 – 3 gånger per månad. Vådringstiden var 5 minuter för fönsterna i sovrummet och köket, men upp-gavs till 10 minuter till balkongdörren.

#### 4.1.1 Enkätundersökning sammanställning

I Tabell 18 nedan har fråga 12 och 13 från enkätundersökningen sammanställts och jämförts med enkätsvaren från de studier som togs fram under litteraturstudien och som använt sig av Stockholmsenkäten för att undersöka brukarnas vädringsbeteenden. Svaren kommer från studierna ”Sveby” (2012), Boverkets ”BETSI” (2009) och Nordquists ”Flagghusen” (2017). De enkät svar som valdes ut i tabellen nedan är från ett så sent byggnadsår som möjligt för att det skulle vara jämförbart med den aktuella fallstudien.

Tabell 18. Sammanställning av enkät svar angående vädringsbeteenden från den egna enkätundersökningen samt litteraturstudien (Sveby (2012), Boverket (2009) och Nordquist (2017)).

Studie	Enkät	Sveby	BETSI	Flagghusen
Plats	Umeå	Stockholm	Riksgenomsnitt	Malmö
Byggnadsår	2004	2007	1996–2005	2005–2007
Hur ofta vädras det under uppvärmningssäsongen?	%	%	%	%
Dagligen/nästan varje dag	43	49	61	55
Ungefär en gång i veckan	14	23	17	26
Någon gång i månaden	29	15	12	12
Sällan eller aldrig	14	12	9	8
Bortfall	-	-	-	-
Hur lång tid vädrar ni under uppvärmningssäsongen?				
Hela dagen/natten	0	11	19	12
Några timmar	43	46	50	43
Korsdrag i några minuter	43	39	27	44
Aldrig	0	3	4	4
Bortfall	14	-	-	-

Frågorna 17, 18, 20 och 21 från enkätundersökningen sammanställs för varje lägenhet i Tabell 19 nedan tillsammans med de öppningar som brukaren, vid tillfrågan under platsbesöket, angivit öppnas vid vädring. I Tabell 19 visar ”-” uteblivna svar från enkätundersökningen.

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus  
med FTX – ventilation.

Tabell 19. Sammanställning av enkätsvar för fråga 17, 18, 20 och 21 samt resultat från platsbesök.

Lägenhet	Rum	Typ av fönster	Fråga 17 (vinter)	Fråga 18 (vår & höst)	Fråga 20 (vinter/ vår & höst)	Fråga 21
A (vån 5)	Vardagsrum	Balkongdörr	1–3 ggr per månad	1–3 ggr per vecka	10 min/-	Helt öppet
	Sovrum 1	Balkongdörr	-	-	-	-
B (vån 7)	Vardagsrum	Balkongdörr	1–3 ggr per månad	1–3 ggr per vecka	5 min/10 min	Halvöppet
	Sovrum 1	Balkongdörr	1–3 ggr per vecka	1 gång per dag	5 min/10 min	Halvöppet
C (vån 4)	Vardagsrum	Balkongdörr	-	-	-	-
	Sovrum 1	Balkongdörr	1 gång per dag	1 gång per dag	45 min/60 min	Halvöppet
	Sovrum 2	Fönster	-	-	-	-
D (vån 6)	Vardagsrum	Balkongdörr	-	1–3 ggr per månad	-	Helt öppet
	Sovrum 1	Fönster	-	1–3 ggr per månad	-	På glänt
E (vån 1)	Vardagsrum	Fönster	1 gång per dag	1–3 ggr per månad	10 min/-	På glänt
	Sovrum	Balkongdörr	1–3 ggr per vecka	-	10 min/-	-
	Kök	Fönster	1 gång per dag	1–3 ggr per månad	15 min/10 min	På glänt
F (vån 7)	Vardagsrum	Balkongdörr	-	-	-	-
	Sovrum 1	Balkongdörr	1 gång per dag	-	10 min/-	Halvöppet
	Kök	Fönster	-	-	-	-
G (vån 1)	Vardagsrum	Balkongdörr	1–3 ggr per månad	1–3 ggr per månad	5 min/10min	Helt öppet
	Sovrum 1	Fönster	1–3 gånger per månad	1–3 gånger per månad	5 min/5 min	På glänt
	Kök	Fönster	1–3 gånger per månad	1–3 gånger per månad	5 min/5min	På glänt

## 4.2 Resultat av simuleringsfall

Efter simuleringen i IDA – ICE fås värden på fastighetsel och värmeenergin för uppvärmning av byggnaden som tillsammans blir energianvändningen för byggnaden där tappvarmvatten och hushållsel exkluderats från simuleringen. Dessa två parametrar presenteras i Tabell 20 nedan för respektive simuleringsfall där summan av dessa har dividerats med modellens  $A_{temp}$ , som är 2402,2 m<sup>2</sup>.

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus  
med FTX – ventilation.

Tabell 20. Resultat av flerbostadshusets beräknade energianvändning (fastighetsel och värmeenergi, exklusive tappvarmvatten och hushållsel) från simuleringar.

Simuleringsfall	Fastighetsel [kWh/år]	Värmeenergi [kWh/år]	Summa [kWh/år]	Summa per $A_{temp}$ [kWh/ $A_{temp}$ ,år]
Grundfall	11 672	71 780	83 453	34,7
Fall 1 – spara	11 704	73 428	85 132	35,4
Fall 1A – spara, hushållsel	11 660	95 050	106 710	44,4
Fall 1B – spara, tappvarmvatten	11 659	81 378	93 037	38,7
Fall 1C – spara, inomhustemperatur	11 701	61 451	73 151	30,5
Fall 2 - medelbrukare	11 659	81 378	93 037	38,7
Fall 3 - slösa	11 642	95 199	106 841	44,5
Fall 3A – slösa, hushållsel	11 659	64 499	76 158	31,7
Fall 3B – slösa tappvarmvatten	11 659	81 378	93 037	38,7
Fall 3C – slösa, inomhustemperatur	11 643	115 201	126 844	52,8
Fall 4 – en öppning helt öppen, 10 min	11 672	72 710	84 382	35,1
Fall 5 – korsdrag, två öppningar halvöppna, 5 min	11 672	73 247	84 919	35,4
Fall 6 – en öppning halvöppen, 45 min	11 673	86 319	97 992	40,8
Fall 7 – ingen vädring	11 672	71 780	83 453	34,7
Fall 8 – korsdrag två öppningar på glänt, 15 min och en öppning på glänt, 10 min	11 673	76 309	87 981	36,6
Fall 9 – en öppning halvöppen, 10 min	11 672	76 001	87 673	36,5
Fall 10 – korsdrag två öppningar på glänt, en helt öppen, 5 min	11 672	72 444	84 117	35

I Tabell 21 redovisas den totala energianvändningen där tappvarmvatten är inkluderat för respektive simuleringsfall. I den totala energianvändningen ingår fastighetselen, värmeenergin och tappvarmvatten samt även vädringspåslaget på 4 kWh/ $A_{temp}$ ,år för Grundfall och Fall 1 – 3. I Tabell 21 redovisas även den totala energianvändningen med hushållsel.

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus  
med FTX – ventilation.

Tabell 21. Den totala beräknade energianvändningen inklusive tappvarmvatten och eventuella vädringspåslag.

Simuleringsfall	Total energianvändning [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]	Total energianvändning + hushållsel [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]
Grundfall	63,0	93,0
Fall 1	48,3	62,5
Fall 1A	72,7	76,9
Fall 1B	51,6	79,4
Fall 1C	58,8	86,8
Fall 2	67,0	94,8
Fall 3	97,9	143,9
Fall 3A	60,0	106,0
Fall 3B	92,1	119,9
Fall 3C	81,1	108,9
Fall 4	59,4	89,4
Fall 5	59,7	89,7
Fall 6	65,1	95,1
Fall 7	59,0	89,0
Fall 8	60,9	90,9
Fall 9	60,8	90,8
Fall 10	59,3	89,3

För att tydligare kunna avgöra hur stor skillnad vädringen gör för energianvändningen har ett delta beräknats genom att ta respektive fall subtraherat med grundfallet utan vädringspåslaget, alltså 59 kWh/A<sub>temp</sub>,år, se Tabell 22.

Tabell 22. Total energianvändning och skillnaden i vädring.

Simuleringsfall	Total energianvändning [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]	Delta [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]
Grundfall	63,0	4,0
Fall 4 - en öppning helt öppen, 10 min	59,4	0,4
Fall 5 - korsdrag, två öppningar halvöppna, 5 min	59,7	0,7
Fall 6 - en öppning halvöppen, 45 min	65,1	6,1
Fall 7 – ingen vädring	59,0	0
Fall 8 - korsdrag två öppningar på glänt, 15 min och en öppning på glänt, 10 min	60,9	1,9
Fall 9 - en öppning halvöppen, 10 min	60,8	1,8
Fall 10 - korsdrag två öppningar på glänt, en helt öppen, 5 min	59,3	0,3

### 4.3 Känslighetsanalys

I Tabell 23 nedan presenteras data som hämtats från simuleringsfallen för känslighetsanalysen som presenteras i Figur 17 och 18 nedan. De två olika figurerna visar den grafiska känslighetsanalysen, där variationen av hur mycket vardera parameter påverkar den totala energianvändningen när hushållselanvändningen både exkluderas och inkluderas visas. Känslighetsanalysen, både exklusive och inklusive hushållsel, visar att den parameter som varierar den totala energianvändningen mest mellan de olika simuleringsfallen är tappvarmvattenanvändningen. Den parameter som varierar minst är vädringen.

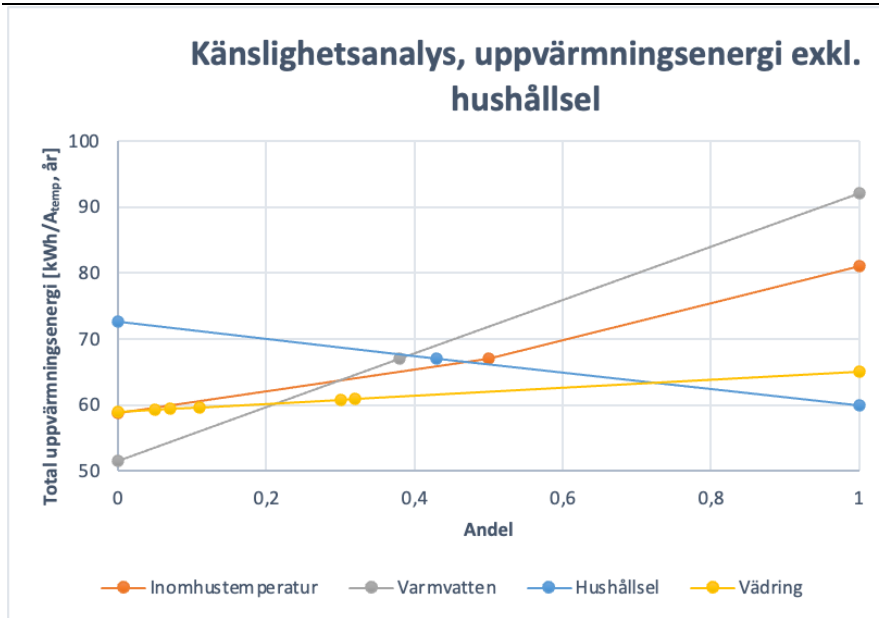


Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus  
med FTX – ventilation.

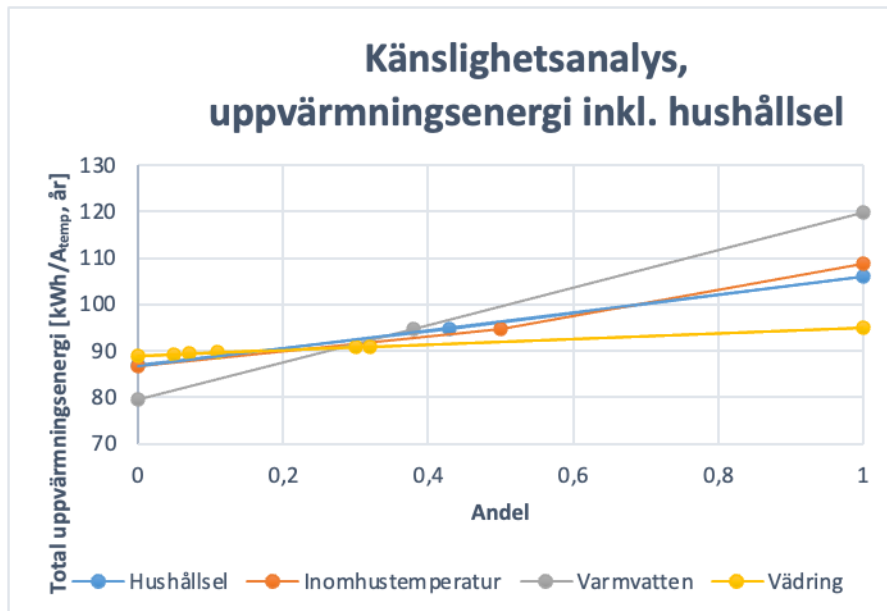
Tabell 23. Känslighetsanalys data.

	<b>b<sub>min</sub></b>	<b>b<sub>max</sub></b>	<b>b</b>	<b>x [-]</b>	<b>Total energianvändning [kWh/A<sub>temp</sub>, år]</b>	<b>Total energianvändning inkl. hushållsel [kWh/A<sub>temp</sub>, år]</b>
Hushållsel	14,2 kWh/A <sub>temp</sub> , år	46,0 kWh/A <sub>temp</sub> , år	14,2 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0	72,7	86,9
			27,8 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,43	67,0	94,8
			46,0 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1	60,0	106,0
Inomhus-temperatur	18,6 °C	25,8 °C	18,6 °C	0	58,8	86,6
			22,2 °C	0,5	67,0	94,8
			25,8 °C	1	81,1	108,9
Varmvatten	8,9 kWh/A <sub>temp</sub> , år	49,4 kWh/A <sub>temp</sub> , år	8,9 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0	51,6	79,4
			24,3 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,38	67,0	94,8
			49,4 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1	92,1	119,9
Vädning	59,0 kWh/A <sub>temp</sub> , år	65,1 kWh/A <sub>temp</sub> , år	59,0 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0	59,0	89,0
			59,3 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,05	59,3	89,3
			59,4 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,07	59,4	89,4
			59,7 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,11	59,7	89,7
			60,8 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,30	141,8	90,8
			60,9 kWh/A <sub>temp</sub> , år	0,32	60,9	90,9
			95,1 kWh/A <sub>temp</sub> , år	1	65,1	95,1

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.



Figur 17. Känslighetsanalys, total energianvändning där fastighetsel, värmeenergi, tappvarmvatten och eventuella vädringspåslag ingår och hushållsel exkluderas.



Figur 18. Känslighetsanalys, total energianvändning där fastighetsel, värmeenergi, tappvarmvatten och eventuella vädringspåslag ingår och hushållsel inkluderas.

## 5 Analys

I detta avsnitt kommer resultaten från simuleringsfallen att analyseras genom att jämföra energianvändningen från de olika simuleringsfallen och kommentera resultaten. I fortsättningen kommer energianvändningen givet i kWh/A<sub>temp</sub>,år att anges som kWh/m<sup>2</sup> och bestå av fastighetsel, värmeenergi, tappvarmvatten samt eventuella vädringspåslag. Hushållsel är därmed inte inkluderad i energianvändningen i analyskapitlet.

### 5.1 Simuleringsfall

Efter att samtliga resultat från simuleringarna har sammanställts kunde känslighetsanalysen göras för att jämföra fallen och resultaten av simuleringarna. I detta delavsnitt analyseras skillnaderna i energianvändning för fallen med varandra.

#### 5.1.1 Känslighetsanalys

När känslighetsanalysen var gjord visar det sig att det är tappvarmvattenanvändningen som varierar mest, där det fall som ger högst energianvändning (92,1 kWh/m<sup>2</sup> exkl. hushållsel) ökade med 78 % från det fallet med sparsamt användande av varmvatten, som gav en energianvändning på 51,6 kWh/m<sup>2</sup> (exkl. hushållsel).

En rangordning kan ställas upp från känslighetsanalysen, där de parametrar som varierar mest i energianvändning till minst rangordnas från 1 – 4 enligt:

1. Varmvattenanvändning
2. Inomhustemperatur
3. Hushållselanvändning
4. Vädring

Det sparsamma och slösaktiga fallet när det kommer till inomhustemperatur varierar med 7,2 °C, denna skillnad ger en ökning av energianvändningen med 37,9 %.

Vädringen var den parameter som enligt känslighetsanalysen varierade minst i energianvändning mellan simuleringsfallen. Från det vädringsfall med ingen vädring till det fall som gav högst energianvändning skiljde endast 6,1 kWh/m<sup>2</sup>. Det innebär en ökning på 10 % i energianvändning.

Vid jämförelse av det fall där brukare sparar på hushållsel respektive slösar fås en minskning av energianvändningen när hushållselanvändningen inte inkluderas. Skillnaden mellan det sparsamma och slösaktiga fallet är en minskning på 31,8 kWh/m<sup>2</sup> i energianvändning. Genom att använda 12,7 kWh/m<sup>2</sup> mer hushållsenergi visar sig alltså ge effekt av minskning i av energianvändning med 21,1 %. Resultatet visar på att en högre användning av hushållsel ger lägre behov till värmesystemet, vilket bedöms vara ett rimligt resultat eftersom de apparater och lampor i bostäderna som drivs av el avger intervärme som räknas in som gratisvärme i husets

energibalans. Eftersom använd hushållsel inte räknas in till beräkning av energianvändningen enligt BBR kan en högre användning av hushållsel göra att byggnaden uppfattas som mer energieffektiv sett till uppvärmning, eftersom gratisvärmen räknas med men inte den använda energin som går åt för att generera den.

Om hänsyn tas till den använda hushållselen visar resultatet på att en högre hushållselanvändning ger högre energianvändning. Energianvändningen ökar då med 22 % mellan det sparsamma och det slösaktiga fallet. Vid jämförelse av graferna i Figur 17 och Figur 18 kan då noteras att grafen för hushållselen ökar istället för att minska i Figur 18. När hushållselanvändningen räknas med i en byggnads energianvändning uppfattas hushållsenergin inte längre vara gratisvärme. Oavsett om hushållselen räknas med eller inte i energianvändningen varierar parametern med hushållsenergianvändning näst minst mellan de fyra studerade brukarbeteendena.

### 5.1.2 Ytterlighetsfall och medelbrukare

Ytterlighetsfallen, Fall 1 och 3, visar hur mycket brukaren kan påverka energianvändningen. Dessa fall är uppbyggda efter att brukarna agerar slösaktigt respektive sparsamt samtidigt på samtliga angivna brukarbeteenden som behandlats i rapporten, bortsett från vädringen, alltså beteendena hushållselanvändning, varmvattenanvändning och inomhustemperaturen. Det slösaktiga fallet, Fall 3, gav en energianvändning på 97,3 kWh/m<sup>2</sup> och Fall 1, som motsvarar det sparande fallet, gav en energianvändning på 48,3 kWh/m<sup>2</sup>. Skillnaden mellan det slösaktiga och sparsamma fallet sett till energianvändning blir 49,6 kWh/m<sup>2</sup>, detta innebär att det slösaktiga fallet, sett till dessa presenterade siffror, skulle kunna motsvara två lägenhetshus av sparsamma användare. Det ska tilläggas att det inte är troligt att samtliga brukare skulle bete sig på samma extrema sätt i ett lägenhetshus. Siffrorna kan däremot visa på att brukarnas beteenden i bostäder på lägenhetsnivå kan göra stora skillnader på energianvändningen i byggnaden.

Ytterlighetsfallen inkluderar inte vädringsfallen, men känslighetsanalysen visar på att vädringsfallen inte hade gett några större skillnader förutom ett påslag på 6,1 kWh/m<sup>2</sup> för det mer slösaktiga vädringsfallet, det sparsamma beteendet inte hade förändrats alls. Det sparsamma vädringsfallet hade inneburit ingen vädring alls (Fall 7) och det slösaktiga fallet hade motsvarat Fall 6, där vädring sker genom en öppning halvöppen i 45 minuter per dag.

Grundfallet används främst i syfte av att jämföras med vädringsfallen, denna skiljer sig något från Fall 2, medelbrukaren, som är hämtad från Forsberg och Linds (2021) uppmätta brukarindata. Fall 2 ska representera medelbrukaren i bostäder som är hämtad från statistik på verkliga mätningar (Forsberg & Lind 2021). Efter simuleringarna blev skillnaden i energianvändning mellan Grundfallet och Fall 2 4 kWh/m<sup>2</sup>, år, där Fall 2 hade något högre energianvändning än BEN 2:s indata för Grundfallet. Det som skiljer fallen åt är att Grundfallet har 2,2 kWh/m<sup>2</sup> högre hushållselanvändning och en inomhustemperatur som är 1,2 °C lägre jämfört med Fall

2. Inkluderas hushållselen till energianvändningen är skillnaden mellan Fall 2 och Grundfallet endast 1,8 kWh/m<sup>2</sup>.

## 5.2 Vädring

I resultatet presenteras en sammanställning i Tabell 18 av enkätsvar från den egna enkätundersökningen i Umeå tillsammans med enkätsvar från studierna Sveby, BETSI (Riksgenomsnitt) och Flagghuset (Malmö) för att kunna göra en jämförelse mellan studierna. Enkätundersökningen visar, liksom de tre andra presenterade studierna, att störst andel brukare (43 %) vädrar dagligen eller nästan varje dag, andelen för övriga studier ligger mellan 49 – 61 %. Enkätsvaren avviker däremot från de andra presenterade studierna genom att den näst största andelen (29 %) angett att de vädrar någon gång i månaden. I övriga studier visar den näst största andelen (17 – 26 %) att brukaren vädrar ungefär en gång i veckan. I övrigt liknar enkätsvaren de resultat som fås från Sveby, BETSI och Flagghuset vilket tyder på att brukarna i ett flerbostadshus i Umeå vädrar på liknande sätt som i andra delar av Sverige.

Genom att studera den fastighetsel samt värmeenergi för uppvärmning av byggnaden som fås av energisimuleringarna i IDA – ICE för varje simuleringsfall kan skillnaden mellan fastighetselens högsta och lägsta värde beräknas till 62 kWh/år för hela byggnaden medan skillnaden mellan den högsta och lägsta värmeenergin beräknas till 53 693 kWh/år. Detta tyder på att fastighetselen inte påverkas av variationer i brukarbeteenden jämfört med värmeenergin.

I Tabell 22 som finns i resultaten redovisas skillnaden delta, som innebär skillnaden i energianvändning mellan de sju olika vädringsfallen när parametrarna tappvarmvatten och hushållsel bortses från. Vädringsfallen visar en spridning mellan 0 – 6,1 kWh/m<sup>2</sup>. Spridningen visar på att olika vädringsbeteenden har en påverkan på energianvändningen.

Vädringsfallens beräknade energianvändning i IDA – ICE sammanställs i Tabell 24 nedan tillsammans med en sammanställning över vädringsfallen.

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 24. Sammanställning av vädringsfall och dess totala energianvändning.

Fall	Öppning	Frekvens	Tidpunkt	Korsdrag	Öppningsgrad	Energianvändning [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]
4	Vardagsrum, balkongdörr	1 gång i veckan (torsdag)	16:00 – 16:10	Nej	Helt öppen	59,4
5	Sovrum, balkongdörr	2 gånger i veckan (måndag, onsdag), 1 gång i veckan (söndag)	07:30 – 07:35, 16:00 – 16:05	Ja	Halvöppen	59,7
	Vardagsrum, balkongdörr	1 gång i veckan (söndag)	16:00 – 16:05		Halvöppen	
6	Sovrum, balkongdörr	Varje dag	08:00 – 08:45	Nej	Halvöppen	65,1
7	-	-	-	-	-	59,0
8	Vardagsrum, fönster	Varje dag	16:00 – 16:15	Ja	På glänt	60,9
	Kök, fönster	Varje dag	16:00 – 16:15		På glänt	
	Sovrum, balkongdörr	3 gånger i veckan (måndag, onsdag, lördag)	22:00 – 22:10	Nej	På glänt	
9	Sovrum, balkongdörr	Varje dag	22:00 – 22:10	Nej	Halvöppen	60,8
10	Vardagsrum, balkongdörr	1 gång i veckan (söndag)	15:00 – 15:05	Ja	Helt öppen	59,3
	Kök, fönster	1 gång i veckan (söndag)	15:00 – 15:05		På glänt	
	Sovrum, fönster	1 gång i veckan (söndag)	15:00 – 15:05		På glänt	

Det vädringsfall som gav den högsta energianvändningen ett normalår var Fall 6. Vädringsfallet är det fall där en balkongdörr är halvöppen i 45 minuter, varje dag. Energianvändningen blev 65,1 kWh/m<sup>2</sup>, vilket innebär en ökning med 7 % från det vädringsfall som genererade näst högst åtgång av energianvändning, Fall 8, som gav en energianvändning på 60,9 kWh/m<sup>2</sup>. Fall 5 var ett vädringsfall där vädringen sker genom korsdrag med två fönsteröppningar på glänt i 15 minuter, varje dag samt en balkongdörr på glänt i 10 minuter, tre gånger i veckan.

Eftersom Fall 7 innebar ingen vädring alls gav det fallet lägst energianvändning av samtliga vädringsfall. Bortses detta fall är det vädringsfall som gav lägst energianvändning (59,3 kWh/m<sup>2</sup>) Fall 10, där vädring skedde genom korsdrag i tre öppningar samtidigt. Två fönsteröppningar stod på glänt och en balkongdörr var helt öppen i 5 minuter, en gång i veckan. Det vädringsfall som kom strax efter Fall 10 i lägst energianvändning var Fall 4, där vädring skedde med en balkongdörr helt öppen i 10 minuter, en gång i veckan. Energianvändningen för detta fall var då 59,4 kWh/m<sup>2</sup>.

En rangordning av de vädringsfall från högst till lägst energianvändning kan ställas upp:

1. Fall 6, en balkongdörr halvöppen i 45 minuter, varje dag.
2. Fall 8, korsdrag med två fönsteröppningar på glänt i 15 minuter, varje dag samt en balkongdörr på glänt i 10 minuter, tre gånger i veckan.
3. Fall 9, en balkongdörr halvöppen i 10 minuter, varje dag.
4. Fall 5, korsdrag med två balkongdörrar som är halvöppna i 5 minuter, en gång i veckan samt en balkongdörr halvöppen i 5 minuter, två gånger i veckan\*
5. Fall 4, en balkongdörr helt öppen i 10 minuter, en gång i veckan.
6. Fall 10, korsdrag tre öppningar samtidigt. Två fönsteröppningar på glänt och en balkongdörr helt öppen i 5 minuter, en gång i veckan.
7. Fall 7, ingen vädring.

\*I en av tre lägenheter finns bara en balkongdörr. I dessa lägenheter öppnas istället ett fönster vid vädring.

Vädringsfallen visar inte på en så stor spridning i energianvändning, den högsta energianvändningen, Fall 6, är 10 % högre än den lägsta energianvändningen, Fall 7. Resultaten tyder på att brukaren har möjlighet att påverka energianvändningen något bara genom sitt vädringsbeteende.

Med antagande om att modellen är korrekt uppbyggd i IDA – ICE, att beräkningarna i programmet är korrekta samt att tillämpningen av vädring från verkligheten till modellering i programmet är tillräckligt bra, går det att översiktligt analysera och dra slutsatser hur olika vädringsbeteenden påverkar energianvändningen. De fyra varierande faktorerna som i den här studien står för skillnaderna i energianvändning för de olika simuleringsfallen är antalet öppningar samtidigt, frekvens på vädringen, öppningsgraden vid vädring, samt öppningstiden. Från rapportens resultat visar

simuleringsfallens energianvändningar vilka av dessa faktorer som visar sig göra mest skillnad i energianvändning.

Det fall som gav högst årlig energianvändning visade sig vara det fall med längst öppningstid per vädring. Eftersom Fall 6 ökade med 7 % från det fall med näst högst energianvändning (Fall 8), och ökningen mellan det fall med ingen vädring alls (Fall 7) och det fall med näst högst energianvändning (Fall 8) blev 3 %, visar det på att det som gjorde mest skillnad på energianvändningen var den längre öppningstiden på 45 minuter. Mellan övriga fall var spridningen endast 1,8 kWh/m<sup>2</sup> vilket visar på att övriga faktorer såsom antal öppningar samtidigt och öppningsgrad gör mindre skillnad.

Resultaten visar på att frekvensen och öppningstid per vädring påverkar energianvändningen mest. De fall som innefattar vädring varje dag, Fall 6, 8 och 9, är de vädringsfallen som genererar högst energianvändning. Vid en närmre granskning mellan Fall 8 och Fall 9 är det svårt att avgöra om det är antalet öppningar öppna samtidigt eller öppningsgraden som skiljer fallen åt, men eftersom skillnaden i energianvändningen endast är 0,1 kWh/m<sup>2</sup> visar resultaten på att det eventuellt kan vara mer effektivt att vädra genom korsdrag då energianvändningen inte skiljer särskilt mycket mellan att vädra genom en öppning åt gången varje dag och att vädra med korsdrag varje dag utöver att redan vädra en öppning åt gången tre gånger i veckan.

Grundfallet som innefattar det rekommenderade vädringspåslaget på 4 kWh/m<sup>2</sup> enligt BEN 2 visade sig ge en energianvändning som ligger i ungefär samma storlek som de beräknade vädringsfallen. Eftersom medelvärdet på energianvändningen för samtliga vädringsfall låg på 60,6 kWh/m<sup>2</sup> innebär det en skillnad mellan Grundfallet och medelvärdet på vädringsfallen på 2,4 kWh/m<sup>2</sup>, vilket visar på att vädringspåslaget ungefär representerar, om än något högre än, vädringen under vintern i Umeå, enligt svaren från de boende.



### 5.3 Vädring på husnivå

Den totala energianvändningen som ges för varje vädringsfall visar spridningen på lägenhetsnivå eftersom samma vädringsfall har applicerats på alla 23 lägenheter i modellen. Detta är en förenkling då alla brukare förmodligen inte vädrar på exakt samma sätt vilket även enkätundersökningen visade på, där en spridning av brukarnas vädringsbeteende kunde identifieras på sju studerade lägenheter. Genom att vikta ihop de olika vädringsfallen på de 23 lägenheterna fås en energianvändning som kan studeras på husnivå.

Viktningen av de olika vädringsfallen går att göra på flera olika sätt men principen är att de sju olika vädringsfallen fördelas ut lika på de 23 lägenheterna. Med de två lägenheterna som blir över kommer två vädringsfall att appliceras på fyra lägenheter istället för tre. I detta fall beräknas fem olika fördelningar för att undersöka hur stor skillnad på husnivå olika viktningar gör. De fem fördelningarna skiljer sig åt genom att de två överblivna lägenheterna fördelas ut olika enligt nedan.

Fördelning 1 motsvarar att fler brukare öppnar flera fönster samtidigt medan fördelning 2 motsvarar att fler brukare endast öppnar ett fönster vid vädring. I fördelning 3 har de vädringsfall med lägst energianvändning tilldelats extra lägenheter och i fördelning 4 har de vädringsfall med högst energianvändning tilldelats extra lägenheter. Fördelning 4 representerar även en hög vädringsfrekvens och en lång öppningstid. Den sista fördelningen, fördelning 5, motsvarar en låg vädringsfrekvens och kort öppningstid, se Tabell 25.

Tabell 25. Sammanställning av de fem olika fördelningarna.

Fall	Total energianvändning [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]	Fördelning 1 [st] (flera fönster)	Fördelning 2 [st] (ett fönster)	Fördelning 3 [st] (lägst)	Fördelning 4 [st] (högst)	Fördelning 5 [st] (låg frekvens, kort tid)
Fall 4	59,4	3	4	3	3	3
Fall 5	59,7	4	3	3	3	4
Fall 6	65,1	3	4	3	4	3
Fall 7	59,0	3	3	4	3	3
Fall 8	60,9	4	3	3	4	3
Fall 9	60,8	3	3	3	3	3
Fall 10	59,3	3	3	4	3	4

I Tabell 26 presenteras de fem olika fördelningarnas totala energianvändning, som för respektive fall har multiplicerats med antalet lägenheter, enligt Tabell 25, där summan av detta har dividerats med 23 lägenheter.

Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX – ventilation.

Tabell 26. Energianvändning på husnivå för fyra olika fördelningar.

	<b>Fördelning 1</b> <b>(flera fönster)</b>	<b>Fördelning 2</b> <b>(ett fönster)</b>	<b>Fördelning 3</b> <b>(lägst)</b>	<b>Fördelning 4</b> <b>(högst)</b>	<b>Fördelning 5</b> <b>(låg frekvens, kort tid)</b>
Summan av (energianvändning * antalet lägenheter) [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]	1 393,2	1 397,1	1 390,9	1 398,6	1 391,6
Total energianvändning per lägenhet [kWh/A <sub>temp</sub> ,år]	60,6	60,7	60,5	60,8	60,5

Ur Tabell 26 framgår det att spridningen på den totala energianvändningen per lägenhet för de fem olika fördelningarna inte är särskilt stor. Detta indikerar på att oavsett hur de sju vädringsfallen fördelas över de 23 lägenheterna i flerbostadshuset kommer spridningen i brukarnas vädringsbeteende inte att göra en märkbar skillnad på energianvändningen om det studeras på husnivå.

## 6 Diskussion

Något som noterades vid granskning av enkätundersökningen var att en del brukare inte angett samma fönster gällande vädring i enkäten som de gjorde vid tillfrågande under platsbesöket om vilka fönster som de vanligtvis vädrade. Det medför att en viss osäkerhet finns i de svar som brukarna har angett i enkätundersökningen. Vidare, om brukaren inte har varit konsekvent med svaren, inte förstått frågan eller om svarsalternativen inte var tillräckliga för att spegla brukarens vädringsbeteende i enkätundersökningen bidrar det till en viss osäkerhet kring brukarnas faktiska beteende. Exempelvis hade en brukare svarat att de vädrar 5 minuter per vädringstillfälle under vintern samtidigt som svaret på en annan fråga var att de brukar ha öppet fönstret några timmar när de vädrar under uppvärmningssäsongen. Detta ledde till att egna antaganden fick göras för att sätta ihop vädringsfallen, utan att överdriva vädringen. Ett annat exempel var då svarsalternativen på vilka fönster eller dörrar som öppnas i enkätundersökningen inte stämde överens med vilka fönster och dörrar som faktiskt fanns i lägenheterna, vilket kan ha förvirrat brukarna och gjort att de svarat avvikande. Genom komplettering av mätningarna som pågår just nu i vädringsprojektet hade en mer exakt bild av hur brukarna faktiskt vädrar över ett års tid kunnat fås, förutsatt att brukarna endast öppnar de fönster där mätutrustningen sitter. Däremot skiljde sig svaren mellan platsbesöket och enkätundersökningen inte mycket åt och bör därför inte påverka energianvändningen i större utsträckning.

Vid platsbesöket samt i enkätsvaren noterades att den övervägande delen av de boende i flerbostadshuset var pensionärer. Vädringsfallen i detta examensarbete speglar därför inte alla olika typer av brukare i flerbostadshus, vilket är rimligt eftersom enkätundersökningen endast omfattar sju lägenheters vädringsbeteenden. Det kan alltså vara bra att ha i åtanke att pensionärens vädringsbeteenden i denna studie är något överrepresenterad. Samtidigt visar spridningen mellan lite och mycket vädring i enkätresultaten på att variationer av vädringsbeteenden kan omfattas inom spridningens spann, oavsett ålder på brukare.

Skapandet av vädringsfall utgick endast från vad brukarna hade svarat i enkätundersökningen om deras vädringsbeteende. Det går inte att veta hur alla brukare i de 23 lägenheterna vädrar, men trots att det bara var sju lägenheter som deltog i enkätundersökningen kunde olika vädringsbeteenden identifieras. En spridning i vädringsbeteende tyder på att varje brukare är unik och att skapa vädringsfall som representerar varje brukare blir komplext. En spridning på 10 % på energianvändningen mellan de olika vädringsbeteenden i flerbostadshuset visar också på vikten av att beakta brukarbeteendens påverkan vid projektering. En alternativ metod hade kunnat vara att istället skapa vädringsfall utifrån vad författarna anser vara möjligt samt utifrån lägenheternas förutsättningar. Om det skulle vara en bättre metod är däremot osäkert eftersom enkätundersökningen representerar verkligheten för det studerade flerbostadshuset.

En iakttagelse som gjordes under platsbesöket var att brukaren oftast sov i det sovrum som har ett projekterat tilluftsflöde på 4 l/s och att det andra sovrummet med ett projekterat tilluftsflöde på 8 l/s inte användes som sovrum. Sover det två personer i det sovrum med tilluftsflödet 4 l/s skulle det kunna vara så att luftflödet inte är tillräckligt, vilket gör att brukaren kan känna ett behov av att släppa in mer uteluft genom att vädra mer. Eftersom flerbostadshuset har en hög verkningsgrad på FTX – systemets värmeväxlare skulle ett förslag till att förbättra inomhusklimatet kunna vara att öka ventilationsflödena eftersom tilluften värms mer energieffektivt än uteluften som passerar fönsteröppningen.

Under platsbesöket när luftflödena från rummens till – och frånluftsdon mättes upp, monterades mätutrustning på fönsterna samtidigt. Vid kalibreringen av mätutrustningen var fönsterna tvungna att öppnas vilket gjorde att fönster öppnats och stängts samtidigt som luftflödena har mätts upp i lägenheterna. Detta skulle ha kunnat påverkat mätningen av luftflödet, vilket skulle kunna förklara skillnaden mellan det uppmätta flödena från platsbesöket och de projekterade flödena som var angivna. Till badrummet stängdes alltid innerdörren vid mätningen medan innerdörrarna var öppna i de andra rummen. Badrummets frånluftsföde var det som stämde mest överens med det projekterade luftflödet vilket kan bero på att dörren var stängd.

Vid skapandet av vädringsfall till energisimuleringen utifrån enkätundersökningen behövde vissa förenklingar göras. Att svarsalternativen ”1 – 3 gånger i veckan” respektive ”1 – 3 gånger i månaden” översattes till ”tre gånger i veckan” samt ”en gång per vecka” i vädringsfallen när frekvensen skulle anges är en överskattning som gjordes. Anledningen till att dessa svarsalternativ överskattades berodde på begränsningar i IDA – ICE som gjorde att händelser som skedde mer sällan än veckovis skulle kräva mer omfattande schemaläggningar i programmet. För att kunna skilja på de två frekvensalternativen fick därför svarsalternativet ”1 – 3 gånger i veckan” överdrivas något till tre gånger per vecka eftersom ”1 – 3 gånger i månaden” behövde sättas in som en gång per vecka. Förenklingen leder till högre energianvändning från simuleringfallen som omfattar vädring men hur mycket det påverkar är svårt att veta. Analysen belyser att resultaten visar på att frekvensen på vädringen kan vara den en av faktorerna som påverkar energianvändningen mest, men eftersom det är själva öppningstiden per vädringstillfälle som verkar göra störst skillnad baserat på resultatet kan det vara så att de överdrivna öppningsfrekvenserna för simuleringfallen inte gör stora skillnader i resultaten jämfört med om vädringsfrekvensen inte var överdriven. Det ska däremot tilläggas att resultaten inte visar på en större ökning eller minskning mellan vädringsfallens energianvändning, vilket innebär att de överdrivna frekvenserna inte verkar gjort så stor skillnad. Om vädringsfallen ska förhålla sig bättre till enkätsvaren bör frekvensen på vädringen justeras.

I analysen tolkas resultaten av vädrings-simuleringsfallen, där de faktorer som verkade göra mest skillnad i energianvändning beskrevs baserat på resultaten. En faktor som inte togs hänsyn till vid tolkning av resultaten var hur storleken på öppningarna eventuellt påverkade energianvändningen mellan vädringsfallen. Anledningen till att öppningsstorleken bortses från i tolkningen av resultaten är främst för att det har gjorts många förenklingar när det kommer till hantering av storleken på öppningarna. Fönstertyperna mellan lägenheterna skiljer sig åt och vissa av lägenheterna har bara en balkong när andra har två, därför har det krävts att andra fönster än de som egentligen har angivits i enkätstudien har behövts anges som öppningsbara i IDA – ICE när samma vädringsfall ska tillämpas i samtliga lägenheter. En ytterligare förenkling skedde när öppningsgraden skulle översättas för öppning av de olika fönstertyperna i verkligheten till endast en öppningsgrad med definitionerna ”på glänt”, ”halvt öppen” och ”helt öppen” till IDA – ICE faktorer mellan 0 – 1. För att göra denna översättning beräknades ett medelvärde, som representerade vissa fönstertyper bättre än andra, vilket gör att öppningens storlek inte heller vid den aspekten togs hänsyn till. De angivna faktorerna har gjort att det inte går att tolka hur öppningens storlek påverkar energianvändningen i denna rapport.

En av de största utmaningarna med att utforma modellen har varit att ta hänsyn till de inglasade balkongerna. Från hur den ska byggas upp i modellen till att förstå hur de påverkar resultaten. När simuleringarna gjordes tillämpades vädringsfallen som angetts i enkätundersökningen på samma sätt oavsett om balkongen var inglasad eller inte. Genom att mata in alla vädringsfall för samtliga lägenheter kan energianvändningen bli något överdriven eftersom det är svårt att veta om vädringsfallet som anges för de lägenheter som har inglasade balkonger är realistiska för de lägenheter som inte har inglasade balkonger.

Under förutsättning att modellen är korrekt uppbyggd och att IDA – ICE beräknar vädringsflöden och energianvändningen rätt tyder resultaten på att de studerade brukarbeteendena påverkar energianvändningen. Resultaten på vilket av beteendena som påverkar mest och minst stämmer överens med tidigare studier, där rangordningen som Forsberg och Lind (2021) angett på brukarbeteendena som påverkar energianvändningen i ett plusenergihus mest stämmer överens med resultaten som fås i denna rapport, med undantag från vädringen. Skillnaden som utgjordes av om hushållselen räknades med i energianvändningen för huset eller inte gjorde ingen skillnad på vilken av brukarbeteendena som varierar mest, utan resultaten pekade på att det är variation av varmvattenanvändning som gör mest skillnad i energianvändning. Anledningen till att vädringen gick från den parameter som varierade mest i den presenterade studien till den parameter som varierade minst i denna studie kan vara uppbyggnaden på fallen. Eftersom den här studiens vädringsfall bygger på det de boende i det studerade huset angett att de faktiskt vädrar antas det vara en bättre approximation av verkligheten än om vädringsfallen från en annan studie skulle tillämpas i denna studie. Därför beaktas inte denna skillnad i känslighetsanalyserna mellan studierna vidare.

Vid studerande av simuleringsresultaten för vädringsfallen visade det även sig att vädringens bidrag, som enligt BEN 2 är ett schablonvärde på 4 kWh/m<sup>2</sup>, ungefär motsvarade vädringsfallen, möjligtvis att det ligger lite lågt i förhållande till vädringen från denna studie i Umeå. Modellen har enbart körts med klimatdata från Umeå, hade en klimatfil med klimatdata från exempelvis Malmö också testats hade det varit möjligt att studera om vädringspåslaget 4 kWh/m<sup>2</sup> bättre representerar det klimatet, eller eventuella skillnader mellan olika uteklimat. Eftersom värmeeffektbalansen i en byggnad till stor del beror på skillnaden i temperatur inomhus och utomhus pekar mycket på att så kan vara fallet, eftersom skillnaden i temperatur ökar med kallare klimat.

## 6.1 Felkällor

Det finns en viss osäkerhet med att försöka översätta ett fönsters öppningsgrad till IDA – ICE eftersom programmet räknar på ett skjutfönster där procentsatsen anger hur stor del av öppningen som öppnas. Det blir alltså inte samma sak som ett sidohängt fönster eller pivot-fönster. Det skulle vara värdefullt med fler studier som undersöker hur översättningen i öppningsgrad ska ske mellan verkligheten och IDA – ICE.

Beräkningarna av energianvändningen är gjorda i simuleringsprogrammet IDA – ICE, vilket är det program som används i branschen idag. Beräkningsfel kan vara aktuella men i denna rapport är en förutsättning att programmet räknat rätt. Kända svagheter i programmet är beräkning av köldbryggorna och hur beaktning av de icke uppvärmda zonernas påverkan på energianvändningen skett, där de inglasade balkongernas area har räknats bort från  $A_{temp}$  manuellt.

## 6.2 Fortsatta studier

För att bygga vidare på detta examensarbete skulle den mätning av vädring som pågår just nu i det studerade flerbostadshuset gällande frekvens, tidpunkt och öppningsgrad under ett års tid kunna användas som både indata till simuleringar i IDA – ICE och som underlag för vidare studier om hur brukare i flerbostadshus vädrar. Till skillnad från enkätundersökningen ger denna data den exakta verkligheten på hur brukarna faktiskt vädrar under ett års tid och därför skulle simuleringar med denna indata eventuellt komma närmare verkligheten. Det vore även intressant att jämföra mätningen med enkätundersökningen för att undersöka om brukarnas svar skiljer sig från det verkliga beteendet.

Som nämnt i både analys och tidigare diskussion gick det inte i denna studie att avgöra i vilken utsträckning de olika vädringsfaktorerna påverkar energianvändningen. Det hade varit intressant att studera variationer av denna studies vädringsfall närmre för att mer i detalj kunna avgöra om det verkligen är så att frekvensen och öppningstiden vid vädring är de faktorer som påverkar energianvändningen mest vid vädring. Eftersom antal fönster öppna samtidigt och öppningsgrad också var svåra att analysera hade variationer som berör dessa faktorer varit intressanta att studera mer. Det hade också varit intressant att studera hur mycket storleken på öppningen påverkar

energianvändningen vid vädring lite närmre, då denna studie i många fall bortsåg från det.

Slutligen hade det även varit intressant att studera anledningen till att boende väljer att vädra i sina bostäder. Är det utav vana? Är det för att förbättra inomhusklimatet? Är det kanske för låga luftflöden via ventilationssystemet? Är det enda lösningen till att uppnå ett behagligt inomhusklimat? Enkätstudien hade frågor som behandlade orsaker till att de boende vädrar sina bostäder, men det ingår inte i denna rapports omfång. Genom att studera orsakerna till vädring närmre kan en större förståelse fås för hur boende i verkligheten brukar sina bostäder samt hur framtidens bostäder kan energieffektiviseras samtidigt som inomhusklimatet håller god kvalitet.





## 7 Slutsatser

Resultaten i studien visar på att brukarbeteenden påverkar energianvändningen i ett flerbostadshus i Umeå under uppvärmningssäsongen. Känslighetsanalysen visar att den parameter som ökar energianvändningen mest är hög varmvattenanvändning. Efter detta är det hög inomhustemperatur följt av låg hushållselanvändning som ökade energianvändningen om beräkning sker enligt BBR. Räknas hushållselanvändningen med i beräkningen av energianvändningen är det istället hög hushållselanvändning som ökade energianvändningen, även om parametern påverkade minst av de övriga nämnda. I jämförelse med inomhustemperatur, varmvattenanvändning och hushållselanvändning påverkar inte vädringen energianvändningen i samma utsträckning.

Bland de sju studerade lägenheterna visar brukarna på en spridning i vädringsbeteenden. De slutsatser som kan dras utifrån enkätundersökningen är att det är lika många som vädrar på glänt, vilket motsvarar en öppningsgrad på 10 %, som halvöppet, vilket motsvarar en öppningsgrad på 40 %. Under uppvärmningssäsongen svarar de boende att det vädras vanligtvis dagligen eller nästan varje dag följt av någon gång i månaden. Vid vädring är det lika många brukare som väljer att ha öppet fönstret några timmar som att ha korsdrag i några minuter.

Brukarnas rapporterade olika vädringsbeteenden genererade i sju olika vädringsfall som efter energisimuleringar i IDA – ICE visade att den lägsta energianvändningen blev 59 kWh/m<sup>2</sup>, år och den högsta energianvändningen blev 65,1 kWh/m<sup>2</sup>. Resultaten tyder på att energianvändningen kan variera enbart utefter hur brukaren vädrar.

De vädringsbeteenden som ökar energianvändningen mest enligt beräkningarna i denna studie är vädringstiden och frekvensen. De beteenden som visade på mindre påverkan av energianvändningen enligt denna rapports beräkningar är öppningsgraden och antalet öppningar öppna samtidigt.



## Referenser

BFS 2011:6. *Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd, BBR*. Boverket.

BFS 2017:6. *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*. Boverket.

Boverket (2009). *Enkätundersökning om boendes upplevda inomhusmiljö och ohälsa - resultat från projektet BETSI*

<https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/betsi--enkätundersökning-om-boendes-upplevda-inomhusmiljö-och-ohälsa.pdf?fbclid=IwAR2GI7l-tYGfXoQ5HWSF-82OgRpPXUimqDNsBFYRCNvZeax7u19-yxj5gGI> [2023-02-10]

Boverket (2020a). *Bestämning av byggnadens energianvändning*.

<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energi-hushallning/bestamning-av-byggnadens-energianvandning/> [2023-02-13]

Boverket (2020b). *Vad är primärenergital?* <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/energi-hushallning/vad-ar-primarenergital/> [2023-03-01]

Boverket (2022a). *Inomhusmiljöer med hälsosamt klimat*.

<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/halsa-forst/inomhusmiljoer/> [2023-02-14]

Boverket (2022b). *Primärenergital och byggnadens energiprestanda*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energi-hushallningskrav/primarenergital-och-byggnadens-energi-prestanda/> [2023-01-30]

Boverket (2022c). *Ska din byggnad ha en energideklaration?*

<https://www.boverket.se/sv/energideklaration/energideklaration/> [2023-01-31]

Boverket (2022d). *Öppna data – Betsi är en undersökning om byggnaders tekniska status*.

<https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/betsi-oppna-data/?tab=fordjupning> [2023-02-10]

Boverket (2023). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/> [2023-01-27]

Energimyndigheten (2020). *Nära noll energibygnader*.

<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/program-och-uppdrag/nara-nollenergibygnader/> [2023-01-31]

Energimyndigheten (2022). *Frågor och svar om energiläget*.

<https://www.energimyndigheten.se/trygg-energiforsorjning/fakta-om-energilaget/fragor-och-svar-om-energilaget/> [2022-12-28]

Energimyndigheten (2023). *Ändrat riskläge för effektbrist*.

<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/andrat-risklage-for-effektbrist/> [2023-02-16]

Finansdepartementet (2021). Förslag till förordning om stöd till energieffektivisering i flerbostadshus.

<https://www.regeringen.se/494db2/contentassets/daae7190d52e4365bd9298d95dadd311/forslag-till-forordning-om-stod-till-energieffektivisering-i-flerbostadshus.pdf> [2023-01-02]

FoHMFS 2014:17. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*.

Folkhälsomyndigheten.

FoHMFS 2014:18. *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*.

Folkhälsomyndigheten.

Folkhälsomyndigheten (2022a). *Hälsoeffekter av värmeböljor – En kunskapssammanställning*.

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/publikationer-och-material/publikationsarkiv/h/halsoeffekter-av-varmeboljor/> [2023-02-14]

Folkhälsomyndigheten (2022b). *Tillsynsvägledning om temperatur inomhus*.

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/temperatur/> [2023-02-14]

Forsberg, A. & Lind, E. (2021). *Spara och slösa: En studie i hur brukare*

*energianvändningen i plusenergihus*. Masteruppsats, Avdelningen för installationsteknik. Lunds universitet. <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9058443>

Jeong, B., Jeong, J. W. & Park, J. S. (2016). Occupant behavior regarding the manual

control of windows in residential buildings. *Energy and buildings*, 127, ss. 206–216. doi:10.1016/j.enbuild.2016.05.097

Mattson, P., Bernardo, R., Johansson, M., Warell, A. & Ekim Z. (2022). *Förväntningar*

*och handlingar - vägen mot energieffektivt beteende i bostadshus*.

<https://www.e2b2.se/media/dawmej1i/slutrapport-49576-1-f%C3%B6rv%C3%A4ntningar-och-handlingar.pdf> [2023-02-10]

Nordquist, B. (1998). *Vädning i skolor – ett komplement till normal ventilation?* (Rapport TABK – 98/1014).

Nordquist, B. (2017). *Fördjupad uppföljning av Flagghusen. En studie av inneklimat, ventilationssystem och vädringsbeteende* (Rapport TVIT – 17/3009).

Rosengarten, S. (2022). *Brukares påverkan av energianvändning i miljonprogramshus – En fallstudie av flerbostadshus i Linero, Lund*. Masteruppsats, Avdelningen för installationsteknik. Lunds universitet. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/9110840>

Rouleau, J., Gosselin, L. & Blanchet, P. (2017). Understanding energy consumption in high-performance social housing buildings: A case study from Canada. *Energy*, 145, ss. 677-690. doi:10.1016/j.energy.2017.12.107

Sveby (2009). *Byggnaders energianvändning - ordlista*. Svebyprogrammet. <http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/01/Ordlista.pdf>

Sveby (2012). *Brukarindata bostäder*. Svebyprogrammet. [https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby\\_Brukarindata\\_bostader\\_version\\_1.0.pdf](https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby_Brukarindata_bostader_version_1.0.pdf)

Svenska kraftnät (2022). *El, energi eller effekt?* <https://www.svk.se/press-och-nyheter/temasidor/tema-att-mota-nya-kapacitetsbehov/el-energi-eller-effekt/> [2023-02-16]

Wallentén, P., (2018). *RäknaF – stöd för kombinerade värme- och fuktberäkningar i byggnadsdelar*. (Rapport TVBH – 18/3063).

Warfvinge, C. & Dahlblom, M., 2010. *Projektering av VVS-installationer*. 1 red. Lund: Studentlitteratur AB.





