

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-talsbostad med frånluftsventilation

Sandy Truong



LUNDS
UNIVERSITET

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

Sandy Truong

Examensarbete

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

© Sandy Truong

ISRN LUTVDG/TVIT —26/5123—SE(146)
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND

Sammanfattning

- Titel:** Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation
- Författare:** Sandy Truong
- Handledare:** Birgitta Nordquist, Universitetslektor vid institutionen för bygg och miljöteknologi, avdelningen för Installationsteknik vid Lunds tekniska högskola.
- Biträdande** Victor Fransson, biträdande Universitetslektor vid institutionen för bygg- och miljöteknologi, avdelningen för Installationsteknik vid Lunds tekniska högskola.
- Examinator:** Petter Wallentén, Universitetslektor vid institutionen för bygg och miljöteknologi, avdelningen för Byggnadsfysik på Lunds tekniska högskola.
- Bakgrund:** Bygg- och fastighetssektorn står för en betydande del av Sveriges och EU:s energianvändning och klimatpåverkan. Samtidigt ökar behovet av energieffektiva bostäder i takt med befolkningstillväxt och ökade krav på klimatanpassning och hållbarhet. Energieffektivisering inom byggnadssektorn lyfts därför fram som en central åtgärd för att minska energianvändning och växthusgasutsläpp. Utöver tekniska lösningar påverkas byggnaders energiprestanda även av brukarnas beteende. Ett exempel är vädring genom öppning av fönster och dörrar, vilket används för att förbättra luftkvalitet och termisk komfort men samtidigt kan medföra ökade värmeförluster och högre energianvändning. Kunskapen om vädringsbeteendens omfattning och energipåverkan är fortfarande begränsad, vilket motiverar behovet av vidare studier inom området.
- Syfte:** Syftet med detta examensarbete var att undersöka hur vädringsbeteende påverkar inomhusmiljö och energianvändning i bostäder. Studien fokuserade särskilt på sambandet mellan vädring, inomhustemperatur och CO₂-halter samt hur olika sätt att representera vädring i energiberäkningsmodeller påverkar det beräknade uppvärmningsbehovet.

Genom att kombinera uppmätta mätdata med energisimuleringar i IDA ICE syftade studien även till att analysera hur olika

vädningsscheman och antaganden om vädringsbeteende påverkar energiberäkningar och inomhusmiljö i bostäder.

Metod(er):

Examensarbetet inleddes med en litteraturstudie för att etablera en teoretisk referensram och skapa en överblick över tidigare forskning kring vädring, inomhusmiljö och energianvändning i bostäder. Därefter genomfördes en fallstudie där uppmätta data om vädringsbeteende analyserades i MATLAB. Den uppmätta mätdata bearbetades för att identifiera vädringshändelser samt analysera samband mellan vädring, inomhustemperatur och CO₂-halt, inklusive vilka temperatur- och CO₂-nivåer som förekom precis före respektive efter vädringshändelser.

Parallellt samlades teknisk information om den studerade byggnaden och dess ventilationssystem in. Baserat på detta utvecklades en energiberäkningsmodell i IDA ICE för att analysera vädringens påverkan på luftflöden, energianvändning och uppvärmningsbehov under uppvärmningssäsongen. Uppmätt data om vädringstid och öppningsvinklar under ett års mätperiod implementerades i modellen för att beräkna vädringens påverkan på beräknade värmeenergiebehovet.

Slutligen analyserades och diskuterades resultaten i relation till examensarbetets syfte och frågeställningar.

Slutsatser:

Resultaten visade tydliga säsongsvariationer i vädringsbeteendet. Vädring förekom främst under sommarperioden vid högre inomhustemperaturer mellan cirka 23–26 °C, medan högre CO₂-halter observerades under vinterperioden då vädringsfrekvensen var lägre och vädringshändelserna kortare. Detta indikerar att vädring under varmare perioder främst styrdes av behovet av termisk komfort, medan vädring under vinterperioden i större utsträckning genomfördes för att förbättra luftkvaliteten.

Analysen av vädringshändelser visade att kortvarig vädring kunde reducera CO₂-halten utan större förändringar i inomhustemperaturen. Resultaten visade samtidigt att sambandet mellan vädring och CO₂-halt inte alltid var linjärt, vilket bland annat kunde kopplas till lufttransport mellan olika rum och sensorernas placering i bostaden.

Simuleringsresultaten visade att vädring generellt ökade uppvärmningsbehovet jämfört med fall utan modellerad vädring för en 60-tals byggnad med frånluftsventilation i Lund. Skillnaden mellan grundfall utan vädring och vädringsfall uppgick till cirka 4,4 kWh/m² vid antagande att innerdörrarna är 50% öppna förutom sovrumsdörren som är stängd nattetid. Den

uppmätta vädringen omfattade att vardagsrumsfönstren var öppna 1% av tiden, köksfönstret 2% och sovrumsbalkongdörren 5% av tiden under vintern (november-mars). Resultaten visade även att innerdörrarnas position hade stor betydelse för luftflödena mellan bostadens rum under vädringshändelse. Öppna innerdörrar gav högre luftflöden och ett högre uppvärmningsbehov jämfört med fall där innerdörrarna var stängda. Skillnaden i uppvärmningsbehov mellan fall med 50% öppna innerdörrar respektive stängda innerdörrar var 10,8 kWh/m².

Energisimuleringarna visade att när sovrumsbalkongdörren öppnades med 20° öppningsvinkel vintertid (22 februari) blev uteluftsflödet in via balkongdörren i storleksordningen 250 l/s. Rumsluftflödet som lämnade sovrummet via balkongdörren blev i storleksordningen 100 l/s samtidigt. Via den öppna sovrumsdörren blev luftflödet från sovrummet till hallen samtidigt 210 l/s.

Uppmätt öppning av fönster och öppningsvinklar för ett helt år i en 60-tals lägenhet med F-ventilation matades in med verklig uppmätt varaktighet i IDA-ICE baserat på de verkligt registrerade vädringshändelserna. Tre olika sätt att representera vädring analyserades: (1) de ursprungliga uppmätta vädringshändelserna, (2) en bearbetad version där kortvariga avbrott mellan vädringshändelser slogs samman, samt (3) ett generaliserat vädringsschema där den totala vädringstiden fördelades jämnt över dygnet. Skillnaderna mellan de två första representationerna var relativt små trots stora skillnader i antal registrerade vädringshändelser efter databearbetning. Resultaten indikerar därmed att den sammanlagda vädringstiden hade större betydelse för energianvändningen än det exakta antalet öppningar. Det generaliserade vädringsschemat med kontinuerliga dygnsmedel gav däremot högre uppvärmningsbehov än de händelsebaserade vädringsschemana, vilket indikerar att generaliserade vädringsprofiler kan överskatta vädringens energipåverkan. Vädringsschema 1 bedömdes därför vara det mest realistiska eftersom det bäst representerade de faktiska registrerade vädringshändelserna och deras tidfördelning.

Studien bidrar med ökad förståelse för hur verkligt vädringsbeteende påverkar både inomhusmiljö och energianvändning samt hur vädring kan representeras i energiberäkningsmodeller för bostäder med liknande ventilationssystem och brukarbeteende.

Nyckelord:

Energianvändning, vädring, vädringsbeteende, brukarbeteende, IDA ICE, inomhusmiljö

Abstract

This thesis investigates how window airing behavior affects indoor environment and energy use in residential buildings. The study focuses on the relationship between airing, indoor temperature, CO₂ concentration, and how different representations of airing in energy simulation models influence the calculated heating demand. The work combines measured data from a residential apartment with energy simulations performed in IDA ICE. Measured data regarding airing events, duration, opening angle, indoor temperature, and CO₂ levels were analyzed in MATLAB to identify patterns and relationships between occupant behavior and indoor environmental conditions. Different airing schedules based on the measured data and assumptions regarding airing behavior were implemented in the simulation model to evaluate their impact on energy performance. The results showed that airing occurred more frequently during warmer periods, while higher CO₂ concentrations were observed during winter when airing frequency was lower. Short-term airing events reduced CO₂ concentrations rapidly without causing major changes in indoor temperature. The simulations demonstrated that airing generally increased heating demand 4,4 kWh/m², for an apartment building built in the 60-ies with exhaust ventilation in the south part of Sweden in Lund, while temperature-controlled airing resulted in lower energy use compared to free airing. The study also showed that simplified airing schedules can influence calculated energy use and may overestimate heat losses when continuous daily average airing profiles are applied.

Förord

Detta examensarbete har genomförts vid avdelningen för Installationsteknik, institutionen för Bygg- och miljöteknologi vid Lunds tekniska högskola under våren 2026. Arbetet utgör den avslutande delen av civilingenjörsutbildningen i väg- och vattenbyggnad.

Jag vill rikta ett stort varmt tack till min handledare Birgitta Nordquist för hennes stora engagemang, värdefulla vägledning och konstruktiva feedback genom hela arbetets gång. Hennes kunskap och stöd har varit mycket betydelsefulla för examensarbetets utveckling.

Ett stort tack riktas även till Victor Fransson för hjälp kring energisimuleringar samt till Petter Wallentén för hans expertis, stöd och värdefulla kommentarer under arbetets genomförande.

Slutligen vill jag rikta mitt allra största och varmaste tack till min familj och mina vänner för ert ovärderliga stöd, tålamod och er ständiga uppmuntran under hela utbildningen och arbetet med detta examensarbete. Utan er hade denna resa inte varit möjlig.

Lund i 13 maj 2026

Sandy Truong

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	i
Abstract	v
Förord	vii
Innehållsförteckning	ix
1 Inledning.....	Fel! Bokmärket är inte definierat.
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställning.....	3
1.4 Avgränsning.....	3
1.5 Övergripande Metod	3
2 Teori	Fel! Bokmärket är inte definierat.
2.1 Värmebehov	5
2.1.1 Transmissionsförluster.....	6
2.1.2 Ventilationsförluster	6
2.1.3 Luftläckageförluster.....	7
2.1.4 Solinstrålning och internvärme gratisvärmestillskott.....	8
2.2 Inomhusklimat	8
2.2.1 Termisk komfort	8
2.2.2 Inomhustemperatur	9
2.2.3 Luftkvalitet	9
2.3 Naturlig ventilation och vädring	10
2.3.1 Motiv och begränsning för vädring	10
2.3.2 Öppningsgrad och luftflödet genom fönstret	11
2.4 Brukarindata.....	15
3 Litteraturstudie	17
3.1 Förekomst av vädring i bostäder	17
3.2 Variation i vädringsbeteende.....	18
3.3 Kvantifiering av vädringens energiförluster	21
4 Metod.....	23
4.1 Fallstudie.....	23
4.2 Beskrivning av objekt	23
4.3 Energiberäkningsmodell	24
4.3.1 Konstruktion	25
4.3.2 Klimatdata och solavskärmning.....	26
4.3.3 Uppvärmning	27
4.3.4 Köldbryggor.....	27
4.3.5 Ventilation	28
4.3.6 Internvärme.....	28
4.3.7 Tappvarmvatten	28
4.3.8 Luftläckage	29
4.3.9 Övrigt.....	29
4.3.10 Brukarindata till simuleringsfall.....	29
4.4 Uppmätt data	29

4.4.1	Bearbetning och tolkning av mätdata	31
4.4.2	Öppningsfaktor	31
4.4.3	Vädringsschema utifrån mätdata	33
4.4.4	Analys av inomhusmiljö	35
4.5	Sammanställning av simuleringsfallen	36
4.5.1	Fall 1 – Grundfall.....	36
4.5.2	Fall 2 – Vädring baserad på mätdata	37
4.5.3	Fall 3	37
5	Resultat och Analys.....	39
5.1	Varaktighet och frekvens av vädring	39
5.2	Energianvändning	42
5.2.1	Analys av vädringsschemana.....	45
5.3	Resultat från analys om inomhusmiljön.....	47
5.3.1	Inomhustemperaturen	47
5.3.2	Temperaturen och koldioxidhalten innan och efter öppning	50
5.3.3	Temperatur- och CO ₂ -förändringar vid vädringshändelser	52
6	Diskussion	69
6.1	Diskussion av resultatet.....	69
6.2	Osäkerheten i resultatet	73
6.2.1	Noggrannhet i beräkningar och mätningar	73
6.2.2	Representerbarhet	74
6.3	Generalisering	74
7	Slutsatser	77
8	Framtida forskning	79
	Referenser.....	81
	Bilagor A – vädringsschemana.....	85
	Bilaga B – Vädringsschema 2	111
	Bilaga C – Vädringsschema 3	127

1 Inledning

Kapitlet inleds med en bakgrund och följs av syfte, frågeställningar, avgränsningar samt metod. Dessa delar klargör studiens inriktning, omfattning och upplägg.

1.1 Bakgrund

Jordens befolkning ökar kontinuerligt, och prognoser pekar mot en fortsatt befolkningstillväxt. Sveriges folkmängd förväntas uppgå till över 13 miljoner invånare vid sekelskiftet 2100, vilket motsvarar en ökning med cirka 2,8 miljoner personer, eller omkring 27 procent, jämfört med år 2024. Denna demografiska utveckling medför ett ökat behov av såväl nyproduktion som ombyggnation av bostäder. Samtidigt med detta förstärks kraven på klimatanpassning och energieffektivisering, vilket ytterligare driver behovet av omfattande renoveringsåtgärder i det befintliga byggnadsbeståndet. För att säkerställa långsiktig hållbarhet krävs därför kontinuerliga åtgärder som stärker bostadsbeståndets funktion, energieffektivitet och anpassningsförmåga över tid. (Boverket, 2025a; Fossilfritt Sverige 2024).

Parallellt med detta utvecklingsbehov utgör bygg- och fastighetssektorn en betydande källa till klimatpåverkan. År 2022 svarade sektorn för 22,1 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser och cirka 34 procent av den totala energianvändningen, motsvarande 102 TWh (Boverket, 2025b; Boverket 2025c). Under perioden 2008–2022 ökade energianvändningen inom sektorn med 11 procent, samtidigt som den totala energianvändningen i Sverige minskade med 8 procent, vilket indikerar ett effektiviseringsbehov i bygg- och fastighetssektorn (Boverket, 2025b).

Utvecklingen är inte unik för Sverige. Inom EU står byggnader för cirka 40 procent av den totala energianvändningen och omkring 36 procent av de energirelaterade, direkta och indirekta växthusgasutsläppen. Samtidigt utgjorde energiproduktionen för bostäder den näst enskilt största utsläppskällan inom EU år 2024 och svarade för 27 procent av unionens totala växthusgasutsläpp (Eurostat, 2026.; Europeiska unionens råd, 2025) Det uppskattas vidare att närmare 75 procent av de befintliga byggnaderna inom EU är energieffektivt undermåligt och i behov av omfattande energirenovering. Sammantaget understryker det bygg- och fastighetssektorn centrala roll i den europeiska klimatomställningen.

Mot denna bakgrund har internationella och nationella klimatmål en avgörande betydelse. Parisavtalet syftar att begränsa den globala temperaturökningen till väl under 2 °C, med ambition att inte överskrida 1,5 °C, vilket förutsätter omfattande utsläppsminskningar av växthusgaser (Naturvårdsverket, 2024). Inom EU har målsättningarna konkretiserats genom styrmedel riktade mot byggnadssektorn, där Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) utgör ett centralt instrument. Direktivet ställer krav på förbättrad energiprestanda, införande av nollutsläppsbyggnader och nationella renoveringsstrategier, med målet att

byggnadssektorn ska vara klimatneutral senast 2050. (Directorate-General for Energy, u.å.).

Energieffektivisering framhålls av Energimyndigheten (2024) som en av de mest kostnadseffektiva åtgärderna för att minska klimatpåverkan och stärka energiförsörjningens robusthet. Myndigheten bedömer att det finns en betydande teknoekonomisk potential att minska elanvändningen med 20–25 TWh till år 2030, varav cirka 15 TWh inom bostäder och service.

Energieffektivisering diskuteras ofta i relation till tekniska åtgärder såsom förbättrat klimatskal, energieffektiva installationer och modern ventilationsteknik. En annan central, men mer svårstyrd, faktor är dock brukarnas beteende. Forskning visar att betydande energibesparingar kan uppnås genom förändringar i hur brukare använder byggnader (Mattson et al., 2022). Samtidigt är brukare en komplex och heterogen grupp med varierande preferenser och handlingsmönster, vilket leder till stora variationer i energianvändningen.

Ett konkret exempel på ett beteende med direkt energipåverkan är vädring genom öppning av fönster. Vädring används ofta för att förbättra upplevd luftkvalitet och termisk komfort, särskilt under uppvärmningssäsongen. Samtidigt kan öppna fönster medföra värmeförluster och därmed ökad energianvändning. Kunskapen är dock begränsad kring vädringens omfattning och dess kvantitativa energipåverkan. För att uppnå faktisk energieffektivitet utan att kompromissa med inomhuskomforten krävs därför en fördjupad förståelse av samspelet mellan tekniska system och brukarnas vädringsbeteende (Mattson et al., 2022).

Mot bakgrund av den begränsade kunskapen kring vädringsbeteendens omfattning och energipåverkan baseras detta examensarbete på mät- och enkätdata från forskningsprojektet ”Fönstervädring i nya och befintliga flerbostadshus”. Projektet syftar till att undersöka hur vädringsbeteenden påverkar energianvändning och inomhusmiljö i flerbostadshus och genomfördes under perioden 2022–2025. Genom att kombinera uppmätta vädringsdata med energiberäkningar i IDA ICE syftar studien till att öka förståelsen för hur vädringsbeteende påverkar inomhusmiljö rörande temperatur och CO₂-halter samt energianvändning i flerbostadshus.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka hur vädringsbeteende påverkar inomhusmiljö och energianvändning i bostäder. Studien fokuserar särskilt på sambandet mellan vädring, inomhustemperatur, CO₂-halter och hur olika sätt att representera vädring i energiberäkningsmodeller påverkar det beräknade uppvärmningsbehovet.

Genom att kombinera uppmätt mätdata i en verklig bostad med energisimuleringar i IDA ICE syftar studien även till att analysera hur olika vädringsscheman och antaganden om vädringsbeteende påverkar energiberäkningar och inomhusklimatet hos temperaturen och CO₂-halter i bostäder precis före och efter öppningen för vädring.

1.3 Frågeställning

För att uppfylla studiens syfte har följande frågeställningar formulerats:

- Hur varierade vädringsbeteendet över året i den studerade lägenheten?
- Hur påverkades inomhustemperatur och CO₂-halt i samband med vädringshändelser?
- Hur påverkade uppmätt vädring energianvändningen och uppvärmningsbehovet i energiberäkningsmodellen?
- Hur påverkades energiberäkningsresultaten av olika sätt att bearbeta och representera vädringsdata i olika vädringsscheman i energisimuleringarna?

1.4 Avgränsning

Studien avgränsas till en fallstudie av en enskild lägenhet i ett flerbostadshus. Resultaten baseras på uppmätta data från denna bostad och energisimuleringar utförda i IDA ICE. Arbetet fokuserar på hur vädring via fönster påverkar inomhustemperatur, CO₂-halt och byggnadens uppvärmningsbehov.

Andra faktorer som kan påverka inomhusmiljön, såsom luftfuktighet, partiklar, ljudnivåer och upplevd termisk komfort, ingår inte i studien. Analysen omfattar inte heller detaljerade studier av de boendes beteenden eller motiv till vädring utöver vad som kan utläsas från de uppmätta vädringshändelserna.

1.5 Övergripande Metod

Arbetet inleddes med en litteraturstudie för att etablera en teoretisk referensram och en överblick över forskningsläget. Tidigare forskning samt andra relevanta källor analyserades och användes som underlag för metodval, modelluppbyggnad och val av indata.

Därefter genomfördes en fallstudie där uppmätta data om vädringsbeteende analyserades. Parallellt samlades teknisk information om den studerade byggnaden och dess ventilationssystem in. Baserat på detta underlag utvecklades en energiberäkningsmodell i IDA ICE för att analysera vädringens påverkan på energianvändning och uppvärmningsbehov.

Den uppmätta datan bearbetades och analyserades i MATLAB för att undersöka samband mellan vädring, inomhustemperatur och CO₂-halter. I energisimuleringarna implementerades dels den verkligt uppmätta vädringen med minutupplösning, baserat på registrerade fönsteröppningar under mätperioden, dels olika vädringsscheman baserade på antaganden om vädringsbeteende. Detta möjliggjorde en jämförelse mellan detaljerad representation av faktiskt vädringsbeteende och förenklade antaganden samt

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

en analys av hur olika sätt att representera vädring påverkar energiberäkningsresultaten. Slutligen redovisades, analyserades och diskuterades resultaten i relation till examensarbetets syfte och frågeställningar.

2 Teori

Detta kapitel presenteras de teorier som anse vara relevant för detta examensarbete.

2.1 Värmebehov

En byggnads värmebehov kan analyseras utifrån två begrepp: värmeeffektbehov och värmeenergibehov (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Värmeeffektbehovet definieras som den maximala värmeeffekt som krävs för att upprätthålla avsedd inomhustemperatur under dimensionerande klimatförhållanden, exempelvis vid dimensionerande vinterutetemperatur. Detta behov är dimensionerande för uppvärmningssystemets kapacitet och ligger till grund för val och dimensionering av tekniska installationer. Värmeenergibehovet avser däremot den totala energimängd som åtgår för uppvärmning under en bestämd tidsperiod, vanligtvis ett år, och uttrycks i kilowattimmar per kvadratmeter uppvärmd golvarea och år ($\text{kWh}/\text{A}_{\text{temp}}, \text{år}$) (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Medan effektbehovet är avgörande vid dimensionering av system, utgör värmeenergibehovet en del på byggnadens årliga energiprestanda och är nära kopplat till driftkostnader.

Vid beräkning av värmeeffektbehovet tillämpas en stationär värmebalans, där byggnadens värmeförluster relateras till dess värmetillskott. Under antagande om stationära förhållanden, det vill säga när värmeflödena är tidsmässigt konstanta och systemet befinner sig i termisk jämvikt, kan uttryckas enligt Warfvinge & Dahlblom (2010) uttryckas enligt ekvation 2.1.

$$P_t + P_v + P_{ov} = P_w + P_s + P_i \quad (2.1)$$

Där värme bortförs i en byggnad genom:

P_t = Transmissionsförluster [W]

P_v = Ventilationsförluster [W]

P_{ov} = Oavsiktlig ventilation eller luftläckageförluster [W]

Värme i en byggnad tillförs genom:

P_s = Solinstrålning [W]

P_i = Internt generad värme [W]

P_w = Värmesystemet [W]

Sambandet innebär att summan av värmeförlusterna måste balanseras av lika stora värmetillskott för att inomhustemperaturen ska kunna hållas konstant. Denna idealiserade sambandet för effektbalans är dock endast giltig under stationära förutsättningar och utgör en förenklad beskrivning av byggnadens termiska beteende.

2.1.1 Transmissionsförluster

Transmissionsförluster innebär den värmeöverföring som sker i byggnadens omslutande area och inkluderar köldbryggor som kan uppstå i anslutning mellan byggnadsdelar. Transmissionsförluster beräknas genom att ta fram värmeförlustfaktorn, detta görs var rum för sig via den area som varje konstruktionsdel har och dess värmemotstånd, U -värde, därefter beräknas köldbryggorna var för sig och dessa två faktorer summeras sedan, se ekvation 2.2. Med värmeförlustfaktorn kan effektbehovet P_t beräknas med skillnaden i inne- och utetemperatur, se ekvation 2.3. (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

Den specifika värmeförlustfaktorn beräknas enligt ekvation 2.2.

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

U_i = värmegenomgångstal för en byggnadsdel $[\text{W/m}^2\text{K}]$

A_i = byggnadsdelens invändiga area $[\text{m}^2]$

Ψ_k = värmegenomgångstal för linjär köldbrygga $[\text{W/mK}]$

X_k = värmegenomgångstal för punktformig köldbrygga $[\text{W/K}]$

Därefter beräknas värmeeffektbehovet, P_t , enligt ekvation 2.3.

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

Q_t = specifik värmeförlustfaktor för transmission enligt (2.2)

T_{inne} = inneluftstemperatur $[\text{°C}]$

T_{ute} = uteluftstemperatur $[\text{°C}]$

2.1.2 Ventilationsförluster

Ventilationsrelaterade värmeförluster uppstår till följd av temperaturskillnaden mellan inomhus- och utomhusluft när kall uteluft tillförs byggnaden genom ventilationssystemet (Warfvinge & Dahlblom, 2010). Den inkommande luften måste därefter värmas upp till den temperatur som krävs för att upprätthålla termisk komfort inomhus. Uppvärmningen kan ske centralt via ett luftbehandlingsaggregat eller lokalt genom värmeavgivande installationer, exempelvis radiatorer placerade i vistelsezonen.

Vid beräkning av ventilationsförluster bestäms inledningsvis den specifika värmeförlustfaktorn för ventilation, Q_v , vilken beskriver ventilationsflödets värmetransporterande kapacitet. Detta värde används därefter tillsammans med temperaturskillnaden mellan inomhusluften och den tillförda luften för att beräkna det effektbehov som ventilationen ger upphov till. Genom detta förfarande kan

ventilationens bidrag till byggnadens totala värmeförluster kvantifieras och inkluderas i den övergripande värmebalansen.

Ventilationens specifika värmeförlustfaktor, Q_v , beräknas enligt ekvation 2.4:

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

ρ = luftens densitet, 1,2 kg/m³

c_p = luftens specifika värmekapacitet 1000 J/kgK

q_v = styrt ventilationsflöde [m³/s]

Värmeeffektbehovet, P_v , beräknas enligt ekvation 2.5:

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

T_{inne} = inneluftstemperatur [°C]

T_{ute} = uteluftstemperatur [°C]

2.1.3 Luftläckageförluster

Oavsiktlig ventilation, även kallad infiltration, uppstår genom otätheter i klimatskärmen, vilket medför att kall uteluft tränger in i byggnaden. Även vädring kan bidra till ökade luftläckageförluster genom att luftutbytet mellan inne- och uteluft ökar. Den inkommande luften måste värmas upp till inomhustemperatur, vilket ger upphov till effektförluster och ökar belastningen på uppvärmningssystemet (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

För att beräkna denna förlust bestäms den specifika värmeförlustfaktorn för luftläckage med ekvation 2.6 vilken därefter kombineras med temperaturskillnaden mellan inne- och uteluft för att erhålla infiltrationens effektförlust med ekvation 2.7.

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

ρ = luftens densitet, 1,2 kg/m³

c_p = luftens specifika värmekapacitet 1000 J/kgK

q_{ov} = oavsiktligt ventilationsflöde [m³/s]

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

T_{inne} = inneluftstemperatur [°C]

T_{ute} = uteluftstemperatur [°C]

2.1.4 Solinstrålning och internvärme gratisvärmekost

Begreppet gratisvärme omfattar både solinstrålning och internvärme, då dessa värmekost reducerar behovet av tillförd energi från byggnadens uppvärmningssystem. Solinstrålning tillför värme genom transmission via fönster och varierar beroende på årstid, väderförhållanden och tid på dygnet. Internvärme genereras av personer, belysning och elektrisk utrustning och är beroende av byggnadens användningsmönster. Dessa värmekost är svåra att exakt fastställa vid manuella beräkningar och baseras därför ofta på schablonvärden eller tabellerade data (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.2 Inomhusklimat

Inomhusklimatet, som omfattar en rad olika faktorer, har stor betydelse för människors hälsa och välbefinnande. I Sverige tillbringar befolkningen cirka 90 % av sin tid inomhus, vilket understryker vikten av att säkerställa ett gott inomhusklimat som främjar hälsa och välbefinnande (Boverket, 2022).

Begreppet inomhusklimat är brett och kan ha varierande innebörd beroende på sammanhang. I denna studie tillämpas den definition som ges av Warfvinge & Dahlblom (2010), där inomhusklimatet beskrivs som människans omgivningssituation med avseende på de faktorer som påverkas av byggnadens tekniska installationer.

De faktorer som påverkar människans upplevelse av inomhusklimatet kan delas in i följande kategorier:

- Termiska
- Hygieniska
- Ljudmässiga
- Ljusbaserade

2.2.1 Termisk komfort

Termisk komfort avser människans upplevelse av den termiska miljön och definieras som ett tillstånd där individen upplever klimatet som behagligt utan behov av anpassning. Enligt Boverket (2025d) uppgår över 15 procent av svenskarna problem med det termiska klimatet, baserat på enkätundersökningar genomförda av Folkhälsomyndigheten.

Den termiska komforten påverkas av sex samverkande parametrar. Fyra av dessa är klimatrelaterade: lufttemperatur, lufthastighet, omgivande ytors temperatur (strålningstemperatur) samt luftfuktighet. De två övriga utgörs av individuella faktorer, nämligen aktivitetsnivå och klädsel (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

För att kvantifiera och bedöma det termiska inomhusklimatet används standarden SS-EN ISO 7730, där indexen PMV (*Predicted Mean Vote*) och PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) tillämpas. PMV beskriver den genomsnittliga termiska upplevelsen hos en grupp människor och uttrycks på en sjugradig skala från -3 (kallt) till +3 (varmt). Ett värde inom intervallet $\pm 0,5$ betraktas som termiskt neutralt. PPD anger andelen missnöjda personer i procent och kan bestämmas utifrån PMV-värdet. Vid PMV $\pm 0,5$ uppgår andelen missnöjda till cirka 10 %. Det lägsta möjliga värdet för PPD är omkring 5 %, vilket innebär att det inte är möjligt att uppnå fullständig termisk komfort vid samma klimatförhållanden för samtliga individer (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

2.2.2 Inomhustemperatur

Det är viktigt med rätt temperatur inomhus för att människor ska trivas och må bra. Flera faktorer påverkar inomhustemperaturen i en byggnad. En grundläggande princip vid dimensionering av uppvärmningssystem är att den värmeenergi som förloras genom transmissionsförluster, infiltration/läckage samt via ventilationsluften måste tillföras byggnaden för att upprätthålla en stabil och komfortabel inomhustemperatur (Nordquist, 1998). Ventilationssystemets luftflöden har även betydelse, där otillräckliga luftflöden kan leda till förhöjda inomhustemperaturer till följd av ackumulerad värme, medan alltför höga luftflöden kan orsaka drag samt bidra till en upplevd sänkning av temperaturen (Boverket 2022).

Temperaturförhållandena inomhus har en direkt påverkan på människors hälsa och välbefinnande. Såväl övertemperaturer som undertemperaturer kan ge upphov till obehag och i vissa fall hälsoproblem. Dessutom kan avvikande temperaturer påverka emissioner från byggnads- och inredningsmaterial, vilket ytterligare kan försämra inomhusmiljön (Boverket, 2025d).

Ett välbalanserat termiskt inomhusklimat är därför avgörande för att skapa goda vistelseförhållanden. Historiskt sett har problem med låga inomhustemperaturer varit vanligast, men i takt med välisolerade bostäder samt klimatförändringar har övertemperaturer blivit ett allt mer framträdande problem. Denna utveckling förväntas öka i framtiden (Warfvinge & Dahlblom, 2010; Boverket, 2025d).

2.2.3 Luftkvalitet

Luftkvaliteten inomhus är en central faktor för både människors hälsa och upplevda komfort. Den påverkas av flera parametrar, däribland koldioxidhalt, förekomst av luftföroreningar, lukt samt fuktnivåer. Ett tillräckligt luftutbyte är därför en grundläggande förutsättning för att upprätthålla en god inomhusmiljö (Warfvinge & Dahlblom, 2010).

För att uppnå en tillfredsställande luftkvalitet krävs ett väl dimensionerat ventilationssystem i kombination med lämpliga byggmaterial och ett fuktsäkert byggande. Gällande riktlinjer anger att ventilationssystemet kan utformas med ett uteluftsflöde som minst ska uppgå till 0,35 l/s per m² golvaren. I praktiken kan dock högre luftflöden vara nödvändiga för att begränsa luktproblem och negativa

hälsoeffekter (Boverket, BFS 2024:8). Utöver detta anger Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation (FoHMFS 2014:18) riktvärden som bör följas för att undvika olägenheter för människors hälsa. För bostäder rekommenderas en luftomsättning på minst 0,5 rumsvolymer per timme, och uteluftsflödet får inte understiga 4 l/person (Folkhälsomyndigheten, 2024).

Koldioxidhalt används ofta som en indikator på ventilationens funktion, då människan är den huvudsakliga källan till koldioxid i inomhusmiljöer. Enligt Folkhälsomyndigheten (2024) kan koldioxidhalter över 1000 ppm indikera att ventilationen inte är tillräcklig för att effektivt föra bort föroreningar och lukter. Det är dock viktigt att notera att detta värde inte utgör en gräns för hälsofarliga nivåer av koldioxid, utan snarare en indikator på bristande luftomsättning. Först vid betydligt högre halter, över cirka 20 000 ppm, kan direkta fysiologiska effekter såsom ökad andningsfrekvens uppstå.

Utomhus uppgår koldioxidhalten normalt till cirka 400 ppm, medan den i väl ventilerade inomhusmiljöer ofta ligger i intervallet 600–800 ppm. Avvikelser från dessa nivåer kan indikera otillräcklig ventilation eller hög personbelastning. Därmed utgör koldioxidmätningar ett praktiskt verktyg vid bedömning av ventilationssystemets prestanda och inomhusmiljöns kvalitet (Folkhälsomyndigheten, 2024).

2.3 Naturlig ventilation och vädring

Naturlig ventilation avser luftutbyte som sker genom avsiktligt skapade öppningar i byggnadens klimatskal, exempelvis enbart öppna fönster, dörrar eller särskilda vädringsluckor. Luftflödet genom en öppning åstadkommes av att det är en tryckskillnad som uppstår till följd av två huvudmekanismer. Dessa är temperaturskillnader och vindpåverkan, vilket möjliggör ett luftutbyte mellan inomhus- och utomhusmiljö (Nordquist, 1998).

Vädring definieras som ett medvetet och brukarstyrt luftutbyte genom öppningar. Vädring kan delas in i två huvudtyper: ensidig och flersidig vädring. Ensidig vädring kännetecknas av att luftutbytet sker genom en enda öppning i en fasad. I detta fall uppstår ett dubbelriktat luftflöde, där både in- och utströmning sker genom samma öppning. Flersidig vädring innebär att öppningar är placerade i olika, ofta motstående, fasader. Detta benämns ofta korsdrag. Vid flersidig vädring kan det uppstå ett mer tydligt enkelriktat flöde, där tilluft och frånluft separeras mellan olika öppningar (Nordquist, 1998).

2.3.1 Motiv och begränsning för vädring

Enligt Nordquist (1998) kan motiven bakom vädring förstås utifrån både komfortmässiga och tekniska aspekter. En central fördel är att vädring möjliggör en snabb förändring av inomhusklimatet, exempelvis genom att sänka lufttemperaturen eller förbättra den upplevda luftkvaliteten. Luftflödet genereras av naturliga drivkrafter såsom vind och termiska tryckskillnader, vilket innebär att ingen mekanisk

energitillförsel krävs för att åstadkomma luftutbyte. Vädring ger dessutom de boende möjlighet att själva reglera sin inomhusmiljö, vilket kan bidra till en upplevelse av kontroll och anpassning till individuella komfortpreferenser.

Samtidigt lyfter Nordquist (1998) flera begränsningar. Luftutbytet är beroende av yttre klimatförhållanden och varierar med temperaturdifferenser och vindpåverkan, vilket innebär att samma öppningsgrad kan ge olika luftflöden under olika väderförhållanden. Vid vädring sker ingen värmeåtervinning, vilket medför att uppvärmd inomhusluft ventileras bort utan att energin tas tillvara. Den inkommande uteluften passerar inte heller genom filtrering, vilket kan påverka luftkvaliteten jämfört med mekaniska ventilationssystem. Vidare förutsätter vädring aktivt handlande från de boende, om fönster inte öppnas vid behov kan luftutbytet bli otillräckligt. Sammantaget beskriver Nordquist (1998) vädring som en flexibel men svårkontrollerad ventilationsform, där upplevd kontroll står i relation till potentiella energiförluster under uppvärmningssäsongen.

2.3.2 Öppningsgrad och luftflödet genom fönstret

Luftflödet genom en öppning kan beskrivas med en förenklad relation baserad på Bernoulli-principen, följande ekvation 2.9:

$$q = C_d A_f \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (2.9)$$

där q är luftflödet (m^3/s), A_f den fria öppningsarean (m^2), Δp tryckskillnaden över hela öppningen (Pa), ρ luftens densitet (kg/m^3), och C_d kontraktionsfaktor för öppning (-) (Nordquist, 1998; Jones et al., 2016).

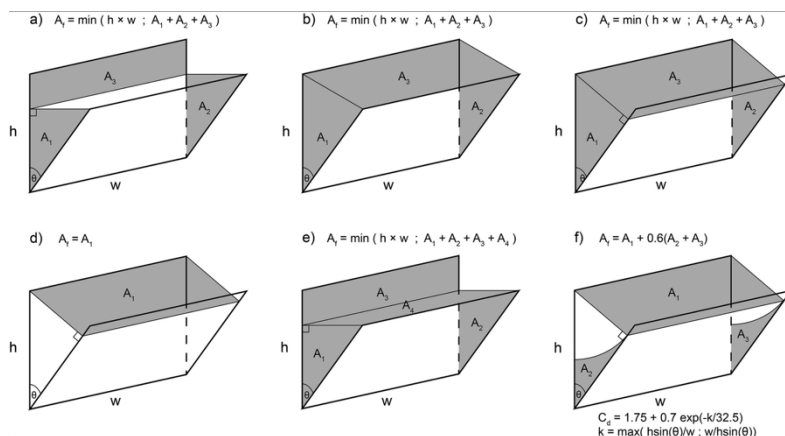
Kontraktionsfaktor C_d , även kallad kontraktionskoefficienten, representerar avvikelser från ideal strömning genom att ta hänsyn till både kontraktion och friktionsförluster. Begreppet behandlas dock olika i litteraturen och tilldelas varierande värden beroende på metod och tillämpning (Heiselberg et al., 1999; Nordquist, 1998; Jones et al, 2016). I praktiska tillämpningar antas ett konstant värde för C_d mellan 0,61 och 0,65, vilket är värdet för en skarpkantad öppning. Denna förenkling är emellertid inte alltid representativ, eftersom det i verkligheten varierar med fönstertyp, öppningsvinkel, vindförhållanden och temperaturskillnader (Jones et al., 2016; Sharpe et al., 2020).

Heiselberg et al. (2001) visade exempelvis att C_d under isothermiska förhållanden inte påverkas av tryckskillnaden, utan främst beror på fönstrets öppningsarea, medan vid situationer där både temperatur- och tryckskillnader förekommer påverkas C_d av flera faktorer, framför allt temperaturskillnaden mellan inne- och uteluft samt luftens hastighet genom öppningen. Detta innebär att användningen av ett konstant värde för C_d kan därmed leda till betydande fel beräkning av luftflödet genom öppningsbara fönster.

En ytterligare osäkerhetsfaktor rör definitionen av den fria öppningsarean, A_f . För komplexa geometrier, exempelvis sido- eller bottomhängt fönster, är begreppet inte

entydigt definierat. Olika beräkningsmetoder kan ge avsevärt skilda resultat, vilket i sin tur leder till betydande variationer i beräknade luftflöde (Sharpe et al., 2020). Eftersom öppningsgraden har en direkt påverkan på den fria öppningsarean får den även stor betydelse för det luftflöde som kan passera genom öppningen. Samtidigt råder osäkerhet kring hur denna area bör bestämmas samt hur luftflödet bör beräknas i praktiken (Jones et al., 2016; Sharpe et al., 2020).

I sin litteraturstudie presenterar Sharpe et al. (2020) en sammanställning av olika metoder för att modellera den fria öppningsarean hos fönster. Dessa metoder, illustrerade i figur 2.1, bygger på varierande definitioner och kombinationer av uppmätta areor. Författarna framhåller dock att de föreslagna modellerna ofta saknar tydlig teoretisk förankring, och att validering mot empiriska mätdata är begränsad. Denna brist på enhetlig definition av den fria öppningsarean utgör därmed en betydande källa till osäkerhet, både i praktiska tillämpningar och i akademiska studier av naturlig ventilation och vädring (Jones et al., 2016; Sharpe et al., 2020).



Figur 2.1: Illustration av olika metoder för att definiera den fria öppningsarean A_f för öppningsbara fönster. Källa Sharpe et al. (2020).

Jiang et al. (2025) vidareutvecklar förståelsen av luftflöde genom bottenhängda fönster genom att experimentellt validera ett flertal empiriska modeller för enkelsidig ventilation. I deras studie jämförs 12 olika modeller med hjälp av omfattande mätningar baserade på spårgasteknik under varierande klimatförhållanden. Resultaten visar att de flesta modeller underskattar luftflödet, vilket delvis förklaras av förenklade antaganden kring både kontraktionsfaktorn C_d och den fria öppningsarean A_f . Författarna betonar särskilt att modeller som inte är specifikt utvecklade för bottenhängda fönster ger mer osäkra resultat, eftersom de inte korrekt fångar den komplexa strömningen genom denna typ av öppning. Studien visar även att valet av definition för öppningsarean har stor påverkan på beräknat luftflöde. Jiang et al. (2025) drog därför slutsatsen att mer noggranna och situationsanpassade modeller krävs, där både vind- och

temperaturskillnader beaktas samt där ventilationsarean på fönstret definieras på ett konsekvent sätt.

För att hantera dessa osäkerheter kopplade till definitionen av fri öppningsarea utvecklade Sharpe et al. (2020) en metod kallad *Statistical Effective Area Model* (SEAM). Modellen syftar till att beskriva hur luftflödet genom ett öppningsbart fönster påverkas av öppningsvinkel och geometri genom en omformulering av den klassiska luftflödesekvationen. I stället för att explicit definiera den fria öppningsarean A_f används en geometrisk referensarea, definierad som produkten av öppningens höjd, och bredd, h och w respektive:

$$A = h \cdot w \quad (2.10)$$

I SEAM görs kontraktionskoefficienten explicit beroende av öppningsvinkel θ samt fönstrets geometri:

$$C_d(\theta) = B(1 - e^{-M\theta}) \quad (2.11)$$

där parametrarna B och M bestäms utifrån förhållandet mellan höjd och bredd:

$$B = 0,18e^{-0,78(\sigma)} + 0,61 \quad (2.12)$$

$$M = 0,016(\sigma + 1) \quad (2.13)$$

$$\sigma = \frac{h}{w} \quad (2.14)$$

Genom att kombinera den geometriska arean med den vinkelberoende kontraktionskoefficienten definieras den effektiva öppningsarean som

$$A_{eff} = C_d \cdot h \cdot w \quad (2.15)$$

Denna form eliminerar behovet av att definiera en separat fri area och inkorporerar hela den aerodynamiska informationen i en enda funktion.

Sharpe et al. (2020) beskriver att SEAM bygger på experimentella data från tidigare studier av luftflöde genom öppningsbara fönster och att modellen ursprungligen utvecklades för bottenhängda fönster. Författarna menar dock att modellen även kan anpassas till andra fönstertyper, exempelvis sidohängda fönster, genom att byta plats på höjden och bredden i ekvation 2.15. Enligt Sharpe et al. (2020) är en central egenskap hos SEAM att öppningsvinkelns påverkan på luftflödet integreras direkt i den effektiva öppningsarean. På så sätt hanteras både geometriska effekter och strömningsförluster inom samma parameterisering, vilket enligt författarna minskar behovet av separata korrektionsfaktorer.

Warren (1977), återgiven i Nordquist (1998), presenterar en faktor $J(\theta)$ för att beskriva öppningsvinkelns påverkan vid temperaturdriven ventilation. Parametern tar hänsyn till hur öppningens geometri och orientering påverkar luftströmningen genom öppningen.

Faktorn $J(\theta)$ bestämdes experimentellt genom spårgasmätningar i en testkammare och redovisas i figur 2. Figuren visar sambandet mellan fönstrets öppningsvinkel och det resulterande luftflödet, där flödesreduktionen uttrycks genom J som funktion av öppningsvinkeln θ . Resultaten indikerar att öppningsvinkeln har en dominerande inverkan på luftflödet, medan variationer i förhållandet mellan öppningens höjd och bredd har en mindre betydelse inom det studerade intervallet (Nordquist, 1998).

Med hjälp av faktorn $J(\theta)$ kan luftflödet genom en öppning som påverkas av temperaturskillnader beskrivas enligt ekvation 2.16:

$$q = J(\theta)C_d \frac{B}{3} \sqrt{\frac{\Delta T g H^3}{\bar{T}}} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (2.16)$$

B = Bredden på öppningen [m]

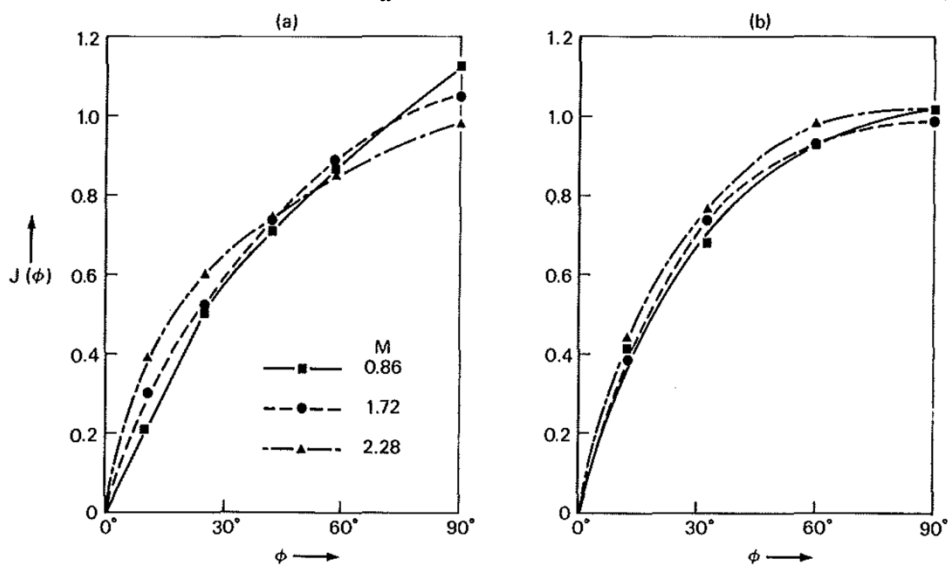
H = Höjden på öppningen [m]

ΔT = Temperaturskillnad mellan ute- och innetemperatur [K]

$\bar{T}$ = Medeltemperatur [K]

Kontraktionskoefficienten C_d kan i detta fall approximeras som en funktion av temperaturdifferensen från:

$$C_d = 0,4 + 0,0045\Delta T \quad (2.17)$$



Figur 2.2. Relativt minskning av flödet beroende på fönstrets öppningsvinkel. Variation av faktor $J(\theta)$ som funktion av öppningsvinkeln vid temperaturdriven ventilation (stackeffekt) genom (a) sidohängda fönster och (b) centrumhängda fönster. Efter Warren (1977), återgiven i Nordquist (1998).

Till skillnad från SEAM, där öppningsvinkelns påverkan integreras i den effektiva öppningsarean genom C_d , behandlar Warrens modell denna påverkan genom den separata faktorn $J(\theta)$. Modellerna representerar därmed liknande fysikaliska fenomen men med olika metodologiska angreppssätt.

Sammantaget visar litteraturen att bestämningen av fri öppningsarea varierar mellan olika modeller för luftflöde genom fönster. Valet av modell för öppningsarea och kontraktionskoefficient skiljer sig mellan studier, vilket bidrar till variationer i beräknade luftflöden (Sharpe et al., 2020; Nordquist, 1998; Jones et al., 2016). Vidare är terminologin inom området inte entydig, då samma definition kan benämnas med olika termer samtidigt som samma term ibland används för olika definitioner (Sharpe et al., 2020; Jones et al., 2016).

2.4 Brukarindata

I Boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnaders energianvändning vid normalt brukande och under ett normalår (BEN 2, BFS 2017:6) anges riktlinjer baserade på både beräknad och uppmätt energianvändning. Föreskrifterna har senare kompletterats genom ändringsföreskrifter i BEN 3 (BFS 2018:5).

I denna studie har brukarindata baserats på BEN 2, med beaktande av ändringar enligt BEN 3, då dessa inte bedöms påverka de parametrar som är relevanta för studien.

Tabell 2.1 nedan är baserad på tabell 2.2 i BEN 2 (BFS 2016:12) och redovisar de brukarindata som gäller för nya flerbostadshus.

Tabell 2.1 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 η_{tv} är årsverkningsgraden för produktion av varmvatten hos värmekällan	25/ η_{tv} kWh/m ² , A_{temp} år
Hushållsenergi	-	30 kWh/m ² , A_{temp} 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 ² , A_{temp} år

I föreskriften ingår en kompletterande tabell med schablonvärden för antal personer per bostad (BFS 2017:6), vilken återges i tabell 2.2.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

Tabell 2.2. Värderna för beräkning av antal personer i bostäder (BEN 2 BFS 2017:6)

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

3 Litteraturstudie

I detta kapitel presenteras en del tidigare forskning om vädringsbeteende. Syftet är att belysa hur forskningsfältet har utvecklats, särskilt avseende förekomst, bakomliggande drivkrafter och energikonsekvenser av vädring.

Litteratursökningen genomfördes via Finn, Lunds universitet biblioteks söktjänst, samt de databaser som är tillgängliga genom tjänsten, med hjälp av relevanta nyckelord såsom "vädring", "vädringsbeteende", "airing", "occupant behavior", "window opening" och "window airing". Urvalsprocessen inleddes med en genomgång av publikationernas titlar och sammanfattningar för att bedöma deras relevans i förhållande till studiens syfte och forskningsfrågor. Därefter genomfördes en mer fördjupad granskning av de publikationer som bedömdes vara potentiellt relevanta.

Urvalet omfattar både internationella och svenska studier för att möjliggöra en bred och jämförande belysning av området. Litteraturstudien avgränsades huvudsakligen till internationellt vetenskapligt granskade (peer review-granskade) artiklar med tydligt redovisad metodik och empiriskt underlag. De svenska studier som inkluderats utgörs främst av examensarbeten och forskningsprojekt genomförda vid Lunds tekniska högskola.

3.1 Förekomst av vädring i bostäder

Flera studier visar att vädring utgör ett återkommande inslag i boendes vardag, både i flerbostadshus och småhus. Beteendet förekommer oberoende av byggnadens ålder samt vilken typ av ventilationssystem som är installerat.

En av de studier som undersökt vädringsvanor i svenska flerbostadshus är MEBY-enkäten). Enkätundersökningen omfattade 393 lägenheter i Stockholmsområdet och syftade till att öka förståelsen för hur boendes beteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus samt hur information från boendeenkäter kan användas vid energiuppföljning och verifiering av byggnaders energiprestanda. Resultaten visar att vädring förekommer frekvent. 75 procent av de tillfrågade uppgav att de vädrar dagligen, och omkring 20 procent uppgav att de vädrar genom att låta fönster eller balkongdörren stå öppna under längre tidsperioder, exempelvis under hela dagen eller natten (Sandberg & Engvall, 2002).

Liknande mönster framkommer i den nationella studien BETSI (Byggnaders energianvändning, tekniska status och inomhusmiljö), genomförd av Boverket under perioden 2007–2008. Studien syftade till att kartlägga energianvändning, teknisk status och inomhusmiljö i det svenska bostadsbeståndet och kombinerade tekniska mätningar med enkätundersökningar riktade till boende (Boverket, 2009). Resultaten visar att daglig vädring är vanligt förekommande även i ett nationellt perspektiv och att boende i flerbostadshus vädrar mer än boende i småhus. Vidare uppvisas det att 20 procent av boende har ett fönster öppet hela dagen eller hela natten och 50 procent har öppet några timmar varje gång de vädrar (Boverket, 2009).

3.2 Variation i vädringsbeteende

I en fördjupad uppföljning av bostadsområdet Flagghusen i Malmö analyserade Nordquist (2017) relationen mellan inneklimat, ventilationssystem, där majoritet var FTX-ventilatktion, och vädringsbeteende. Studien kombinerade enkätdata med tekniska mätningar i ett urval av lägenheter för att möjliggöra en parallell analys av upplevd och uppmätt inomhusmiljö. Enkäten besvarades av 257 av 523 boende, visade att vädring var ett frekvent förekommande beteende. Cirka 55 % uppgav att de öppnade fönster dagligen eller nästan dagligen, och en lika stor andel lät dem stå öppna under längre perioder under uppvärmningssäsongen. De vanligaste motiven var vanemässigt beteende, upplevd bristande luftkvalitet samt för hög inomhustemperatur. De tekniska mätningarna bekräftade delvis dessa upplevelser. I hälften av de undersökta lägenheterna översteg den operativa temperaturen 23 °C, och i flera fall uppmättes temperaturer över 24 °C under uppvärmningssäsongen. Samtidigt uppfylldes inte alltid Boverkets krav på tilluftsflöden, och i flera bostäder registrerades koldioxidhalter omkring eller över 1 000 ppm, vilket indikerar otillräcklig luftomsättning. I vissa fall var ventilationsaggregaten inställda på reducerat driftläge, vilket minskade luftflödet och därmed försämrade luftkvaliteten. Byggnadernas orientering och begränsade externa solavskärmning bidrog ytterligare till övertemperaturer. En stor andel av lägenheterna hade fönster mot både söder och väster, medan yttre solavskärmning förekom i begränsad omfattning. Detta skapade förutsättningar för höga inomhustemperaturer under varmare perioder och ökade behovet av manuellt luftutbyte i form av vädring.

Studien visar att vädring i detta sammanhang inte enbart kan förstås som ett individuellt komfortval, utan snarare som en kompensatorisk val i situationer där ventilationssystem, temperaturreglering och solavskärmning inte fullt ut motsvarar de boendes behov. Brister i systemens funktion, i kombination med bullerproblematik och begränsad kunskap om driftslägen, bidrog till ett beteende där vädring blev ett återkommande verktyg för att uppnå tillfredställande komfort (Nordquist, 2017).

Nordquist (2017) framhåller därför att teknisk dimensionering, injustering och användarvänlig styrning är centrala faktorer för att minska behovet av manuella ingrepp. Studien understryker vikten av att integrera ventilationsutformning, solavskärmning och temperaturreglering redan i projekteringsskedet, samt att säkerställa att brukare har tillräcklig förståelse för systemens funktion. Resultaten indikerar att vädringsbeteende uppstår i skärningspunkten mellan tekniska systemförutsättningar och boendes individuella preferenser.

Liknande mönster återfinns i internationella studier. I en dansk undersökning av Knudsen (2019), *"House owners' experience and satisfaction with Danish low-energy houses – focus on ventilation"*, analyserades upplevelser och tillfredsställelse bland ägare till de första fristående danska lågenergihusen. Studien genomfördes som en enkätundersökning och omfattade frågor om övergripande nöjdhet, förväntad och faktisk värmeförbrukning samt upplevd inomhusmiljö, inklusive temperatur, drag, luftkvalitet, buller och dagsljus. Särskild vikt lades vid erfarenheter av mekanisk ventilation, såsom upplevd luftkvalitet, torrhet vintertid, buller samt vädringsbeteende.

Av 869 tillfrågade hushåll besvarade 370 enkäten, en svarsfrekvens om 43 %. Resultaten visar en generellt hög tillfredsställelse: över 90 % av respondenterna bedömde inomhusklimatet som tillfredsställande. Vidare uppgav 59 % att deras värmeförbrukning var lägre än motsvarade deras förväntningar, medan endast 7 % ansåg att den var högre än förväntat. Trots att majoriteten av husen var utrustade med mekaniska ventilationssystem, FTX, framkom att manuellt fönsteröppnande var vanligt förekommande. Två tredjedelar av husägarna uppgav att de öppnade fönster dagtid under vinterperioden, medan en tredjedel gjorde det nattetid. Samtidigt uppgav 28 % att de aldrig öppnade fönster dagtid och 68 % att de aldrig gjorde det nattetid. Den vanligaste vädringsformen var kortvarigt fönsteröppnande dagtid (52 %) (Knudsen, 2019).

Resultaten visar således en betydande variation i vädringsmönster, även inom en relativt homogen grupp av lågenergihus med avancerade ventilationssystem. Att manuellt vädringsbeteende kvarstår trots tekniskt dimensionerad ventilation indikerar att fönsteröppning dels kan vara en reaktion på brister i ventilationssystemet, såsom otillräckliga luftflöden, dels kan utgöra en etablerad strategi för att uppnå upplevd komfort, hantera temporära behov eller upprätthålla en känsla av kontroll över inomhusmiljön.

För att ytterligare belysa variationer i vädringsbeteenden och deras energimässiga konsekvenser har även Bertilsson och Zandi (2023) analyserat hur olika brukarbeteenden påverkar energianvändningen i ett flerbostadshus med FTX-ventilation i Umeå utifrån enkätdata och energisimulering i IDA ICE. Resultaten visade att 43 % av de boende vädrade dagligen eller nästan dagligen, vilket ligger i linje med tidigare svenska studier där daglig vädring rapporterats av cirka 49–61 % av hushållen. Vädringsbeteendet varierade avseende frekvens, öppningstid, öppningsgrad och förekomst av korsdrag. De insamlade enkätdata sammanställdes i ett antal simuleringsfall som implementerades i energisimuleringsprogrammet IDA ICE. Simuleringarna visade att den totala energianvändningen för uppvärmningen, exkluderade tappvarmvatten och hushållsel, varierade mellan 59,0 och 65,1 kWh/m², år beroende på vädringsscenario.

Den efterföljande känslighetsanalysen visade dock att vädring, trots sin mätbara påverkan, hade mindre betydelse än tappvarmvattenanvändning och inomhustemperatur. Där tappvarmvattenanvändningen, 92,1 kWh/m² exkl. hushållsel, med det fall som ger högst energianvändning ökade med 78 % från det fallet med sparsamt användande av varmvatten, som gav en energianvändning på 51,6 kWh/m² exkl. hushållsel. Men vädringen i känslighetsanalysen varierade minst i energianvändning mellan simuleringsfallen. Från det simuleringsfall med ingen vädring till det fall med vädring som gav högst energianvändning skiljde endast 6,1 kWh/m². Det innebär en ökning på 10 % i energibehovet för uppvärmning.

Inom själva vädringsparametrarna framstod frekvens och öppningstid per vädringstillfälle som mer avgörande än öppningsgrad och antal simultana öppningar. De scenarier som innefattade daglig vädring genererade högst energianvändning. Vid jämförelse mellan två av fallen, där det ena omfattade vädring genom en öppning åt gången och det andra vädring med korsdrag, var skillnaden i energianvändning endast

0,1 kWh/m². Detta indikerar att korsdrag potentiellt kan vara ett mer effektivt sätt att vädra eftersom energianvändningen inte ökade nämnvärt trots fler samtidiga öppningar. Öppningsgrad och antal samtidiga öppningar framstod därmed som mindre avgörande parametrar än vädringsfrekvens och öppningstid. Sammantaget illustrerar studien att vädring är ett heterogent brukarbeteende med betydande variation mellan hushåll samt att dess energipåverkan är situationsberoende och nära kopplad till hur beteendet representeras i energisimuleringar.

Liknande bild framkommer i flera andra studier, där vädringsvanor analyserades i ett antal bostäder. Studien visar att vädringsbeteende varierar betydligt mellan hushåll både vad gäller frekvens, öppningstid och geometrin av öppningar. Energisimuleringarna visar att dessa brukarvanor kan påverka byggnaders energianvändning avsevärt mellan olika vädringsscenarier. Även om innerdörrarnas är öppna eller stängda bidrar till skillnader i energirelaterade konsekvenser (Bertilsson och Zandi, 2023; Rosengarten, 2022).

En studie av Andersen et al. (2013) visade specifikt att i enfamiljshus med självdragsventilation påverkas sannolikheten att öppna och stänga fönster av både årstid och tid på dygnet. I dessa fall är sannolikheten generellt högre under vår och sommar, medan den är lägre under vinterperioden. Betydelsen av tids- och säsongsvariationer hos brukare bekräftas även av Park och Choi (2018), som visar att boendes manuella styrning av fönster i hög grad samvarierar med den dagliga medeltemperaturen utomhus med hjälp av mätningar. Fönster öppnades mer sällan under uppvärmningsperioden, medan öppningsfrekvensen var högre under mildare och varmare perioder. Samtidigt varierar temperatures inverkan beroende på tidsperiod, vilket innebär att samma utetemperatur kan ge upphov till olika vädringsbeteenden vid olika perioder. Vidare påverkas vädringen av dagliga aktiviteter, såsom matlagning och städning, samt av närvaro i bostaden (Jeong et al. 2016; Park & Choi 2018). Park och Choi (2018) identifierade tydliga toppar i fönsteröppning i samband med ankomst och avfärd från bostaden, oberoende av om det var vardag eller helg, vilket indikerar ett tydligt samband med de boendes vardagsmönster.

Trots att vädringsbeteendet varierar mellan olika bostäder kan vissa gemensamma mönster identifieras. Inomhusnivåer av koldioxid har en visat ha tydlig inverkan på sannolikheten att öppna fönster, medan utomhustemperaturen i större utsträckning påverkar sannolikheten att stänga dem (Andersen et al. 2013; Park & Choi 2018). Sammantaget visar dessa studier att vädringsbeteendet påverkas av en kombination av klimatrelaterade faktorer och brukarbeteenden, där både utomhusförhållanden och individuella rutiner spelar en viktig roll. I linje med detta resonemang pekar Jeong et al. (2016) på att utomhustemperatur ofta används som en central förklaringsvariabel för stängning av fönsteröppning, men att inomhustemperatur och förändringar i denna kan vara mer avgörande för när fönster stängs, särskilt under uppvärmningsperioden.

3.3 Kvantifiering av vädringens energiförluster

Frågan om vädringens faktiska energipåverkan har även behandlats kvantitativt. Flera undersökningar har därför försökt kvantifiera vilken påverkan detta beteende har på byggnaders energianvändning.

En kvantitativ analys av vädringens energipåverkan genomfördes av Abdul Hamid och Ibrahimovic (2013) i bostadsområdet Flagghusen i Malmö. Syftet med deras examensarbete var att uppskatta energiförluster som uppstår till följd av fönstervädring i nybyggda flerbostadshus samt att jämföra resultaten med de schablonvärden som används inom SVEBY. Underlaget baserades på enkätdata och dagboksanteckningar från boende, vilka användes för att kartlägga vädringsvanor såsom öppningsgrad, frekvens och varaktighet. Dessa uppgifter användes som indata i två olika vädringsmodeller baserade på Birgitta Nordquist arbete "Vädring i skolor", där modellerna beskriver luftbytet genom vädring under olika antaganden om omblandning av rumsluften. Beräkningarna genomfördes i ett MATLAB-program där vädringsmodellerna kombinerades med klimatdata från SMHI, klimatdata möjliggjorde även simulering av olika klimatzoner.

Resultaten visade ett stort spann i beräknade energiförluster, från 0 till $20 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, för Falsterboklimatet, närmast Malmö. Det genomsnittliga värdet för de analyserade lägenheterna i Falsterboklimatet uppgick dock till cirka $1,11 \text{ kWh/år, m}^2$. När samma metodik applicerades på andra geografiska lägen erhölls genomsnittliga värden på $1,32 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, för Stockholm och $1,82 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, Haparanda. Dessa resultat ligger avsevärt under det vädringspåslag på 4 kWh/kWh/år m^2 rekommenderas inom SVEBY. Studien framhåller samtidigt att energiförlusterna till följd av vädring ökar i kallare klimat, vilket innebär att ju längre norrut i Sverige en byggnad är belägen, desto större blir energiförlusterna vid samma vädringsbeteende och vädringsförhållanden.

Samtidigt diskuterar författarna att en viss osäkerhet finns i beräkningarna. Abdul Hamid och Ibrahimovic (2013) betonar att energiförluster till följd av vädring är svåra att bestämma med hög säkerhet eftersom luftutbytet varierar beroende på bland annat utetemperatur, vädringsfrekvens, öppningsdimensioner och vädringstid. Därtill påverkar även faktorer såsom vindförhållanden, internvärme, radiatorernas reglering och hur stor del av bostaden som faktiskt påverkas av luftutbytet, vilket kan leda till både under- och överskattningar av de verkliga energiförlusterna. Författarna framhåller särskilt att deras modeller bygger på ett antal förenklingar. Bland annat inkluderades inte vindens påverkan på luftutbytet, trots att vinden enligt deras analys ofta utgör en starkare drivkraft för luftflödet än temperaturskillnaden mellan inne och ute under uppvärmningssäsongen. Detta innebär sannolikt att de beräknade energiförlusterna underskattar de verkliga förlusterna. Samtidigt kan resultaten överskatta energiförlusterna eftersom internvärme från personer och hushållsel inte inkluderades i beräkningarna.

För att hantera dessa osäkerheter föreslogs en säkerhetsfaktor på 1,8 vid energiberäkningar. Med denna faktor motsvarar ett mer konservativt vädringspåslag

ungefär $2 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, för Malmöklimatet, medan motsvarande värden för Stockholm och norra Sverige uppgår till cirka 2,4 respektive $3,3 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$. Sammantaget indikerar resultaten att energiförluster till följd av vädring i nybyggda flerbostadshus i många fall är lägre än de schablonvärden som används i energiberäkningar, även om variationen mellan olika hushåll kan vara stor.

Samtidigt som Abdul Hamid och Ibrahimovic (2013) kvantifierade vädringens energiförluster med hjälp av analytiska modeller, har senare studier även analyserat vädringsbeteendets påverkan genom dynamiska energisimuleringar av byggnader. Ett exempel är en studie av Lejonklev (2024), där variationer i vädringsbeteende kopplades till energisimuleringar i ett befintligt flerbostadshus. Studien genomfördes som en fallstudie där 19 boende svarade på enkäter om sina vädringsvanor. Resultaten från enkäterna användes för att skapa olika vädringsscenarier som sedan simulerades i energiberäkningsprogrammet IDA ICE. Enkätsvaren jämfördes även med verkliga mätningar av fönsteröppningar i ett flerbostadshus i Skåne för att undersöka skillnaden mellan upplevt och faktiskt beteende.

Resultaten visade att energianvändningen varierade avsevärt mellan olika vädringsscenarier, där samtliga resultat erhåller samma hushållsenergi. I scenarier med mer omfattande vädring ökade den årliga energianvändningen markant jämfört med ett grundscenario utan frekvent fönsteröppning, den totala skillnaden mellan dessa scenarier var $64 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$. Det vädringsfall som bäst efterliknade verkligheten, fall E2, baserades på enkätsvar där inga fönster stod öppna dygnet runt och där balkongdörren försumrades under vintern. Detta fall gav en energianvändning på $127 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år som endast är $3 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, år mer från fall G, vilket baserade på verkliga mätningar i en lägenhet. Lejonklev (2024) konstaterar att vädringens energipåverkan påverkas av vädringsfrekvens, varaktighet och öppningsgrad, där öppningstiden per vädringstillfälle tycks ha särskilt stor betydelse.

Både Abdul Hamid & Ibrahimovic (2013) och Lejonklev (2024) framhåller att schablonvärden på $4 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$, inte nödvändigtvis återspeglar den variation som förekommer mellan hushåll. Resultaten visar att vädringens energikonsekvenser är situationsberoende och påverkas av byggnadens tekniska system samt brukarnas beteende.

4 Metod

I detta kapitel redogörs för de metoder som tillämpas i examensarbetet. Inledningsvis presenteras fallstudien och det aktuella analysobjektet. Därefter beskrivs uppbyggnaden av energiberäkningsmodellen som genomförs i IDA ICE, med fokus på motivering av modellens utformning, gjorda antaganden samt den indata som ligger till grund för de olika simuleringsfallen. Vidare redovisas de olika simuleringsfall som tillämpas i energiberäkningsmodellen. Därefter redogörs för hur den uppmätta mätdata har bearbetats. Avslutningsvis beskrivs den metod som används för att analysera inomhusmiljön.

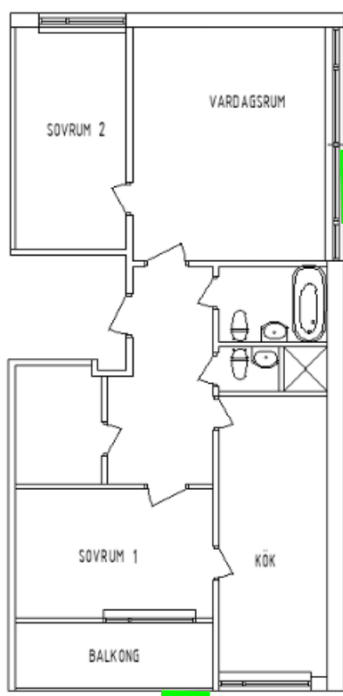
4.1 Fallstudie

Studien genomförs som en fallstudie med fokus på hur vädring påverkar inomhusklimat och energianvändning i en bostad. Arbetet baseras på uppmätt data över vädringsbeteende, inomhustemperatur och CO₂-halter som samlats in under ett helt år. Temperatur- och CO₂-analyserna omfattar hela mätperioden, medan analyserna av vädringens påverkan på energianvändningen fokuserar på uppvärmningssäsongen (november–mars). Den insamlade datan används för att undersöka sambandet mellan vädring, termiskt inneklimat och byggnadens energibehov.

4.2 Beskrivning av objekt

Fallstudien omfattar en lägenhet belägen i södra Lund. Lägenhetens area är 76,7 m². Byggnaden uppfördes under 1960-talet och utgör ett flerbostadshus med arkitektoniska kännetecken typiska för ett skivhus, lamellhus. Flerbostadshuset består av åtta våningsplan samt källare, och det studerade objektet, lägenhet, är belägen på våningsplan sju. Byggnaden har tre trapphus, och samtliga lägenheter på respektive våningsplan är försedda med indragna balkonger i söderläge integrerade i fasaden. Se figur 4.1 för planlösningen.

Den analyserade lägenhetens uppvärmning sker via fjärrvärme med vattenburna radiatorer som primärt värmesystem. Ventilationssystemet utgörs av mekanisk frånluft, där tilluft tillförs genom uteluftsventil i vardagsrum samt via vädringslucka ovanför balkongdörren i sovrum 1. I figur 4.1 illustreras placeringen av uteluftsventilen och vädringsluckan med gröna markeringar. Frånluft avleds genom frånluftsdon placerade i kök och WC samt badrum.



Figur 4.1 Planlösningen för det studerade objektet.

4.3 Energiberäkningsmodell

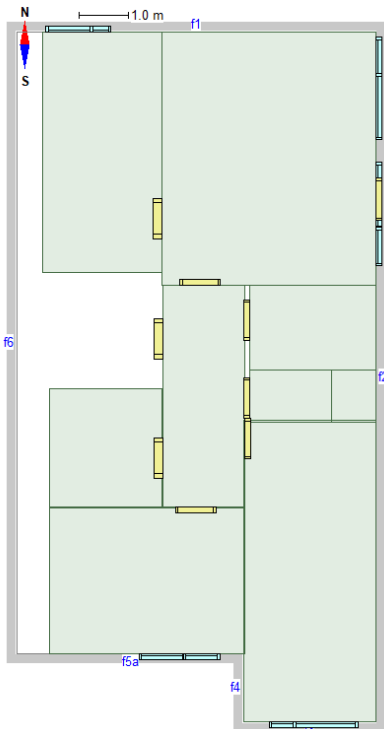
Energiberäkningarna genomfördes i simuleringsverktöget IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE), vilket är ett dynamiskt flerzonsprogram för simulering av byggnaders energianvändning och inneklimat. Programmet möjliggör detaljerad modellering av byggnadens geometri, installationer, styrning och användarbeteenden över ett helt år. Simuleringarna användes för att analysera hur vädring påverkar energianvändningen i den studerade lägenheten (EQUA, u.å.)

Modellen har utvecklats med utgångspunkt i plan- och konstruktionsritningar tillhandahållna av Lunds kommuns samhällsbyggnadsförvaltning via deras digitala ritningsarkiv. Strävan har varit att i största möjliga utsträckning återskapa byggnadens verkliga utformning baserat på tillgängliga ritningar och tekniska underlag. På grund av begränsad information, programvarans tekniska begränsningar samt behovet av en hanterbar modell har dock vissa förenklingar och antaganden varit nödvändiga. Dessa redovisas och motiveras mer utförligt längre fram i kapitlet.

Lägenheten har i modellen strukturerats genom en uppdelning i individuella termiska zoner, där respektive rum behandlas som en separat beräkningsenhet, se figur 4.2. Denna

modellering anses möjliggöra en mer finfördelad analys av hur vädringsbeteenden påverkar i respektive rum. Indelningen skapar därmed bättre förutsättningar att identifiera skillnader i värmeförluster, temperaturvariationer och luftflöden mellan olika delar av lägenheten, vilket ger en mer fördjupad information av vädringens inverkan på såväl energianvändning som inomhusklimat.

Den norra och södra fasaden som visas i figur 4.2 utgör byggnadens långsidor, medan den östra fasaden representerar gavelväggen.



Figur 4.2. Zonindelning över planlösning i IDA ICE modellen.

4.3.1 Konstruktion

Modelleringen av analysobjektets konstruktion baseras på tillgängligt underlag från ritningsarkivet. I de fall där underlaget varit bristfälligt har kompletterande konstruktiva antaganden gjorts med utgångspunkt i byggnadens typ och byggnadsår.

Ytterväggarna har identifierats som tre olika typer beroende på deras placering i fasaden: vid balkonger, längs byggnadens långsidor (norr- och söderfasad) samt i gavelväggen (öst fasaden). Gavelfasaden har identifierats som bärande, medan långsidorna och fasaden vid balkongerna utgör icke bärande konstruktioner.

Då byggnaden har identifierats som ett typiskt lamellhus från 1960-talet, en hustyp som generellt kännetecknas av en bärande stomme i betong samt betongbjälklag mellan våningsplanen (Björk et al. 2021). Mot denna bakgrund har både golv och tak i den studerade lägenheten antagits utgöras av massiva betongbjälklag mot angränsande lägenheter.

De lägenhetsskiljande väggarna har på motsvarande sätt modellerats som massiva betongväggar, vilket är förenligt med den byggnadstekniska praxis som var vanlig vid uppförandet av denna typ av flerbostadshus. Invändiga, icke bärande väggar inom lägenheten har däremot antagits bestå av träregelstomme med gipsskivor, i enlighet med typiska lösningar för rumsavskiljande innerväggar (Björk et al. 2021). Dessa antaganden syftar till att återspegla byggnadens sannolika konstruktiva uppbyggnad och därmed skapa rimliga förutsättningar för energiberäkningarna.

Samtliga U-värden och konstruktionstjocklekar som användes i energiberäkningsmodellen redovisas i tabell 4.1. U-värdena erhöles från de konstruktionselement som modellerades i IDA ICE och användes som indata i energiberäkningarna. Fönsterna antogs i energiberäkningsmodellen att vara tvåglasfönster med ett U-värde på $2,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ och g-värde på 0,73.

Tabell 4.1. Redovisning av tjocklek samt U-värde för konstruktionselement

Konstruktionselement	Tjocklek [m]	U-värde [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Yttervägg – Gavelvägg	0,4	0,34
Yttervägg - Längsida	0,26	0,37
Yttervägg – balkong	0,27	0,37
Bjälklag	0,2	3,2
Innervägg - bärande	0,16	3,9
Innervägg- icke bärande	0,1	0.53
Fönster	-	2,6

4.3.2 Klimatdata och solavskärmning

Klimatdata som användes i energiberäkningsmodellen hämtades i IDA ICE från Malmö Sturup, framtagen av ASHRAE år 2021 för att representera ett normalår. Detta utgjorde den geografiskt närmast tillgängliga klimatdata i förhållande till byggnadens lokalisering i Lund. Eftersom byggnaden var belägen i ett flerbostadsområde i utkanten av centrala Lund definierades vindprofilen i modellen som ”Suburban”, vilket bedömdes bättre motsvara den omgivande bebyggelsestrukturen än en öppen eller urban profil.

Modellens orientering placerades för att efterlikna verkliga förhållanden. Solavskärmningen i modellen utformades med hänsyn till omgivande bebyggelse och vegetation. Den studerade lägenheten var belägen i ett bostadsområde där ett högre flerbostadshus var placerat i sydöstlig riktning i nära anslutning till den studerade byggnaden. Detta antogs medföra viss avskärmning av den direkta solinstrålningen under delar av dagen. En förenkling gjordes i modellen, där påverkan från omgivande

byggnader bedömdes vara begränsad då den studerade lägenheten är belägen på våningsplan sju.

Invändig solavskärmning inkluderades även i modellen i form av persienner vid fönstren, i enlighet med förhållandena i den verkliga lägenheten.

4.3.3 Uppvärmning

I den verkliga byggnaden skedde uppvärmningen med fjärrvärme via vattenburna radiatorer. I energimodellen representerades detta system genom så kallade *ideal heaters* i respektive termisk zon i IDA ICE. Dessa värmeenheter antogs tillgodose hela zonens uppvärmningsbehov utan att det faktiska distributionssystemets dynamik eller styrstrategi modellerades.

Mot bakgrund av att detaljerad information om byggnadens verkliga värmesystem, dess styrstrategi och radiatorernas prestanda saknades, tillämpades en förenklad reglerprincip. Värmetillförseln begränsades genom ett temperaturlösläge på 21 °C, i enlighet med riktvärden enligt BEN3 (BFS 2018:5). Denna avgränsning fanns för att minska risken för orealistiska effekttoppar i modellen och bidrog till en mer representativ beskrivning av byggnadens termiska respons under aktuella förutsättningar.

Vidare begränsades radiatorernas maximala effekt, se tabell 4.2.

Tabell 4.2 Redovisning av maxeffekter på ideal heaters.

Rum	Maxeffekt
Badrum	400 W
Hall	400 W
Klk	0 W
Kök	400 W
Kontor	600 W
Sovrum	600 W
Vardagsrum	600 W
WC	400 W

4.3.4 Köldbryggor

I arbetet har köldbryggornas inverkan hanterats genom en förenklad beräkningsansats. En mer detaljerad analys av samtliga konstruktionsdetaljer köldbryggor bedömdes ligga utan för studiens tidsram och avgränsning. I stället har köldbryggornas effekt på byggnadens värmeförluster representerats genom en iterativ process att ansätta de värden som gav ett resultat med en procentuell andel på ungefär över 20 %, denna andel bedöms vara rimlig.

För att sätta denna förenklade ansats i ett bredare sammanhang kan den jämföras med schablonen som används inom Miljöbyggnad. Där tillämpas exempelvis schablonmässiga tillägg för att approximera köldbryggors inverkan när detaljerade beräkningar saknas. För nivåerna Silver och Brons kan ett påslag om cirka 30 % av transmissionsförlusterna användas, medan mer detaljerade köldbryggeberäkningar krävs för att uppnå nivå Guld (Sweden Green Building Council, 2022). Ett sådant schablonpåslag innebär generellt en konservativ uppskattning, där de verkliga transmissionsförlusterna via köldbryggor ofta är lägre än de beräknade.

Ytterligare exempel återfinns i Boverkets handbok för energihushållning (Boverket, 2012), som baseras på tidigare versioner av Boverkets byggregler (BBR), kan inverkan av linjära köldbryggor i småhus erfarenhetsmässigt motsvara en ökning av U_m -värdet med cirka 15–20 %. För flerbostadshus kan denna påverkan vara ännu större. Som ett alternativ till att inkludera specifika Ψ -värden i beräkningen av U_m kan köldbryggornas inverkan beaktas genom att tillämpa ett generellt påslag om cirka 20 % på det framräknade U_m -värdet, vilket då inkluderar köldbryggornas bidrag i klimatskärmen (Boverket, 2012).

4.3.5 Ventilation

Ventilationssystemet i det studerade objektet utgjordes av ett mekaniskt frånluftssystem. I energimodellen i IDA ICE representerades tilluften via en fönsterventil i vardagsrummet, modellerad som en smal vertikal öppning i fasaden ovanför ett av de större fönstren, i syfte att återskapa lägenheten efter verkligheten.

För att säkerställa tillräcklig bortförsel av fukt och föroreningar tilldelades högre frånluftsflöden i kök (10 liter/s) och två badrum (15 liter/s), i enlighet med branschpraxis. Totalt modellerades det dimensionerade flödet till 40 liter/s.

4.3.6 Internvärme

I energiberäkningsmodellen har internvärmelasten baserats på brukarindata enligt Tabell 2.2 samt personantal enligt Tabell 2.3, vilket återfanns i BEN 2 (BFS 2017:6) För den aktuella lägenheten, med tre rum och kök, motsvarade detta ett beräknat personantal om 2,18 personer. Enligt Boverkets byggregler (BBR) tillförs personvärme under 14 timmar per dygn, sju dagar i veckan, året runt. Närvaron av personer modellerades med ett schablonschema om 14 timmar per dygn under hela året för samtliga rum, med undantag för badrum och WC. Dessa utrymmen antogs ha en mer begränsad användning och tilldelades därför ett närvaroschema om 1 timme per dygn.

4.3.7 Tappvarmvatten

Energianvändning för tappvarmvatten modellerades inte som en del av energiberäkningsmodellen, utan beräknades separat och adderades till resultaten i efterhand på 25 kWh/m². Detta innebär att den värmeavgivning som uppstår från tappvarmvatteninstallationer inte inkluderades i modellens energiberäkningar.

4.3.8 Luftläckage

Boverkets byggregler (BBR) anger inget explicit krav på lufttätethet för flerbostadshus. Det enda specificerade kravet avser mindre byggnader med en area under 50 m², där luftläckaget inte får överstiga 0,6 l/s·m² omslutande area vid en tryckskillnad på 50 Pa.

I avsaknad av motsvarande krav för större byggnader antogs i denna studie att luftläckaget för den aktuella byggnaden motsvarar detta riktvärde. Detta antagande utgör en förenkling men bedömdes ge en rimlig approximation av byggnadens lufttätethet.

4.3.9 Övrigt

I modellen antogs att samtliga innerdörrar var öppna till 50 %, med undantag för sovrumsdörren som under nattetid var stängd. Nattetid definierades som perioden mellan kl. 22:00 och 06:00. Detta baserades på uppgifter från enkätundersökningen som visas i figur 4.1.

10. Hur brukar innerdörren vara, öppen eller stängd?

Dörr till ...	Vardagsrum		Sovrum		Kök	
	Dagtid	Nattetid	Dagtid	Nattetid	Dagtid	Nattetid
Öppen	☒	☒	☒	☐	☒	☒
Stängd	☐	☐	☐	☒	☐	☐

Figur 4.1 Utdrag från enkätundersökningen.

4.3.10 Brukarindata till simuleringsfall

För de olika simuleringsfallen användes brukarindata enligt BEN2, Boverkets föreskrifter och allmänna råd (BFS 2017:6) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och normalår. Indata som använts presenteras i tabellen 2.1. Vädringspåslaget tillämpas endast i grundmodellen.

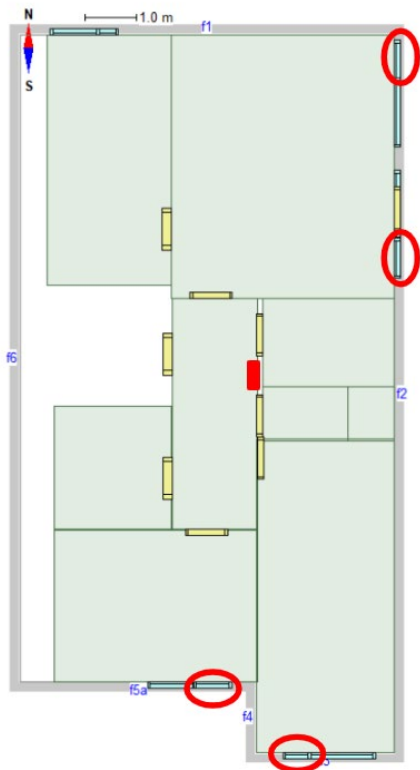
4.4 Uppmätt data

Datainsamlingen av mätdata omfattade perioden 2023-06-07 till 2024-06-06. För att skapa en sammanhängande årsserie hade delar av mätdata organiserats om i filen så att mätdata från januari–juni 2024 placerades i början av dataserien, därmed nu istället representerar hela 2023. De loggade mätvärdena hade en tidsupplösning om en minut, vilket innebär att en komplett dataserie utan bortfall skulle innehålla totalt 525 600 tidssteg. Mätningarna omfattade fyra öppningar, bestående av tre fönster och en balkongdörr. Tabell 4.3 redovisar de uppmätta öppningarnas placering, orientering och storlek. I figur 4.3 visas öppningarnas placering i lägenheten.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

Tabell 4.3 Uppmätta öppningars placering, orientering och storlek.

Namn	Öppning	Placering	Riktning	Mått (cm)
Vardagsrum vänster, norra vardagsrumsfönster	Fönster	Vardagsrum	Öst	75x140
Vardagsrum höger, södra vardagsrumsfönster	Fönster	Vardagsrum	Öst	75x140
Köksfönster	Fönster	Kök	Söder	50x140
Balkongdörr	Balkongdörr	Sovrum	Söder	70x210



Figur 4.3 Markeringar på vilka öppningar som har mätts samt var loggen är placerad i lägenheten.

Vid varje mättillfälle registrerades öppningsvinkel för samtliga övervakade fönster samt balkongdörr. Detta möjliggjorde en kvantifiering av öppningsläget och identifiering av tillfällena då dessa var helt eller delvis öppna respektive stängda. Utöver detta uppmättes även parametrar relaterade till inomhusklimatet, såsom koldioxidhalt (CO₂, ppm), relativ

luftfuktighet (%) samt lufttemperatur (°C), med hjälp av en logger placerad centralt i hallen, vilket illustreras i figur 4.3 med den röda rektangeln.

4.4.1 Bearbetning och tolkning av mätdata

För varje mätpunkt registrerades en logisk indikator med värdena 0 eller 1, där 1 representerade ett giltigt mätvärde och 0 ett ogiltigt eller saknat värde. Vid den slutliga bearbetningen av mätdata inkluderades endast datapunkter med indikatorvärdet 1. Datapunkter markerade med 0 exkluderades därmed från vidare analys.

En öppning definierades som ett tillstånd där den registrerade öppningsgraden översteg 0°. En vädringshändelse definierades som ett tidsintervall under vilket öppningsgraden kontinuerligt var större än 0°. Varaktigheten för varje vädringshändelse bestämdes utifrån tidsdifferensen mellan den första och sista mätpunkten där öppningsgraden var större än 0°. Med hänsyn till datans tidsupplösning kan öppningar som inträffar och avslutas inom ett och samma tidssteg (1 minut) registreras med en beräknad varaktighet på 0 minuter. Dessa händelser behandlades i den fortsatta bearbetningen som vädringshändelser med en varaktighet på 1 minut.

4.4.2 Öppningsfaktor

I IDA ICE definieras en öppningsfaktor på en öppning mellan 0 och 1, där 0 motsvarar ett helt stängt fönster och 1 ett helt öppet fönster. Flera tidigare studier har definierat öppningsfaktorn vid vädring i IDA ICE på olika sätt, trots att programmet använder en enhetlig skala mellan 0 och 1. Skillnaderna ligger främst i hur verkliga vädringsförhållanden översätts till denna skala.

Engström (2023) undersökte i sitt examensarbete om simuleringar är en tillförlitlig metod för att beskriva luftflödet vid olika öppningsgrader hos ett sidohängt fönster i IDA ICE. Luftflödet vid vädring analyserades genom en kombination av experimentella mätningar med spårgasteknik och simuleringar baserade på tre olika beräkningsmetoder. Simuleringsresultaten jämfördes med uppmätta data för att utvärdera metodernas tillförlitlighet, där en av metoderna var SEAM, utvecklad av Sharpe et al. (2020). De två övriga beräkningsmetoderna baserades på ett antagande att $C_d = 0,65$, medan SEAM modelleras med varierande C_d , se ekvation 2.10-2.15, som applicerades tillsammans med en fullt öppen öppningsarea. Resultaten visade att samtliga beräkningsmetoder tenderade att underskatta luftflödet, där medelluftflödet var cirka 20 % lägre jämfört med uppmätta värden. Studiens resultaten indikerade därmed att IDA ICE har begränsad förmåga att exakt representera verkliga luftflöden vid vädring, särskilt vid varierande öppningsvinklar.

Ett annat exempel på en metod av att översätta öppningsgrad till en öppningsfaktor i IDA ICE återfinns i studien av Bertilsson och Zandi (2023), där en förenkling av öppningsgraderna genomfördes. I denna studie definierades öppningslägena utifrån fönstrets öppningsmått enligt följande intervall:

- På glänt (0–10 cm)

- Halvöppet (20–50 cm)
- Helt öppet (> 50 cm)

För att möjliggöra implementering i IDA ICE översattes dessa intervall till öppningsgrader genom användning av medelvärden. Exempelvis representerades ”halvöppet” av en öppningsgrad på 0,35 m. Vidare definierades ”helt öppet” som en öppningsvinkel på 90 grader, vilket motsvarade maximal öppning och därmed en öppningsfaktor på 1,0 i IDA ICE. Bertilsson och Zandi (2023) har räknat på sex olika fönsterstorlekar och sedan tagit fram ett medelvärde fram för varje öppningsgrad och beräkna en ”öppningsfaktor” utifrån Warrens (1977) ekvation, se ekvation 2.14, samt antagit en konstant kontraktionsfaktor $C_d = 0.65$. De slutliga öppningsfaktorena som användes i simuleringarna fastställdes till medelvärdena 0,1 för ”på glänt”, 0,4 för ”halvöppet” och 1,0 för ”helt öppet”.

En ytterligare alternativ metod som återfinns i litteraturen baseras istället på öppningsprocent av öppningsarea i Rosengarten examensarbete (2022). I studien bestämdes öppningsgrader för olika typer av vädringsöppningar i IDA ICE genom att anta en rimlig öppningsprocent vid vädring samt antagit $C_d = 0.65$. Dessa värden togs fram i samråd med handledare och examinator. I programmet anges öppningar som en andel av den maximalt möjliga öppningsarean. Eftersom alla öppningar inte kan öppnas fullt ut användes även värden för maximal relativ bredd och höjd. Dessa varierade mellan olika typer av öppningar, exempelvis kunde balkongdörrar och fönster öppnas helt (100 % öppet), medan ventilationsluckor och vädringsfönster hade begränsningar (90% öppet). Den faktiska öppningsandelen beräknades genom att kombinera den maximala möjliga öppningen med den antagna öppningsprocenten. För balkongdörrar motsvarade 30 % öppning en öppningsandel på 0,3, medan fönster med 10 % öppning gav 0,1. För vädringsfönster ovan balkongdörr gav 30 % öppning, tillsammans med begränsad storlek, cirka 0,3. Ventilationsluckor kunde öppnas till 100 %, men på grund av sin mindre storlek blev den effektiva öppningsandelen 0,45.

4.4.2.1 Beräkning av öppningsfaktorn

Koefficienten C_d har behandlats i ett flertal studier, se avsnitt 2.4.2. I detta arbete har värdet $C_d = 0,65$ använts, vilket är standardvärde i IDA ICE och enligt litteraturen ett vanligt förekommande antagande. Valet har motiverats av svårigheten att fastställa ett mer specifikt värde, då tidigare studier visar att C_d bland annat är beroende av den fria öppningsarean A_f .

Med antagandet om ett konstant värde på C_d har öppningsfaktorn beräknats med hjälp av en relation framtagen av Warren (1977), återgiven i Nordquist (1998), se ekvation (2.15). Denna modell inkluderar öppningsvinkelns inverkan genom faktorn $J(\theta)$. Beräkningen av faktorn $J(\theta)$ utfördes med hjälp av ekvation 4.1, vilken utgör en matematisk anpassning baserad från Abdul Hamid och Ibrahimovic (2013) examensarbete och härledd från figur 2.2.

$$J(\theta) = 1 - k(\theta - 90)^2 \quad (4.1)$$

Där

$$k = \frac{1}{90^2} [-]$$

θ = Öppningsgrad [°]

$$0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

Samtidigt visar teori att C_d kan variera med temperaturskillnaden mellan inne- och uteluft, vilket uttrycks i ekvation (2.16). Denna variation har dock inte beaktats i denna studie, då ett konstant värde har valts för att möjliggöra en förenklad och mindre tidsomfattande utvärdering.

4.4.3 Vädringsschema utifrån mätdata

Den uppmätta datan bearbetades för att omvandla till ett strukturerat vädringsschema. Bearbetningen genomfördes sekventiellt och anpassades för att göra datan med vädring mer hanterbar. Vädringsschemat avgränsades till uppvärmningssäsongen, eftersom eventuell påverkan på värmeenergiebehovet endast skedde under denna period.

Tre olika vädringsscheman togs fram:

- ett direkt baserat på uppmätt data,
- ett modifierat schema där kortvariga avbrott hanterades,
- samt ett generaliserat schema baserat på dagliga medelvärden, där samtliga uppmätta öppningsvinklar för ett dygn summerades och därefter fördelades jämnt över hela dygnet för att erhålla en genomsnittlig öppningsvinkel.

Samtliga vädringsscheman kan ses i bilagorna.

4.4.3.1 Vädringsschema 1, baserat på uppmätt data (V1)

Vädringsschemat baserat på uppmätt data utformades direkt utan ytterligare bearbetning av öppningshändelsernas struktur. Metoden syftade till att identifiera och beskriva vädringshändelser så nära det uppmätta beteendet som möjligt.

En vädringshändelse definierades som ett tidsintervall under vilket öppningsvinkeln kontinuerligt översteg 0°. Händelsens start respektive slut bestämdes av den första och sista mätpunkten där detta villkor var uppfyllt. Bearbetningen och identifieringen av vädringshändelser genomfördes i MATLAB. Se bilagor för fullständigt vädringsschema.

För varje identifierad vädringshändelse registrerades:

- tidpunkt (datum och klockslag),
- varaktighet, beräknad utifrån tidsdifferensen mellan start- och slutpunkt, samt

- öppningsgrad.

Vidare beräknades en medelöppningsvinkel för varje vädringshändelse, baserad på samtliga mätpunkter inom händelsens tidsintervall. Denna medelöppningsvinkel användes som representativ parameter för öppningsgraden och låg till grund för beräkningen av öppningsfaktorn.

Med hänsyn till datans tidsupplösning (1 minut) kan vädringshändelser som både påbörjas och avslutas inom ett och samma tidssteg erhålla en beräknad varaktighet om 0 minuter.

Detta vädringsschema representerar det uppmätta vädringsbeteendet utan vidare tolkning eller justering och används som referens för att beskriva hur vädring faktiskt sker i den studerade lägenheten.

4.4.3.2 Vädringsschema 2, hantering av glapp (V2)

Detta vädringsschema baseras på samma grundläggande metod som beskrivs i avsnitt 4.5.3.1, där vädringshändelser identifieras utifrån öppningsgrad och tilldelas en varaktighet samt en medelöppningsvinkel, vilken används vid beräkning av öppningsfaktorn.

För att hantera kortvariga variationer i signalen, såsom tillfälliga avbrott mellan öppet och stängt (så kallade glapp), tillämpades en metod där vädringsperioder slås samman. Dessa avbrott uppstår när öppningsvinkeln momentant registreras som noll för att därefter snabbt återgå till ett öppet läge. Om sådana variationer inte beaktas riskerar i praktiken sammanhängande vädringshändelser att fragmenteras, vilket kan leda till en överskattning av antalet vädringstillfällen och en underskattning av deras varaktighet.

För att motverka detta betraktades vädringshändelser som separerades av tidsintervall kortare än två minuter som sammanhängande och slogs samman till ett enskilt vädringstillfälle. Kortvariga avbrott inom denna tidsgräns tolkades därmed inte som verkliga förändringar i vädringsbeteendet, utan som variationer orsakade av mätbrus, sensors upplösning eller tillfälliga yttre påverkan, exempelvis vind.

Vidare exkluderades vädringshändelser med en varaktighet kortare än en minut, förutsatt att ovanstående villkor för sammanslagning inte var uppfyllda. Undantag gjordes dock i de fall där öppningsvinkeln bedömdes vara betydande, vilket i denna studie definierades som större än 10°.

Valet av tidsgränser baserades på en avvägning mellan att bevara relevanta variationer i signalen och att reducera effekten av kortvariga störningar. Ett lägre tröskelvärde riskerar att fragmentera kontinuerliga vädringsperioder, medan ett högre värde kan leda till att separata vädringstillfällen slås samman. De valda gränserna bedöms därmed ge en rimlig balans. Metoden kan således betraktas som en utjämning av signalen över tid,

i syfte att bättre representera det faktiska vädringsbeteendet och erhålla en mer realistisk beskrivning av vädringshändelser utan att i alltför hög grad påverka den ursprungliga datan.

4.4.3.3 Vädringsschema 3, dagligt medelvärdesschema (V3)

För att skapa en mer generaliserad representation av vädringsbeteendet togs ett vädringsschema fram baserat på dagliga medelvärden. I detta schema analyserades den uppmätta datan dygnsvis för respektive öppning. För varje dygn identifierades perioder då öppningen varit öppen, varefter den totala öppningsvinkeln beräknades genom summering av samtliga registrerade öppningsvinklar under dygnets vädringstillfällen.

Den summerade öppningsvinkeln dividerades därefter med antalet tidssteg under dygnet, vilket resulterade i en genomsnittlig öppningsvinkel jämnt fördelad över hela dygnet. På så sätt skapades ett kontinuerligt och generaliserat vädringsmönster med konstant öppningsvinkeln.

Denna metod innebär dock en förenkling av det verkliga vädringsförloppet. Luftflödet genom en öppning är ett i grunden olinjärt fenomen som påverkas av flera faktorer, däribland öppningsarea, tryckskillnader, vindförhållanden och temperaturskillnader, vilka beskrivs närmare i teorikapitlet. Ett dygnsmedelvärde av öppningsvinkeln motsvarar därför inte samma luftutbyte som de faktiska variationerna i öppningsvinkel under dygnet.

Syftet med detta schema var att reducera variationer kopplade till enskilda händelser och istället beskriva ett genomsnittligt vädringsbeteende över tid. Schemat möjliggör därmed analys av vädringens övergripande påverkan på energianvändningen utan påverkan av kortvariga variationer i beteendet.

4.4.4 Analys av inomhusmiljö

Den uppmätta datan användes för att analysera inomhusmiljön i relation till vädringsbeteende. Särskilt fokus lades på att identifiera temperatur och koldioxidnivåer (CO_2) i anslutning till vädringshändelser, exempelvis direkt före och efter att fönster eller balkongdörr öppnades eller stängdes. Detta möjliggjorde en ökad förståelse för vilka inomhusförhållanden som föregår och påverkar vädring.

Analysen genomfördes med hjälp av ett egenutvecklat program i MATLAB. I programmet identifierades relevanta händelser genom att registrera tidpunkter då en öppning övergick från stängd till öppen respektive från öppen till stängd. Därefter kopplades mätvärden för temperatur och CO_2 till minuten före öppning samt minuten efter stängning för respektive vädringshändelse.

För att analysera inomhusmiljöns variation över tid togs frekvensfördelningar fram i form av histogram över temperatur och CO_2 -nivåer. Vidare analyserades vädringsbeteendet genom att beräkna antalet öppningar per mätpunkt samt deras

frekvens över året. Den totala varaktigheten av öppningar jämfördes även med den totala mätperiodens längd för att uppskatta vädringens relativa omfattning.

Som komplement analyserades tidsvariationer, såsom dygnsvariationer och säsongsberoende mönster, genom att sammanställa data över hela året och dela in den i representativa tidsperioder. Utöver så jämfördes timmedelvärde på inom- och utomhustemperatur i syfte att identifiera med varandra. Utetemperaturdata hämtades från Temperatur.nu, en webbaserad tjänst som samlar in temperaturmätningar från ett stort antal mätstationer runt om i Sverige. Mätningarna rapporteras kontinuerligt, ofta med några minuters intervall, och bygger till stor del på frivilliga bidrag från privatpersoner, men även från en del företag, kommuner och skolor (Temperatur.nu, u.å.).

4.5 Sammanställning av simuleringsfallen

För att analysera vädringens påverkan på energianvändningen under uppvärmningssäsongen definierades tre huvudtyper av simuleringsfall i energiberäkningsmodellen i IDA ICE. Samtliga fall baseras på brukarindata enligt BEN 2 (BFS 2017:6). Skillnaden mellan fallen utgörs av hur vädring behandlas, det vill säga om och hur vädring inkluderas i modellen samt om schablonpåslag tillämpas.

4.5.1 Fall 1 – Grundfall

Grundfallet representerar en referenssituation utan explicit modellerad vädring. Samtliga fönster, ytterdörr och balkongdörr hålls stängda under hela året. Som grundantagande, vilket även gäller för övriga simuleringsfall om inget annat anges, modelleras samtliga innerdörrar som 50 % öppna under hela dygnet. Undantaget är sovrumsdörren, som modelleras som 50 % öppen dagtid men stängd under nattetid, medan övriga innerdörrar förblir 50 % öppna även under natten (se avsnitt 4.3.9).

Fem varianter av grundfallet analyserades i energiberäkningsmodellen.

- Fall 1a1 – Grundfall.
- Fall 1a2 - Grundfall i Kiruna.
- Fall 1b1 - Samtliga innerdörrar modelleras som 100 % öppna, förutom sovrumsdörren under nattetid som är stängd.
- Fall 1b2 - Samma som Fall 1b1, men sovrumsdörren hålls 100 % öppen även under nattetid.
- Fall 1c - Samtliga innerdörrar stängda.

4.5.2 Fall 2 – Vädring baserad på mätdata

I dessa fall implementeras vädringsscheman som definierades avsnitt 4.5.3 direkt i energiberäkningsmodellen baserat på uppmätt data. Samtliga fall utgick från grundfallets antaganden om innerdörrarnas öppningsgrad, om inget annat anges. Inget schablonpåslag för vädring används, då vädringen redan representeras i simuleringen.

Följande delscenarier definierades:

- Fall 2a1 – Rådata: Vädringshändelser implementeras direkt från mätdata utan bearbetning, vädringsschema 1 (V1).
- Fall 2a2 – Kiruna vädring: samma som fall 2a1 men att enda parametern som har ändras är klimatdata till Kiruna med V1.
- Fall 2a3 - Samma förutsättningar som Fall 2a1, men med sovrumsdörren modellerad som 50 % öppen även under nattetid. Övriga innerdörrar behåller grundantagandet om 50 % öppningsgrad under hela dygnet (V1).
- Fall 2a4 – Samtliga innerdörrar stängda med V1.
- Fall 2b – Bearbetad data: Kortvariga avbrott (glapp) slås samman till sammanhängande vädringshändelser, vädringsschema 2 (V2).
- Fall 2c – Generaliserat schema: Den totala vädringstiden per dygn fördelas jämnt över dygnet, baserad på vädringsschema 3 (V3).

Syftet med dessa scenarier är att analysera hur känslig energianvändningen är för hur vädringsdata bearbetas och representeras.

4.5.3 Fall 3

Detta fall representerade ett teoretiskt optimerat vädringsbeteende där vädringen styrdes aktivt med hjälp av en PI-regulator baserad på inom- och utomhustemperatur. PI-regulatorn styrde öppningsgraden kontinuerligt inom intervallet 0–1, där 0 motsvarade helt stängd öppning och 1 fullt öppen öppning, vilket innebar att vädringen kunde exempelvis anpassas efter behovet av luftutbyte och kylning.

Vädringen aktiverades när inomhustemperaturen översteg 21 °C. Öppningsgraden ökade därefter successivt beroende på temperaturförhållandena och kunde maximalt uppgå till fullt öppen vid högre temperaturer, upp till 25 °C.

Två varianter analyserades:

- Fall 3a - Grundfall med aktiv PI-styrd vädring.
- Fall 3b - Grundfall med aktiv PI-styrd vädring i kombination med vädringsschema 1 baserat på uppmätt data.

I fall 3b kombinerades PI-regleringen med vädringsschema 1, vilket innebar att PI-regulatorn styrde öppningsgraden utifrån inom- och utomhustemperatur inom intervallet från helt stängd öppning till det värde som angavs i vädringsschemat. Vädringsschemat fungerade därmed som en begränsning av den maximala öppningsgraden. Om vädringsschemat angav värdet 0 förblev öppningen helt stängd, medan högre öppningsfaktor möjliggjorde att PI-regulatorn successivt kunde reglera öppningen upp till den maximalt tillåtna öppningsgraden enligt schemat.

5 Resultat och Analys

I detta kapitel presenterades resultaten och analysen tillsammans. Resultaten analyserades i relation till teori, litteraturstudie och genomförd metod. Analysen baserades på uppmätta data och innehöll objektiva och verifierbara observationer utan spekulativa resonemang.

5.1 Varaktighet och frekvens av vädring

I forskningsprojektet ville man framställa en sammanhängande årsfil för att använda vid energiberäkningar. Under ett begränsat antal minuter hade vädringshändelser inte registrerats p g a t ex strömvabrott eller fel på sensor. För dessa tidperioder fylldes värden i genom en specificerad process med att ersätta saknade mätvärden med senast mätta värde (Davidsson et al, 2026). Dessa mätvärden markerades med en "0". De uppmätta, sanna mätvärdena markerades med en "1". Mätvärdena med "0" sorterades därför först bort för att bara beakta uppmätta mätvärden. Mätvärden med en "1" utgjorde 92% av mätvärdena för sovrum-balkongdörren, 95% för köksfönstret, 83% för det ena fönstret i vardagsrummet och 64% för det andra. Uppmätta värden omfattar till övervägande del den studerade tidsperioden 1 år.

Den totala mängden registrerade vädringshändelser efter borttagning av mätvärden med "0":or uppgick till 4810 öppningar under mätperioden, vilket ligger till grund för V1. Tabell 5.1 visar den sammanlagda öppningstiden för respektive öppning uppdelat på olika perioder över året. Den totala öppningstiden för samtliga öppningar uppgick till 264 802 minuter, vilket motsvarade cirka 4413 timmar eller ungefär 184 dagar. Detta motsvarade cirka 50 % av årets totala tidsperiod.

Tabell 5.1. Total varaktighet för perioden för varje öppning.

Öppning	Nov-mars [min] 5 månader	April, sep-okt [min] 3 månader	Maj-augusti [min] 4 månader	Totalt [min]
Vardagsrum vänster	1193	8892	115 449	125 534
Vardagsrum höger	1382	10	22	1417
Köksfönster	3278	29 924	50 788	79 990
Balkongdörr	10 699	17 369	29 793	57 861

Resultatet visar att vardagsrumsfönstret till vänster har längst sammanlagd öppningstid med totalt 125 534 minuter. Av dessa registrerades cirka 92 % under perioden maj–augusti, trots att denna period endast omfattade fyra månader av året. Endast omkring 1 % av öppningstiden inträffade under uppvärmningssäsongen november–mars, som omfattade fem månader. Köksfönstret hade den näst längsta öppningstiden med totalt 79 990 minuter, där cirka 64 % registrerades under maj–augusti och cirka 37 % under april samt september–oktober. Balkongdörren hade en total öppningstid på 58 861 minuter,

där ungefär 51 % av öppningstiden registrerades under maj–augusti och cirka 30 % under november–mars. Vardagsrumsfönstret till höger uppvisade betydligt kortare öppningstider än övriga öppningar under samtliga perioder.

Utifrån resultatet visar även tydliga säsongsvariationer i vädringsbeteendet. För vardagsrumsfönstret till vänster och köksfönstret registreras den längsta sammanlagda varaktighet under perioden maj–augusti, trots att denna period omfattar färre månader än uppvärmningssäsongen november–mars. Balkongdörren uppvisar också högre total varaktighet under samma period, men har samtidigt relativt höga sammanlagd varaktighet under övriga delar av året. Vardagsrumsfönstret till höger är den enda öppningen där större delen av vädringen registreras utanför perioden maj–augusti. Sammantaget visar resultatet att vädring förekommer i störst omfattning under sommarperioden, följt av vår- och höstperioden och därefter vinterperioden.

Öppningsvaraktigheten har även beräknats i procentandel av den uppmätta tiden och redovisas i tabell 5.1.b.

Tabell 5.1.b Varaktighet för perioden för varje öppning räknad i procent av den uppmätta tiden.

Öppning	Nov-mars [%] 5 månader	April, sep-okt [%] 3 månader	Maj-augusti [%] 4 månader	Totalt [%]
Vardagsrum vänster	0,7	8,2	78,5	28,8
Vardagsrum höger	1,0	0,0	0,0	0,4
Köksfönster	1,6	24,0	30,2	16,0
Balkongdörr	5,3	14,4	18,3	12,0

Tabell 5.2 visar frekvensen av öppningar för respektive period, där det totala antalet registrerade öppningar uppgår till 4810. Köksfönstret har högst antal registrerade öppningar med totalt 3712 öppningar, där majoriteten sker under perioden maj–augusti och motsvarar cirka 80 % av samtliga registrerade vädringshändelser. Balkongdörren har totalt 954 öppningar och uppvisar högst frekvens under november–mars. Vardagsrumsfönstren har betydligt färre registrerade öppningar jämfört med köksfönstret och balkongdörren.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

Tabell 5.2 Frekvensen av antal vädringshändelser.

Öppning	Nov-mars	April, sep-okt	Maj-augusti	Totalt
Vardagsrum vänster	3	17	110	130
Vardagsrum höger	9	3	2	14
Köksfönster	73	845	2794	3712
Balkongdörr	539	250	165	954

Vid jämförelse mellan öppningsfrekvens och öppningstid framträder skillnader mellan de olika öppningarna. Köksfönstret har det högsta antalet registrerade öppningar, men den sammanlagda öppningstiden är kortare än för det vänstra vardagsrumsfönstret, vilket är placerat längre mot norr på fasaden. Resultatet visar därmed att köksfönstret öppnas oftare men under kortare tidsperioder. Vardagsrumsfönstret till vänster uppvisar istället färre öppningar men längre sammanlagd öppningstid, vilket visar att öppningen i större utsträckning stod öppen under längre sammanhängande perioder.

Balkongdörren uppvisar högst öppningsfrekvens under perioden november–mars samtidigt som den sammanlagda varaktigheten var lägre jämfört med sommarperioden. Resultatet visar därmed att balkongdörren öppnades oftare under vinterperioden men under kortare tidsintervall.

Varaktigheten analyseras även för respektive vädringshändelse. I den uppmätta datan för köksfönstret förekom en öppningstiden på 1 minut totalt 1662 gånger, vilket motsvarar cirka 44,8 % av samtliga registrerade öppningar för köksfönstret. De fem vanligaste varaktigheterna utgörs av mycket korta öppningar där 1 minut var vanligast följt av 2, 3, 4 och 5 minuter. Medianvärdet uppgår till 2 minut medan medelvärdet uppgår till cirka 21,5 minuter. Skillnaden mellan median och medelvärde visar att datamängden domineras av kortvariga vädringshändelser samtidigt som ett mindre antal mycket långa öppningar förekommer och påverkar medelvärdet. Den längsta registrerade öppningstiden uppgår till 1440 minuter, vilket motsvarar ett helt dygn.

För vardagsrumsfönstret till vänster uppgår medelvärdet för öppningstiden till cirka 966 minuter medan medianvärdet uppgår till 1440 minuter. Den minsta registrerade öppningstiden är 1 minut och den längsta 1440 minuter. Resultatet visar därmed att många registrerade öppningar för detta fönster består av mycket långa sammanhängande öppningstider.

Balkongdörren uppvisar ett medelvärde på cirka 60,7 minuter medan medianvärdet uppgår till 1 minut. Den minsta registrerade öppningstiden är 1 minut och den längsta 1440 minuter. Resultatet visar därmed att även balkongdörren huvudsakligen öppnas under kortare tidsperioder men att enstaka längre öppningar förekommer.

Vid jämförelse mellan öppningarnas varaktighet observeras tydliga skillnader mellan olika typer av vädringsbeteenden. Köksfönstret och balkongdörren uppvisar många

kortvariga öppningar medan vardagsrumsfönstret till vänster i större utsträckning står öppet under längre sammanhängande tidsperioder.

Tabell 5.3 redovisar den genomsnittliga öppningsvinkeln för respektive öppning under olika perioder samt för hela året. Balkongdörren uppvisar högst årsmedelvärde med 11,3°. Resultatet visar även stora variationer mellan perioderna för flera av öppningarna, särskilt för balkongdörren som under maj–augusti har en betydligt högre medelvinkel (26,1°) jämfört med övriga perioder.

Tabell 5.3 Medelvinkel för respektive öppning under olika perioder samt för hela året.

Öppning	Medelvinkel Nov-mars (°)	Medelvinkel April, sep-okt (°)	Medelvinkel Maj-augusti (°)	Medelvinkel Hela året (°)
Vardagsrum vänster	10,4	8,0	5,5	5,9
Vardagsrum höger	6,2	8,7	8,2	6,7
Köksfönster	5,2	4,5	4,5	4,5
Balkongdörr	7,3	10,6	26,1	11,3

Vardagsrumsfönstren uppvisar mer varierande öppningsmönster mellan perioderna. Vardagsrum vänster har högst medelvinkel under november–mars (10,4°), medan vardagsrum höger har högst medelvinkel under april samt september–oktober (8,7°). Köksfönstret visar däremot små variationer över året och håller genomgående låga öppningsvinklar kring 4,5–5,2°.

Resultatet indikerar därmed att balkongdörren generellt öppnas med större öppningsvinkel än övriga öppningar, medan fönstren huvudsakligen står öppna med relativt små öppningsvinklar under hela mätperioden.

5.2 Energianvändning

Från simuleringen i IDA ICE erhålls värden för fastighetsel, med fläktverkningsgrad på 60%, samt värmeenergi för lägenhetens uppvärmningsbehov under ett år. Tappvarmvatten och hushållsel inkluderas inte direkt i simuleringen utan adderas i efterhand utifrån riktvärden från BEN 2 (BFS 2017:6). För tappvarmvatten används ett värde på 25 kWh/m² och för hushållsel används 30 kWh/m². Dessa värden adderas till resultaten från energisimuleringen för att erhålla den totala energianvändningen för respektive simuleringsfall. Fastighetselen som erhålls från IDA ICE uppgår till 3,2 kWh/m².

I tabell 5.4 sammanställs resultaten för simuleringsfall 1 som tillämpas i energiberäkningsmodellen. Simuleringsfallen utgörs variationer av grundfallet där olika inställningar för innerdörrar och sovrumsdörrar analyseras. För simuleringsfallen om inget annat anges, modelleras alla innerdörrar som 50% öppna förutom sovrumsdörren

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

som är stängd under nattetid (se avsnitt 4.3.9). Total energianvändning avser summan av uppvärmningsenergi, tappvarmvatten, hushållsel och fastighetsel, exklusive inverkan från vädring.

Tabell 5.4. Sammanställning av alla simuleringsfall för fall 1.

Beskrivning av typ av simuleringsfall	Uppvärmningsbehov [kWh/m ²]	Total energianvändning [kWh/m ²]
Fall 1a1 – Grundfall, 50% öppet, sovrumsdörr stängd på nattetid	132,4	190,6
Fall 1a2 – Grundfall i Kiruna	227,5	285,7
Fall 1b1- 100% öppet, sovrumsdörr stängd under nattetid	133,5	191,7
Fall 1b2 - Alla innerdörrar 100% helt öppet	133,6	95,3
Fall 1c - Samtliga innerdörrar stängda	124,4	185,8

Resultatet visar att simuleringsfall 1b2, där samtliga innerdörrar är öppna till 100 %, uppvisar det högsta uppvärmningsbehovet med 133,6 kWh/m². Simuleringsfall 1c, där samtliga innerdörrar är stängda, uppvisar det lägsta uppvärmningsbehovet med 124,4 kWh/m². Skillnaden mellan dessa fall uppgår därmed till 9,2 kWh/m². Resultatet visar att variationer i öppningsgrad för innerdörrar påverkar uppvärmningsbehovet. En högre grad av öppna innerdörrar sammanfaller med ett högre uppvärmningsbehov jämfört med fallen där dörrarna är stängda. Simuleringsfall 1a2, där klimatdata för Kiruna används, uppvisar däremot ett betydligt högre uppvärmningsbehov än övriga fall med 227,5 kWh/m², vilket visar klimatets stora påverkan på energibehovet.

I tabell 5.5 sammanställs resultaten för samtliga vädringsfall som analyseras i energiberäkningsmodellen. Resultatet visar att fall 2a2, där klimatdata ändras till ett kallare klimat i Kiruna, uppvisar det högsta uppvärmningsbehovet med 231,2 kWh/m². Övriga vädringsfall varierar mellan 126,7 och 139,5 kWh/m².

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

Tabell 5.5 Sammanställning av alla vädringsfallen.

Beskrivning av typ av fall 2	Uppvärmningsbehov [kWh/m ²]	Total energianvändning [kWh/m ²]
Fall 2a1 – Vädringsschema 1, rådata	136,4	194,6
Fall 2a2 – Kiruna med vädringsschema 1	231,2	289,4
Fall 2a3 - Öppen sovrumsdörr 50% hela dygnet	137,5	195,7
Fall 2a4 – Samtliga innerdörrar stängda med vädring	126,7	184,9
Fall 2b – Vädringsschema 2, med glapphantering	137,3	195,5
Fall 2d – Vädringsschema 3, dagligt medelvärde	139,5	197,7

Vid jämförelse mellan grundfall 1a1 och vädringsfall 2a1 observeras att implementering av vädring ökar uppvärmningsbehovet från 132 kWh/m² till 136,4 kWh/m², vilket motsvarar en ökning på 4,4 kWh/m². Den totala energianvändningen ökar samtidigt från 190,6 kWh/m² till 194,6 kWh/m². Resultatet visar därmed att modellerad vädring bidrar till ett ökat energibehov jämfört med grundfallet utan vädring.

Vid jämförelse mellan Kiruna-fallen 1a2 och 2a2 observeras att vädring även i kallare klimat medför ett ökat uppvärmningsbehov. Uppvärmningsbehovet ökar från 227,5 kWh/m² i grundfallet 1a2 till 231,2 kWh/m² i vädringsfall 2a2, en skillnad på 3,7 kWh/m². Resultatet visar att vädringens relativa påverkan är mindre i det kallare klimatet jämfört med grundfallen i Lund.

En jämförelse mellan fall 1c och fall 2a4 visar även att vädring ökar energibehovet när samtliga innerdörrar är stängda. Uppvärmningsbehovet ökar från 124,4 kWh/m² i fall 1c till 126,7 kWh/m² i fall 2a4, vilket motsvarar en ökning på 2,3 kWh/m² eller cirka 1,8 %. Ökningen är mindre än i grundfallen med öppna innerdörrar, vilket indikerar att begränsad luftspridning mellan rummen reducerar vädringens påverkan på byggnadens totala uppvärmningsbehov.

Variationerna i vädringsschema och öppningsmönster i fall 2a1, 2b och 2c, vilka samtliga baseras på grundfallet, visar att metoden med dagligt medelvärde ger högre energianvändning jämfört med övriga vädringsfall. Skillnaden mellan fall 2a1 och fall 2b är liten och uppgår till 0,9 kWh/m². Resultatet visar därmed att bearbetningen av vädringsdata har begränsad påverkan på energianvändningen mellan dessa två fall.

Fall 3 redovisas i tabell 5.6, där vädringen styrs aktivt med hjälp av en PI-regulator baserad på inomhus- och utomhustemperatur. Samtliga fall i tabell 5.6 baseras på grundfallet 1a1, vilket innebär att samma förutsättningar för byggnad, ventilation och innerdörrar användes. Regulatorn styrde öppningsgraden kontinuerligt utifrån temperaturförhållandena. I fall 3a aktiverades vädringen när inomhustemperaturen översteg 21 °C, om fönstret var öppet enligt mätningen, varefter öppningsgraden successivt ökade upp till fullt öppet vid högre temperaturer omkring 25 °C. Om fönstret

var registrerat som stängt enligt mätdata genomfördes ingen vädring, även om inomhustemperaturen översteg 21 °C. I fall 3b kombinerades den aktiva temperaturstyrningen med vädringsschema 1. Detta innebär att PI-regulatorn endast kunde styra öppningsgraden inom de intervall som tilläts av det uppmätta vädringsschemat. Vädringsschemat fungerade därmed som en begränsning av den maximala öppningsgraden samtidigt som regleringen fortfarande baserades på inom- och utomhustemperatur.

Tabell 5.6 Redovisning av fall 3 med PI-regulator.

Beskrivning av typ av fall 3	Uppvärmningsbehov [kWh/m ²]	Total energianvändning [kWh/m ²]
Fall 3a – Aktiv PI-styrd vädring	132,5	190,7
Fall 3b – Aktiv PI-styrd vädring.med vädringschema 1	132,4	190,6

Resultaten i tabell 5.6 visar att skillnaden mellan de två fallen med aktiv styrning var mycket liten. Fall 3a uppvisade ett uppvärmningsbehov på 132,5 kWh/m² och en total energianvändning på 190,7 kWh/m², medan fall 3b får ett uppvärmningsbehov på 132,4 kWh/m² och en total energianvändning på 190,6 kWh/m². Skillnaden i total energianvändning mellan fallen uppgick därmed endast till 0,1 kWh/m².

Vid jämförelse med grundfallet 1a1 observerades att uppvärmningsbehovet i fall 3 endast ökade marginellt, från 132 kWh/m² till cirka 132,5 kWh/m². Detta indikerar att den aktiva temperaturstyrningen begränsade vädringens påverkan på energianvändningen genom att öppningsgraden kontinuerligt anpassades efter rådande temperaturförhållanden. Att uppvärmningsbehovet i fall 3a inte blev högre än i fall 3b tyder även på att den uppmätta vädringen generellt inte skedde med större öppningsgrad än vad som motiverades av temperaturförhållandena. Däremot kan resultaten inte användas för att bedöma om den uppmätta vädringen i vissa fall varit mindre omfattande än vad som skulle ha motiverats av temperaturförhållandena, eftersom vädring i modellen endast kunde ske under tidsperioder då fönstret var registrerat som öppet i mätdata.

Vidare jämförelse med fall 2a1, som uppvisade ett uppvärmningsbehov på 136,4 kWh/m², visar att fall 3b gav ett lägre uppvärmningsbehov trots att vädringsschema 1 baserades på verkligt uppmätta vädringshändelser. Detta indikerar att den PI-styrda regleringen vid vissa tillfällen begränsade vädringen trots att vädringsschemat tillät öppning, eftersom temperaturförhållandena inte motiverade ytterligare luftutbyte.

5.2.1 Analys av vädringsschemana

Analysen visar att sättet som vädring representeras i energiberäkningsmodellen påverkar det beräknade uppvärmningsbehovet. Resultatet indikerar att energiberäkningar är känsliga för hur brukarrelaterade beteenden implementeras och förenklas i modellen.

Samtliga tre vädringsscheman (V1–V3) implementerades som indata i IDA ICE och analyserades genom separata simuleringar för att undersöka hur olika representationer av samma uppmätta vädringsbeteende påverkar det beräknade uppvärmningsbehovet.

Skillnaderna mellan vädringsschema 1 och 2 är relativt små, vilket visar att glapphantering och sammanfogning av vädringshändelser endast har begränsad påverkan på resultaten. I IDA ICE implementerades vädringsschema 1 (V1) direkt från de uppmätta vädringshändelserna, medan vädringsschema 2 (V2) baserades på samma mätdata efter sammanfogning av kortvariga avbrott mellan vädringshändelser. Tabell 5.7 visar samtidigt tydliga skillnader mellan vädringsschemana avseende frekvens och varaktighet för vädringshändelser. Exempelvis reduceras antalet registrerade öppningar för balkongdörren från 529 händelser i rådata till 336 efter glapphantering och vidare till 33 händelser i det vädringsschema 3. Trots dessa stora skillnader i antal vädringshändelser blir skillnaderna i energianvändning relativt små.

Tabell 5.7 Sammanställning av frekvens för vädringshändelser och totala varaktighet för vädringshändelse per vädringsschema för november-mars.

Öppning	Vädringsschema					
	1 – rådata [frekvens/varaktighet min]		2 – glapphantering [frekvens/varaktighet min]		3 – dagligt medelvärde [frekvens/varaktighet min]	
Vardagsrum vänster	3	1196	3	1196	3	4320
Vardagsrum höger	9	1375	4	1386	4	5760
Köksfönster	73	3278	50	3304	13	18 720
Balkongdörr	539	10 999	336	11 202	33	47 520

Tabellen visar även att glapphanteringen i vädringsschema 2 generellt reducerar antalet registrerade öppningar jämfört med rådata i vädringsschema 1, medan den totala varaktigheten ökar lite. Detta är särskilt tydligt för köksfönstret och balkongdörren, där frekvensen minskar kraftigt samtidigt som den sammanlagda varaktigheten är relativt oförändrad. Resultatet visar därmed att flera korta och närliggande vädringshändelser kan sammanförs till längre sammanhängande öppningar efter glapphanteringen.

Vädringsschema 3 i fall 2c uppvisar däremot ett högre uppvärmningsbehov än vädringsfallen 2a1 och 2b. I detta fall beräknas ett dagligt medelvärde för vädringen utifrån den uppmätta datan, där öppningsvinklarna för respektive öppning fördelas jämnt över dygnets samtliga 1440 minuter. Detta resulterar i ett kontinuerligt vädringsmönster med konstant öppningsgrad under hela dygnet. Det kontinuerliga vädringsmönstret i vädringsschema 3 innebär att luftutbytet sker under hela dygnet istället för under begränsade tidsperioder. Resultatet visar därmed att samma vädringsdata kan ge olika energibehov beroende på hur vädringen tidsmässigt representeras i modellen.

Tabell 5.8 visar att medelöppningsvinkeln varierar mellan de olika vädringsschemana. För vädringsschema 1 och 2 är skillnaderna små för vardagsrum vänster, där

medelvinkeln är oförändrad på 10,4°. För övriga öppningar ökar medelvinkeln i vädringsschema 2 jämfört med vädringsschema 1. Vardagsrum höger ökar från 6,2° till 9,4°, köksfönstret från 5,2° till 7,0° och balkongdörren från 7,3° till 10,8°.

Tabell 5.8 Sammanställning på medelvinkel för respektive öppning beroende på vädringsschema för november – mars.

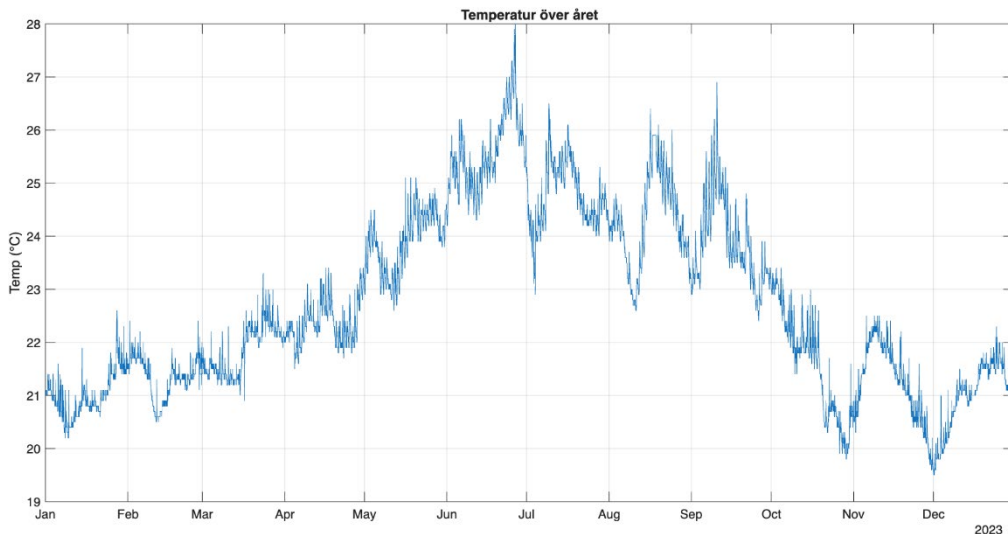
Öppning	Vädringsschema		
	1 – rådata (°)	2 – glapphantering (°)	3 – dagligt medelvärde (°)
Vardagsrum vänster	10,4	10,4	3,0
Vardagsrum höger	6,2	9,4	2,3
Köksfönster	5,2	7,0	1,7
Balkongdörr	7,3	10,8	6,7

I vädringsschema 3 är medelvinklarna lägre för samtliga öppningar jämfört med vädringsschema 1 och 2. Vardagsrum vänster har en medelvinkel på 3,0°, vardagsrum höger 2,3° och köksfönstret 1,7°. Balkongdörren har högst medelvinkel även i detta schema med 6,7°.

5.3 Resultat från analys om inomhusmiljön

5.3.1 Inomhustemperaturen

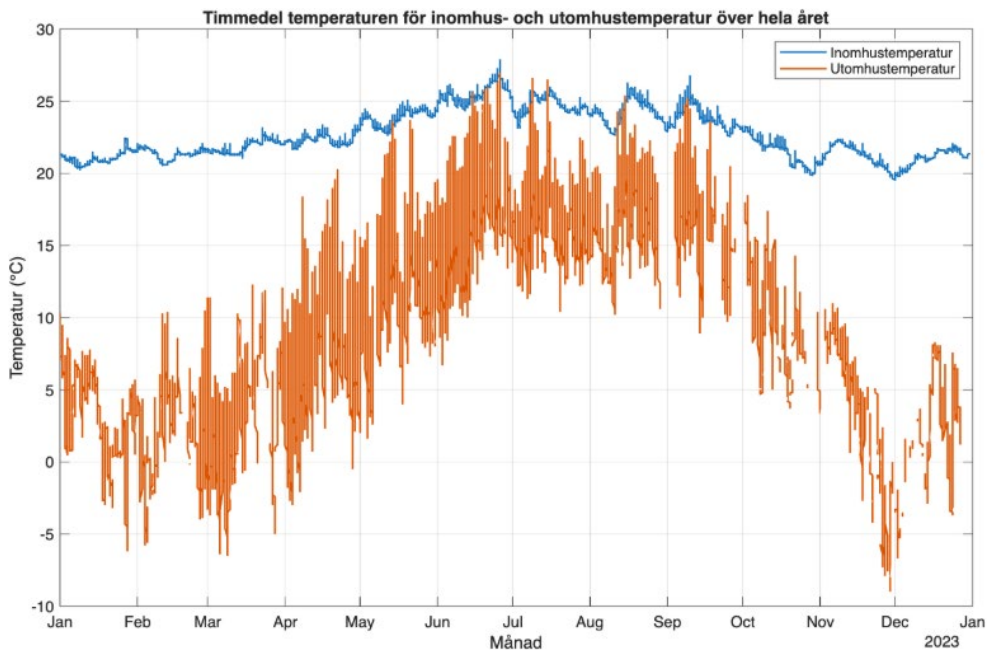
Figur 5.1 visar variationen i uppmätt inomhustemperatur över hela året som från loggen i hallen. Temperaturen varierar från som lägst cirka 19,5 °C till som högst cirka 28 °C. Den lägsta temperaturen förekommer under vinterperioden, omkring den 1 december, medan den högsta temperaturen registreras den 26 juni. Detta kan även observeras i figur 5.2, som visar utomhustemperaturen jämfört med inomhustemperaturens timmedelvärde. Där framgår att de högsta utetimedel för temperaturerna uppträder i slutet av juni medan de lägsta temperaturerna förekommer i början av mellan slutet och början av december.



Figur 5.1 Inomhustemperaturen uppmätt i lägenheten över hela året.

Under perioden januari till april ligger inomhustemperaturen relativt stabilt kring 21–22 °C med små variationer. Från början av maj kan en successiv temperaturökning observeras, där temperaturen når sina högsta nivåer under juni. Därefter minskar temperaturen gradvis, men mellan juli och mitten av september förekommer större variationer med flera toppar och dalar i inomhustemperaturen. Figur 5.3 visar ett närmare utsnitt över denna period och illustrerar tydligare hur inomhustemperaturen varierar under sommarmånaderna. Under senare höst- och vinterperioden i slutet av året syns en succesiv nedtrappning på inomhustemperaturen från de högre sommarnivåerna till variationer mellan cirka 20–22° C.

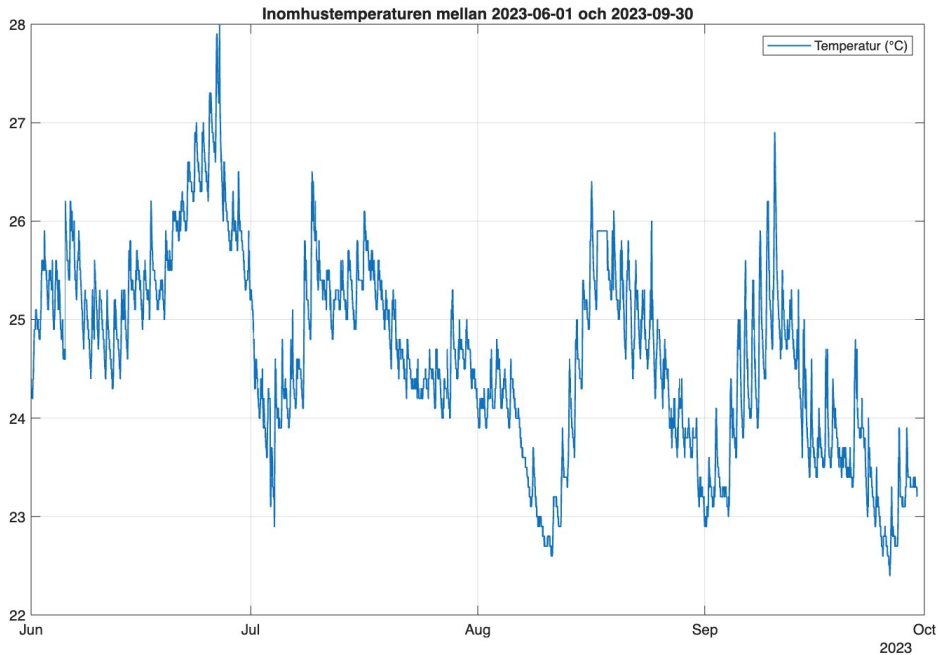
Figur 5.2 visar sambandet mellan timmedelvärden för den uppmätta inomhustemperaturen och utomhustemperaturen under året i Lund. Utomhustemperaturen uppvisar betydligt större variationer jämfört med inomhustemperaturen och varierar från omkring –8 °C under vintern till cirka 27 °C under sommaren. Inomhustemperaturen följer samma övergripande trend som utomhustemperaturen men med mindre variationer.



Figur 5.2. Timmedeltemperatur för inomhus- och utomhustemperaturen över hela året.

Figur 5.3 visar ett mer detaljerat utsnitt av inomhustemperaturen under perioden 1 juni till 30 september 2023. Under denna period framgår det tydligt att temperaturen varierar betydligt mer jämfört med vinter- och vårmånaderna. Temperaturen ligger huvudsakligen mellan cirka 23–26 °C, men flera kortvariga temperaturtoppar över 27 °C kan observeras, framför allt i slutet av juni och början av september. Den högsta temperaturen under perioden uppgår till 28 °C.

I början av juni varierar temperaturen kring 25 °C med relativt snabba förändringar mellan olika dagar. Mot slutet av juni sker en tydlig temperaturökning där flera höga temperaturtoppar registreras. Direkt efter denna period observeras en snabb temperatursänkning i början av juli. Under juli och augusti varierar temperaturen kontinuerligt mellan cirka 24–26 °C med återkommande toppar och dalar. Under september sker en gradvis temperatursänkning där nivåerna närmar sig cirka 23 °C mot slutet av månaden.

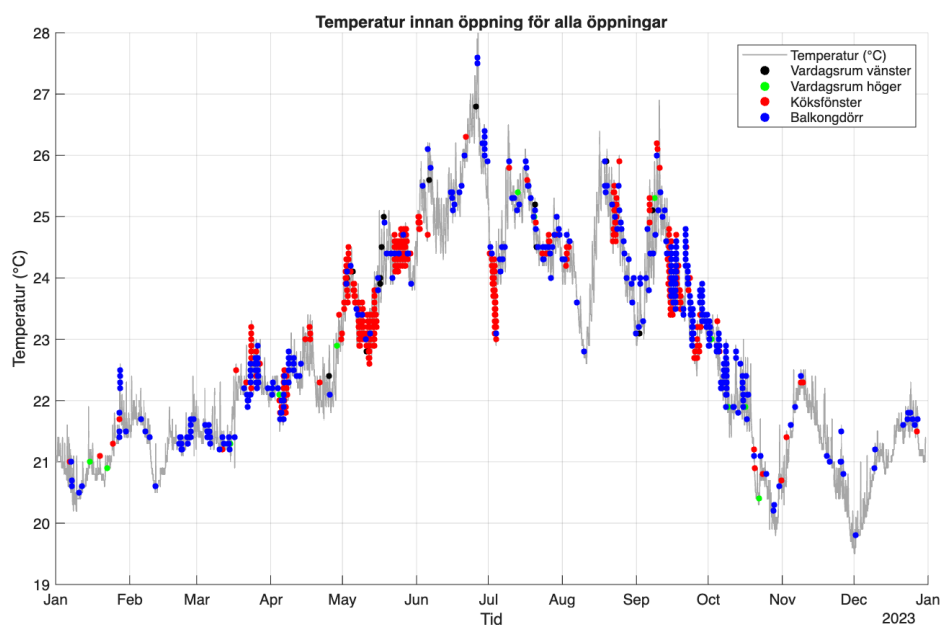


Figur 5.3 Närmare utsnitt av figur 5.1, mellan 2023-06-01 och 2023-09-30.

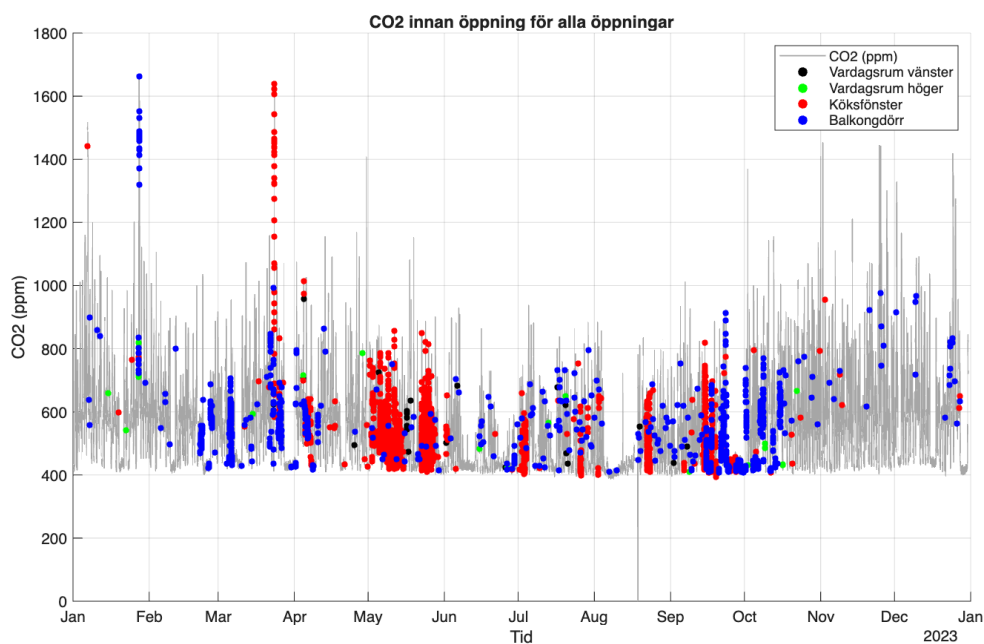
5.3.2 Temperaturen och koldioxidhalten innan och efter öppning

Figur 5.4 och figur 5.5 visar samtliga registrerade öppningar under året i relation till inomhustemperaturen respektive CO₂-halten precis före öppningstillfället minuten innan. Den grå kurvan representerar variationen i inomhustemperaturen respektive CO₂-halten över året medan de färgade markeringarna visar tidpunkterna då respektive fönster eller balkongdörr öppnas. Figurerna illustrerar därmed både när under året vädring sker samt vid vilka temperatur- och CO₂-nivåer öppningarna registreras.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation



Figur 5.4 Alla registrerade öppningar i relation till inomhustemperaturen före öppning.



Figur 5.5 Alla registrerade öppningar i relation till koldioxidhalten före öppning.

Figur 5.4 visar att majoriteten av öppningarna registreras under perioden maj till september, vilket sammanfaller med de högsta inomhustemperaturerna under året. Under denna period ligger inomhustemperaturen huvudsakligen mellan cirka 23–26 °C. Särskilt köksfönstret och balkongdörren uppvisar många registrerade öppningar under dessa månader. Resultatet visar därmed att vädringsfrekvensen ökar under perioder med högre inomhustemperaturer. Figur 5.4 visar även att en stor andel av öppningarna sker via balkongdörren i sovrummet. Detta kan potentiellt förklaras av att sovrummet saknar tilluftsventil och endast har en vädringslucka placerad cirka 2,1 meter över golvnivå. Den begränsade möjligheten till kontinuerligt luftutbyte kan därmed ha bidragit till ett ökat behov av manuell vädring i rummet.

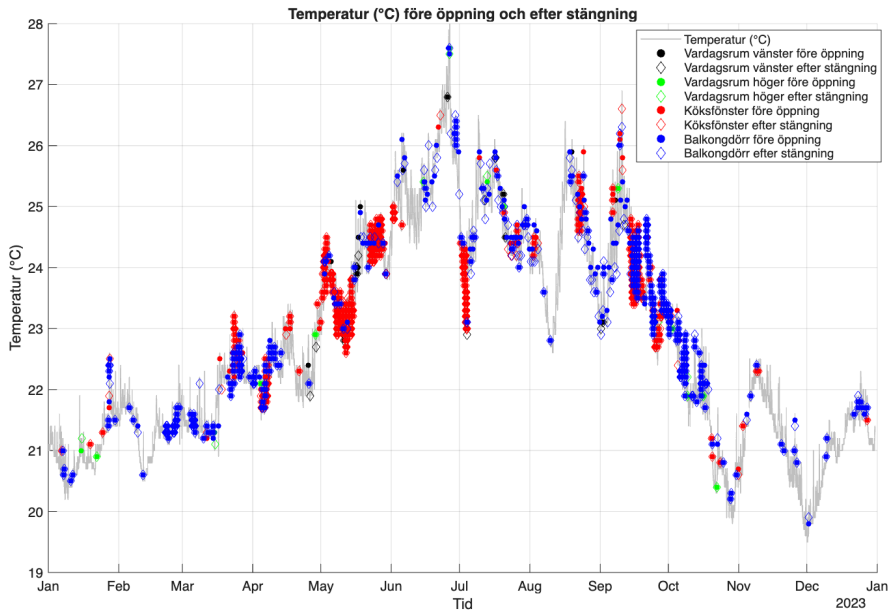
Figur 5.5 visar samtidigt att de högsta CO₂-halterna registreras främst under januari–mars och oktober–december. Under dessa perioder förekommer flera mätpunkter över 1000 ppm. Under sommarperioden observeras generellt lägre CO₂-halter jämfört med vinterperioden. Resultatet visar därmed att högre CO₂-nivåer främst förekommer under de delar av året då vädringsfrekvensen är lägre.

5.3.3 Temperatur- och CO₂-förändringar vid vädringshändelser

För att analysera vidare togs figur 5.6 fram, vilket illustrerar samtliga öppningar samt stängningar i relation till uppmätta inomhustemperaturen. Vid analys av temperaturförändringar observerades att flera vädringshändelser inträffade i anslutning till både temperaturtoppar och temperaturdalar i inomhusmiljön.

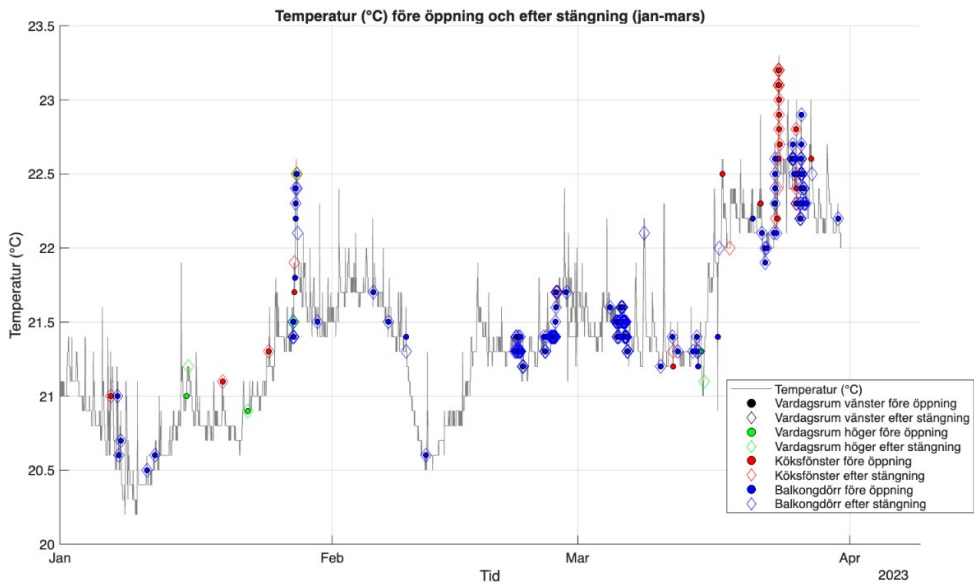
För att erhålla en mer detaljerad bild av temperatur- och CO₂-förändringar i samband med vädring redovisades i figur 5.7–5.10 temperatur och koldioxidhalt före öppning respektive efter stängning för vädringshändelser då under vinterperioden januari–mars och november–december samt utvalda vädringhändelser.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation



Figur 5.6 Öppnings- och stängningstemperaturer i relation till inomhustemperaturen vid registrerade vädringshändelser.

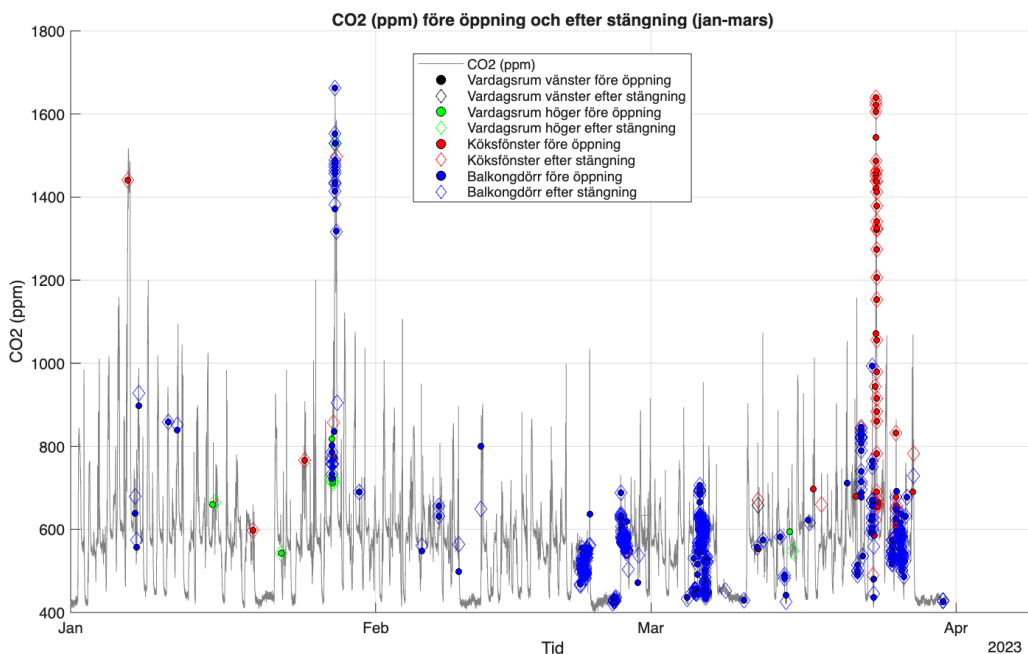
Figur 5.7 visar temperaturförändringar vid vädringshändelser för samtliga öppningar från januari till slutet av mars. Den grå kurvan representerade inomhustemperaturens variation över perioden medan markeringarna visade temperatur före öppning respektive efter stängning för varje registrerad vädringshändelse.



Figur 5.7 Temperaturförändringar vid vädringshändelse i mer detalj för samtliga öppningar från januari till slutet av mars.

Generellt visar figur 5.7 att skillnaden mellan temperatur före öppning och efter stängning i många fall är begränsad, där markeringarna för före och efter öppning ligger nära varandra. Resultatet visar därmed att temperaturförändringen under flera av vädringshändelserna är liten. Majoriteten av vädringshändelserna registreras vid inomhustemperaturer mellan cirka 20,5–22,5 °C. Under slutet av mars observeras även flera vädringshändelser vid temperaturer omkring 22–23 °C.

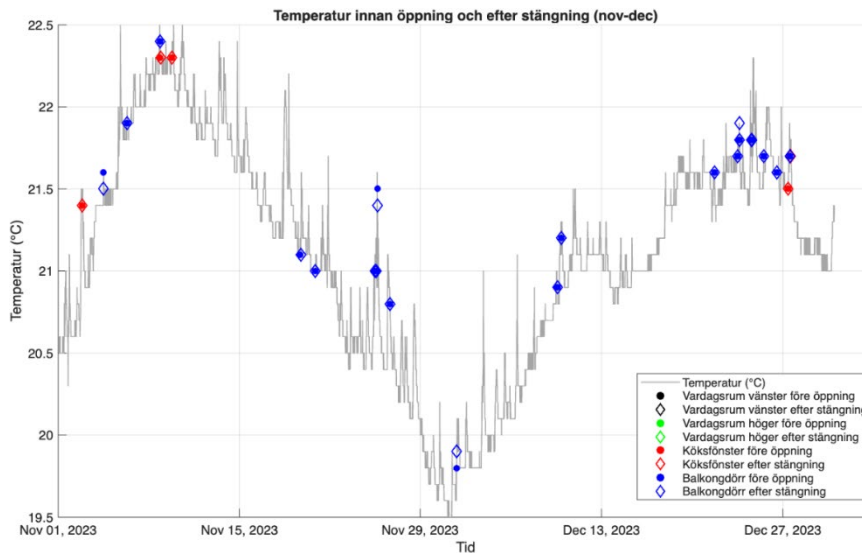
Figur 5.8 visar förändringar i CO₂-halt före öppning respektive efter stängning för samtliga registrerade vädringshändelser under perioden januari till mars. Figuren illustrerar att CO₂-halterna under vinterperioden varierar betydligt mer än inomhustemperaturen. Majoriteten av vädringshändelserna registreras vid CO₂-nivåer mellan cirka 450–700 ppm, men flera enskilda händelser uppvisar betydligt högre nivåer över 1000 ppm. De högsta registrerade CO₂-halterna uppgår till omkring 1600–1650 ppm och observeras främst i samband med öppningar av köksfönstret och balkongdörren.



Figur 5.8 Koldioxidförändringar vid vädringshändelser för samtliga öppningar mellan januari och mars.

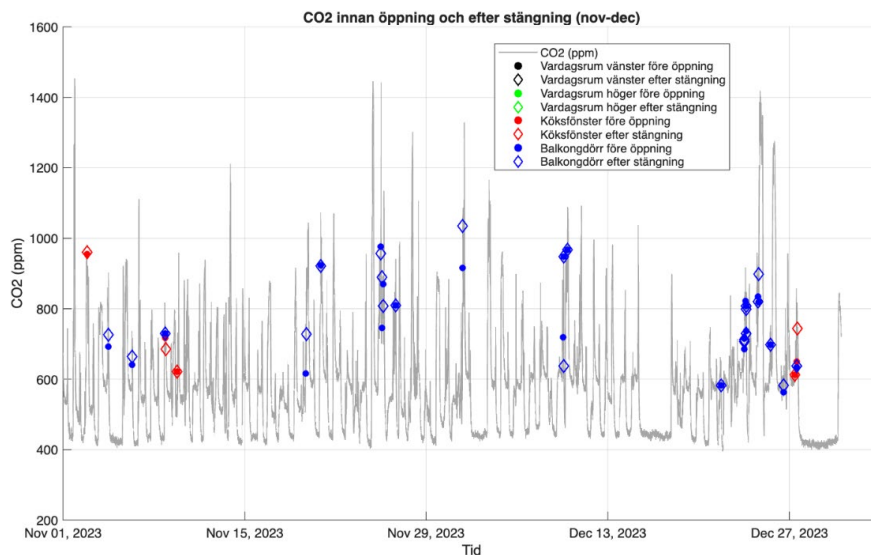
Jämförelsen mellan figur 5.7 och figur 5.8 visar att variationerna i CO₂-halt var betydligt större än variationerna i inomhustemperatur under januari–mars. Temperaturen låg under större delen av perioden relativt stabilt mellan cirka 20,5–22,5 °C, medan CO₂-halterna varierade från omkring 400 ppm upp till över 1600 ppm. Resultatet visade därmed att stora variationer i luftkvalitet kunde förekomma trots relativt små variationer i inomhustemperaturen.

Liknande mönster observerades även under november–december, vilket redovisas i figur 5.9 och figur 5.10.



Figur 5.9 Temperaturförändringar vid vädringshändelser för samtliga öppningar mellan november och december.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation



Figur 5.10 Koldioxidhalterna i relation för samtliga registrerade vädringshändelser mellan november och december.

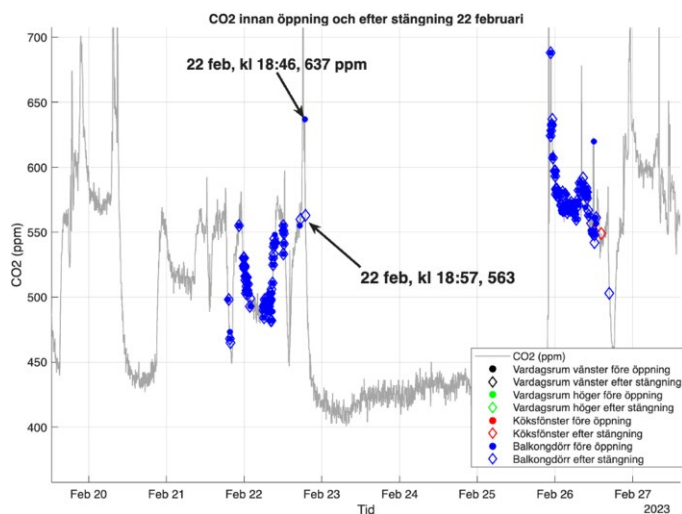
Figur 5.9 visar att inomhustemperaturen under november och december huvudsakligen varierar mellan cirka 20–22 °C. Temperaturerna före öppning och efter stängning ligger i de flesta fall nära varandra, vilket indikerar att vädringen generellt endast medför begränsade temperaturförändringar i bostaden. Detta kan bero på att vädringstillfällena ofta är relativt kortvariga samt att temperaturskillnaden mellan inne- och utomhusluft under delar av perioden inte är tillräckligt stor för att ge tydliga förändringar i den uppmätta inomhustemperaturen. Resultatet kan även påverkas av loggerns placering centralt i hallen, vilket innebär att lokala temperaturförändringar i direkt anslutning till öppningarna sannolikt inte registreras fullt ut.

Figur 5.10 visar samtidigt större variationer i CO₂-halt än i temperatur. Majoriteten av vädringshändelserna registreras vid nivåer mellan cirka 500–900 ppm, medan vissa enskilda händelser uppvisar nivåer över 1000 ppm. Resultaten överensstämmer därmed med observationerna från januari–mars, där variationerna i luftkvalitet är större än variationerna i inomhustemperatur.

5.3.3.1 Detalj på vädringshändelse

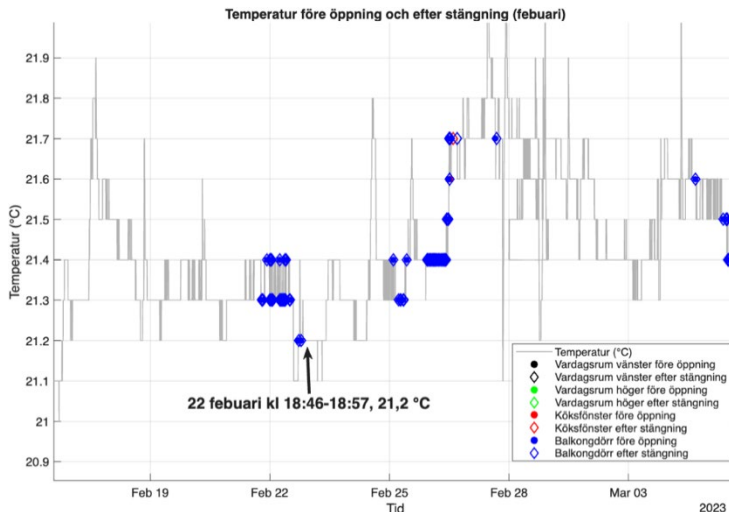
Nedan presenteras två utvalda vädringshändelser under vinterperioden för att ge en mer detaljerad bild av förändringar i CO₂-halt, temperatur och luftflöde vid vädring. Analysen baseras på uppmätta mätdata samt resultat från den teoretiska energiberäkningsmodellen.

Figur 5.11 visar ett detaljutsnitt av förändringar i CO₂-halt före öppning och efter stängning under slutet av februari. Vid den markerade vädringshändelsen den 22 februari registreras CO₂-halten före öppning kl. 18:46 till 637 ppm för balkongdörren. Efter stängning kl. 18:57 uppgår CO₂-halten till 563 ppm. Resultatet visar därmed att CO₂-halten minskar med omkring 74 ppm under en period på 11 minuter. Figuren illustrerar även flera kortvariga vädringshändelser som registreras mellan slutet av den 21 februari och mitten av den 22 februari.



Figur 5.11 Detaljutsnitt för koldioxidhalten i vardagsrummet den 22 februari.

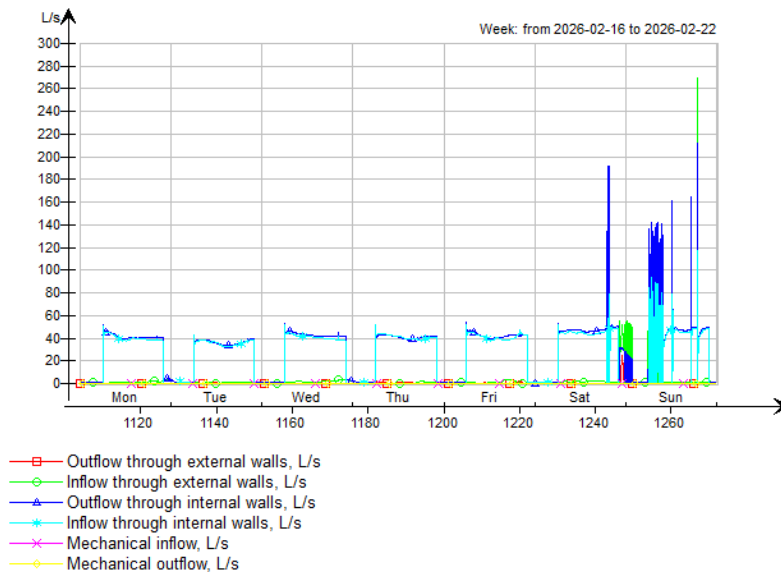
Vid jämförelse med figur 5.12 framgår att temperaturförändringen under samma vädringshändelse var begränsad. Inomhustemperaturen låg stabilt kring 21,2 °C trots en minskning i CO₂-halt. De övriga kortvariga vädringshändelserna under perioden uppvisar även en begränsad temperaturförändring.



Figur 5.12 Detaljsnitt för temperatur i vardagsrummet februari.

Vidare analyseras vädringshändelsen med energiberäkningsmodellen i IDA ICE, fall 2a1 – rådata, baserad på vädringsschema 1 utan databearbetning. I figur 5.13–5.15 representerar luftflödena i sovrummet, där den röda kurvan utflöde genom ytterväggar flödet ut genom balkongdörren och läckage genom fasaden (“Outflow through external walls”), den gröna kurvan inflöde genom ytterväggar luftflöde in genom balkongdörren och infiltration (“Inflow through external walls”), den mörkblå kurvan utflöde genom interna väggar flöde från sovrum till hall genom öppen innerdörr (“Outflow through internal walls”) samt den ljusblå kurvan inflöde genom interna väggar luftflöde in i sovrummet genom öppen innerdörr (“Inflow through internal walls”). De lila och gula kurvorna representerar det mekaniska till- respektive frånluftsflödet.

Figur 5.13 visar luftflöden i sovrummet under perioden 16–22 februari. Under större delen av perioden ligger luftflödena på relativt stabila nivåer med liknande variationer mellan dagarna. Figuren visar även tidpunkter då sovrumsdörrens öppningsgrad ändras mellan 50 % öppen och stängd. När sovrumsdörren är öppen uppstår både in- och utflöde genom de innerväggar (“internal walls”), där luftflödet uppgår till cirka 40–50 l/s genom sovrumsdörren i båda riktningar. Detta indikerar att ett kontinuerligt luftutbyte sker mellan sovrummet och övriga delar av bostaden genom en öppen sovrumsdörr utan vädring genom fönsterna eller balkongdörr i sovrummet. De mekaniska luftflödena ligger samtidigt på relativt låga och stabila nivåer under hela perioden, vilket visar att de stora variationerna i luftflöde främst uppstår till följd av vädringen.

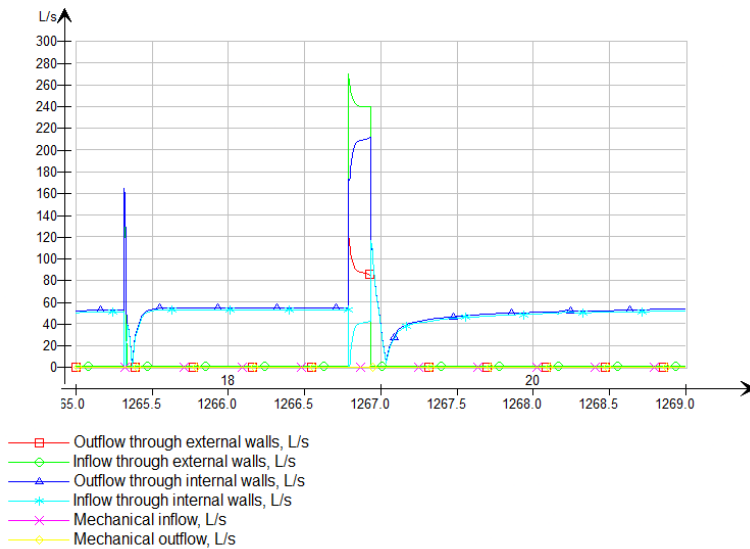


Figur 5.13 Luftflöde i sovrummet mellan den 16 och 22 februari, sovrumsdörren stängd mellan kl. 22:00 och kl. 6:00 annars 50% öppet.

Mot slutet av perioden, främst under lördagskvällen och söndagen, observeras däremot tydliga toppar i luftflödena som sammanfaller med registrerade vädringshändelser. De högsta luftflödena registreras den 22 februari mellan kl. 18:46 och 18:57. Under denna period ökar framför allt luftflödena genom interna väggar kraftigt jämfört med veckans normala nivåer.

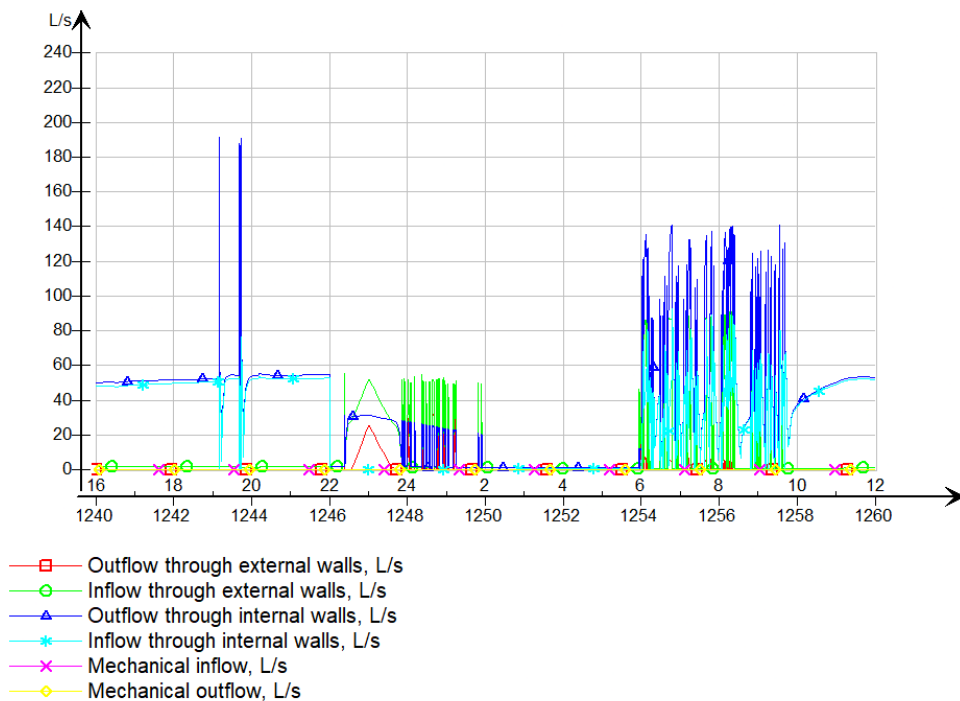
Figur 5.14 visar ett närmare utsnitt av perioden mellan kl. 18:00–19:00. Inflödet genom ytterväggarna (öppen balkongdörr med en öppningsvinkel på 20°) uppgår till omkring 270 l/s i början av vädringshändelsen och minskar därefter successivt till cirka 240 l/s fram till att balkongdörren stängs. Samtidigt uppgår utflödet genom interna väggar (från sovrummet via dörröppningen till hallen) till omkring 210 l/s. Inflödet genom interna väggar (från hallen via dörröppningen till sovrummet) och utflödet genom ytterväggar (ut via öppen balkongdörr) varierar däremot mer över tiden. Utflödet genom ytterväggarna är initialt högre, omkring 120 l/s, men minskar successivt till cirka 80 l/s. Inflödet genom interna väggar uppvisar ett motsatt förlopp där luftflödet initialt är lågt vid öppningstillfället men därefter successivt ökar under vädringshändelsen fram till stängning, varefter flödet snabbt återgår mot mer stabila nivåer. Resultatet visar att luftflödena förändras tydligt under vädringshändelserna. När fönster eller balkongdörr öppnas förändras tryckförhållandena i bostaden, vilket gör att luft transporteras mellan flera rum samtidigt. De höga luftflödena indikerar därmed att vädringen inte endast påverkar rummet där öppningen sker, utan även påverkar luftutbytet i andra delar av bostaden.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation



Figur 5.14 Luftflöde i sovrummet vid kl. 18:00-19:00 den 22 februari.

Figur 5.15 visar de kortvariga vädringshändelserna som inträffar innan den större vädringshändelsen den 22 februari kl. 18:46–18:57. Här observeras däremot snabba och tydliga förändringar i luftflödena. Framför allt ökar utflödet genom interna väggar kraftigt och når vid vissa tillfällen omkring 180–190 l/s. Samtidigt uppstår ökade inflöden genom innerväggarna till nästan liknande nivåer hos de två topparna längst till vänster i figur 5.15. Resultatet visar att även mycket kortvariga öppningar ger upphov till betydande förändringar i bostadens luftflödesmönster.



Figur 5.15 Luftflöde i sovrummet sent på den 21 februari och till mitten av den 22 februari. Sovrumsdörren är stängd mellan kl. 22:00–06:00.

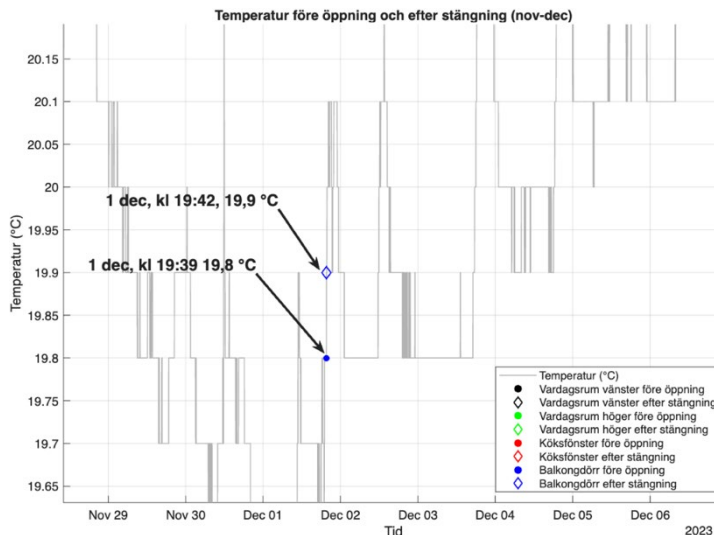
De återkommande topparna mellan cirka kl. 22:00–02:00 samt kl. 06:00–12:00 visar att flera kortvariga vädringshändelser sker i nära anslutning till varandra. Under det första tidsintervallet, mellan kl. 22:00–02:00 då sovrumsdörren är stängd, minskar inflödet genom interna väggar samtidigt som de övriga luftflödena ökar. Inflödet genom ytterväggarna uppgår som högst till strax under 60 l/s medan utflödet genom interna väggar samtidigt uppgår till något över 30 l/s. Resultatet indikerar att den stängda sovrumsdörren begränsar lufttransporten mellan sovrummet och övriga delar av bostaden, vilket medför att vädringen främst påverkar luftutbytet mot utomhus.

Under det andra tidsintervallet, mellan cirka kl. 06:00–12:00 när sovrumsdörren öppnas, varierar luftflödena på betydligt högre nivåer. Här samverkar även inflödet genom interna väggar tydligare med de övriga luftflödena. Utflödet genom interna väggar uppgår som högst till omkring 130 l/s samtidigt som utflödet genom ytterväggar når cirka 80 l/s och inflödet genom interna väggar ligger kring cirka 45 l/s. Resultatet indikerar att öppningen av sovrumsdörren möjliggör större lufttransport mellan bostadens olika rum, vilket leder till kraftigare och mer varierande luftflöden under vädringshändelserna.

Vid flera av vädringshändelserna observeras dessutom att inflödet genom interna väggar minskar samtidigt som utflödet ökar kraftigt. Detta kan indikera att luftens flödesriktning

tillfälligt förändras vid vädring, där inkommande uteluft driver vidare luft från sovrummet till övriga delar av bostaden. Luftflödenas variationer visar därmed att även kortvariga öppningar kan påverka luftutbytet i flera delar av bostaden och inte enbart lokalt vid den aktuella öppningen.

Vidare analys av vädringshändelsen som inträffar i anslutning till årets lägsta registrerade inomhustemperatur redovisas i figur 5.16 och figur 5.17.

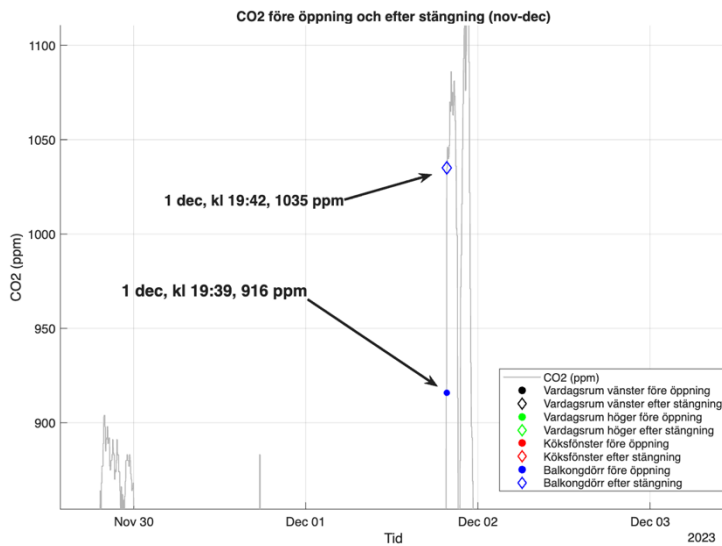


Figur 5.16 Temperaturförändring vid vädringshändelse den 1 december vid årets lägsta registrerade inomhustemperatur.

Temperaturen precis före öppning registreras den 1 december kl. 19:39 till 19,8 °C när balkongdörren är öppen 13,6° och sovrumsdörren är öppen till 50 %. Efter cirka tre minuter, när balkongdörren stängs, uppgår temperaturen till 19,9 °C. Temperaturförändringen under vädringshändelsen är därmed begränsad.

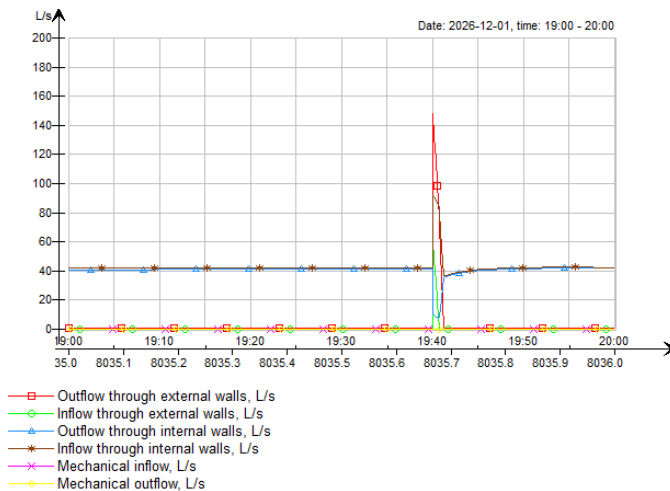
Vid analys av CO₂-halterna under samma vädringshändelse observeras i figur 5.17 att koncentrationen ökar från 916 ppm kl. 19:39 till 1035 ppm kl. 19:42, vilket motsvarar en ökning på cirka 119 ppm under tre minuter. Till skillnad från den tidigare analyserade vädringshändelsen i februari, där CO₂-halten minskar vid öppning, observeras här istället en ökning av CO₂-koncentrationen trots vädring.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

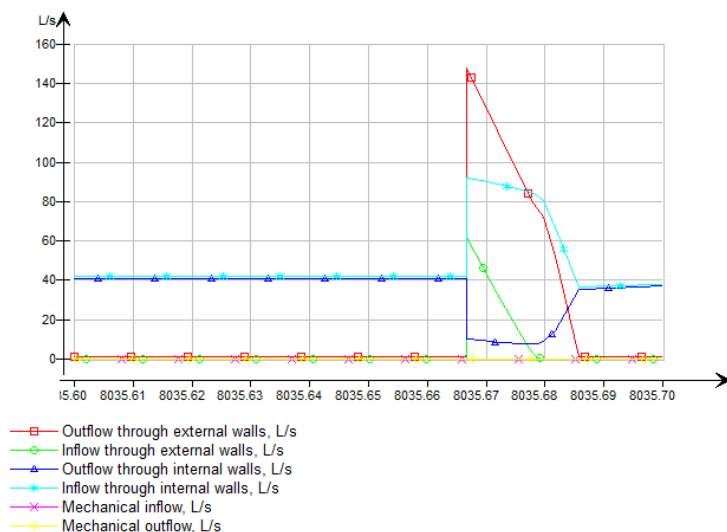


Figur 5.17 Förändring i CO_2 -halt vid vädringshändelse den 1 december.

För att vidare analysera luftutbytet i IDA ICE undersöks resultaten från energiberäkningsmodellen i figur 5.18 och figur 5.19. Figurerna visar luftflöden i sovrummet i samband med att balkongdörren öppnas.



Figur 5.18 Luftflödet i sovrummet med balkongdörren den 1 december.



Figur 5.19 Mer detaljerade figur av luftflödena i sovrummet med balkongdörren den 1 december.

Luftflödesfiguren visar att luftflödena förändras snabbt vid öppning av balkongdörren. Före vädringshändelsen ligger luftflödena relativt stabilt, där inflödet genom interna väggar, det vill säga genom sovrumsdörren, uppgår till omkring 40 l/s medan övriga luftflöden ligger nära noll. Vid öppningen ökar framför allt utflödet genom ytterväggarna, det vill säga ut genom balkongdörren, kraftigt och uppgår som högst till cirka 145 l/s. Samtidigt ökar inflödet genom ytterväggarna till omkring 60 l/s, vilket motsvarar den uteluft som tillförs genom balkongdörrens öppning.

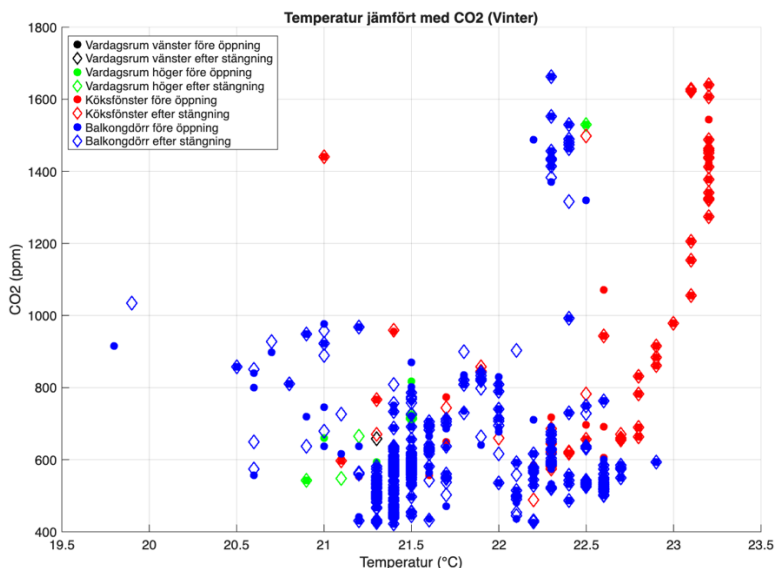
Även luftflödena genom interna väggar förändras tydligt under samma period. Inflödet genom interna väggar uppgår till omkring 90 l/s medan utflödet genom interna väggar ligger kring cirka 10 l/s. I detta fall sker lufttransporten huvudsakligen genom sovrumsdörren, vilket indikerar att vädringen påverkar luftutbytet mellan sovrummet och övriga delar av bostaden.

Efter att balkongdörren stängs minskar luftflödena successivt och återgår till nivåer nära de ursprungliga. Resultatet visar därmed att vädringshändelsen ger upphov till ett tillfälligt men kraftigt luftutbyte trots den korta öppningstiden på cirka tre minuter.

Vid jämförelse mellan figur 5.16–5.19 framgår att de stora förändringarna i luftflöde endast ger upphov till mycket små variationer i inomhustemperaturen, medan CO₂-halten samtidigt ökar under samma period. Resultatet visar därmed att kortvariga vädringshändelser inte alltid medför en direkt minskning av CO₂-halten trots tydliga förändringar i luftutbytet.

5.3.3.2 Temperatur i relation till CO₂-halt före öppning och efter stängning

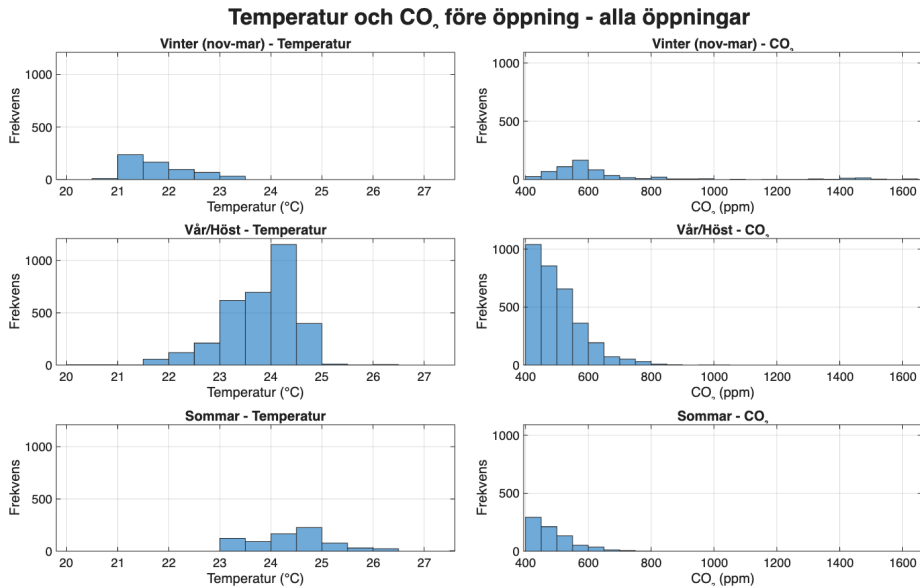
Figur 5.20 och 5.21 redovisar sambandet mellan inomhustemperatur och CO₂-halt i samband med registrerade vädringshändelser. Figur 5.20 visar temperatur och CO₂-halt före öppning respektive efter stängning under vinterperioden, medan figur 5.21 visar fördelningen av temperatur och CO₂-halt före öppning uppdelat efter årstid.



Figur 5.20 Temperatur respektive CO₂-halt före öppning och efter stängning för samtliga vädringshändelser under vinterperioden, november-mars.

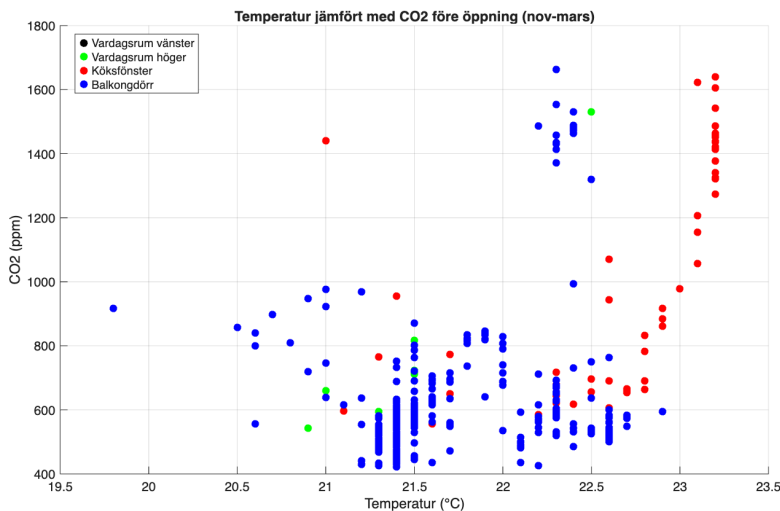
Resultaten visade att majoriteten av vädringshändelserna under vinterperioden registrerades vid inomhustemperaturer mellan cirka 21,5 och 22,5 °C. Samtidigt varierade CO₂-halterna betydligt mer och låg huvudsakligen mellan cirka 400 och 800 ppm, där flest registrerade öppningar under vinterperioden förekom kring 600 ppm. Flera enskilda vädringshändelser uppvisade dock betydligt högre nivåer över 1000 ppm och upp till omkring 1600 ppm.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation



Figur 5.21 Fördelning av inomhustemperatur och CO₂-halt före öppning för samtliga vädringshändelser uppdelat efter årstid.

Vid jämförelse mellan före öppning och efter stängning i figur 5.20 framgår att punkterna före öppning och punkter efter stängning låg nära varandra. Variationerna i CO₂-halt var däremot större, vilket visade att vädringshändelserna i större utsträckning kunde kopplas till förändringar i luftkvalitet än till förändringar i den termiska inomhusmiljön. Figur 5. 22 visar endast istället före öppningar.



Figur 5.22 Temperaturen respektive CO₂-halt före öppning för samtliga öppningar under november-mars.

Figur 5.21 visar samtidigt tydliga säsongsvariationer i vädringsbeteendet. Under vinterperioden registreras vädringshändelser främst vid temperaturer mellan cirka 21 och 23 °C. Under vår- och höstperioden förskjuts temperaturfördelningen till huvudsakligen mellan cirka 23 och 25 °C, medan sommarperioden uppvisar de högsta temperaturerna mellan cirka 23 och 26 °C.

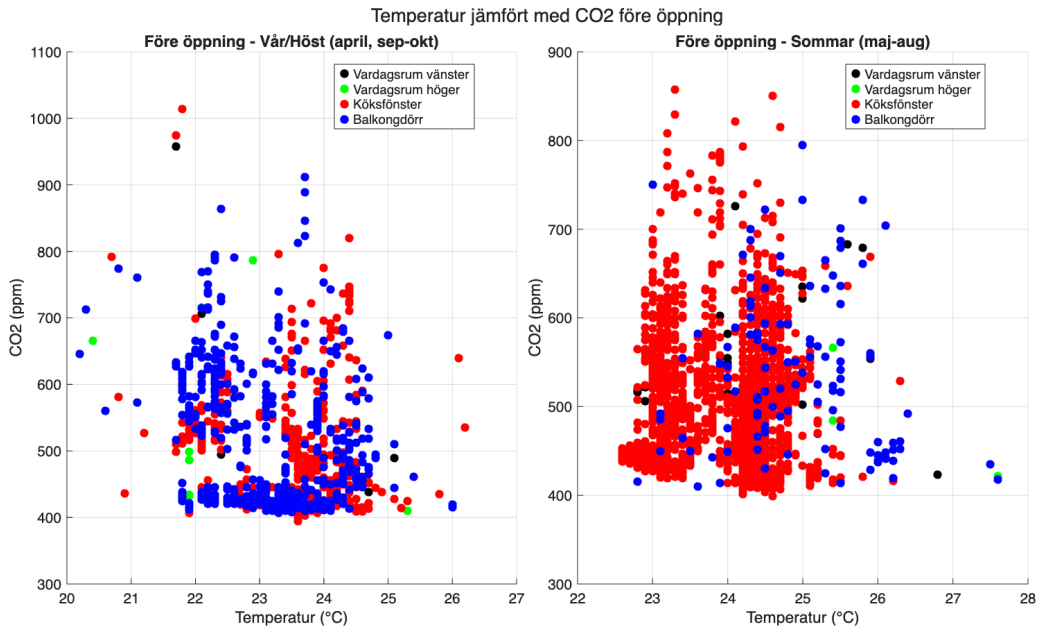
CO₂-halterna uppvisar samtidigt ett motsatt mönster mellan årstiderna. Under vinterperioden observeras störst variation i CO₂-halt och de högsta registrerade nivåerna. Under vår-, höst- och sommarperioderna ligger CO₂-halterna generellt lägre och var mer koncentrerade kring cirka 400–600 ppm. Resultatet visade därmed att vädring under vinterperioden i större utsträckning skedde vid höga CO₂-nivåer, medan vädring under sommarperioden oftare genomfördes vid högre inomhustemperaturer trots relativt låga CO₂-halter.

Analysen visar tydliga säsongsvariationer i vädringsbeteendet. Under vinterperioden sammanfaller vädringshändelser oftare med högre CO₂-nivåer, vilket indikerar ett samband med behov av förbättrad luftkvalitet. Under vår-, sommar- och höstperioderna registreras däremot fler vädringshändelser vid högre inomhustemperaturer och relativt låga CO₂-nivåer. Detta indikerar att vädring under varmare delar av året i större utsträckning genomförs för att förbättra den termiska komforten än för att reducera CO₂-halten.

Figur 5.23 visar sambandet mellan temperatur och CO₂-halt precis före vädringshändelser under vår-/höstperiod respektive sommarperioden. Figuren visar tydliga skillnader mellan årstiderna både avseende temperaturintervall och CO₂-nivåer.

I diagrammet för vår-/höstperioden sker majoriteten av vädringshändelserna vid temperaturer omkring 22–25 °C. Samtidigt förekommer flera höga CO₂-halter, där vissa mätpunkter överstiger 800 ppm och enstaka når över 1000 ppm. Detta indikerar att vädring under den kallare delen av året oftare genomfördes när luftkvaliteten försämrats och CO₂-halten blivit högre. Spridningen i CO₂-halt är dessutom relativt stor trots små variationer i temperatur, vilket tyder på att vädringsbeteendet under vinter och höst inte enbart styrdes av termisk komfort utan även av behovet av att förbättra luftkvaliteten.

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation



Figur 5.23 Temperatur respektive CO₂-halt före öppning för samtliga vädringshändelser under sommar (maj-augusti) samt vår (april) och höst (september-oktober)

I diagrammet för sommarperioden sker vädringshändelserna istället främst vid högre temperaturer omkring 23–26 °C samtidigt som CO₂-halterna generellt är lägre och mer koncentrerade kring cirka 400–700 ppm. Detta visar att vädring under varmare perioder oftare genomfördes trots relativt god luftkvalitet, vilket tyder på att vädringen i större utsträckning styrdes av behovet av termisk komfort.

6 Diskussion

I detta kapitel diskuteras de resultat som presenterades i kapitel 5. Resultaten relateras till tidigare forskning och till de metodval som gjorts i studien. Vidare behandlas osäkerheter.

6.1 Diskussion av resultatet

Syftet med studien var att undersöka hur vädringsbeteende påverkade inomhusmiljö och energianvändning i en bostad. Studien fokuserade särskilt på sambandet mellan vädring, inomhustemperatur, CO₂-halter och luftflöden samt hur dessa parametrar påverkade uppvärmningsbehovet i energisimuleringar.

De viktigaste resultaten visade att vädring förekom mest frekvent under sommarperioden, att variationerna i CO₂-halt var betydligt större än variationerna i inomhustemperatur samt att implementering av vädring i energiberäkningsmodellen ger ökade uppvärmningsbehov. Resultaten visade även att kortvariga vädringshändelser kunde ge tydliga förändringar i luftutbytet och CO₂-halten utan att orsaka större förändringar i inomhustemperaturen.

Resultaten indikerade att vädring i stor utsträckning styrdes av termisk komfort under sommarperioden då majoriteten av öppningarna registrerades vid högre inomhustemperaturer mellan cirka 23–26 °C. Under vinterperioden observerades däremot högre CO₂-halter i samband med vädringshändelser samtidigt som vädringsfrekvensen var lägre och vädringshändelserna hade en kortare varaktighet. Majoriteten av öppningarna under vinterperioden registrerades vid inomhustemperaturer mellan cirka 21–22,5 °C. Detta tyder på att vädringsbeteendet under vinterperioden påverkades av andra faktorer än under sommarperioden. En möjlig tolkning är att behovet av att upprätthålla termisk komfort kan ha påverkat omfattningen av vädringen under vinterperioden. Samtidigt indikerar de förhöjda CO₂-halterna i samband med vädringshändelser att upplevd luftkvalitet kan ha varit en viktig drivkraft för vädring under denna period.

Resultaten stämmer väl överens med tidigare forskning. Andersen et al. (2013) visade att sannolikheten att öppna fönster generellt är högre under vår- och sommarperioden än under vintern, medan Park och Choi (2018) fann att fönsteröppning samvarierar med utomhustemperaturen och förekommer mer frekvent under mildare perioder. Resultaten i detta arbete stödjer dessa slutsatser genom att vädringsfrekvensen var högst under sommarperioden.

Studien visar samtidigt tydliga säsongsvariationer i vädringsbeteendet. Under vinterperioden sammanföll vädringshändelser oftare med högre CO₂-nivåer, medan vädring under vår-, sommar- och höstperioden främst skedde vid högre inomhustemperaturer och relativt låga CO₂-halter. Resultaten indikerar därmed att vädring under vinterperioden i större utsträckning genomfördes för att förbättra

luftkvaliteten, medan vädring under varmare delar av året främst var kopplad till behovet av termisk komfort.

Analysen av detaljerade vädringshändelser visade att kortvarig vädring kunde reducera CO₂-halten relativt snabbt samtidigt som temperaturförändringen var begränsad. Resultatet visar därmed att luftkvaliteten i många fall kunde förbättras utan större påverkan på den termiska komforten vid kortvarig vädring. Samtidigt observerades enstaka vädringshändelser där CO₂-halten istället ökade efter registrerad vädring, vilket visar att sambandet mellan vädring och luftkvalitet inte alltid var linjärt och att resultaten påverkas av flera faktorer i bostaden. Resultaten överensstämmer även med tidigare studier som visat att inomhusnivåer av koldioxid är en viktig drivkraft bakom fönsteröppning. Andersen et al. (2013) och Park och Choi (2018) identifierade CO₂-halten som en faktor som ökar sannolikheten att öppna fönster, medan utomhustemperaturen i större utsträckning påverkar när fönster stängs. Att CO₂-halterna i den här studien ofta minskade snabbt vid vädring stärker därför tidigare kunskap om att vädring är ett effektivt sätt att tillfälligt förbättra luftkvaliteten. Samtidigt visar de observerade fallen där CO₂-halten inte minskade efter vädring att sambandet är komplext.

En viktig aspekt är hur analysen genomfördes. För varje vädringshändelse användes mätvärden från minuten före öppning samt minuten efter stängning. Eftersom mätdata registrerades varje minut kunde förändringar i temperatur och CO₂-halt följas detaljerat under vädringsförloppet. Samtidigt behöver de registrerade värdena inte alltid direkt motsvara hur förändringarna sker i verkligheten i exakt samma minut. Detta beror bland annat på att temperatur- och CO₂-loggen var placerad centralt i hallen och inte direkt i sovrummet där flera av vädringshändelserna registrerades under uppvärmningssäsongen samt var de mer detaljerade analyserna genomförde. Vid vädring i sovrummet tar det sannolikt en viss tid innan förändringen i CO₂-halt och temperatur registrerades av loggen som satt i mitten av hallen. Det innebär att förändringar i CO₂-halt och temperatur kan registreras med viss fördröjning jämfört med själva vädringshändelsen. Resultaten påverkas därmed inte enbart av vädringen vid balkongdörren, utan även av hur luften transporteras och blandas mellan sovrummet, hallen och övriga delar av bostaden innan förändringarna registreras av loggen.

Simuleringsresultaten från IDA ICE visade dessutom att innerdörrarnas position hade stor betydelse för luftrörelsen mellan bostadens rum. Under vädringshändelser då sovrumsdörren var öppen ökade luftflödena mellan sovrummet och övriga delar av bostaden, medan en stängd sovrumsdörr begränsade luftrörelsen och resulterade i lägre luftflöden i simuleringarna. Resultaten visar därmed att innerdörrarnas position påverkade både luftflödenas storlek och hur luften transporterades mellan bostadens olika rum samt med utomhus under vädringshändelserna.

Vidare observerades att innerdörrarnas öppningsgrad även påverkade uppvärmningsbehovet i simuleringarna. En större öppningsgrad gav generellt ett högre uppvärmningsbehov jämfört med när innerdörrarna var stängda, vilket gav det lägsta uppvärmningsbehovet. Samtidigt registrerades högre luftflöden genom de interna

väggöppningarna när dörrarna var mer öppna. Resultaten visar därmed att ökad lufttransport mellan rummen även påverkade värmeenergin under vädringshändelserna, där vid jämförelse mellan fall 1b2 och fall 1c, samtliga innerdörrar var helt öppna eller helt stängda, uppgick skillnaden till 9,2 kWh/m². Även visar resultatet från IDA ICE att vädring inte endast påverkade rummet där balkongdörren öppnades utan även luftflödena i övriga delar av bostaden. Luftutbytet vid vädring skedde därmed både mellan bostaden och utomhus samt mellan flera rum inomhus, vilket visar att innerdörrarnas position hade betydelse för både bostadens luftutbyte och det beräknade uppvärmningsbehovet i simuleringarna.

Att innerdörrarnas position hade stor betydelse för luftflöden och energianvändning överensstämmer med resultaten från Rosengarten (2022) och Bertilsson och Zandi (2023), som visade att energikonsekvenserna av vädring inte enbart påverkas av själva fönsteröppningen utan även av hur luften kan transporteras mellan olika delar av bostaden. Resultaten i denna studie förstärker därmed bilden av att vädring bör analyseras detaljerat men även som ett övergripande fenomen över hela byggnaden eller lägenheten där samspelet mellan öppningar, planlösning och interna luftvägar har betydelse för värmebehovet.

I sovrummet fanns dessutom ingen mekanisk tilluft eller fönsterventil i fasaden, utan luftutbytet är tänkt att ske via vädringsluckan ovanför balkongdörren. Vädringsluckan är placerad cirka 2,1 meter ovanför golvet och användes inte av brukaren, vilket kan förklaras av att vädringsluckan inte går att nå. Istället användes då balkongdörren främst vid vädring i sovrummet. Detta kan diskuteras i relation till bostadens ventilationslösning, eftersom en mer lättillgänglig ventilationsöppning eller ännu bättre en ventil ovanför fönstret sannolikt hade kunnat minska behovet av att öppna balkongdörren för att uppnå luftutbyte. I vardagsrummet fanns däremot en fönsterventil ovanför fönstret, vilket kan ha påverkat vädringsbeteendet i detta rum. Resultaten visade att vädringshändelserna i vardagsrummet var färre under uppvärmningssäsongen, vilket kan indikera att fönsterventilen bidrog till ett visst kontinuerligt luftutbyte. Under sommarperioden registrerades däremot längre vädringshändelser, vilket samtidigt sammanföll med högre inomhustemperaturer. Resultatet kan relateras till Nordquists (2017) studie av Flagghusen i Malmö, där vädring visade sig vara ett beteende när de tekniska systemen och klimatskalet inte fullt ut motsvarade de boendes behov. I detta arbete användes balkongdörren återkommande för att skapa luftutbyte i sovrummet trots att en vädringslucka fanns installerad. Detta kan tolkas som att den avsedda ventilationslösningen inte upplevdes som tillräckligt användarvänlig eller funktionell i praktiken.

Samtidigt påverkades resultaten av hur vädringsdata bearbetades och implementerades i modellen. Samtliga vädringsscheman baserades på samma uppmätta vädringsdata men bearbetades i olika grad innan de användes i simuleringarna. Vädringsschema 2 innehöll endast begränsad bearbetning av rådata, vilket motiverades av ambitionen att bevara det uppmätta vädringsbeteendet och undvika alltför stora förändringar i den ursprungliga datan. Skillnaden mellan vädringsschema 1 och 2 i energiberäkningen uppgick till 0,9 kWh/m², vilket är en relativt liten skillnad trots att antalet registrerade vädringshändelser

reducerades kraftigt efter glapphanteringen. Detta gällde särskilt för balkongdörren där antalet registrerade öppningar minskade från 539 till 250 händelser samtidigt som den totala varaktigheten endast förändrades marginellt. Resultaten visar därmed att det framför allt var den sammanlagda öppningstiden snarare än antalet individuella vädringshändelser som påverkade energianvändningen. Glapphanteringen innebar främst att flera kortvariga och närliggande öppningar sammanfördes till längre sammanhängande vädringsperioder utan att den totala vädringstiden förändrades i någon större omfattning.

Vädringsschema 3 uppvisade däremot ett högre uppvärmningsbehov jämfört med de händelsebaserade vädringsschemana, Mellan fall 2a1 och fall 2c var uppvärmningsbehovet 3,1 kWh/m² högre i fall 2c med vädringsschema 3. En möjlig förklaring är att vädringen i detta fall fördelades jämnt över hela dygnet genom ett dagligt medelvärde. Detta innebar att modellen simulerade ett kontinuerligt luftutbyte istället för kortvariga öppningar under begränsade tidsperioder. Resultaten indikerar därmed att kontinuerlig vädring gav ett större värmebehov än kortvarig vädring.

Vädringsschema 1 bedömdes samtidigt vara det mest realistiska av de undersökta vädringsschemana, eftersom schemat i störst utsträckning representerade de faktiska registrerade vädringshändelserna och deras tidsfördelning. Till skillnad från vädringsschema 3, där vädringen generaliserades till ett jämnare luftutbyte över dygnet, behöll vädringsschema 1 de kortvariga och oregelbundna öppningarna som observerades i mätdata. Resultaten visar därmed att vädringsschema 1 bättre återgav hur vädring sker i verkligheten, där öppningar ofta sker intermittent och under begränsade tidsperioder. Samtidigt visar de relativt små skillnaderna mellan vädringsschema 1 och 2 att modellen var relativt robust mot mindre bearbetningar av rådata, så länge vädringshändelsernas övergripande tidsfördelning och totala öppningstid bibehölls.

Resultaten från energisimuleringarna ligger även i linje med tidigare forskning om vädringens energipåverkan. Bertilsson och Zandi (2023) visade att vädringsfrekvens och öppningstid är viktigare parametrar än öppningsgrad, medan Lejonklev (2024) identifierade öppningstiden per vädringstillfälle som en av de mest betydelsefulla faktorerna för energianvändningen. Att skillnaderna mellan vädringsschema 1 och 2 var små trots stora skillnader i antalet registrerade öppningar tyder på att den sammanlagda öppningstiden är viktigare än antalet enskilda vädringshändelser. Detta stärker tidigare forskningsresultat och indikerar att energimodeller bör fokusera på att beskriva vädringens varaktighet och tidsfördelning snarare än enbart frekvensen av öppningar.

Sammantaget bekräftar studiens resultat flera av de mönster som identifierats i tidigare forskning. Vädringsbeteendet uppvisade tydliga säsongsvariationer, påverkades av både termisk komfort och luftkvalitet samt medförde ett ökat uppvärmningsbehov i energisimuleringarna. Samtidigt bidrar studien med ny kunskap genom att kombinera minutupplösta mätdata med detaljerade simuleringar, vilket möjliggjort en mer detaljerad analys av hur enskilda vädringshändelser påverkar CO₂-halt, temperatur och energianvändning. Resultaten stödjer därmed tidigare forskning men visar också att

vädringens konsekvenser i hög grad påverkas av bostadens utformning, ventilationslösning och hur beteendet representeras i energiberäkningar.

6.2 Osäkerheten i resultatet

6.2.1 Noggrannhet i beräkningar och mätningar

En möjlig felkälla i bearbetningen av mätdata är kopplad till datans tidsupplösning på en minut. Vädringshändelser som både påbörjades och avslutades inom samma tidssteg registrerades initialt med en beräknad varaktighet på 0 minuter och avrundades därefter till 1 minut i den fortsatta bearbetningen. Detta innebär att mycket kortvariga öppningar kan ha överskattats tidsmässigt, vilket i sin tur kan ha påverkat den beräknade vädringsfrekvensen och den totala vädringstiden. Effekten bedöms dock vara begränsad eftersom dessa händelser utgjorde en liten del av den totala datamängden och främst omfattade mycket korta öppningar. Samtidigt möjliggjorde förenklingen en mer konsekvent hantering av mätdata och minskade risken för att kortvariga vädringshändelser helt exkluderades från analysen.

Det observerades även att ett flertal registrerade vädringshändelser hade en varaktighet på endast en minut. Detta kan delvis bero på mätinstrumentens tidsupplösning och hur öppningarna registrerades i datainsamlingen. Samtidigt kan även yttre faktorer, såsom vindpåverkan, ha påverkat registreringen av öppningshändelserna. Det är därför möjligt att vissa av de mycket kortvariga registrerade öppningarna i verkligheten motsvarade något längre vädringshändelser än vad som framgår av mätdata. Om vädringshändelsernas verkliga varaktighet varit längre kan även det faktiska luftutbytet och värmeförlusterna ha varit större än vad som representeras i simuleringarna. Detta innebär att det verkliga uppvärmningsbehovet och därmed energianvändningen potentiellt kan ha underskattats.

Utöver osäkerheter kopplade till tidsupplösningen förekommer även osäkerheter i själva mätningarna och simuleringarna. Studien baserades både på uppmätta data och simuleringsresultat från IDA ICE, vilket innebär att osäkerheter förekommer i såväl mätningar som beräkningar. Sensorernas mätnoggrannhet för temperatur, CO₂-halt och öppningsregistrering påverkar resultatens precision. Kortvariga vädringshändelser innebär dessutom att små tidsförskjutningar mellan sensorer kan påverka registrerade förändringar i temperatur och CO₂-halt. Sensorernas placering i rummen kan även ha påverkat resultaten eftersom lokala variationer i luftflöde och luftblandning kan uppstå vid vädring.

Även energisimuleringarna innehåller osäkerheter kopplade till modelluppbyggnad och antaganden i IDA ICE. Luftflöden och vädringshändelser förenklades i modellen jämfört med verkliga förhållanden, vilket innebär att simuleringarna inte fullt ut kan beskriva alla variationer som förekommer i verklig drift. Faktorer såsom vindpåverkan, varierande öppningsgrad och användarbeteende är svåra att representera exakt i modellen och kan därför påverka det beräknade luftutbytet och energianvändningen.

Ytterligare en osäkerhet är kopplad till hur mätperioden hanterades i det erhållna datamaterialet. Mätdata för vädring, temperatur och CO₂-halt baserades på en mätperiod från juni 2023 till juni 2024. Det datamaterial som erhöles för analys hade redan förskjutits för att representera ett sammanhängande kalenderår 2023. Detta innebär att mätdata för januari–maj egentligen motsvarar förhållanden från 2024, medan jämförelser med utomhustemperatur baserades på klimatdata för 2023. Detta kan medföra vissa osäkerheter vid jämförelser mellan inne- och utomhustemperatur under denna period. Skillnaderna bedöms dock vara relativt begränsade eftersom klimatförhållandena mellan åren generellt bedöms vara liknande och analysen främst fokuserade på övergripande mönster i vädringsbeteende, temperatur och CO₂-halt.

6.2.2 Representerbarhet

Studien baserades på en enskild lägenhet och ett specifikt vädringsbeteende, vilket innebär att resultaten påverkades av de boendes vanor och användarbeteende. Skillnader i byggnadstyp, ventilationssystem, geografiskt läge och antal boende kan därför påverka hur representativa resultaten är för andra bostäder.

Samtidigt baserades studien på mätdata med minutupplösning under ett helt år, vilket gav ett omfattande underlag för analys av vädringsbeteende, luftkvalitet och temperaturvariationer. De uppmätta vädringshändelserna implementerades dessutom manuellt i IDA ICE med minutupplösning, där de verkligt registrerade öppnings- och stängningstidpunkterna användes direkt i energiberäkningsmodellen. Därmed baserades simuleringarna inte på schabloniserade vädringsantaganden eller generella användarscenarier, utan på det faktiska uppmätta vädringsbeteendet i den studerade lägenheten. Resultaten bedöms därför vara relativt representativa för den studerade lägenheten och dess specifika förutsättningar.

Klimatdata och interna laster i energisimuleringarna representerade däremot mer generella förhållanden och skiljer sig därför från de verkliga variationerna under mätperioden. Detta blev särskilt tydligt i simuleringen med kallare klimatdata, där energianvändningen ökade kraftigt jämfört med övriga fall. Samtidigt visar resultaten att modellen hade möjlighet att simulera olika klimatförhållanden och vädringsbeteenden, vilket möjliggör analyser även för andra scenarier än det uppmätta fallet.

6.3 Generalisering

Studien visade med relativt god säkerhet att vädring påverkar både luftkvalitet och energianvändning samt att kortvarig vädring kan ge tydliga förändringar i CO₂-halt utan större påverkan på inomhustemperaturen i en lägenhet. Resultaten visade även att vädringsfrekvensen varierade tydligt mellan olika årstider, där vädring förekom mer frekvent under varmare perioder.

Resultaten bedöms främst vara generaliserbara till bostäder med liknande förutsättningar, bostadstyp och brukarbeteende. Den studerade byggnaden är ett typiskt flerbostadshus från 60-talet med frånluftsventilation. Om vädring sker i den omfattning

som uppmätts i denna typ av byggnad är studiens resultat tillämpbara. För byggnader med andra ventilationssystem, exempelvis mekanisk ventilation med värmeåtervinning, eller för bostäder i andra klimatzoner kan sambanden mellan vädring, luftkvalitet och energianvändning se annorlunda ut.

Studien kan däremot inte med hög säkerhet beskriva hur vädringsbeteenden ser ut i andra typer av bostäder eller hos andra användargrupper. Människors vädringsvanor påverkas av individuella preferenser, termisk komfort, utomhusklimat och upplevd luftkvalitet, vilket innebär att variationerna mellan hushåll kan vara stora.

Trots dessa begränsningar bidrar studien med detaljerad analys av verklig vädringshändelse och deras påverkan på luftkvalitet, temperaturen och energianvändningen. Kombinationen av uppmätta data och energisimuleringar möjliggjorde dessutom analys av både verkligt brukarbeteende och teoretiska energikonsekvenser, vilket stärker studiens praktiska relevans.

7 Slutsatser

Syftet med examensarbetet var att undersöka hur vädringsbeteende påverkar inomhusmiljö och energianvändning i ett flerbostadshus samt hur olika representationer av vädring påverkar energiberäkningar i IDA ICE. Studien kombinerade uppmätta vädringsdata med energisimuleringar för att analysera sambandet mellan vädring, temperatur, CO₂-halt, luftflöden och uppvärmningsbehov.

Resultaten visade tydliga säsongsvariationer i vädringsbeteendet. Vädring förekom främst under sommarperioden vid högre inomhustemperaturer mellan cirka 23–26 °C, medan högre CO₂-halter observerades under vinterperioden då vädringsfrekvensen var lägre och vädringshändelserna kortare. Detta indikerar att vädring under varmare perioder främst styrdes av termisk komfort, medan vädring under vinterperioden i större utsträckning genomfördes för att förbättra luftkvaliteten.

Analysen visade att kortvarig vädring kunde reducera CO₂-halten snabbt utan större förändringar i inomhustemperaturen. Sambandet mellan vädring och CO₂-halt var dock komplext och inte linjärt. I den analyserade vädringshändelsen i figur 5.14 observerades ett avklingningsförlopp för CO₂-koncentrationen som liknade ett exponentiellt förlopp. Resultaten påverkades även av lufttransport mellan rum, vädringshändelsernas varaktighet samt sensorernas placering. Innerdörrarnas position hade dessutom stor betydelse för luftflödena i bostaden. Öppna innerdörrar gav högre luftutbyte mellan rummen jämfört med då innerdörrarna var stängda och ett ökat uppvärmningsbehov på cirka 10,8 kWh/m² då vädring skedde respektive 9,2 kWh/m² då vädring inte skedde, vilket motsvarar en skillnad på omkring 7–8 % av det totala uppvärmningsbehovet.

Energisimuleringarna visade generellt att vädring ökade uppvärmningsbehovet jämfört med fall utan modellerad vädring. Skillnaden mellan grundfall utan vädring och vädringsfall uppgick till cirka 4,4 kWh/m² då innerdörrarna antas vara öppna 50% förutom på natten då sovrumsdörren är helt stängd. Resultaten överensstämmer därmed med teorin om naturlig ventilation där uppvärmd inomhusluft ersätts av kallare uteluft, vilket ökar värmeförlusterna. Samtidigt var skillnaderna mellan vädringsschema 1 och 2 relativt små trots stora skillnader i antal registrerade vädringshändelser efter databearbetning. Detta indikerar att den sammanlagda vädringstiden hade större betydelse för energianvändningen än det exakta antalet öppningar.

Arbetet visade även att det är utmanande att representera verkligt vädringsbeteende i energisimuleringar. Implementeringen av detaljerade händelsebaserade vädringsscheman krävde omfattande databearbetning och flera förenklingar för att kunna användas i IDA ICE. En styrka med den använda metodiken var att verkliga mätdata kunde kopplas till simuleringarna, vilket gav en mer realistisk beskrivning av brukarbeteendet än standardiserade antaganden. Samtidigt medförde osäkerheter i registrering av vädringshändelser, bearbetningen av data och modelleringen av luftflöden att resultaten bör tolkas med viss försiktighet.

Det generaliserade vädringsschemat med kontinuerliga dygnsmedel gav ett högre uppvärmningsbehov än de händelsebaserade vädringsschemana, vilket tyder på att förenklade eller generaliserade vädringsprofiler kan överskatta vädringens energipåverkan. Vädringsschema 1 bedömdes därför vara det mest realistiska alternativet eftersom det bäst representerade de faktiska registrerade vädringshändelserna och deras tidsfördelning.

Resultaten bedöms främst vara generaliserbara till flerbostadshus med liknande ventilationssystem, klimatförhållanden och brukarbeteende som den studerade lägenheten. Trots att studien baserades på en enskild bostad bidrar examensarbetet med ökad förståelse för hur verkligt vädringsbeteende påverkar både inomhusmiljö och energianvändning samt vilka möjligheter och begränsningar som finns vid representation av vädring i energiberäkningsmodeller.

8 Framtida forskning

Resultaten från denna studie visade att vädringsbeteende påverkar både luftkvalitet och energianvändning samt att sambandet mellan temperatur, CO₂-halt och vädring påverkas av flera faktorer samtidigt. Studien öppnar därför för flera möjliga områden för fortsatt forskning.

En viktig vidareutveckling är att genomföra motsvarande analyser i fler bostäder och byggnader med liknande ventilationssystem. Även om denna studie baserades på en enskild lägenhet bedöms resultaten vara relevanta för många äldre flerbostadshus från 1960-talet med frånluftsventilation, eftersom denna typ av ventilationssystem fortfarande utgör en stor del av det befintliga bostadsbeståndet i Sverige. Studier i fler bostäder skulle därför kunna ge bättre förståelse för hur vädringsbeteende och ventilationslösningar påverkar energianvändning och luftkvalitet.

Framtida forskning skulle även kunna undersöka variationer i vädringsbeteende över längre tidsperioder och mellan olika år samt flera olika brukare, eftersom klimatförhållanden och brukarvanor kan variera. Detta skulle kunna ge bättre förståelse för hur vädring påverkar luftkvalitet och energianvändning under olika förhållanden.

Framtida studier skulle även kunna inkludera fler mätpunkter och mer detaljerade mätningar av luftflöden mellan olika rum. Genom fler sensorer i bostaden skulle det vara möjligt att bättre analysera hur luft transporteras och blandas mellan rummen samt hur innerdörrar och planlösning påverkar vädringens effekt på inomhusmiljön.

Slutligen skulle framtida forskning även kunna undersöka hur olika ventilationslösningar och ventilplaceringar påverkar vädringsbeteendet. I denna studie användes exempelvis inte vädringsluckan i sovrummet eftersom den var svår att nå, vilket medförde att balkongdörren istället användes vid vädring. Detta visar att utformningen och tillgängligheten hos ventilationsöppningar kan påverka hur boende väljer att vädra och därmed även byggnadens luftutbyte och energianvändning.

Referenser

Abdul Hamid, M. & Ibrahimovic, A. (2013). *Energiförluster på grund av vädring i nybyggda flerbostadshus*. Examensarbete. Lunds universitet, Avdelningen för installations- och klimatiseringslära. <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/7869634> [Hämtad 2026-03-03].

Andersen, R.K., Toftum, J., Andersen, K.K. & Olesen, B.W. (2013). Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings, *Building and Environment*, 66, s. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.010>

Bertilsson, E. & Zandi, K. (2023). *Undersökning av hur brukarbeteenden påverkar energianvändningen i flerbostadshus med FTX-ventilation – en studie med särskilt fokus på vädring*. Examensarbete. Lunds universitet, Avdelningen för installations- och klimatiseringslära.

BFS 2017:6. (2017). *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår (BEN 2)*. Karlskrona: Boverket.

BFS 2024:8. (2024). *Boverkets föreskrifter om skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö samt hushållning med vatten och avfall*. Karlskrona: Boverket. <https://rinfo.boverket.se/BFS2024-8/pdf/BFS2024-8.pdf>

BFS 2024:14. (2024). *Boverkets föreskrifter om ändring av Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*. Karlskrona: Boverket.

Björk, C., Kallstenius, P. & Reppen, L. (2021). *Så byggdes husen 1880–2020*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Boverket. (2009). *Så mår våra hus – redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m.* Karlskrona: Boverket. https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/sa_mar_vara_hus.pdf [Hämtad 2026-05-13].

Boverket. (2012). *Boverkets handbok för energihushållning enligt BBR. 2 uppl.* Karlskrona: Boverket.

Boverket. (2022a). *Din hälsa kan påverkas av dålig luftkvalitet*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/konsekvenser-samhallet/konsekvenser-halsan/halsa-luftkvalitet/> [Hämtad 2026-02-27].

Boverket. (2022b). *Inomhusmiljöer med hälsosamt klimat*. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/halsa-forst/inomhusmiljoer/> [Hämtad 2026-03-02].

Boverket. (2025a). *Behov av bostadsbyggande 2024–2033: Regionalt och nationellt*. Rapport 2025:10. Karlskrona: Boverket.

Boverket. (2025b). *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/> [Hämtad 2026-02-26].

Boverket. (2025c). *Din hälsa kan påverkas av det termiska klimatet*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/konsekvenser-samhället/konsekvenser-halsan/halsokonsekvenser-av-termisk-komfort/> [Hämtad 2026-02-26].

Boverket. (2025d). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/> [Hämtad 2026-02-26].

Byggföretagen. (2024). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Bygg- och anläggningssektorn*. Stockholm: Byggföretagen.

Davidsson, H, Johansson D, Nordquist B, Fransson V, Bagge H. (2026). *Bättre inomhusmiljö - vädringsvanor i flerfamiljshus*. E2B2 forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende, Energimyndighetens projektnummer: P2021-00215

Directorate-General for Energy. (u.å.). *Energy Performance of Buildings Directive*. https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-performance-buildings/energy-performance-buildings-directive_en [Hämtad 2026-02-26].

Energimyndigheten. (2024). *Effektiv användning av energi, effekt och resurser*. Rapport ER 2024:03. Eskilstuna: Energimyndigheten. <https://www.energimyndigheten.se/4afa39/globalassets/klimat--miljo/elektrifiering/effektiv-anvandning-av-energi-effekt-och-resurser.pdf> [Hämtad 2026-02-23].

Engström, J. (2023). *Luftflöde genom vädring i ett sidohängt fönster – mätning och simulering*. Examensarbete. Lunds universitet, Avdelningen för installations- och klimatiseringslära.

EQUA. (u.å.). *IDA ICE*. <https://www.equa.se/en/ida-ice> [Hämtad 2026-05-05].

Europeiska unionens råd. (2025). *55 %-paketet: grönare byggnader i EU*. <https://www.consilium.europa.eu/sv/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/> [Hämtad 2026-02-23].

Eurostat. (2026). *Energy in Europe – 2026 edition*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2026> [Hämtad 2026-03-30]. <https://doi.org/10.2785/0794090>

Folkhälsomyndigheten. (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*. FoHMFS 2014:18. Solna: Folkhälsomyndigheten.

Folkhälsomyndigheten. (2024). *Vägledning om ventilation*. <https://www.folkhalsomyndigheten.se/regler-och-tillsyn/tillsynsvagledning-och-stod/halsoskydd-vagledning-och-tillsyn/vagledning-om-ventilation/> [Hämtad 2026-02-26].

Heiselberg, P., Svidt, K., Nielsen, P.V. & Andersen, A. (2001). Characteristics of airflow from open windows, *Building and Environment*, 36(7), s. 859–869. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132301000129>

Jeong, J.-W., Jeong, S.-G. & Park, J.-S. (2016). Occupant behavior regarding the manual control of windows in residential buildings, *Energy and Buildings*, 127, s. 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.097>

Jiang, Y., Zhang, X., Li, H. & Chen, Z. (2025). Experimental validation of single-sided bottom-hung window ventilation models, *Building and Environment*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132325007334>

Jones, B., Sharpe, P., Iddon, C., Hathaway, A. & Easterbrook, D. (2016). A review of ventilation opening area terminology, *Energy and Buildings*, 118, s. 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.053>

Knudsen, H. (2019). House owners' experience and satisfaction with Danish low-energy houses - focus on ventilation, *E3S Web of Conferences*, 111, 04006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911104006>

Lejonklev, E. (2024). *Vädringsvanor i bostäder: En studie om vädringsbeteenden och dess påverkan på energianvändning och termisk komfort*. Examensarbete. Lunds universitet, Avdelningen för installations- och klimatiseringslära.

Mattson, P., Bernardo, R., Johansson, M., Warell, A. & Ekim, Z. (2022). *Förväntningar och handlingar – vägen mot energieffektivt beteende i bostadshus*. Rapport 2022:26. <https://www.e2b2.se/media/dawmejli/slutrappport-49576-1-f%C3%B6rv%C3%A4ntningar-och-handlingar.pdf> [Hämtad 2026-04-01].

Naturvårdsverket. (2025). *Hur går det globala klimatarbetet?* <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/det-globala-klimatarbetet/parisavtalet/hur-gar-det-globala-klimatarbetet/> [Hämtad 2026-02-22].

Nordquist, B. (1998). *Vädring i skolor – ett komplement till normal ventilation?* Rapport TABK–98/1014. Licentiatavhandling. Avd. för Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet.

Nordquist, B. (2017). *Fördjupad uppföljning av Flagghusen: En studie av inneklimat, ventilationssystem och vädringsbeteende*. Rapport TVIT–17/3009. Avd. för Installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds Universitet

Park, J. & Choi, C.S. (2018). Modeling occupant behavior of the manual control of windows in residential buildings, *Indoor Air*, 29(2), s. 242–251. <https://doi.org/10.1111/ina.12522>

Rosengarten, S. (2022). *Brukares påverkan av energianvändningen i miljonprogramshus – en fallstudie av flerbostadshus i Linero, Lund*. Examensarbete. Lunds universitet, Avdelningen för installations- och klimatiseringslära.

Sandberg, E. & Engvall, K. (2002). *Beprövad enkät – hjälpmedel för energiuppföljning*. MEBY-projektet, delrapport 3. <https://www.aton.se/resources/Delrpport-3.PDF> [Hämtad 2026-04-01].

Sharpe, P., Jones, B., Wilson, R. & Iddon, C. (2021). What we think we know about the aerodynamic performance of windows, *Energy and Buildings*, 231, 110556. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110556>

Sweden Green Building Council. (2022). *Miljöbyggnad*. Stockholm: Sweden Green Building Council.

Warfvinge, C. & Dahlblom, M. (2010). *Projektering av VVS-installationer*. Upplaga 1:12. Lund: Studentlitteratur AB.

Bilagor A – vädringsschemana

Samtliga vädringsscheman (V1–V3) implementerades manuellt i IDA ICE genom att respektive vädringshändelse och dess öppningsgrad definierades i modellen.

Vädringsschema 1					
Vardagsrumfönster vänster					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor
2023-03-11	20:36:00	20:52:00	16	6,6	0,141
2023-03-15	01:56:00	08:39:00	403	17,4	0,349
2023-03-23	10:33:00	23:27:00	774	7,3	0,155
Vardagsrumfönster höger					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor
2023-01-15	10:03:00	14:49:00	287	13,9	0,285
2023-01-27	13:56:00	14:48:00	52,99999998	2,9	0,064
2023-01-27	14:50:00	14:56:00	7,000000016	2,9	0,063
2023-01-27	14:58:00	15:04:00	7	3	0,066
2023-01-27	15:06:00	22:39:00	454	3,2	0,069
2023-01-27	22:41:00	23:59:00	79	3,2	0,071
2023-01-28	00:00:00	01:29:00	90	3,2	0,069
2023-03-15	01:57:00	08:41:00	405	17,3	0,348
2023-10-22	09:36:00	09:36:00	0	5,9	0,127
Köksfönster					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-01-06	19:45:00	19:52:00	8,000000016	10,4	0,217
2023-01-19	12:50:00	12:50:00	1	4,1	0,089
2023-01-24	19:40:00	19:40:00	0,9999999837	11,5	0,24
2023-01-27	12:54:00	16:16:00	203	11,3	0,235
2023-01-27	17:48:00	00:11:00	384	11,5	0,239
2023-02-26	12:31:00	14:22:00	112	12,5	0,259
2023-03-11	20:38:00	20:53:00	16	10	0,21
2023-03-17	11:23:00	07:59:00	1237	8,7	0,183
2023-03-21	20:22:00	07:48:00	687	10,3	0,216
2023-03-23	11:45:00	13:01:00	76,99999998	10,8	0,226
2023-03-23	17:35:00	18:04:00	30	6,4	0,138
2023-03-23	19:20:00	19:20:00	1,000000016	4,2	0,092
2023-03-23	19:59:00	20:32:00	34	10,5	0,22
2023-03-23	20:35:00	20:35:00	1	4,2	0,091
2023-03-23	20:37:00	20:37:00	1	4,8	0,103
2023-03-23	20:47:00	20:47:00	1	4,5	0,097
2023-03-23	20:49:00	20:49:00	0,9999999837	4,5	0,098
2023-03-23	20:51:00	20:52:00	2	4,7	0,101
2023-03-23	20:57:00	20:58:00	2	4,6	0,101
2023-03-23	21:01:00	21:01:00	1	4,5	0,098

2023-03-23	21:03:00	21:03:00	1	4,2	0,092
2023-03-23	21:07:00	21:07:00	1	4,3	0,093
2023-03-23	21:13:00	21:13:00	1	4	0,087
2023-03-23	21:15:00	21:15:00	1,000000016	4,4	0,094
2023-03-23	21:19:00	21:20:00	2,000000016	4	0,087
2023-03-23	21:23:00	21:23:00	1	4,5	0,098
2023-03-23	21:25:00	21:26:00	2	4,3	0,094

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-23	21:29:00	21:29:00	1,0000000016	4,6	0,1
2023-03-23	21:34:00	21:35:00	2	4,5	0,097
2023-03-23	21:37:00	21:37:00	1	4	0,088
2023-03-23	21:39:00	21:39:00	1	4,3	0,093
2023-03-23	21:41:00	21:41:00	1	4,1	0,09
2023-03-23	21:43:00	21:53:00	11	4,6	0,1
2023-03-23	21:55:00	21:55:00	0,9999999837	4	0,087
2023-03-23	21:57:00	22:00:00	4	4,2	0,091
2023-03-23	22:03:00	22:06:00	4	4,8	0,104
2023-03-23	22:09:00	22:10:00	2,0000000016	5,1	0,111
2023-03-23	22:13:00	22:16:00	4	4,7	0,101
2023-03-23	22:18:00	22:18:00	1	4,8	0,104
2023-03-23	22:20:00	22:20:00	1,0000000016	4,1	0,089
2023-03-23	22:23:00	22:23:00	1	5,2	0,112
2023-03-23	22:25:00	22:26:00	2	4,1	0,09
2023-03-23	22:29:00	22:29:00	1	4,5	0,098
2023-03-23	22:31:00	22:31:00	1	4,5	0,098
2023-03-23	22:33:00	22:35:00	3	4,6	0,099
2023-03-23	22:37:00	22:38:00	2	4,6	0,099
2023-03-23	22:41:00	22:43:00	3	5,1	0,111
2023-03-23	22:45:00	22:54:00	10,000000002	4,8	0,104
2023-03-23	22:59:00	23:00:00	2	4,5	0,097
2023-03-23	23:02:00	23:04:00	2,9999999984	5	0,108
2023-03-23	23:06:00	23:07:00	2	4,1	0,089
2023-03-23	23:09:00	23:12:00	4	4,7	0,101
2023-03-23	23:15:00	23:18:00	4	4,3	0,094
2023-03-23	23:20:00	23:22:00	3	4,4	0,095

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-23	23:26:00	23:26:00	1	4,2	0,092
2023-03-25	12:13:00	13:22:00	70	6,4	0,138
2023-03-25	20:57:00	21:01:00	5	4,8	0,104
2023-03-25	21:03:00	21:06:00	4	4,6	0,099
2023-03-25	21:10:00	21:10:00	0,9999999837	4,3	0,093
2023-03-25	21:12:00	21:16:00	5	4,3	0,094
2023-03-25	21:19:00	21:19:00	1,000000016	5,6	0,12
2023-03-25	21:22:00	21:26:00	5	4,8	0,104
2023-03-25	21:28:00	21:31:00	4	4,7	0,101
2023-03-25	21:35:00	21:47:00	13,00000002	5	0,107

2023-03-25	21:49:00	22:08:00	20	4,8	0,104
2023-03-25	22:10:00	22:28:00	19	5,1	0,111
2023-03-25	22:31:00	22:31:00	1	5,5	0,118
2023-03-27	14:02:00	16:34:00	153	7,2	0,153
2023-11-02	20:10:00	20:10:00	1	4	0,087
2023-11-08	21:35:00	21:35:00	1,000000016	12,4	0,257
2023-11-09	19:12:00	19:12:00	1	12,5	0,258
2023-12-27	10:37:00	10:37:00	1	13	0,268
2023-12-27	13:47:00	15:14:00	87,99999998	11,6	0,242
Balkongdörr					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor
2023-01-07	12:34:00	12:37:00	3	67,1	0,935
2023-01-07	16:27:00	16:28:00	1	20,1	0,396
2023-01-07	21:34:00	21:34:00	1	5,5	0,118

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-01-10	22:02:00	22:02:00	1	19,3	0,383
2023-01-11	20:43:00	20:43:00	1	16,3	0,329
2023-01-27	12:54:00	12:54:00	1	4,5	0,097
2023-01-27	12:58:00	13:03:00	5	4,7	0,101
2023-01-27	13:40:00	13:42:00	1,999999984	42,6	0,723
2023-01-27	14:01:00	14:03:00	2	58	0,874
2023-01-27	14:12:00	14:13:00	1	10,1	0,212
2023-01-27	14:29:00	14:30:00	0,9999999837	56,8	0,864
2023-01-27	18:24:00	20:02:00	98	24	0,462
2023-01-27	20:06:00	20:14:00	8	5,1	0,111
2023-01-27	20:16:00	20:30:00	13,99999998	4,7	0,102
2023-01-27	20:33:00	20:33:00	1	4,2	0,092
2023-01-27	20:35:00	20:35:00	1	4	0,087
2023-01-27	20:37:00	20:37:00	1	4,3	0,094
2023-01-27	20:39:00	20:39:00	1	4,1	0,089
2023-01-27	20:43:00	20:43:00	1	4,2	0,091
2023-01-27	20:45:00	20:48:00	2,999999984	4,3	0,093
2023-01-27	20:50:00	20:50:00	1	4,1	0,089
2023-01-27	20:54:00	20:55:00	1	4,2	0,091
2023-01-27	20:58:00	20:58:00	1	4,1	0,089
2023-01-27	21:00:00	21:00:00	1	4,2	0,092
2023-01-27	21:09:00	21:09:00	1	4,2	0,09
2023-01-27	21:12:00	21:13:00	1	4,2	0,091
2023-01-27	21:15:00	21:15:00	1	4,9	0,105
2023-01-27	21:17:00	21:23:00	6	4,3	0,093
2023-01-27	21:25:00	21:25:00	1	6,3	0,136
2023-01-27	21:28:00	23:25:00	117	9,5	0,2

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-01-27	23:31:00	23:59:00	28	6,1	0,131
2023-01-28	00:00:00	01:30:00	90	5,9	0,127
2023-01-30	08:46:00	08:47:00	1	57	0,865
2023-02-05	16:14:00	16:14:00	1	10,6	0,221
2023-02-07	09:27:00	09:27:00	1	16,4	0,331
2023-02-07	09:30:00	09:30:00	1	15,7	0,318
2023-02-09	10:56:00	11:11:00	14,99999998	64,7	0,921
2023-02-11	17:24:00	17:24:00	1	34,8	0,623
2023-02-21	19:10:00	19:10:00	1	4,2	0,092
2023-02-21	19:38:00	19:38:00	1	4,1	0,09
2023-02-21	19:40:00	19:40:00	1	4,1	0,089
2023-02-21	19:42:00	19:43:00	1	4,1	0,089
2023-02-21	22:22:00	22:22:00	1	4,1	0,09
2023-02-21	23:51:00	23:51:00	1	4,1	0,089
2023-02-21	23:54:00	23:54:00	1	4,1	0,09
2023-02-21	23:56:00	23:56:00	1	4	0,087
2023-02-21	23:59:00	23:59:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	00:00:00	00:00:00	1	4	0,088
2023-02-22	00:03:00	00:03:00	1	4	0,087
2023-02-22	00:05:00	00:05:00	1	4	0,087
2023-02-22	00:10:00	00:10:00	1	4,4	0,094
2023-02-22	00:21:00	00:21:00	1	4,4	0,096
2023-02-22	00:23:00	00:25:00	2	4,1	0,09
2023-02-22	00:28:00	00:28:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	00:33:00	00:34:00	1	4	0,088
2023-02-22	00:38:00	00:40:00	2	4,2	0,091
2023-02-22	00:44:00	00:45:00	1	4,3	0,093

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-22	00:47:00	00:48:00	1	4,5	0,097
2023-02-22	00:53:00	00:53:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	00:55:00	00:56:00	0,9999999837	4,5	0,098
2023-02-22	00:58:00	00:58:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	01:02:00	01:02:00	1	4,1	0,088
2023-02-22	01:09:00	01:09:00	1	4	0,087
2023-02-22	01:11:00	01:13:00	1,999999984	4,1	0,09
2023-02-22	01:15:00	01:15:00	1	4,5	0,097
2023-02-22	01:48:00	01:48:00	1	4,2	0,09
2023-02-22	01:53:00	01:53:00	1	4,2	0,091
2023-02-22	05:55:00	05:57:00	2	4,1	0,088
2023-02-22	06:01:00	06:02:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	06:04:00	06:07:00	3	4,2	0,091
2023-02-22	06:09:00	06:09:00	1	4,5	0,097
2023-02-22	06:11:00	06:11:00	1	4,2	0,092
2023-02-22	06:14:00	06:14:00	1	4,1	0,088
2023-02-22	06:17:00	06:17:00	1	4	0,087

2023-02-22	06:28:00	06:28:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	06:33:00	06:33:00	1	4	0,088
2023-02-22	06:35:00	06:35:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	06:39:00	06:39:00	1	4	0,087
2023-02-22	06:41:00	06:47:00	6	4,1	0,089
2023-02-22	06:52:00	06:53:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	06:55:00	06:56:00	0,9999999837	4,2	0,09
2023-02-22	07:05:00	07:05:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	07:07:00	07:07:00	1	4	0,087

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-22	07:09:00	07:09:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	07:11:00	07:13:00	1,999999984	4,2	0,091
2023-02-22	07:16:00	07:16:00	1	4	0,087
2023-02-22	07:22:00	07:22:00	1	4,3	0,094
2023-02-22	07:25:00	07:25:00	1	4	0,087
2023-02-22	07:36:00	07:39:00	3	4,1	0,089
2023-02-22	07:44:00	07:44:00	1	4,2	0,091
2023-02-22	07:46:00	07:48:00	2	4,2	0,092
2023-02-22	07:51:00	07:51:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	08:03:00	08:03:00	1	4	0,087
2023-02-22	08:05:00	08:05:00	1	4	0,087
2023-02-22	08:07:00	08:08:00	1	4,3	0,092
2023-02-22	08:11:00	08:11:00	1	4	0,087
2023-02-22	08:13:00	08:13:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	08:15:00	08:16:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	08:18:00	08:19:00	1	4,2	0,092
2023-02-22	08:21:00	08:21:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	08:23:00	08:23:00	1	4	0,087
2023-02-22	08:48:00	08:48:00	1	4,3	0,094
2023-02-22	08:50:00	08:50:00	1	4	0,087
2023-02-22	08:55:00	08:55:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	08:58:00	08:58:00	1	4	0,087
2023-02-22	09:00:00	09:00:00	1	4,4	0,095
2023-02-22	09:03:00	09:03:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	09:11:00	09:11:00	1	4,2	0,09
2023-02-22	09:14:00	09:15:00	0,9999999837	4,2	0,09
2023-02-22	09:19:00	09:19:00	1	4,1	0,089

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-22	09:25:00	09:25:00	1	4,1	0,09
2023-02-22	09:31:00	09:33:00	2	4,1	0,088
2023-02-22	09:37:00	09:37:00	1	4,2	0,09
2023-02-22	09:40:00	09:41:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	12:02:00	12:02:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	12:07:00	12:07:00	1	4,4	0,095
2023-02-22	12:10:00	12:10:00	1	4,2	0,091
2023-02-22	12:12:00	12:12:00	1	4,3	0,093

2023-02-22	12:14:00	12:14:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	12:16:00	12:16:00	1	4	0,087
2023-02-22	12:21:00	12:21:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	17:19:00	17:19:00	1	4	0,087
2023-02-22	18:47:00	18:56:00	9	19,8	0,392
2023-02-25	02:31:00	02:31:00	1	4,1	0,089
2023-02-25	05:27:00	05:27:00	1	4	0,088
2023-02-25	06:45:00	06:45:00	1	4,1	0,09
2023-02-25	06:47:00	06:48:00	1	4,2	0,092
2023-02-25	08:26:00	08:26:00	1	4	0,087
2023-02-25	08:33:00	08:33:00	1	4	0,088
2023-02-25	10:36:00	10:36:00	1	4,1	0,089
2023-02-25	22:38:00	22:38:00	1	4,2	0,09
2023-02-25	22:40:00	22:43:00	2,999999984	4,1	0,09
2023-02-25	22:45:00	22:49:00	4	4,2	0,092
2023-02-25	22:52:00	22:57:00	5	4,2	0,091
2023-02-25	23:00:00	23:02:00	1,999999984	4,3	0,093
2023-02-25	23:04:00	23:09:00	5	4,4	0,096

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-25	23:16:00	23:18:00	2	4,3	0,093
2023-02-25	23:21:00	23:58:00	37	4,4	0,096
2023-02-26	00:00:00	00:02:00	2	4,4	0,095
2023-02-26	00:04:00	00:08:00	4	4,3	0,094
2023-02-26	00:10:00	00:15:00	4,999999967	4,3	0,094
2023-02-26	00:18:00	00:19:00	0,9999999837	4,4	0,096
2023-02-26	00:21:00	00:34:00	13	4,3	0,094
2023-02-26	00:36:00	00:50:00	14	4,4	0,095
2023-02-26	00:53:00	00:56:00	3	4,4	0,096
2023-02-26	00:58:00	00:58:00	1	4,4	0,095
2023-02-26	01:00:00	01:03:00	3,000000016	4,2	0,09
2023-02-26	01:49:00	01:49:00	1	4,2	0,09
2023-02-26	01:59:00	02:07:00	8	4,3	0,093
2023-02-26	02:09:00	02:21:00	12	4,3	0,093
2023-02-26	02:23:00	02:23:00	1	4,8	0,103
2023-02-26	02:25:00	02:32:00	6,999999984	4,3	0,094
2023-02-26	02:34:00	02:57:00	23,00000002	4,3	0,094
2023-02-26	03:00:00	03:10:00	10,00000002	4,3	0,094
2023-02-26	03:12:00	03:14:00	2	4,4	0,095
2023-02-26	03:18:00	03:18:00	1	4,2	0,09
2023-02-26	03:23:00	03:23:00	1	4,1	0,089
2023-02-26	03:26:00	03:26:00	1	4,1	0,089
2023-02-26	03:29:00	03:33:00	4	4,3	0,093
2023-02-26	03:35:00	03:46:00	11,00000002	4,3	0,093
2023-02-26	03:48:00	03:57:00	9	4,4	0,096
2023-02-26	03:59:00	04:37:00	38	4,4	0,096

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-26	04:39:00	04:41:00	2	4,4	0,095
2023-02-26	04:43:00	05:02:00	19	4,5	0,097
2023-02-26	05:04:00	05:40:00	36	4,3	0,094
2023-02-26	05:42:00	05:50:00	7,999999984	4,3	0,094
2023-02-26	05:52:00	05:57:00	5	4,4	0,096
2023-02-26	05:59:00	06:00:00	1	4,5	0,098
2023-02-26	06:26:00	06:34:00	7,999999984	4,5	0,098
2023-02-26	06:36:00	06:43:00	7	4,3	0,094
2023-02-26	06:45:00	06:46:00	1	4,3	0,092
2023-02-26	06:48:00	07:14:00	26	4,5	0,098
2023-02-26	07:16:00	07:20:00	3,999999984	4,3	0,093
2023-02-26	07:22:00	07:38:00	16	4,5	0,098
2023-02-26	07:40:00	08:25:00	45	4,5	0,097
2023-02-26	08:28:00	08:28:00	1	4,2	0,091
2023-02-26	08:30:00	08:47:00	17,00000002	4,4	0,095
2023-02-26	08:53:00	09:03:00	10	4,5	0,098
2023-02-26	09:18:00	09:18:00	1	4	0,087
2023-02-26	09:27:00	09:28:00	1	4,3	0,094
2023-02-26	09:33:00	09:37:00	4	4,1	0,089
2023-02-26	09:42:00	09:42:00	1	4,3	0,093
2023-02-26	09:47:00	09:48:00	1	4,1	0,089
2023-02-26	09:50:00	09:50:00	1	4,3	0,093
2023-02-26	09:52:00	09:52:00	1	4,2	0,091
2023-02-26	09:57:00	09:57:00	1	4,1	0,09
2023-02-26	10:14:00	10:16:00	2	4,1	0,089
2023-02-26	10:30:00	10:30:00	1	4,1	0,088
2023-02-26	11:04:00	11:11:00	7	4,3	0,094

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-26	11:37:00	11:37:00	1	4,1	0,089
2023-02-26	12:04:00	12:04:00	1	4	0,087
2023-02-26	12:09:00	12:09:00	1	4	0,087
2023-02-26	12:13:00	12:13:00	1	4,3	0,093
2023-02-26	12:40:00	12:42:00	2	4,1	0,089
2023-02-26	12:50:00	16:50:00	240	26,7	0,505
2023-02-27	15:54:00	16:35:00	41	62,3	0,905
2023-03-05	09:06:00	09:06:00	1	4,1	0,09
2023-03-05	10:47:00	10:47:00	1	4	0,087
2023-03-05	11:06:00	11:06:00	1	4,1	0,089
2023-03-05	11:17:00	11:17:00	1	4,2	0,09
2023-03-05	11:34:00	11:34:00	1	4,1	0,09
2023-03-05	11:55:00	11:55:00	1	4,2	0,091
2023-03-05	12:02:00	12:02:00	1	4,1	0,088
2023-03-05	12:16:00	12:16:00	1	4	0,088
2023-03-05	12:45:00	12:45:00	1	4	0,087
2023-03-05	13:10:00	13:10:00	1	4	0,088

2023-03-05	15:56:00	15:56:00	1	4	0,088
2023-03-05	17:27:00	17:28:00	1	4,1	0,089
2023-03-05	17:31:00	17:31:00	1	4	0,087
2023-03-05	18:07:00	18:07:00	1	4,1	0,088
2023-03-05	18:15:00	18:16:00	1,000000016	4,2	0,09
2023-03-05	19:17:00	19:17:00	1	4,2	0,091
2023-03-05	19:19:00	19:23:00	4	4,2	0,092
2023-03-05	19:25:00	19:25:00	1	4,5	0,097
2023-03-05	19:31:00	19:31:00	1	4	0,088

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-05	19:33:00	19:34:00	1	4,2	0,09
2023-03-05	19:39:00	19:40:00	1,0000000016	4,1	0,089
2023-03-05	19:42:00	19:42:00	1	4,2	0,091
2023-03-05	19:44:00	19:44:00	1	4,1	0,088
2023-03-05	19:46:00	19:46:00	1	4,3	0,093
2023-03-05	19:49:00	19:49:00	1	4	0,088
2023-03-05	19:52:00	19:53:00	1	4	0,088
2023-03-05	21:54:00	21:58:00	4	4,2	0,091
2023-03-05	22:02:00	22:05:00	3	4,1	0,09
2023-03-05	22:08:00	22:09:00	1	4,5	0,097
2023-03-05	22:16:00	22:18:00	2	4,4	0,096
2023-03-05	22:20:00	22:25:00	5,0000000016	4,2	0,092
2023-03-05	22:29:00	22:31:00	2	4,1	0,089
2023-03-05	22:33:00	22:45:00	11,999999998	4,2	0,091
2023-03-05	22:48:00	22:56:00	8,0000000016	4,3	0,094
2023-03-05	22:58:00	23:00:00	2,0000000016	4,3	0,094
2023-03-05	23:03:00	23:03:00	1	4	0,088
2023-03-05	23:06:00	23:06:00	1	4,5	0,099
2023-03-05	23:08:00	23:09:00	1	4,2	0,091
2023-03-05	23:11:00	23:11:00	1	4,2	0,092
2023-03-05	23:13:00	23:16:00	3	4,4	0,095
2023-03-05	23:18:00	23:20:00	2	4,4	0,095
2023-03-05	23:22:00	23:23:00	1	4,4	0,095
2023-03-05	23:25:00	23:25:00	1	4	0,088
2023-03-05	23:28:00	23:30:00	1,9999999984	4,1	0,09
2023-03-05	23:32:00	23:32:00	1	4,2	0,092
2023-03-05	23:34:00	23:37:00	3,0000000016	4,1	0,089

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-05	23:39:00	23:39:00	1	4,1	0,089
2023-03-05	23:42:00	23:46:00	4	4,3	0,093
2023-03-06	01:42:00	01:45:00	2,999999984	4,3	0,093
2023-03-06	01:47:00	01:48:00	1	4,3	0,094
2023-03-06	01:51:00	01:52:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	01:55:00	01:55:00	1	4	0,087
2023-03-06	01:58:00	02:11:00	13	4,4	0,095
2023-03-06	02:14:00	02:14:00	1	4,2	0,09

2023-03-06	02:16:00	02:16:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	02:18:00	02:18:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	02:22:00	02:23:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	02:25:00	02:36:00	10,99999998	4,2	0,092
2023-03-06	02:38:00	02:41:00	3,000000016	4,2	0,09
2023-03-06	02:43:00	02:44:00	1	4,3	0,092
2023-03-06	02:46:00	02:48:00	2	4,2	0,091
2023-03-06	02:51:00	02:52:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	02:54:00	02:57:00	3	4,4	0,096
2023-03-06	02:59:00	03:00:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	03:26:00	03:28:00	1,999999984	4,2	0,091
2023-03-06	03:30:00	03:35:00	4,999999967	4,3	0,093
2023-03-06	03:41:00	03:48:00	7	4,3	0,093
2023-03-06	03:51:00	04:01:00	10	4,2	0,091
2023-03-06	04:04:00	04:05:00	1,000000016	4,1	0,089
2023-03-06	04:07:00	04:07:00	1	4,1	0,089
2023-03-06	04:09:00	04:15:00	6,000000016	4,3	0,093
2023-03-06	04:20:00	04:20:00	1	4,2	0,091

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-06	04:22:00	04:22:00	1	4,1	0,089
2023-03-06	04:24:00	04:26:00	2	4,3	0,093
2023-03-06	04:28:00	04:28:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	04:30:00	04:30:00	1	4,1	0,088
2023-03-06	04:32:00	04:37:00	5	4,3	0,094
2023-03-06	04:41:00	04:42:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	04:44:00	04:44:00	1	4,1	0,089
2023-03-06	04:46:00	04:47:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	04:49:00	04:58:00	9,000000016	4,2	0,092
2023-03-06	05:00:00	05:01:00	0,9999999837	4,5	0,097
2023-03-06	05:03:00	05:05:00	1,999999984	4,2	0,092
2023-03-06	05:07:00	05:12:00	5	4,2	0,092
2023-03-06	05:14:00	05:15:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	05:17:00	05:19:00	2	4,3	0,093
2023-03-06	05:21:00	05:24:00	3	4,3	0,094
2023-03-06	05:26:00	05:26:00	1	4,1	0,089
2023-03-06	05:28:00	05:28:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	05:31:00	05:32:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	05:38:00	05:38:00	1	4,5	0,098
2023-03-06	05:40:00	05:42:00	2	4,2	0,092
2023-03-06	05:44:00	05:44:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	05:49:00	05:58:00	9	4,2	0,091
2023-03-06	06:00:00	06:02:00	2	4,2	0,092
2023-03-06	06:04:00	06:06:00	2	4,3	0,093
2023-03-06	06:09:00	06:09:00	1	4,5	0,098
2023-03-06	06:11:00	06:19:00	7,999999984	4,3	0,094

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-06	06:21:00	06:24:00	3	4,3	0,093
2023-03-06	06:26:00	06:28:00	1,999999984	4,5	0,098
2023-03-06	06:30:00	06:31:00	0,9999999837	4,2	0,092
2023-03-06	06:33:00	06:42:00	9	4,3	0,093
2023-03-06	06:44:00	06:44:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	06:46:00	06:50:00	4	4,5	0,098
2023-03-06	06:52:00	07:01:00	9	4,3	0,094
2023-03-06	07:04:00	07:09:00	5,000000016	4,3	0,094
2023-03-06	07:11:00	07:15:00	4	4,4	0,096
2023-03-06	07:17:00	07:26:00	9	4,3	0,093
2023-03-06	07:28:00	07:30:00	2	4,4	0,095
2023-03-06	07:32:00	07:33:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	07:36:00	07:36:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	07:41:00	07:42:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	07:44:00	07:50:00	6	4,2	0,09
2023-03-06	07:52:00	07:52:00	1	4,1	0,089
2023-03-06	07:54:00	08:06:00	12	4,3	0,092
2023-03-06	08:08:00	08:09:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	08:11:00	08:12:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	08:14:00	08:23:00	9	4,1	0,09
2023-03-06	08:26:00	08:26:00	1	4,3	0,094
2023-03-06	08:28:00	08:29:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	08:31:00	08:34:00	2,999999984	4,3	0,093
2023-03-06	08:37:00	08:37:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	08:42:00	08:44:00	2	4,2	0,091
2023-03-06	08:46:00	08:46:00	1	4,3	0,094
2023-03-06	08:48:00	08:49:00	1	4,3	0,094

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-06	08:51:00	08:52:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	08:54:00	08:54:00	1	4,3	0,092
2023-03-06	08:56:00	09:02:00	6	4,3	0,093
2023-03-06	09:05:00	09:06:00	1	4,4	0,096
2023-03-06	09:08:00	09:08:00	1	4,1	0,088
2023-03-06	09:11:00	09:12:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	09:15:00	09:17:00	2,000000016	4,3	0,094
2023-03-06	09:22:00	09:22:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	09:24:00	09:25:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	09:28:00	09:28:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	09:31:00	09:37:00	6	4,2	0,091
2023-03-06	09:39:00	09:40:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	09:42:00	09:50:00	8	4,3	0,093
2023-03-06	09:52:00	09:52:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	09:54:00	09:54:00	1	4,1	0,089
2023-03-06	09:56:00	09:56:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	09:58:00	09:58:00	1	4,1	0,09

2023-03-06	10:01:00	10:01:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	10:04:00	10:08:00	4,000000016	4,1	0,09
2023-03-06	10:10:00	10:11:00	1,000000016	4,4	0,095
2023-03-06	10:15:00	10:26:00	10,99999998	4,4	0,095
2023-03-06	10:39:00	10:45:00	5,999999984	4,1	0,09
2023-03-06	10:51:00	10:55:00	4	4,1	0,09
2023-03-06	10:57:00	11:05:00	7,999999984	4,3	0,093
2023-03-06	11:07:00	11:07:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	11:09:00	11:11:00	2	4,2	0,091

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-06	11:13:00	11:13:00	1	4,1	0,088
2023-03-06	11:17:00	11:22:00	5	4,3	0,093
2023-03-06	11:24:00	11:24:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	11:26:00	11:26:00	1	4,3	0,094
2023-03-06	11:29:00	11:29:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	11:32:00	11:32:00	1	4	0,087
2023-03-06	11:34:00	11:35:00	1,000000016	4,3	0,094
2023-03-06	11:40:00	11:49:00	9	4,3	0,092
2023-03-06	11:53:00	11:57:00	4	4,2	0,091
2023-03-06	11:59:00	11:59:00	1	4,4	0,095
2023-03-06	12:02:00	12:02:00	1	4	0,088
2023-03-06	12:04:00	12:06:00	2	4,1	0,089
2023-03-06	12:08:00	12:10:00	2,000000016	4,3	0,093
2023-03-06	12:14:00	12:16:00	2	4,2	0,09
2023-03-06	12:19:00	12:19:00	1	4	0,087
2023-03-06	12:24:00	12:24:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	12:26:00	12:26:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	12:31:00	12:33:00	2	4,1	0,088
2023-03-06	12:35:00	12:36:00	1,000000016	4,2	0,091
2023-03-06	12:40:00	12:42:00	2	4,1	0,088
2023-03-06	13:12:00	13:13:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	13:15:00	13:15:00	1	4,1	0,089
2023-03-06	13:17:00	13:17:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	13:21:00	13:21:00	1	4	0,088
2023-03-06	13:24:00	13:25:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	13:35:00	13:37:00	2	4,1	0,089
2023-03-06	13:40:00	13:40:00	1	4,2	0,09

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-06	13:45:00	13:45:00	1	4	0,087
2023-03-06	13:48:00	13:48:00	1	4	0,087
2023-03-06	13:54:00	13:56:00	2,000000016	4,3	0,093
2023-03-06	15:29:00	15:29:00	1	4,1	0,088
2023-03-06	15:35:00	15:35:00	1	4,4	0,096
2023-03-06	15:37:00	15:38:00	1	4	0,088
2023-03-06	15:42:00	15:42:00	1	4	0,087
2023-03-06	15:45:00	15:46:00	1	4,1	0,088

2023-03-06	15:48:00	15:49:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	15:52:00	15:56:00	4	4,2	0,092
2023-03-06	15:58:00	15:58:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	16:02:00	23:59:00	477	89,6	1
2023-03-07	00:00:00	13:43:00	823	90	1
2023-03-07	13:45:00	23:59:00	614	90	1
2023-03-08	00:00:00	13:09:00	789	90	1
2023-03-16	23:07:00	23:59:00	52	4,7	0,101
2023-03-17	00:00:00	03:05:00	185	5,1	0,111
2023-03-20	23:02:00	23:59:00	57	21,3	0,418
2023-03-21	00:00:00	23:37:00	1417	15	0,306
2023-03-21	23:39:00	23:46:00	7	4,4	0,095
2023-03-21	23:48:00	23:59:00	11	4,4	0,095
2023-03-22	00:00:00	00:05:00	5	4,3	0,093
2023-03-22	00:07:00	00:13:00	6	4,2	0,091
2023-03-22	00:15:00	07:47:00	452	4,4	0,095
2023-03-22	07:54:00	07:54:00	1	4	0,087
2023-03-22	07:58:00	07:59:00	1	4,1	0,09

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-22	08:01:00	08:01:00	1	4	0,087
2023-03-22	08:03:00	08:03:00	1	4	0,088
2023-03-22	08:06:00	08:10:00	4	4,1	0,088
2023-03-22	08:12:00	08:12:00	1	4	0,087
2023-03-22	08:18:00	08:20:00	2	4,1	0,089
2023-03-22	08:23:00	08:24:00	1	4,1	0,09
2023-03-22	08:26:00	08:26:00	1	4,1	0,088
2023-03-22	08:33:00	08:33:00	1	4	0,087
2023-03-22	08:38:00	08:39:00	1	4,2	0,091
2023-03-22	08:41:00	08:41:00	1	4	0,087
2023-03-22	08:52:00	08:52:00	1	4	0,087
2023-03-22	08:54:00	08:54:00	1	4,2	0,092
2023-03-22	09:03:00	09:03:00	1	4,1	0,088
2023-03-22	09:14:00	12:00:00	166	5,9	0,127
2023-03-22	12:02:00	23:59:00	717	6	0,129
2023-03-23	00:00:00	08:27:00	507	4,6	0,1
2023-03-23	08:29:00	10:40:00	131	4,4	0,095
2023-03-23	10:42:00	10:47:00	5	4,2	0,091
2023-03-23	10:49:00	10:51:00	2,000000016	4,1	0,089
2023-03-23	10:53:00	10:56:00	3,000000016	4,2	0,092
2023-03-23	10:58:00	11:01:00	3	4,2	0,092
2023-03-23	11:03:00	11:28:00	25	4,3	0,093
2023-03-23	11:30:00	11:30:00	1	4	0,088
2023-03-23	11:33:00	11:33:00	1	4,2	0,091
2023-03-23	11:37:00	11:37:00	1	4,2	0,092
2023-03-23	11:39:00	11:41:00	2,000000016	4,2	0,092

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-23	11:43:00	11:43:00	1	4,2	0,091
2023-03-23	11:45:00	11:49:00	3,999999984	4,4	0,095
2023-03-23	11:51:00	12:02:00	11	4,2	0,091
2023-03-23	15:39:00	15:39:00	1	4	0,087
2023-03-23	15:54:00	15:54:00	1	4	0,087
2023-03-25	11:04:00	11:04:00	1	4	0,087
2023-03-25	11:06:00	11:06:00	1	4	0,087
2023-03-25	11:45:00	11:47:00	1,999999984	4,1	0,089
2023-03-25	11:49:00	11:49:00	1	4,1	0,09
2023-03-25	11:53:00	11:55:00	2	4,1	0,089
2023-03-25	11:57:00	11:58:00	1	4,2	0,091
2023-03-25	12:00:00	12:00:00	1	4	0,088
2023-03-25	12:02:00	12:02:00	1	4,1	0,089
2023-03-25	12:04:00	12:04:00	1	4	0,088
2023-03-25	12:06:00	12:06:00	1	4	0,087
2023-03-25	12:09:00	12:09:00	1	4,2	0,09
2023-03-25	12:12:00	12:41:00	29	4,3	0,094
2023-03-25	12:43:00	12:48:00	5	4,1	0,09
2023-03-25	12:50:00	12:58:00	8	4,2	0,091
2023-03-25	13:00:00	13:01:00	1,000000016	4,1	0,09
2023-03-25	13:03:00	13:03:00	1	4	0,087
2023-03-25	13:14:00	13:15:00	1,000000016	4,1	0,089
2023-03-25	13:19:00	13:22:00	3	4	0,088
2023-03-25	15:14:00	15:14:00	1	4	0,087
2023-03-25	15:27:00	15:27:00	1	4	0,087
2023-03-25	21:12:00	21:13:00	1	4	0,088
2023-03-25	21:19:00	21:19:00	1	4,2	0,091

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-25	21:23:00	21:25:00	2	4,1	0,089
2023-03-25	21:27:00	21:31:00	4	4,1	0,089
2023-03-25	21:34:00	21:34:00	1	4,6	0,1
2023-03-25	22:46:00	23:59:00	73	8,1	0,172
2023-03-26	00:00:00	08:04:00	484	8	0,17
2023-03-26	08:10:00	08:11:00	1	4	0,087
2023-03-26	08:14:00	08:14:00	1	4,1	0,088
2023-03-26	08:16:00	08:21:00	5	4,1	0,09
2023-03-26	08:23:00	08:23:00	1	4	0,088
2023-03-26	08:25:00	08:28:00	2,999999984	4,2	0,091
2023-03-26	08:30:00	08:35:00	5,000000016	4,2	0,091
2023-03-26	08:39:00	08:41:00	2,000000016	4,1	0,089
2023-03-26	08:43:00	08:43:00	1	4	0,088
2023-03-26	08:51:00	08:51:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	08:54:00	08:55:00	1	4	0,088
2023-03-26	08:58:00	08:58:00	1	4	0,088
2023-03-26	09:01:00	09:04:00	3	4,1	0,09

2023-03-26	09:09:00	09:09:00	1	4	0,087
2023-03-26	09:11:00	09:11:00	1	4,2	0,092
2023-03-26	09:13:00	09:14:00	1	4,1	0,09
2023-03-26	09:21:00	09:22:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	09:53:00	09:54:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	09:56:00	09:56:00	1	4	0,088
2023-03-26	09:59:00	10:00:00	0,9999999837	4,1	0,089
2023-03-26	10:03:00	10:03:00	1	4	0,087
2023-03-26	10:05:00	10:05:00	1	4,2	0,091

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-26	10:07:00	10:07:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	10:10:00	10:10:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	10:16:00	10:17:00	1	4,3	0,093
2023-03-26	10:19:00	10:20:00	0,9999999837	4,1	0,09
2023-03-26	10:30:00	10:30:00	1	4	0,087
2023-03-26	10:43:00	10:47:00	4	4,2	0,091
2023-03-26	10:49:00	10:59:00	10,00000002	4,1	0,09
2023-03-26	11:01:00	11:05:00	3,999999984	4,2	0,091
2023-03-26	11:07:00	11:10:00	3	4,1	0,089
2023-03-26	11:13:00	11:28:00	15	4,2	0,09
2023-03-26	11:31:00	11:33:00	2	4,1	0,089
2023-03-26	11:35:00	11:36:00	1	4,1	0,09
2023-03-26	11:38:00	11:43:00	5	4,1	0,089
2023-03-26	11:45:00	11:46:00	0,9999999837	4,1	0,088
2023-03-26	11:48:00	11:53:00	5	4,3	0,092
2023-03-26	11:55:00	11:56:00	1	4,2	0,091
2023-03-26	11:58:00	12:04:00	6	4,2	0,091
2023-03-26	12:06:00	12:06:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	12:08:00	12:14:00	6	4,2	0,091
2023-03-26	12:16:00	12:19:00	2,999999984	4,2	0,092
2023-03-26	12:21:00	12:22:00	1	4,2	0,091
2023-03-26	12:24:00	12:24:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	12:27:00	12:27:00	1	4,1	0,09
2023-03-26	12:29:00	12:31:00	2	4,2	0,091
2023-03-26	12:33:00	12:42:00	9	4,1	0,088
2023-03-26	12:44:00	13:18:00	34	4,3	0,093
2023-03-26	13:20:00	17:27:00	247	4,5	0,098

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-26	17:29:00	18:03:00	34	4,3	0,093
2023-03-26	18:05:00	18:07:00	2	4,4	0,095
2023-03-26	18:09:00	19:06:00	57	4,4	0,095
2023-03-26	19:08:00	20:27:00	79	4,4	0,094
2023-03-26	20:29:00	23:24:00	175	4,3	0,093
2023-03-26	23:26:00	23:59:00	33	6,8	0,146
2023-03-27	00:00:00	16:03:00	963	6,2	0,134
2023-03-30	15:39:00	15:39:00	1	4	0,087

2023-03-30	15:54:00	15:54:00	1	4	0,087
2023-11-04	12:08:00	12:15:00	6,999999984	23	0,446
2023-11-06	08:05:00	08:07:00	2,000000016	54,7	0,847
2023-11-08	21:07:00	21:07:00	1	22,4	0,436
2023-11-19	17:34:00	17:43:00	9,000000016	83,2	0,994
2023-11-20	20:54:00	20:54:00	1	11,1	0,232
2023-11-25	11:30:00	11:31:00	1,000000016	4,4	0,096
2023-11-25	14:40:00	14:40:00	1	18,6	0,371
2023-11-25	16:09:00	16:09:00	1	8,4	0,178
2023-11-26	15:36:00	15:37:00	1	33,6	0,607
2023-12-01	19:40:00	19:41:00	0,9999999837	13,6	0,279
2023-12-09	13:21:00	14:02:00	41	85,6	0,998
2023-12-09	14:32:00	14:33:00	1	4,6	0,101
2023-12-09	21:41:00	21:41:00	1	35,8	0,638
2023-12-21	17:41:00	17:41:00	1	7	0,149

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-12-23	12:20:00	12:21:00	1	57,4	0,868
2023-12-23	12:44:00	12:44:00	1	22,1	0,43
2023-12-23	15:27:00	15:30:00	3,000000016	45,9	0,76
2023-12-23	15:34:00	15:34:00	1	8,6	0,182
2023-12-23	15:53:00	15:57:00	4	60,1	0,89
2023-12-24	14:20:00	14:20:00	1	16,7	0,336
2023-12-24	14:50:00	14:50:00	1	20,2	0,399
2023-12-25	13:01:00	13:01:00	1	19,3	0,382
2023-12-26	13:20:00	13:21:00	1,000000016	6,8	0,145
2023-12-27	13:38:00	13:42:00	4	71,6	0,958

Bilaga B – Vädringsschema 2

Vädringsschema 2					
Vardagsrumfönster vänster					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor
2023-03-11	20:36:00	20:52:00	17	6,6	0,141
2023-03-15	01:56:00	08:39:00	403	17,4	0,349
2023-03-23	10:33:00	23:27:00	775	7,3	0,155
Vardagsrumfönster höger					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor
2023-01-15	10:03:00	14:49:00	287	13,9	0,285
2023-01-27	13:56:00	23:59:00	604	3,1	0,068
2023-01-28	00:00:00	01:29:00	90	3,2	0,069
2023-03-15	01:57:00	08:41:00	405	17,3	0,348
Köksfönster					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor
2023-01-06	19:45:00	19:52:00	8	10,4	0,217
2023-01-19	12:50:00	12:50:00	1	4,1	0,089
2023-01-24	19:40:00	19:40:00	1	11,5	0,24
2023-01-27	12:54:00	16:16:00	203	11,3	0,235
2023-01-27	17:48:00	23:59:00	372	11,5	0,24
2023-01-28	00:00:00	00:11:00	12	11,2	0,233
2023-02-26	12:31:00	14:22:00	112	12,5	0,259

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-11	20:38:00	20:53:00	16	10	0,21
2023-03-17	11:23:00	23:59:00	757	8,9	0,187
2023-03-18	00:00:00	07:59:00	480	8,4	0,177
2023-03-21	20:22:00	23:59:00	218	9,5	0,201
2023-03-22	00:00:00	07:48:00	469	10,7	0,223
2023-03-23	11:45:00	13:01:00	77	10,8	0,226
2023-03-23	17:35:00	18:04:00	30	6,4	0,138
2023-03-23	19:20:00	19:20:00	1	4,2	0,092
2023-03-23	19:59:00	20:32:00	34	10,5	0,22
2023-03-23	20:35:00	20:37:00	3	3	0,065
2023-03-23	20:47:00	20:52:00	6	3,1	0,067
2023-03-23	20:57:00	20:58:00	2	4,6	0,101
2023-03-23	21:01:00	21:03:00	3	2,9	0,064
2023-03-23	21:07:00	21:07:00	1	4,3	0,093
2023-03-23	21:13:00	21:15:00	3	2,8	0,061
2023-03-23	21:19:00	21:20:00	2	4	0,087
2023-03-23	21:23:00	21:26:00	4	3,3	0,072
2023-03-23	21:29:00	21:29:00	1	4,6	0,1

2023-03-23	21:34:00	21:35:00	2	4,5	0,097
2023-03-23	21:37:00	21:53:00	17	3,7	0,081
2023-03-23	21:55:00	22:00:00	6	3,5	0,076
2023-03-23	22:03:00	22:06:00	4	4,8	0,104
2023-03-23	22:09:00	22:10:00	2	5,1	0,111
2023-03-23	22:13:00	22:20:00	8	3,4	0,075
2023-03-23	22:23:00	22:26:00	4	3,4	0,073
2023-03-23	22:29:00	22:38:00	10	3,2	0,07
2023-03-23	22:41:00	22:54:00	14	4,5	0,098
2023-03-23	22:59:00	23:12:00	14	3,6	0,079

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-23	23:15:00	23:22:00	8	3,8	0,083
2023-03-23	23:26:00	23:26:00	1	4,2	0,092
2023-03-25	12:13:00	13:22:00	70	6,4	0,138
2023-03-25	20:57:00	21:06:00	10	4,2	0,092
2023-03-25	21:10:00	21:16:00	7	3,7	0,081
2023-03-25	21:19:00	21:19:00	1	5,6	0,12
2023-03-25	21:22:00	21:31:00	10	4,3	0,093
2023-03-25	21:35:00	22:28:00	54	4,8	0,104
2023-03-25	22:31:00	22:31:00	1	5,5	0,118
2023-03-27	14:02:00	16:34:00	153	7,2	0,153
2023-11-02	20:10:00	20:10:00	1	4	0,087
2023-11-08	21:35:00	21:35:00	1	12,4	0,257
2023-11-09	19:12:00	19:12:00	1	12,5	0,258
2023-12-27	10:37:00	10:37:00	1	13	0,268
Balkongdörr					
Datum	Start	Slut	Tid (min)	Medel vinkel (°)	Öppningsfaktor
2023-01-07	12:34:00	12:37:00	4	67,1	0,935
2023-01-07	16:27:00	16:28:00	2	20,1	0,396
2023-01-07	21:34:00	21:34:00	1	5,5	0,118
2023-01-10	22:02:00	22:02:00	1	19,3	0,383
2023-01-11	20:43:00	20:43:00	1	16,3	0,329
2023-01-27	12:54:00	12:54:00	1	4,5	0,097
2023-01-27	12:58:00	13:03:00	6	4,7	0,101
2023-01-27	13:40:00	13:42:00	3	42,6	0,723
2023-01-27	14:01:00	14:03:00	3	58	0,874

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-01-27	14:12:00	14:13:00	2	10,1	0,212
2023-01-27	14:29:00	14:30:00	2	56,8	0,864
2023-01-27	18:24:00	20:02:00	99	24	0,462
2023-01-27	20:06:00	20:30:00	25	4,7	0,102
2023-01-27	20:33:00	20:39:00	7	2,4	0,052
2023-01-27	20:43:00	20:43:00	1	4,2	0,091

2023-01-27	20:45:00	20:50:00	6	3,5	0,077
2023-01-27	20:54:00	20:55:00	2	4,2	0,091
2023-01-27	20:58:00	21:00:00	3	2,8	0,061
2023-01-27	21:09:00	21:09:00	1	4,2	0,09
2023-01-27	21:12:00	21:15:00	4	3,3	0,072
2023-01-27	21:17:00	21:25:00	9	4	0,088
2023-01-27	21:28:00	23:25:00	118	9,5	0,2
2023-01-27	23:31:00	23:59:00	29	6,1	0,131
2023-01-28	00:00:00	01:30:00	91	5,9	0,127
2023-01-30	08:46:00	08:47:00	2	57	0,865
2023-02-05	16:14:00	16:14:00	1	10,6	0,221
2023-02-07	09:27:00	09:27:00	1	16,4	0,331
2023-02-07	09:30:00	09:30:00	1	15,7	0,318
2023-02-09	10:56:00	11:11:00	16	64,7	0,921
2023-02-11	17:24:00	17:24:00	1	34,8	0,623
2023-02-21	19:10:00	19:10:00	1	4,2	0,092
2023-02-21	19:38:00	19:38:00	1	4,1	0,09
2023-02-21	19:40:00	19:43:00	4	3,1	0,067
2023-02-21	22:22:00	22:22:00	1	4,1	0,09
2023-02-21	23:51:00	23:51:00	1	4,1	0,089
2023-02-21	23:54:00	23:56:00	3	2,7	0,06

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-21	23:59:00	23:59:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	00:00:00	00:00:00	1	4	0,088
2023-02-22	00:03:00	00:05:00	3	2,7	0,059
2023-02-22	00:10:00	00:10:00	1	4,4	0,094
2023-02-22	00:21:00	00:25:00	5	3,4	0,073
2023-02-22	00:28:00	00:28:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	00:33:00	00:34:00	2	4	0,088
2023-02-22	00:38:00	00:40:00	3	4,2	0,091
2023-02-22	00:44:00	00:48:00	5	3,5	0,076
2023-02-22	00:53:00	00:53:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	00:55:00	00:58:00	4	3,3	0,071
2023-02-22	01:02:00	01:02:00	1	4,1	0,088
2023-02-22	01:09:00	01:09:00	1	4	0,087
2023-02-22	01:11:00	01:13:00	3	4,1	0,09
2023-02-22	01:15:00	01:15:00	1	4,5	0,097
2023-02-22	01:48:00	01:48:00	1	4,2	0,09
2023-02-22	01:53:00	01:53:00	1	4,2	0,091
2023-02-22	05:55:00	05:57:00	3	4,1	0,088
2023-02-22	06:01:00	06:11:00	11	3,1	0,067
2023-02-22	06:14:00	06:14:00	1	4,1	0,088
2023-02-22	06:17:00	06:17:00	1	4	0,087
2023-02-22	06:28:00	06:28:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	06:33:00	06:35:00	3	2,7	0,06

2023-02-22	06:39:00	06:47:00	9	3,6	0,079
2023-02-22	06:52:00	06:53:00	2	4,1	0,089
2023-02-22	06:55:00	06:56:00	2	4,2	0,09

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-22	07:05:00	07:09:00	5	2,5	0,054
2023-02-22	07:11:00	07:13:00	3	4,2	0,091
2023-02-22	07:16:00	07:16:00	1	4	0,087
2023-02-22	07:22:00	07:22:00	1	4,3	0,094
2023-02-22	07:25:00	07:25:00	1	4	0,087
2023-02-22	07:36:00	07:39:00	4	4,1	0,089
2023-02-22	07:44:00	07:48:00	5	3,4	0,074
2023-02-22	07:51:00	07:51:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	08:03:00	08:05:00	3	2,7	0,059
2023-02-22	08:07:00	08:08:00	2	4,3	0,092
2023-02-22	08:11:00	08:23:00	13	2,6	0,056
2023-02-22	08:48:00	08:50:00	3	2,8	0,061
2023-02-22	08:55:00	08:55:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	08:58:00	09:00:00	3	2,8	0,061
2023-02-22	09:03:00	09:03:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	09:11:00	09:11:00	1	4,2	0,09
2023-02-22	09:14:00	09:15:00	2	4,2	0,09
2023-02-22	09:19:00	09:19:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	09:25:00	09:25:00	1	4,1	0,09
2023-02-22	09:31:00	09:33:00	3	4,1	0,088
2023-02-22	09:37:00	09:37:00	1	4,2	0,09
2023-02-22	09:40:00	09:41:00	2	4,1	0,089
2023-02-22	12:02:00	12:02:00	1	4,1	0,089
2023-02-22	12:07:00	12:07:00	1	4,4	0,095
2023-02-22	12:10:00	12:16:00	7	2,4	0,053
2023-02-22	12:21:00	12:21:00	1	4,3	0,093
2023-02-22	17:19:00	17:19:00	1	4	0,087

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-22	18:47:00	18:56:00	10	19,8	0,392
2023-02-25	02:31:00	02:31:00	1	4,1	0,089
2023-02-25	05:27:00	05:27:00	1	4	0,088
2023-02-25	06:45:00	06:48:00	4	3,2	0,069
2023-02-25	08:26:00	08:26:00	1	4	0,087
2023-02-25	08:33:00	08:33:00	1	4	0,088
2023-02-25	10:36:00	10:36:00	1	4,1	0,089
2023-02-25	22:38:00	22:38:00	1	4,2	0,09
2023-02-25	22:40:00	22:49:00	10	3,8	0,082
2023-02-25	22:52:00	22:57:00	6	4,2	0,091
2023-02-25	23:00:00	23:02:00	3	4,3	0,093
2023-02-25	23:04:00	23:09:00	6	4,4	0,096
2023-02-25	23:16:00	23:18:00	3	4,3	0,093
2023-02-25	23:21:00	23:58:00	38	4,4	0,096

2023-02-26	00:00:00	00:08:00	9	3,9	0,084
2023-02-26	00:10:00	00:15:00	6	4,3	0,094
2023-02-26	00:18:00	00:19:00	2	4,4	0,096
2023-02-26	00:21:00	00:50:00	30	4,2	0,092
2023-02-26	00:53:00	01:03:00	11	3,5	0,077
2023-02-26	01:49:00	01:49:00	1	4,2	0,09
2023-02-26	01:59:00	02:23:00	25	4	0,086
2023-02-26	02:25:00	02:57:00	33	4,2	0,091
2023-02-26	03:00:00	03:14:00	15	4,1	0,088
2023-02-26	03:18:00	03:18:00	1	4,2	0,09
2023-02-26	03:23:00	03:23:00	1	4,1	0,089
2023-02-26	03:26:00	03:26:00	1	4,1	0,089

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-02-26	03:29:00	05:50:00	142	4,2	0,091
2023-02-26	05:52:00	06:00:00	9	3,9	0,086
2023-02-26	06:26:00	07:20:00	55	4,1	0,09
2023-02-26	07:22:00	07:38:00	17	4,5	0,098
2023-02-26	07:40:00	08:25:00	46	4,5	0,097
2023-02-26	08:28:00	08:47:00	20	4,2	0,091
2023-02-26	08:53:00	09:03:00	11	4,5	0,098
2023-02-26	09:18:00	09:18:00	1	4	0,087
2023-02-26	09:27:00	09:28:00	2	4,3	0,094
2023-02-26	09:33:00	09:37:00	5	4,1	0,089
2023-02-26	09:42:00	09:42:00	1	4,3	0,093
2023-02-26	09:47:00	09:52:00	6	2,8	0,061
2023-02-26	09:57:00	09:57:00	1	4,1	0,09
2023-02-26	10:14:00	10:16:00	3	4,1	0,089
2023-02-26	10:30:00	10:30:00	1	4,1	0,088
2023-02-26	11:04:00	11:11:00	8	4,3	0,094
2023-02-26	11:37:00	11:37:00	1	4,1	0,089
2023-02-26	12:04:00	12:04:00	1	4	0,087
2023-02-26	12:09:00	12:09:00	1	4	0,087
2023-02-26	12:13:00	12:13:00	1	4,3	0,093
2023-02-26	12:40:00	12:42:00	3	4,1	0,089
2023-02-26	12:50:00	16:50:00	241	26,7	0,505
2023-02-27	15:54:00	16:35:00	42	62,3	0,905
2023-03-05	09:06:00	09:06:00	1	4,1	0,09
2023-03-05	10:47:00	10:47:00	1	4	0,087
2023-03-05	11:06:00	11:06:00	1	4,1	0,089
2023-03-05	11:17:00	11:17:00	1	4,2	0,09

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-05	11:34:00	11:34:00	1	4,1	0,09
2023-03-05	11:55:00	11:55:00	1	4,2	0,091
2023-03-05	12:02:00	12:02:00	1	4,1	0,088
2023-03-05	12:16:00	12:16:00	1	4	0,088
2023-03-05	12:45:00	12:45:00	1	4	0,087

2023-03-05	13:10:00	13:10:00	1	4	0,088
2023-03-05	15:56:00	15:56:00	1	4	0,088
2023-03-05	17:27:00	17:28:00	2	4,1	0,089
2023-03-05	17:31:00	17:31:00	1	4	0,087
2023-03-05	18:07:00	18:07:00	1	4,1	0,088
2023-03-05	18:15:00	18:16:00	2	4,2	0,09
2023-03-05	19:17:00	19:25:00	9	3,3	0,072
2023-03-05	19:31:00	19:34:00	4	3,1	0,067
2023-03-05	19:39:00	19:46:00	8	2,6	0,057
2023-03-05	19:49:00	19:49:00	1	4	0,088
2023-03-05	19:52:00	19:53:00	2	4	0,088
2023-03-05	21:54:00	21:58:00	5	4,2	0,091
2023-03-05	22:02:00	22:05:00	4	4,1	0,09
2023-03-05	22:08:00	22:09:00	2	4,5	0,097
2023-03-05	22:16:00	22:25:00	10	3,9	0,084
2023-03-05	22:29:00	22:45:00	17	3,9	0,085
2023-03-05	22:48:00	23:00:00	13	4	0,087
2023-03-05	23:03:00	23:03:00	1	4	0,088
2023-03-05	23:06:00	23:23:00	18	3,1	0,069
2023-03-05	23:25:00	23:25:00	1	4	0,088
2023-03-05	23:28:00	23:30:00	3	4,1	0,09

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-05	23:32:00	23:39:00	8	3,1	0,068
2023-03-05	23:42:00	23:46:00	5	4,3	0,093
2023-03-06	01:42:00	01:45:00	4	4,3	0,093
2023-03-06	01:47:00	01:48:00	2	4,3	0,094
2023-03-06	01:51:00	01:52:00	2	4,2	0,091
2023-03-06	01:55:00	01:55:00	1	4	0,087
2023-03-06	01:58:00	02:11:00	14	4,4	0,095
2023-03-06	02:14:00	02:18:00	5	2,5	0,055
2023-03-06	02:22:00	02:23:00	2	4,3	0,093
2023-03-06	02:25:00	02:48:00	24	3,7	0,08
2023-03-06	02:51:00	03:00:00	10	3,5	0,075
2023-03-06	03:26:00	03:28:00	3	4,2	0,091
2023-03-06	03:30:00	03:35:00	6	4,3	0,093
2023-03-06	03:41:00	03:48:00	8	4,3	0,093
2023-03-06	03:51:00	04:01:00	11	4,2	0,091
2023-03-06	04:04:00	04:15:00	12	3,5	0,077
2023-03-06	04:20:00	04:20:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	04:22:00	04:37:00	16	3,2	0,07
2023-03-06	04:41:00	04:58:00	18	3,5	0,077
2023-03-06	05:00:00	05:05:00	6	3,6	0,078
2023-03-06	05:07:00	05:28:00	22	3,3	0,072
2023-03-06	05:31:00	05:32:00	2	4,1	0,09
2023-03-06	05:38:00	05:44:00	7	3,1	0,067

2023-03-06	05:49:00	06:06:00	18	3,8	0,082
2023-03-06	06:09:00	06:19:00	11	4	0,086
2023-03-06	06:21:00	06:24:00	4	4,3	0,093

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-06	06:26:00	06:28:00	3	4,5	0,098
2023-03-06	06:30:00	07:01:00	32	3,8	0,083
2023-03-06	07:04:00	07:09:00	6	4,3	0,094
2023-03-06	07:11:00	07:33:00	23	3,8	0,082
2023-03-06	07:36:00	07:36:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	07:41:00	08:23:00	43	3,6	0,079
2023-03-06	08:26:00	08:34:00	9	3,3	0,072
2023-03-06	08:37:00	08:37:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	08:42:00	09:02:00	21	3,3	0,071
2023-03-06	09:05:00	09:08:00	4	3,2	0,07
2023-03-06	09:11:00	09:12:00	2	4,2	0,091
2023-03-06	09:15:00	09:17:00	3	4,3	0,094
2023-03-06	09:22:00	09:25:00	4	3,1	0,068
2023-03-06	09:28:00	09:28:00	1	4,2	0,092
2023-03-06	09:31:00	09:58:00	28	3,3	0,072
2023-03-06	10:01:00	10:01:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	10:04:00	10:11:00	8	3,7	0,08
2023-03-06	10:15:00	10:26:00	12	4,4	0,095
2023-03-06	10:39:00	10:45:00	7	4,1	0,09
2023-03-06	10:51:00	11:05:00	15	4	0,086
2023-03-06	11:07:00	11:07:00	1	4,2	0,091
2023-03-06	11:09:00	11:13:00	5	3,3	0,072
2023-03-06	11:17:00	11:26:00	10	3,4	0,075
2023-03-06	11:29:00	11:29:00	1	4,3	0,093
2023-03-06	11:32:00	11:35:00	4	3,2	0,069
2023-03-06	11:40:00	11:49:00	10	4,3	0,092
2023-03-06	11:53:00	11:59:00	7	3,6	0,079

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-06	12:02:00	12:10:00	9	3,2	0,071
2023-03-06	12:14:00	12:16:00	3	4,2	0,09
2023-03-06	12:19:00	12:19:00	1	4	0,087
2023-03-06	12:24:00	12:24:00	1	4,1	0,09
2023-03-06	12:26:00	12:26:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	12:31:00	12:36:00	6	3,4	0,075
2023-03-06	12:40:00	12:42:00	3	4,1	0,088
2023-03-06	13:12:00	13:13:00	2	4,2	0,091
2023-03-06	13:15:00	13:17:00	3	2,8	0,061
2023-03-06	13:21:00	13:21:00	1	4	0,088
2023-03-06	13:24:00	13:25:00	2	4,1	0,09
2023-03-06	13:35:00	13:37:00	3	4,1	0,089
2023-03-06	13:40:00	13:40:00	1	4,2	0,09
2023-03-06	13:45:00	13:45:00	1	4	0,087

2023-03-06	13:48:00	13:48:00	1	4	0,087
2023-03-06	13:54:00	13:56:00	3	4,3	0,093
2023-03-06	15:29:00	15:29:00	1	4,1	0,088
2023-03-06	15:35:00	15:35:00	1	4,4	0,096
2023-03-06	15:37:00	15:38:00	2	4	0,088
2023-03-06	15:42:00	15:42:00	1	4	0,087
2023-03-06	15:45:00	15:49:00	5	3,3	0,072
2023-03-06	15:52:00	15:58:00	7	3,6	0,079
2023-03-06	16:02:00	23:59:00	478	89,6	1
2023-03-07	00:00:00	13:43:00	824	90	1
2023-03-07	13:45:00	23:59:00	615	90	1
2023-03-08	00:00:00	13:09:00	790	90	1

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-16	23:07:00	23:59:00	53	4,7	0,101
2023-03-17	00:00:00	03:05:00	186	5,1	0,111
2023-03-20	23:02:00	23:59:00	58	21,3	0,418
2023-03-21	00:00:00	23:59:00	1440	14,9	0,303
2023-03-22	00:00:00	07:47:00	468	4,3	0,094
2023-03-22	07:54:00	07:54:00	1	4	0,087
2023-03-22	07:58:00	08:03:00	6	2,7	0,059
2023-03-22	08:06:00	08:12:00	7	3,5	0,076
2023-03-22	08:18:00	08:20:00	3	4,1	0,089
2023-03-22	08:23:00	08:26:00	4	3,1	0,067
2023-03-22	08:33:00	08:33:00	1	4	0,087
2023-03-22	08:38:00	08:39:00	2	4,2	0,091
2023-03-22	08:41:00	08:41:00	1	4	0,087
2023-03-22	08:52:00	08:54:00	3	2,8	0,06
2023-03-22	09:03:00	09:03:00	1	4,1	0,088
2023-03-22	09:14:00	12:00:00	167	5,9	0,127
2023-03-22	12:02:00	23:59:00	718	6	0,129
2023-03-23	00:00:00	11:30:00	691	4,5	0,097
2023-03-23	11:33:00	11:33:00	1	4,2	0,091
2023-03-23	11:37:00	11:43:00	7	3	0,066
2023-03-23	11:45:00	12:02:00	18	4	0,087
2023-03-23	15:39:00	15:39:00	1	4	0,087
2023-03-23	15:54:00	15:54:00	1	4	0,087
2023-03-25	11:04:00	11:06:00	3	2,7	0,059
2023-03-25	11:45:00	11:49:00	5	3,3	0,072
2023-03-25	11:53:00	12:06:00	14	2,6	0,058
2023-03-25	12:09:00	12:09:00	1	4,2	0,09

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-25	12:12:00	13:03:00	52	3,9	0,086
2023-03-25	13:14:00	13:15:00	2	4,1	0,089
2023-03-25	13:19:00	13:22:00	4	4	0,088
2023-03-25	15:14:00	15:14:00	1	4	0,087
2023-03-25	15:27:00	15:27:00	1	4	0,087

2023-03-25	21:12:00	21:13:00	2	4	0,088
2023-03-25	21:19:00	21:19:00	1	4,2	0,091
2023-03-25	21:23:00	21:31:00	9	3,6	0,079
2023-03-25	21:34:00	21:34:00	1	4,6	0,1
2023-03-25	22:46:00	23:59:00	74	8,1	0,172
2023-03-26	00:00:00	08:04:00	485	8	0,17
2023-03-26	08:10:00	08:11:00	2	4	0,087
2023-03-26	08:14:00	08:23:00	10	3,3	0,072
2023-03-26	08:25:00	08:35:00	11	3,8	0,083
2023-03-26	08:39:00	08:43:00	5	3,3	0,071
2023-03-26	08:51:00	08:51:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	08:54:00	08:55:00	2	4	0,088
2023-03-26	08:58:00	08:58:00	1	4	0,088
2023-03-26	09:01:00	09:04:00	4	4,1	0,09
2023-03-26	09:09:00	09:14:00	6	2,8	0,06
2023-03-26	09:21:00	09:22:00	2	4,1	0,089
2023-03-26	09:53:00	09:56:00	4	3	0,067
2023-03-26	09:59:00	10:00:00	2	4,1	0,089
2023-03-26	10:03:00	10:07:00	5	2,5	0,054
2023-03-26	10:10:00	10:10:00	1	4,1	0,089
2023-03-26	10:16:00	10:20:00	5	3,4	0,074

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-26	10:30:00	10:30:00	1	4	0,087
2023-03-26	10:43:00	11:05:00	23	3,8	0,083
2023-03-26	11:07:00	11:10:00	4	4,1	0,089
2023-03-26	11:13:00	11:28:00	16	4,2	0,09
2023-03-26	11:31:00	11:43:00	13	3,5	0,076
2023-03-26	11:45:00	12:19:00	35	3,5	0,076
2023-03-26	12:21:00	12:24:00	4	3,1	0,068
2023-03-26	12:27:00	20:27:00	481	4,3	0,094
2023-03-26	20:29:00	23:59:00	211	4,7	0,101
2023-03-27	00:00:00	16:03:00	964	6,2	0,134
2023-03-30	15:39:00	15:39:00	1	4	0,087
2023-03-30	15:54:00	15:54:00	1	4	0,087
2023-11-04	12:08:00	12:15:00	8	23	0,446
2023-11-06	08:05:00	08:07:00	3	54,7	0,847
2023-11-08	21:07:00	21:07:00	1	22,4	0,436
2023-11-19	17:34:00	17:43:00	10	83,2	0,994
2023-11-20	20:54:00	20:54:00	1	11,1	0,232
2023-11-25	11:30:00	11:31:00	2	4,4	0,096
2023-11-25	14:40:00	14:40:00	1	18,6	0,371
2023-11-25	16:09:00	16:09:00	1	8,4	0,178
2023-11-26	15:36:00	15:37:00	2	33,6	0,607
2023-12-01	19:40:00	19:41:00	2	13,6	0,279
2023-12-09	13:21:00	14:02:00	42	85,6	0,998
2023-12-09	14:32:00	14:33:00	2	4,6	0,101
2023-12-09	21:41:00	21:41:00	1	35,8	0,638

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-12-21	17:41:00	17:41:00	1	7	0,149
2023-12-23	12:20:00	12:21:00	2	57,4	0,868
2023-12-23	12:44:00	12:44:00	1	22,1	0,43
2023-12-23	15:27:00	15:30:00	4	45,9	0,76
2023-12-23	15:34:00	15:34:00	1	8,6	0,182
2023-12-23	15:53:00	15:57:00	5	60,1	0,89
2023-12-24	14:20:00	14:20:00	1	16,7	0,336
2023-12-24	14:50:00	14:50:00	1	20,2	0,399
2023-12-25	13:01:00	13:01:00	1	19,3	0,382
2023-12-26	13:20:00	13:21:00	2	6,8	0,145
2023-12-27	13:38:00	13:42:00	5	71,6	0,958

Bilaga C – Vädringsschema 3

Vädringsschema 3 - daglig medelvärde				
Vardagsrumfönster vänster				
Datum	Total tid (min)	Andel öppet (%)	Medel vinkel (°)	öppningsfaktor
2023-03-11	1440	1,2	0,1	0,002
2023-03-15	1440	28,1	4,9	0,105
2023-03-23	1440	53,8	3,9	0,085
Vardagsrumfönster höger				
Datum	Total tid (min)	Andel öppet (%)	Medel vinkel (°)	öppningsfaktor
2023-01-15	1440	19,9	2,8	0,061
2023-01-27	1440	41,7	1,3	0,029
2023-01-28	1440	6,3	0,2	0,004
2023-03-15	1440	28,1	4,9	0,105
Köksfönster				
Datum	Total tid (min)	Andel öppet (%)	Medel vinkel (°)	öppningsfaktor
2023-01-06	1440	0,6	0,1	0,001
2023-01-27	1440	39,9	4,6	0,099
2023-01-28	1440	0,8	0,1	0,002
2023-02-26	1440	7,8	1	0,022
2023-03-11	1440	1,1	0,1	0,002
2023-03-17	1440	52,6	4,7	0,101
2023-03-18	1440	33,3	2,8	0,061
2023-03-21	1440	15,1	1,4	0,032

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-22	1440	32,6	3,5	0,076
2023-03-23	1440	16,4	1,3	0,028
2023-03-25	1440	10,3	0,6	0,013
2023-03-27	1440	10,6	0,8	0,017
2023-12-27	1440	6,2	0,7	0,016
Balkongdörr				
Datum	Total tid (min)	Andel öppet (%)	Medel vinkel (°)	öppningsfaktor
2023-01-07	1440	0,5	0,2	0,005
2023-01-27	1440	21,7	3	0,066
2023-01-28	1440	6,3	0,4	0,008
2023-01-30	1440	0,1	0,1	0,002
2023-02-09	1440	1,1	0,7	0,016
2023-02-11	1440	0,1	0	0,001
2023-02-21	1440	0,7	0	0,001
2023-02-22	1440	8,5	0,5	0,01
2023-02-25	1440	5,2	0,2	0,005
2023-02-26	1440	47,8	5,8	0,125
2023-02-27	1440	2,9	1,8	0,04
2023-03-05	1440	7,8	0,3	0,007
2023-03-06	1440	65,3	31,1	0,572
2023-03-07	1440	100	90	1
2023-03-08	1440	54,9	49,4	0,796
2023-03-16	1440	3,7	0,2	0,004
2023-03-17	1440	12,9	0,7	0,015
2023-03-20	1440	4	0,9	0,019

Undersökning av hur stor påverkan vädring kan ha på energianvändningen och inomhusmiljön i en 60-tals-bostad med frånluftsventilation

2023-03-21	1440	99,9	14,9	0,303
2023-03-22	1440	95,6	5,2	0,111
2023-03-23	1440	49,2	2,2	0,049
2023-03-25	1440	11	0,7	0,015
2023-03-26	1440	90,6	5,2	0,113
2023-03-27	1440	66,9	4,2	0,09
2023-11-04	1440	0,6	0,1	0,003
2023-11-06	1440	0,2	0,1	0,003
2023-11-19	1440	0,7	0,6	0,013
2023-11-25	1440	0,3	0	0,001
2023-11-26	1440	0,1	0	0,001
2023-12-09	1440	3,1	2,5	0,055
2023-12-23	1440	0,9	0,4	0,01
2023-12-24	1440	0,1	0	0,001
2023-12-27	1440	0,3	0,2	0,006

