



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC STS 25002

Examensarbete 30 hp

Juni 2025

Potentialen för ventilationssystem att bidra med efterfrågefleksibilitet

En utvärdering av påverkan på inomhusklimat i en kontorsbyggnad vid ventilationsflödesreducering utgående från ett effekt- och kostnadsperspektiv.

Sandra Boström



UPPSALA
UNIVERSITET

Demand response potential of ventilation systems: An evaluation of the impact on the indoor climate in an office building when reducing ventilation flow based on an effect and cost perspective.

Sandra Boström

Abstract

More intermittent energy production and increasing electricity demand poses new challenges for the power grid. Demand response, DR, in buildings has the potential to be part of the solution. This study investigates the potential of using the ventilation system in a timber-framed office building to contribute to DR by reducing airflow during selected periods. Using building energy simulations, several ventilation reduction scenarios from 15 minutes to four hours with different airflows were analysed under a year and in varying weather conditions. The results show that thermal comfort, not air quality, is the main limiting factor when reducing airflow in this office building. Even short reductions of 15 minutes can lead to uncomfortable temperature increases, especially in sun-exposed or densely occupied areas. While some flexibility exists—particularly during winter mornings—the overall potential is limited. With a seasonally adapted ventilation reduction strategy, up to one hour ventilation reductions are possible most of the days over the year and still maintain acceptable indoor climate due to the Swedish work environment agency and the European standards. The cost savings were rarely achieved due to compensatory energy and air flows needs. External conditions such as solar radiation, outside temperature and building orientation significantly affect performance. The power saving potential differ between 0-20 kW for the scenarios that still managed to keep the indoor climate within the European standards. The study concludes that ventilation-based demand response may only provide modest benefits and is most useful when integrated with other systems and coordinated across many buildings.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Samuel Wennlund Ämnesgranskare: Annica Nilsson

Examinator: Elísabet Andrésdóttir

Populärvetenskaplig sammanfattning

För att Sverige ska nå sitt klimatmål om nettonollutsläpp till år 2045 krävs en massiv omställning – bland annat att vi slutar använda fossila bränslen och elektrifierar transporter och industrier. Denna elektrifiering sätter stort tryck på vårt elnät, samtidigt som en allt större del av elen kommer från väderberoende intermittenta energikällor som vind- och solkraft. Det gör att elproduktionen svänger mer än tidigare – ibland finns det för mycket el, ibland för lite, beroende på vädret. När elförbrukningen och produktionen inte matchar uppstår obalanser i elsystemet, vilket kan leda till allt från strömavbrott till skador på elnätet. En lösning på detta är att justera efterfrågan – det vill säga att användarna anpassar sin elanvändning utifrån elnätets behov. Denna princip kallas efterfrågefleksibilitet.

Byggnadsbeståndet står för nästan 40 % av Sveriges totala elanvändning, vilket gör byggnader till en viktig resurs i detta sammanhang. Många byggnader har redan system för värme, kyla och ventilation som genom smart styrning kan utnyttja byggnadens termiska tröghet - det vill säga den energi som lagras i byggnadens stomme och inredning. I Norden står elanvändningen för fläktarna i ventilationssystemet för en stor andel av en byggnads totala elanvändning, och eftersom vi spenderar 90 % av vår tid inomhus blir inomhusklimatets kvalitet extra viktig.

I den här studien har jag undersökt om ett ventilationssystem i en modern kontorsbyggnad med trästomme kan användas för att bidra till efterfrågefleksibilitet, genom att tillfälligt minska luftflödet under vissa timmar utan att inomhusklimatet påverkas för mycket. Tanken är att om många fastigheter kan minska sin elanvändning samtidigt under perioder av hög belastning, kan det bidra till att avlasta elnätet.

Genom simuleringar har olika scenarier testats där luftflödet reduceras under vissa timmar på dygnet och effekterna på temperatur och luftkvalitet analyserats. Resultaten visar att potentialen är begränsad – framför allt eftersom temperaturen i rummen snabbt blir för höga när luftflödet minskas. I de flesta fall är det temperaturen, snarare än luftkvaliteten, som sätter gränsen för hur mycket ventilationen kan sänkas. I ogynnsamma förhållanden går det inte att reducera ventilationsflödet i ens 15 minuter. Med en säsonganpassad reduktion av luftflödet är det möjligt att reducera luftflödet under en timme de flesta dagar på året utan att inomhusklimatets komfort överstiger Arbetsmiljöverkets riktlinjer. Det är flera yttre och inre faktorer som påverkar möjligheten att minska luftflödet under en begränsad period. Exempel på yttre faktorer som påverkar potentialen negativt är höga utomhustemperaturer, stor mängd solinstrålning och kontor som får morgonsol. Inre faktorer som påverkar är antalet personer på kontoret och värmebidraget från kontorets utrustning.

Resultaten visar att minskad ventilation ofta leder till förändrat behov av andra system, som värme eller kyla – vilket riskerar att flytta energibehovet från ett system till ett annat. Dessutom, efter en period av ventilationsreduktion behöver ventilationssystemet kompensera med ett högre luftflöde och en ny topp i elanvändning uppstår för att återställa temperatur och luftkvalitet på kontoret. Å ena sidan är potentialen att spara effekt utan större påverkan på inomhustemperaturen som störst under vinterhalvåret, vilket sammanfaller

med när både elpriserna och elanvändningen också tenderar att vara höga. Å andra sidan är luftflödena oftast redan låga, resultatet visar att vi kan spara mellan två till fyra kilowatt i effekt under vintern, vilket gör att möjligheten att göra någon större skillnad är liten. Trots detta kan små besparingar från många byggnader tillsammans ha betydelse enligt principen många bäckar små – särskilt i elområden med hög belastning. Ekonomiskt visar resultaten i denna studie att lönsamheten är tveksam, i de simulerade scenarier med luftflödesreducering uppstod istället en ökad elkostnad jämfört med utgångsscenarioet i alla fall utom ett. Med en optimerad kostnadsstyrning skulle resultatet kunna bli annorlunda.

Sammantaget visar studien att potentialen och lönsamheten för efterfrågeflexibilitet genom ventilation är begränsad i en kontorsbyggnad av trä, men att det kan vara ett komplement till andra lösningar. Resultaten understryker också vikten av att se byggnaden som ett helhetssystem, där alla tekniska delar samverkar. Mer forskning krävs för att förstå hur olika byggnadstyper kan användas för efterfrågeflexibilitet och hur styrningen bör anpassas för att fungera i praktiken utan att kompromissa med komfort eller energieffektivitet.

Förord

Det här examensarbetet har utförts på Uppsala universitet i samarbete med Incoord Installationscoordinator AB under våren 2025. Examensarbetet utgör den avslutande delen för examen på civilingenjörsprogrammet system i teknik och samhälle. Arbetet har utförts till största del på plats hos Incoord i Stockholm.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Samuel Wennlund på Incoord som funnits tillgänglig för frågor under hela arbetets gång och för det varma bemötandet. Jag vill även tacka Johan Thorstenson som bidragit med sin erfarenhet och kunskap inom ämnet. Dessutom vill jag passa på att tacka alla på Incoord som tagit sig tiden att bolla idéer och på olika sätt bidragit, och inte minst för det varma bemötande jag fått av alla kollegor på företaget. Sist men inte minst, vill jag rikta ett stort tack till min ämnesgranskare Annica Nilsson för hennes engagemang, kunskap, vägledning och stöttning genom hela processen.

Sandra Boström

Juni 2025

Akronymer

A_{temp}	Uppvärmad golvarea i en byggnad
BBR	Boverkets byggregler
BEMS	Byggnadsenergihanteringssystem (<i>building energy management systems</i>)
CAV	Konstant luftvolym (<i>constant air volume</i>)
DR	Efterfrågeflexibilitet (<i>demand response</i>)
EPBD	EU-direktiv om byggnaders energiprestanda
FTX	Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning
HVAC	Värme, ventilation och luftkonditioneringssystem (<i>heating, ventilation and air conditioning</i>)
IDA ICE	IDA Indoor, Climate and Energy simuleringsprogram
PMV	Förväntat medelutlåtande (<i>predicted mean vote</i>)
PPD	Förutspådd andel missnöjda (<i>predicted percentage of dissatisfied</i>)
PPM	Miljonandel (<i>parts per million</i>)
SE3	Sveriges elområde 3
SFP	Specifik fläkteffekt, sammanlagt för aggregatets fläktar
VAV	Variabel luftvolym (<i>variable air volume</i>)
VFR	Ventilationsflödesreducering

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte och mål	2
1.1.1	Frågeställningar	2
1.1.2	Avgränsningar	3
1.1.3	Begränsningar	3
2	Bakgrund	4
2.1	Sveriges elnät	4
2.2	Sveriges elmarknad	4
2.2.1	Kostnader för el	5
2.2.2	Stockholms elnätsägare	5
2.3	Byggnaders förutsättningar för lastbalansering	6
2.4	Krav på byggnader i Sverige	8
2.4.1	Energiprestanda krav	8
2.4.2	Ventilationskrav	8
2.4.3	Termisk komfort	9
2.5	Installationssystem i case-byggnad	11
2.5.1	Ventilationssystem	11
2.5.2	Värme- och kylsystem	12
3	Metod	13
3.1	Modell i IDA Indoor, Climate and Energy	13
3.1.1	Typ-våningsplan	15
3.1.2	Övriga ytor i byggnaden	15
3.1.3	Närvaro och utrustning	16
3.1.4	Modellerat kyl- och värmesystem	17
3.1.5	Nattkyla	17
3.1.6	Sammanfattning modelleringsparametrar	17
3.2	Scenarion	18
3.2.1	Scenarier med olika styrningsparametrar	19
3.2.2	Scenarier med ventilationsflödesreducering, VFR	19
3.3	Känslighetsanalys	21
3.4	Kodning av prisindikationer och effektreducering i Python	22
4	Data	24
4.1	Data över byggnaden	24
4.2	Klimatdata	24
4.3	Kostnader	24
4.3.1	Spotpriser och förbrukningsdata SE3	24
4.3.2	Elnätsbolagets nättariff	25

4.3.3	Energiskatt	26
5	Resultat	27
5.1	Olika scenarions påverkan på inomhuskomforten	27
5.1.1	Scenario 1: Grundscenario	27
5.1.2	Scenario 2: Grundscenario med grundflöde natt och helger	29
5.1.3	Scenario 3: Höjd koldioxidgräns	30
5.1.4	Scenario 4: Nattkyla	31
5.1.5	Scenario 5: VFR 15 minuter	32
5.1.6	Scenario 6: VFR 1 timme	33
5.1.7	Scenario 7: VFR 2 timmar	37
5.1.8	Scenario 8: VFR 4 timmar	39
5.1.9	Scenario 9: VFR 1 timme med förkylning	40
5.1.10	Scenario 10: VFR dynamiskt 1 timme	42
5.1.11	Sammanfattning termisk komfort scenarion	45
5.2	Känslighetsanalys	46
5.3	Sammanfattning av tillåten tidsperioder med reducerat luftflöde	48
5.4	Påverkan på totalt energibehov	49
5.5	Kostnadsanalys	50
5.6	Effektbesparingar med VFR	52
6	Diskussion	54
6.1	Begränsande faktorer och förutsättningar för VFR	54
6.2	VFR ur system- och lönsamhetsperspektiv	55
6.3	Osäkerheter och begränsningar i modellen	56
7	Slutsatser	58
7.1	Vidare studier	58
	Referenser	60

1 Inledning

Sveriges klimatmål är att nå nettonollutsläpp år 2045, för att därefter ha negativa utsläpp. För att nå klimatmålet ligger fokus på att bygga upp klimatneutral infrastruktur i hela landet, och en central del blir att fasa ut fossila bränslen och påskynda elektrifieringen (Regeringen 2023). Elnätet kommer att vara en avgörande faktor för att möjliggöra omställningen till ett mer hållbart och klimatneutralt energisystem. En allt större andel av elproduktionen kommer från intermittenta förnybara energikällor som vind- och solkraft. Samtidigt i andra änden av elsystemet elektrifieras i ökande grad transportsektorn och industrin för att minska beroendet av fossila bränslen. Det leder till att nya utmaningar uppstår. En av de största utmaningarna är att produktionen från dessa intermittenta energikällor är variabel och väderberoende vilket inte alltid sammanfaller med efterfrågan på energi. Exempelvis när vindstilla dagar sammanfaller med kalla vinterdagar och hög efterfrågan på el, vilket leder till obalanser i elnätet (Sandels, Widén och Nordström 2014).

Dessa obalanser kan få allvarliga konsekvenser för kraftsystemet på både kort och lång sikt. På kort sikt kan variationer i produktion och konsumtion leda till att driftsparametrar såsom spänning och frekvens avviker från sina referensvärden, vilket exempelvis kan orsaka strömavbrott. På längre sikt kan stora och långvariga obalanser resultera i överbelastning av elnätet, vilket ökar risken för komponentfel och i värsta fall kollaps av distributionsnätet på grund av termisk stress (Sandels, Widén och Nordström 2014). Den ökade volatiliteten i elsystemet leder till utveckling av stödtjänster och nya marknader för stödtjänster mot elnätet (Svenska kraftnät 2024c).

En betydande del av den förnybara elproduktionen sker idag lokalt i distributionsnät, nära slutanvändarna. I vissa fall kan detta minska belastningen på nätet, men om produktionen överstiger nätets kapacitet uppstår problem relaterade till spänning och effektflöden. En lovande lösning på en del av dessa problem är efterfrågefleksibilitet (*Demand Response, DR*). Detta innebär att elanvändare – både privatpersoner och företag – anpassar elförbrukningen utifrån externa signaler, såsom elpriser, belastningsstatus i nätet eller annan given signal. Genom att flytta eller minska elanvändningen vid kritiska tidpunkter kan slutanvändarna bidra till att minska toppbelastningar och utjämna variationer i elsystemet (Sandels, Widén och Nordström 2014).

Bostads- och servicesektorn stod för 39% av Sveriges totala energianvändning år 2023 (Öljemark 2024) och har därför stor potential att kunna bidra med efterfrågefleksibilitet. Utöver att byggnader står för en stor del av landets energianvändning har de dessutom lämpliga system för efterfrågefleksibilitet, som värme, kyla och ventilationssystem (*Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC*). Dessa laster kan dra nytta av byggnaders termiska tröghet, det vill säga den energi som lagras i byggnadens stomme och inredning, och kan styras via en termostat utan att påverka komforten för individerna i byggnaden. En annan fördel är att byggnader vanligtvis är anslutna direkt till distributionsnätet där mycket av problematiken med frekvens- och spänningsvariationer uppstår. Byggnader är idag till stor del en outnyttjad resurs, trots att flera system redan är utrustade med smarta lösningar som kan följa energiförbrukningen i realtid (Sandels 2016). I många länder går

den största delen av elförbrukningen till att kyla ner eller värma upp luften i ett HVAC-system. Luften som sedan cirkulerar med hjälp av fläktar står för en lägre andel av den totala elförbrukningen. I Norden är förutsättningarna annorlunda mot exempelvis USA där HVAC-styrning är vanligt förekommande i kommersiella och industriella byggnader. I Norden är användningen av luftkonditionering för kylning lägre i och med det kallare klimatet, och större delen av uppvärmningen kommer från andra värmekällor som till exempel fjärrvärme, speciellt i kommersiella byggnader. Detta har lett till att få studier fokuserar på länder med kallare klimat och andra förutsättningar (Rotger-Griful m. fl. 2016).

I Norden står fläktarna i ventilationssystemet för en större andel av den totala elförbrukningen och blir intressantare att studera. Luft är dessutom en viktig resurs för oss människor och eftersom vi spenderar 90 % av vår tid inomhus blir inomhusluftens kvalitet extra viktig (Boverket 2022). Dålig luftkvalitet inomhus kan orsaka besvär såsom luktolägenheter, irritation, astma, allergi och annan överkänslighet, huvudvärk och trötthet (Langer, Hallgren och Öberg 2018). För att hantera luftföroreningar inomhus används ventilation, och det är viktigt att ventilationssystemet är korrekt utformat för att kunna hantera alla föroreningar som kommer från uteluften, från olika material invändigt och från oss människor (Boverket 2022). För att kunna använda ventilationssystemet som källa för DR blir det viktigt att analysera dess påverkan på inomhusklimatet. Denna rapport kommer att kolla närmare på en kontorsbyggnad i Stockholm och undersöka ventilationssystemets potential att bidra med efterfrågefleksibilitet samt påverkan på inomhusklimatet.

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att undersöka vilken potential det finns för ventilationssystemet i en kontorsbyggnad med trästomme att användas för efterfrågefleksibilitet. Detta genom att reducera luftflödet under olika tidsperioder för att undersöka konsekvenserna på inomhusklimatets luftkvalité och termiska komfort. Arbetet syftar till att undersöka vilken påverkan det reducerade ventilationsflödet har på inomhusklimatet och hur långa perioder det är möjligt att tumma på inomhusklimatet men fortfarande följa rådande rekommendationer och allmänna föreskrifter från Arbetsmiljöverket, EN-standard och Boverkets byggregler (BBR). Utöver det ämnar rapporten att undersöka vilka externa och interna faktorer som påverkar ventilationsreduceringsperiodens längd. Dessutom ämnar arbetet att belysa vilken nytta ventilationsflödesreducering, VFR, kan göra ur ett effekt- och kostnadsperspektiv.

1.1.1 Frågeställningar

- Hur långa tidsperioder är det möjligt att reducera luftflödet i ett träkontorshus och samtidigt upprätthålla det termiska klimatet inom acceptabla nivåer utifrån Arbetsmiljöverket och EN-standard?
- Vilka förutsättningar och väderförhållanden påverkar reduceringsperiodens längd i

en kontorsbyggnad med trä-stomme?

- Vilken potential har ett variabelt luftflödessystem i en kontorsbyggnad av trä att bidra med efterfrågeflexibilitet och till vilken nytta ur ett effekt- och kostnadsperspektiv?

1.1.2 Avgränsningar

Den efterfrågeflexibilitet som kommer att undersökas i detta arbete är ventilationsflödesreducering, VFR. Simuleringar och beräkningar är avgränsade till att genomföras utifrån år 2023, där både väderdata och elpriser är från samma år. Resultat och den kostnadsanalys som genomförs kommer endast att ta hänsyn till kostnader på elnätet utifrån elområde 3 och enligt nätbolaget Ellevios elnätstariff. Ellevios elnätstariff är från 2025 eftersom det är 2025 som effektagift införs. Kostnadsanalysen kommer att exkludera kostnader för fjärrvärme och fjärrkyla utan endast poängtera om det uppstår ett ökat eller minskat behov.

Den undersökta byggnaden är ett kontorshus med stora fönsterytor och med en massiv trästomme vilket innebär att slutsatserna från denna rapport endast kommer att kunna dras för kontorsbyggnader i trä med liknande karaktär. Byggnaden kommer endast att simuleras utifrån den geografiska plats där byggnaden är planerad vilket är i Stockholmsområdet.

1.1.3 Begränsningar

Denna rapport är begränsad till att endast genomföra simuleringar i simuleringsprogrammet *IDA Indoor, Climate and Energi (IDA ICE)* på en planerad kontorsbyggnad i Stockholmsområdet. Eftersom byggnaden ännu inte är byggd kommer inga tester på plats att genomföras utan endast simuleringar för att besvara rapportens frågeställningar. I utvärdering av den termiska komforten i simuleringsverktyget IDA ICE används den del av EN-standarden EN 15251:2007 som är anpassad för bostadshus och inte för kontorsbyggnader. Det finns en skillnad i kategorisering under uppvärmningssäsong, där högre temperaturer anses sämre i en kontorsbyggnad än i ett bostadshus. Det innebär för analysen av denna rapport att fler timmar kommer klassificeras enligt kategori I som står för den bästa termiska komforten, men att större andel bör tillhöra kategori II-III enligt EN-standarden för kontorsbyggnader. Däremot är det ingen skillnad för vad som klassas som ett oacceptabelt inomhusklimat (kategori IV) vilket är det som är mest centralt för denna analys. En mer detaljerad beskrivning av EN-standard finns i avsnitt 2.4.3 *Termisk komfort*. En annan begränsning i IDA ICE är att simuleringsverktyget inte har tillräcklig noggrannhet för korrekt simulering av luftfuktighet, enligt utvecklingarna av programmet på EQUA Simulation AB, och därför har inte påverkan på luftfuktigheten analyserats. Analysen av luftkvalité är också begränsad till att endast omfatta koldioxidhalten eftersom det är vad simuleringsprogrammet IDA kan mäta. De simuleringar som görs är energisimuleringar eftersom kontorszonerna är icke rektangulära i och med att byggnaden har formen av en dodekagon, och en klimatsimulering kräver rektangulära zoner. En klimatsimulering kan ge mer detaljer kring skillnader i inomhusklimatet inom en zon medan en energisimulering ger ett medelvärde för respektive zon.

2 Bakgrund

Det här kapitlet ger en övergripande beskrivning av Sveriges elnät och elmarknad. Vidare beskriver bakgrunden byggnaders förutsättningar för lastbalansering och efterfrågeflexibilitet, vilka krav som ställs på byggnader i Sverige och de installationssystem som finns i case-byggnaden.

2.1 Sveriges elnät

Det nordiska synkronområdet för elsystemet är en frekvens på 50 Hz när elnätet är i perfekt balans, däremot om det produceras mer el än vad som används blir frekvensen högre än 50 Hz och om det används mer el än vad som produceras blir frekvensen lägre än 50 Hz (Svenska kraftnät 2024f). Vattenkraft har varit den primära källan till reglerkraft i Sverige men med ökad produktion av intermittenta kraftslag ökar även behovet av frekvensreglering (Brandsma, Odenberg och Granit 2016). Missförhållandet mellan produktion och konsumtion skapar två problem; 1) kortsiktiga obalanser i systemet påverkar driftparametrar såsom frekvens och spänning som avviker från referensvärden och 2) mer långvariga och betydande felmatchningar som kan leda till strömflödesnivåer som inte kan upprätthållas av elnätet. Det kan orsaka fel hos enskilda komponenter, till exempel kollaps av distributionslinor på grund av termisk stress (Sandels, Widén och Nordström 2014). För att hantera dessa variationer och bibehålla frekvensen i balans används olika stödtjänster och avhjälpande åtgärder. Det finns två olika varianter av stödtjänster för balansering, FCR (*frequency containment reserves*) och FRR (*frequency restoration reserve*), som leverantörer av balanstjänster, BSP (*balancing service provider*) kan delta och buda på inom olika stödtjänstmarknader. Utöver stödtjänsterna finns det även avhjälpande åtgärder, en är FFR (*fast frequency reserve*) som inte kräver en BSP-leverantör. Den minsta budstorleken på stödtjänstmarknaden är 0,1 MW för frekvenshållningsreserver (FCR), 1 MW för frekvensåterställningsreserver (FRR) och 0,5 MW för avhjälpande åtgärder (FFR) (Svenska kraftnät 2025b).

2.2 Sveriges elmarknad

Sveriges elnät är sammankopplat med Europa med en gemensam avreglerad elhandelsmarknad där el handlas under fri konkurrens. Elhandelsmarknaden är uppdelad i tre block; dagen före-marknad, intradagsmarknad och balansmarknad (Svenska kraftnät 2024e). Dagen före-marknaden är när majoriteten av elhandeln upphandlas och sker kl. 12 dagen innan leveransdag med en auktion där alla köp- och säljbud matchas för varje avräknings-tid. Priset är ett jämviktspris där utbudskurvan och efterfrågekurvan skär varandra och kallas för spotpris (Svenska kraftnät 2023). Spotpriset bestäms separat för Sveriges fyra elområden beroende på tillgång, efterfrågan och överföringskapacitet för respektive elområde (Svenska kraftnät 2024e). Fram till en timme före leverans finns det möjlighet för leverantörer av balanstjänster, BSP och balansansvarig aktörer, BRP (*balance responsible party*) att handla sig i balans på intradagsmarknaden utifrån bättre kända förutsättningar

som väderförhållanden och annat som blir mer känt närmare inpå leverans (Svenska kraftnät 2024d). Under rådande drifttid ansvarar Svenska kraftnät (2024c) för att upprätthålla balansen mellan elproduktion och elförbrukning för att hålla rätt frekvens, 50 Hz, i det svenska elsystemet vilket görs genom att köpa in och aktivera olika stödtjänster. Svenska kraftnät krävställer att en BSP-leverantör också behöver vara en BRP-aktör i den leveranspunkt som avses att användas. BRP är ansvarig för att löpande planera för, och upphandla sig i balans. Om en BRP inte skulle lyckas hålla sig i balans får aktören betala kostnaderna för vad det kostar att upprätthålla balansen (Svenska kraftnät 2025a). En BSP-aktör kan aggregera stödtjänster från flera olika aktörer för att tillsammans uppnå kraven för en BSP-leverantör och behöver leverera stödtjänster i både upp- och nedreglering (Svenska kraftnät 2024f).

Tidigare har elhandeln upphandlats och mätts per timme men började mätas från och med 1 november 2023 per 15 minuter (Energiföretagen 2024). Den 18 mars 2025 infördes intradagsauktionen per 15 minuters handelsperiod för första gången (Svenska kraftnät 2024b) och den 11 juni 2025 införs även 15 minuters handelsperiod på dagen före-marknaden som börjar gälla för hela Europa (Svenska kraftnät 2024a).

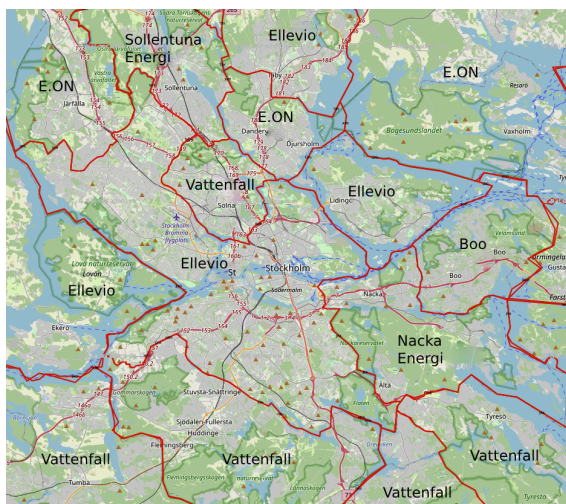
2.2.1 Kostnader för el

Kostnaden för el kan delas in tre parametrar; elhandel, elnät samt skatter och avgifter (Lindholm 2024). Elhandelspriset bestäms utifrån beskrivningen i avsnitt 2.2 och betalas till den valda elleverantören för den producerade energin. Kostnaderna för elnätet betalas till det lokala elnätbolaget som äger distributionsnätet som överför el från transmissionsnätet till slutanvändare. Elnätstariffernas uppbyggnad skiljer sig mellan olika elnätbolag men består av en fast avgift (kr/mån) beroende på abonnemang, en rörlig del (öre/kWh) utifrån elförbrukning och en effektavgift (kr/kW) som för Ellevios effektabonnemang baseras på varje månads högsta effektuttag under en timme (Ellevio 2025b). Den rörliga kostnaden kan variera beroende på hög- eller lågsäsong och effektavgifterna kan baseras på effekttoppar inom vissa tidsintervall och veckodagar. Från första januari 2027 införs ett krav på att nättarifferna måste inkludera en effektavgift (Energimarknadsinspektionen 2023). Den sista utgiftsparametern är skatter och avgifter och motsvarar i snitt nästan 50% av kundens totala kostnad för el. Skatterna som kunden betalar är energiskatt på den förbrukade elen och dessutom moms på 25% av det totala elpriset som innefattar elnät, elhandel och energiskatt. Utöver det tillkommer vissa myndighetsavgifter (Konsumenternas energimarknadsbyrå 2025).

2.2.2 Stockholms elnätsägare

I Stockholm äger Ellevio AB, E.ON Energidistribution AB och Vattenfall Eldistribution AB majoriteten av elnäten, och Sollentuna Energi och Miljö AB, Nacka Energi AB och Boo Energi ek för. har tre, i sammanhanget, mindre områden (Drivmedla 2025). Figur 1 visar en karta över Stockholmsområdet där respektive elnätbolags område är markerat. Varje elnätbolag bestämmer elnätsavgiftens struktur men enligt lag ska alla avgifter vara

skäliga, objektiva och icke-diskriminerande. Dessutom ska de vara utformade på ett sätt som överensstämmer med effektivt utnyttjande av elnätet och en effektiv elproduktion och elkonsumtion (Lindblom 2025). En sammanställning av det aktuella, för denna rapport, elnätsbolagets tariffstrukturs uppbyggnad och prissättning finns i tabell 5 i avsnitt 4.3.2 *Elnätsbolagets nättariff*.



Figur 1: Stockholms elnätsbolags nätområden (Lantmäteriet och Svenska kraftnät 2010).

En dansk studie har undersökt potentialen för ventilationssystem i ett 12-våningslägenhetshus med 159 lägenheter att bidra med efterfrågefleksibilitet på den danska stödtjänstmarknaden. I Danmark är minsta budstorlek 0,3 MW och för det krävs 67 byggnader i samma storlek vid effektökning och 300 byggnader vid effektminskning för att kunna sälja flexibilitetstjänsten. Studien visade att enbart fläktar kunde bidra med 1-1,5 kW i effektbesparing i ventilationssystemet i det studerade huset med reducerat ventilationsflöde beroende på tidshorisont 30 sekunder eller 150 sekunder som skiljer sig beroende på vilken stödtjänst (Rotger-Griful m. fl. 2016). Utifrån den danska studien kan det konstateras att det behövs ett stort antal ventilationssystem och byggnader för att uppfylla kriterier för BSP-leverantör i Sverige. Som en BSP-leverantör behöver dessutom de aggregerade ventilationssystemen leverera stödtjänster och balansera elnätet i både upp- och nedreglering, vilket innebär att både öka och minska effekt. Ett ökat effektuttag för att bidra med de uppregerande stödtjänsterna motsätter den nya effektavgift som Ellevio och andra elnätsbolag infört, och har krav på att införa. Det innebär en risk för ökade kostnader till elnätsbolagen om effekten vid leverans av stödtjänster överstiger byggnadens normala effektuttag.

2.3 Byggnaders förutsättningar för lastbalansering

Byggnadsbeståndet har potential att spela en central roll i möjligheterna för efterfrågefleksibilitet, eftersom byggnader står för en betydande del av elanvändningen. Bostads- och servicesektorn står för 39 % av Sveriges elanvändning 2023 (Öljemark 2024) och har därmed en stor potential att kunna bidra med efterfrågefleksibilitet genom att anpassa

energianvändningen utifrån belastning, produktion och prissignaler. Dessa system är väl lämpade för efterfrågeflexibilitet, eftersom de antingen följer fasta scheman, som ventilationssystem, eller kan utnyttja byggnadens termiska tröghet - alltså den energi som lagras i byggnadens stomme och inredning - exempelvis genom att justera driften av kyl- och värmesystem. Det möjliggör anpassning utan att påverka inomhuskomforten (Sandels, Widén, Nordström och Andersson 2015).

Utöver detta är många kontorsbyggnader utrustade med byggnadsenergihanteringssystem (BEMS), som möjliggör effektiv styrning av HVAC-systemen baserat på faktorer som inomhuskomfort, beläggning och väderförhållanden. Genom att integrera dessa system med elnätet kan byggnader bidra till att balansera efterfrågan och optimera energianvändning utan att påverka komforten för de som vistas i byggnaderna. Detta gör kontorsbyggnader till en attraktiv resurs för efterfrågeflexibilitetsåtgärder inom elsystemet, där smart styrning kan bidra till både energieffektivitet och en mer stabil elförsörjning (Sandels, Widén, Nordström och Andersson 2015). Detta är särskilt relevant eftersom byggnader är direkt kopplade till distributionsnätet – där mycket av problematiken med intermittenta förnybara energikällor uppstår – och därmed kan bidra till att lindra lokala spännings- och belastningsproblem (Sandels 2016).

Trots denna potential är byggnader i dag till stor del en outnyttjad resurs, trots att flera system redan är utrustade med smarta lösningar som kan följa energiförbrukningen i realtid (Sandels 2016). Detta gäller särskilt i kallare klimat som Norden, där förutsättningarna för HVAC-styrning skiljer sig från exempelvis USA. I många länder går den största delen av elförbrukningen till att kyla ner eller värma upp luften i ett HVAC-system och flera studier fokuserar därför på temperaturregulering (Rotger-Griful m. fl. 2016). Den el som sedan går till fläktarna för att cirkulera runt luften står generellt för en lägre andel av den totala elförbrukningen i HVAC-systemet. Däremot i många nordiska byggnader, speciellt i kommersiella och industriella byggnader, sker uppvärmningen via fjärrvärme eller andra energikällor snarare än eldrivna system och användningen av kylning är generellt låg. Detta har lett till att få studier fokuserar på möjligheterna till efterfrågeflexibilitet i kallare klimat, trots att det finns stora möjligheter att styra till exempel ventilation och annan elintensiv drift i byggnader (Rotger-Griful m. fl. 2016).

En av få studier som studerat ventilationssystemets möjligheter till att reducera effekttoppar är en studie utförd i Kina av Young m. fl. (2020). Kina har ett betydligt varmare klimat, och studien genomfördes under sommaren under de varmaste timmarna, och har därför andra förutsättningar än här i Norden. Det studien visar var att det är stora variationer mellan olika typer av byggnader vilket gör att slutsatserna från denna rapport endast kommer kunna dras för kontorsbyggnader av liknande karaktär. I artikeln analyseras nio olika byggnadstyper och resultatet visar på stor variation i potentialen att reducera ventilationsflödet och samtidigt upprätthålla ett acceptabelt inomhusklimat. De potentiella besparingarna är starkt beroende av byggnadstyp och klimat. Något som talar emot potentialen för effekttoppsreducering med ventilationssystemet här i Norden är att resultatet visar försumbara förändringar av toppeffektbehovet och tillfällena med ökat effektbehov för de två klimatzoner med kallare sommarklimat vilket gör dem till sämre kandidater. Överlag

varierar effektreduceringen mellan 0 - 21,5 W/m² och upp till 40 % av byggnadens totala toppeffektbehov. Tidsspannet för reducerad ventilation sträcker sig från 1,5 timme till 13 timmar innan nivåerna på koldioxid överstiger 2000 ppm. Ett medelstort kontor hade ett medelvärde på sju timmar (Young m. fl. 2020) vilket är den mest relevanta för denna studie. Eftersom studien av Young m. fl. (2020) endast studerat potentialen under de varmaste timmarna under sommaren, är det intressant att jämföra potentialen för effekttopsreducering under alla årstider i ett nordiskt klimat som ger andra förutsättningar.

2.4 Krav på byggnader i Sverige

Boverket ansvarar för frågor kring byggd miljö samt byggande och förvaltning av bebyggelse. Uppdraget omfattar bland annat att ta fram föreskrifter och vägledning, ansvara för tillsyn av energideklarationer och ansvara för tillämpning av plan- och bygglagen (Boverket 2025). År 2024 kom en uppdatering av EU-direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD) med nya direktiv gällande energi- och utsläppskrav som ska bli en del av svensk lagstiftning senast år 2026 (Boverket 2024a).

2.4.1 Energiprestanda krav

Det uppdaterade EU-direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD) syftar till att drastiskt minska energianvändningen i byggnader, dels genom strängare krav på nya byggnader som nollutsläppsbyggnader (fr.o.m 2030 gäller detta alla byggnader) och dels genom ökad energirenoveringstakt av äldre byggnader (European Parliament and the Council of the European Union 2024). Definitionen av en nollutsläppsbyggnad innebär att byggnaden ska ha en mycket hög energiprestanda och generera noll eller mycket låga växthusgasutsläpp från fossila bränslen (Boverket 2024a). Målet är att vara helt klimatneutrala år 2050 inom hela EU. Dessutom *"en nollutsläppsbyggnad ska, om det är ekonomiskt och tekniskt genomförbart, erbjuda kapacitet att reagera på externa signaler och då anpassa byggnadens energianvändning, produktion av energi eller energilagring"* (2024/1275). Direktiven betonar vikten av smart teknik för smarta byggnader, digitalisering och byggnaders förmåga att kunna reagera på externa signaler. I Artikel 13 i EPBD - byggnadens installationssystem - ska nya bostadsbyggnader och bostadsbyggnader som genomgår större renovering utrustas med installationssystem (där det är tekniskt, ekonomiskt och funktionellt genomförbart) som har kapacitet att reagera på externa signaler och anpassa energianvändningen (European Parliament and the Council of the European Union 2024).

2.4.2 Ventilationskrav

Boverkets byggregler - föreskrifter och allmänna råd - avsnitt 6.25 ställer krav på att *"ventilationssystem ska kunna föra bort hälsofarliga ämnen, fukt, besvärande lukt, utsöndringsprodukter från personer och byggmaterial samt föroreningar från verksamheter i byggnaden i den utsträckning sådana olägenheter inte förs bort på annat sätt"* (Boverket 2014). Ventilationssystemet har minimikrav på lägsta uteluftsflöde motsvarande 0,35 l/s

per m² golvarea och för att rum ska ha kontinuerlig luftväxling när de används. Reduktion av luftflöde får inte orsaka hälsorisker eller skador på byggnaden och dess installationer, exempelvis av fukt (Boverket 2024b). Arbetsmiljöverket (2025a) rekommenderar att ventilationsflödet är minst 7 l/s frisk uteluft per person och ett tillägg av minst 0,35 l/s och m² golvyta vid stillasittande sysselsättning som i skolor och på kontor. Dimensioneringen av 7 l/s per person är för att föra bort de föroreningar och lukter som utsöndras från människor. Tillägget på 0,35 l/s, m² behövs för att ventilera bort föroreningar som kommer från byggnadsmaterial och inredning. Arbetsmiljöverket rekommenderar dessutom att sätta igång ventilationen i god tid innan arbetet påbörjas för dagen och hänvisar till att det normalt behövs minst en timmes ventilation för att vädra bort de föroreningar som ansamlats under natten. Utöver det skriver Arbetsmiljöverket att det är bra att inte stänga av ventilationen helt under nattetid utan att den får fortsätta vara igång men med reducerat luftflöde (Arbetsmiljöverket 2025a). Däremot, enligt Sveby (2013) kan ventilationen vara helt avstängd utanför kontorstid men bör tillämpas så att ventilationssystemet startar åtminstone en timme före och stängs av en timme efter arbetstid.

Enligt Boverket (2020) ska byggnadstekniska installationer som kräver elenergi, såsom ventilationen, utformas så att effektbehovet begränsas och energin används effektivt. Vid dimensionering av ventilationsflödet för ett från- och tilluftssystem med värme- och kylåtervinning bör inte den specifika fläktenergin (SFP) överstiga 1,6 kW/(m³/s) (Boverket 2020).

Kraven på inomhusluften varierar utifrån verksamhet därför bestäms ventilationskraven utifrån rummets avsedda användning. Däremot får luften inte innehålla föroreningar i en koncentration som medför besvärande lukt eller negativa hälsoeffekter (Boverket 2014). Enligt Boverket (2011) ska installationer utformas och placeras så att halten av föroreningar i tilluften inte överskrider gällande gränsvärden för uteluft, enligt luftkvalitetsförordningen (2010:477) som är den svenska miljökvalitetsnormen som också uppfyller krav för gällande EU-direktiv. Boverkets byggregler hänvisar till Arbetsmiljöverket och Folkhälsomyndigheten som också ger ut rekommendationer om luftkvalitet och ventilation (Boverket 2014). Arbetsmiljöverkets nivågränsvärde för koldioxid är 5000 ppm under en 8-timmarsperiod (Arbetsmiljöverket 2023). Folkhälsomyndigheten rekommenderar en högsta koldioxidhalt inomhus på 1000 ppm, men påpekar att det inte är gränsen för hälsopåverkan. Först vid koldioxidhalt över 20 000 ppm, börjar människans andningsfrekvens påverkas och med ökad halt koldioxid ökar risken för huvudvärk och i förlängningen för medvetlöshet (Folkhälsomyndigheten 2025).

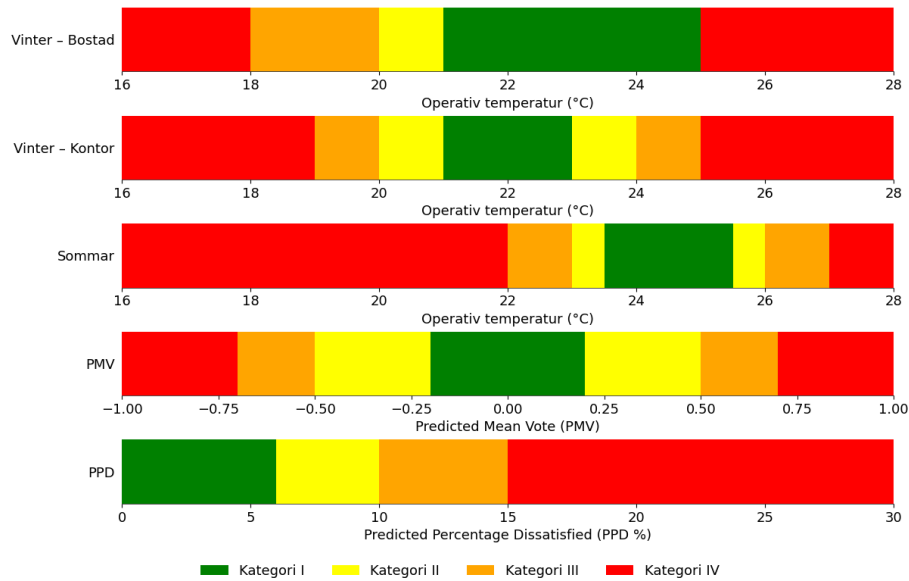
2.4.3 Termisk komfort

Definitionen av termisk komfort är när personer upplever tillfredsställelse av det termiska klimatet (Bülow-Hübe m. fl. 2022). Enligt (Boverket 2014) ska byggnader utformas på sådant sätt att tillfredsställande termiskt klimat kan erhållas. Det termiska klimatet påverkas av många olika aspekter såsom lufttemperatur, lufthastighet, luftfuktighet och strålning. En människas upplevelse av termisk komfort påverkas även av personliga faktorer som

metabolism, aktivitetsgrad och klädselns isoleringsgrad. Enligt Arbetsmiljöverket (2025b) och Folkhälsomyndigheten (2024) ska inomhustemperaturen för ett kontor ligga mellan 20-24°C, med undantag för sommartid när temperaturer upp till 26°C accepteras. Luft-hastigheten i ett rums vistelsezon bör inte överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsong och 0,25 m/s under övrig tid (Boverket 2014). Om det inte finns någon väl undersökt och dokumenterad högsta tillåtna fuktillstånd för ett material eller en produkt så gäller den högsta tillåtna relativa fuktigheten på 75 % (Boverket 2011). Den relativa luftfuktigheten (RF) bör ligga inom intervaller 30-70 %, med undantag för vintern när en relativ fuktighet kan understiga 20 % och något lägre utan att orsaka problem (Socialstyrelsen 2005). För att mäta temperaturen i ett rum används inte enbart lufttemperatur utan även operativ temperatur. Operativ temperatur beskriver hur kroppen upplever temperaturen i ett utrymme och är ett medelvärde av lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor (Arbetsmiljöverket 2025b).

PMV (*predicted mean vote*) står för förväntat medelutlåtande och är en 7-gradig skala av individers upplevelse av inomhusklimatet från +3 till -3, där plus är för varmt och minus för kallt. Om resultatet ger ett PMV som är $\pm 0,5$ anses det termiska klimatet vara neutralt (Shehadeh och Söderlund 2015). PMV kopplar till PPD (*predicted percentage of dissatisfied*) som är ett index för att förutspå hur stor procentandel av en grupp människor som troligtvis kommer att känna sig missnöjda med inomhustemperaturen, det vill säga antingen uppleva den för varm eller för kall (IEQ Global Alliance 2021).

EN 15251:2007 är en europeisk standard som fastställer riktlinjer för inomhusmiljöparametrar vid utformning och bedömning av byggnaders energiprestanda. Den omfattar krav på luftkvalitet, termisk komfort, belysning och akustik för att säkerställa en god inomhusmiljö för de som vistas i byggnaden. Standarden delar in komfortnivåer i fyra kategorier (I–IV) beroende på användarnas behov och känslighet (Olesen 2012). Den används som grund i energiberäkningar och grunden för de termiska klimatberäkningarna som utförs i simuleringsprogrammet *IDA Indoor, Climate and Energy (IDA ICE)*. Termisk komfort mäts utifrån den operativa temperaturen, PMV och PPD. I figur 2 visas en sammanställning av EN-standardens kriterier för respektive kategori för termisk komfort, där kategori IV är ett oacceptabelt termiskt klimat och kategori I är den högsta nivån av termisk komfort. Med vinter menas uppvärmningssäsong och med sommar kyla-säsong. EN 15251 gör skillnad på kriterier i kontor jämfört med bostadshus, men kategori IV som är ett oacceptabelt termiskt klimat uppstår i båda fall för temperaturer över 25°C.



Figur 2: De termiska komfort kriterier för EN 15251:2007 - standard för kategori (I-IV) (Khovalyg m. fl. 2020).

2.5 Installationssystem i case-byggnad

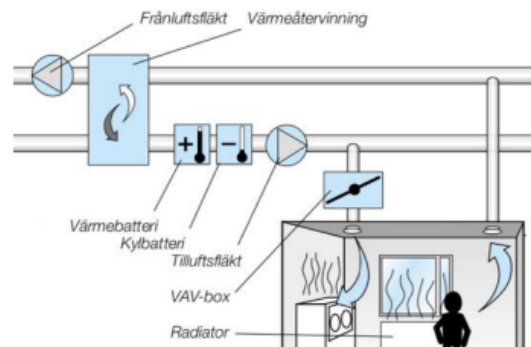
För denna studie kommer en kontorsbyggnad som är planerad att byggas i Stockholmsområdet vara studieobjekt för att besvara rapportens frågeställningar. Det är ett åtta våningar högt träkonstruktionshus, varav de två nedersta planen består av caféer och andra verksamhetslokaler och resterande sex våningsplan är kontorsytor för olika företag som hyresgäster. I mitten av huset finns ett atrium med takfönster högst upp.

2.5.1 Ventilationssystem

Det finns flera olika typer av ventilationssystem men i den studerade byggnaden är det ett mekaniskt till- och frånluftssystem med värmeåtervinning (s.k. FTX-system) installerat. Värmeåtervinningen sker genom att värmeväxlaren tar tillvara på värmen i frånluften och värmer upp ny, kall uteluft, alternativt under kyla säsong kan den kallare inomhusluften användas för att kyla varmare utomhusluft. Byggnaden har två olika luftbehandlingsaggregat; ett som försörjer kontor och mötesrum och ett som försörjer övriga ytor. Båda luftbehandlingsaggregaten är utrustade med ett kylbatteri och ett värmebatteri för att kunna säkerställa önskad temperatur på tilluften. Uppvärmningen sker genom att låta varmt vatten från fjärrvärmenätet passera i kanaler runt tilluften och låta värmen överföras från det ena mediet till det andra. Samma princip gäller för kylning när kallt vatten från fjärrkylanätet utnyttjas för att kyla luften. I övrigt består systemet i huvudsak av två fläktar - en tilluftsfläkt och en frånluftsfläkt, som ventilerar byggnaden via två separata kanaler, se schematisk bild i figur 3.

Tilluften tillförs via ett variabelt luftvolymssystem, så kallat VAV-system (*variable air volume*) i kontor och mötesrum, som styr tilluftsflödet utifrån lufttemperatur inne

och koldioxidhalt i inomhusluften. Fläktarna är på under vardagar mellan klockan 06 på morgonen till 18 på kvällen. Övriga utrymmen har ett schemalagt konstant flöde under vardagar kl. 6-18.



Figur 3: Schematisk bild av luftbehandlingsaggregatet (Olivares och Punjani 2023).

För att driva runt luften i kanalsystemet används fläktar och det är fläktarna som drar elektrisk energi. Sambandet mellan fläkteffekt och luftflöde är kubiskt enligt ekvation 1 (Sandels, Brodén m. fl. 2016).

$$P_{\text{fläkt}}(t) = P_{\text{fläkt,max}} \cdot \left(\frac{\dot{V}(t)}{\dot{V}_{\text{max}}} \right)^3, \quad t \in \Psi_{\text{hvac}} \quad [\text{W}] \quad (1)$$

$$P_{\text{fläkt,max}} = \dot{V}_{\text{max}} \cdot \text{SFP}$$

där $P_{\text{fläkt}}(t)$ är effektförbrukning för fläkten vid tidpunkt t [W], $P_{\text{fläkt,max}}$ är maximal effekt för fläkten [W], $\dot{V}(t)$ är luftmassflöde vid tidpunkt t [m^3/s], \dot{V}_{max} är maximalt luftflöde [m^3/s], SFP är specifik fläkteffekt [$\frac{\text{W}}{\text{m}^3/\text{s}}$] och Ψ_{hvac} är drifttid schemalagd vardagar kl. 6-18.

Det innebär att om exempelvis luftflödet halveras, kommer effekten minska med en faktor åtta ($(\frac{1}{2})^3 = \frac{1}{8}$).

2.5.2 Värme- och kylsystem

Värme tillförs till byggnaden via tilluften och med hjälp av radiatorer. Både värmebatteriet på tilluften och radiatorerna värms upp med varmvatten från fjärrvärmenätet. Värmesystemet är på dygnet runt och värmer vid behov för att upprätthålla en lägsta inomhustemperatur om 21°C . Kylbehovet i kontor och mötesrum täcks av VAV-systemet som korrigerar tilluftsflödet utifrån inomhustemperatur och koldioxidhalt. Tilluften i kontor och mötesrum är tempererad till 16°C i den studerade byggnaden. Dessutom i denna studie kommer vissa scenarier att undersöka effekterna av nattkyla, vilket innebär att byggnaden ventileras under natten, under kyla-säsong, om utomhusluften är svalare än inomhusluftens temperatur. I café- och övriga verksamhetslokaler som har ett konstant tilluftsflöde krävs även kylbafflar för att täcka det totala kylbehovet. Kylan till kylbafflarna och kylbatteriet tillförs via fjärrkylanätet. Tilluften i övriga utrymmen, alltså alla utrymmen förutom kontor och mötesrum, är tempererad till 18°C .

3 Metod

Det här kapitlet redovisar hur modelleringen har gjorts i IDA ICE, vilka olika scenarier som studeras, beskrivning av känslighetsanalys och hur effekt- och prisjämförelser genomförs.

För att kunna besvara frågeställningen om vilka förutsättningar och väderförhållanden som påverkar reduceringsperiodens längd har fyra representativa dygn med olika karaktäristika valts ut. En dag från respektive årstid och med olika mycket solinstrålning, se tabell 1, från Svebys väderdatafil från 2023 i Stockholm (mer information om väderdatafilen under 4.2 *Klimatdata*).

Tabell 1: Fyra utvalda vardagar med olika karaktäristika från 2023

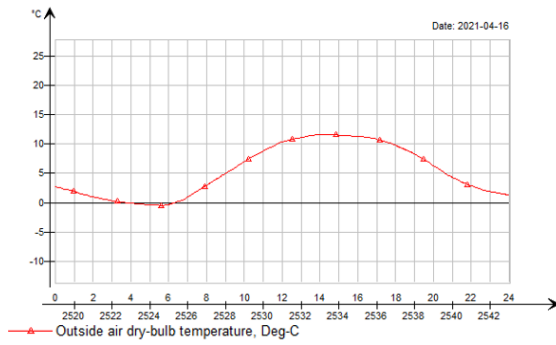
Typ av dag	Datum	Dygnsmedeltemperatur [°C]	Solinstrålning [Wh/m ²]
Solig vårdag	16 april	5,3	5810
Solig varm sommardag	29 juni	22,8	6733
Molnig höstdag	22 oktober	6,1	802
Kall vinterdag	3 december	-5,9	267

Solinstrålningens intensitet är redovisad som ett snitt över respektive timme per kvadratmeter och är summerad över respektive dygn i tabell 1. Temperaturen är en dygnsmedeltemperatur och varierar över dygnets timmar enligt figur 4.

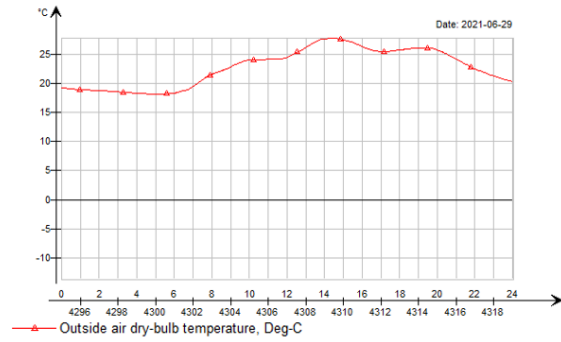
För att besvara frågeställningen hur långa tidsperioder som är möjligt att reducera luftflödet och samtidigt upprätthålla det termiska klimatet inom acceptabla nivåer kommer flera olika scenarier att simuleras. Varje scenario är mer specifikt beskrivet under avsnitt 3.2 *Scenarion*. I denna rapport har ventilationsflödesreducering förkortats till VFR och används som begrepp för efterfrågefleksibilitet med ventilationssystemet, inspirerat av den engelska akronymen DR. Varje scenario har därefter analyserats utifrån de utvalda representativa dagarna och som en helhet över ett helt år. Utvärderingen av inomhusklimatet görs utifrån EN 15251:2007, Arbetsmiljöverkets riktlinjer, koldioxidhalt, PMV och PPD. Utöver en utvärdering av påverkan på inomhusklimatet har en sammanställning av varje scenarios totala energibehov, effektbesparing under VFR och en kostnadsanalys genomförts. För att avgöra hur mycket effekt som sparas behövs en tydlig utgångspunkt, därför kommer alla resultat att jämföras mot Scenario 1 som fungerar som grundscenario.

3.1 Modell i IDA Indoor, Climate and Energy

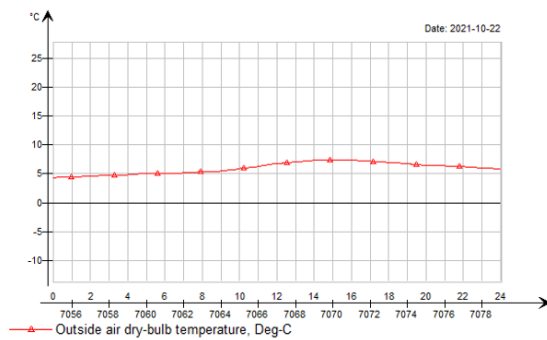
IDA Indoor, Climate and Energy (IDA ICE) är ett välutvecklat simuleringsprogram som används för att modellera och analysera byggnaders inomhusklimat och energiprestanda. Programmet har utvecklats av det svenska företaget EQUA Simulation AB. I IDA kan man noggrant bygga upp byggnader med olika zoner och väggkonstruktioner, VVS-system samt styr- och reglersystem såsom byggnaden ska styras och användas i verkligheten (EQUA



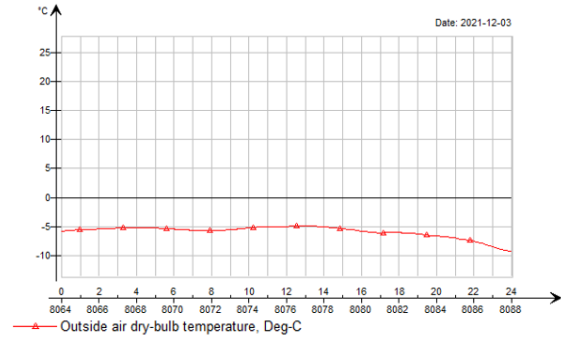
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



(c) 22a oktober - mulen höstdag



(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 4: Utomhustemperaturens variationer under de fyra representativa dyggen.

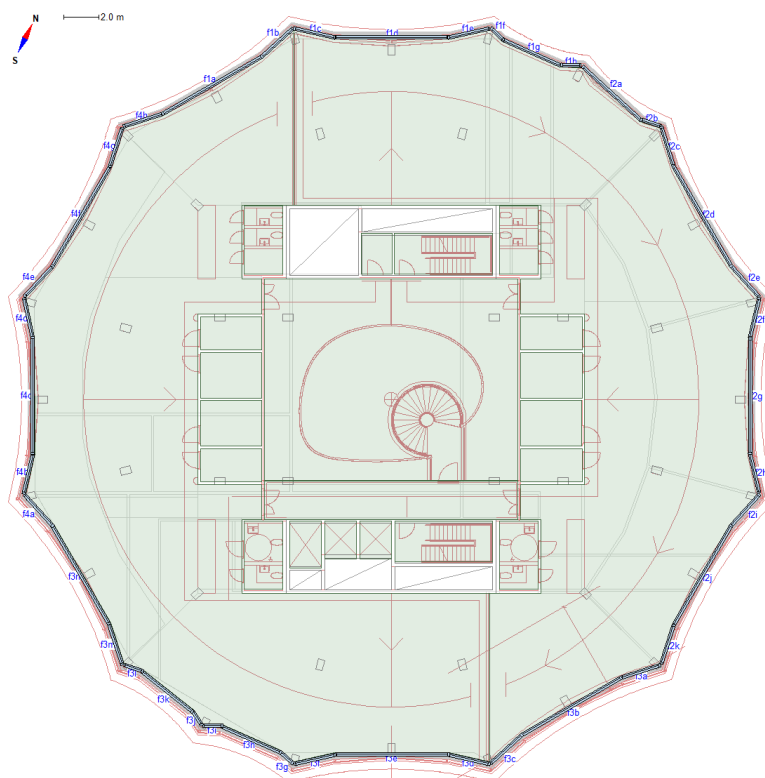
Simulation AB 2024). Modellen är uppbyggd i IDA ICE version 4.8 och är ett kontorshus i trä med stora fönsterpartier på alla våningsplan. Figur 5 ger en gestaltning av den planerade byggnaden som ger möjlighet för caféer eller restauranger på bottenplan med uteservering i bra solläge och kontor ovanför.



Figur 5: Gestaltning av den planerade byggnaden som studeras.

3.1.1 Typ-våningsplan

Kontorsbyggnaden är modellerad med 4 identiska våningsplan där plan 5 är ett representativt typ-våningsplan för byggnaden i mitten av huset. Typ-våningsplanet för kontoret består av två större öppna kontorsytor på omkring 470 m² vardera. Varje kontorsyta har utöver den öppna kontorsytan fyra tillhörande mötesrum, fyra toaletter och ett litet förråd, se figur 6 nedan. I mitten av hela byggnaden finns ett stort öppet atrium med takfönster upp mot himlen. På vardera sida av atriet finns ett trapphus och på ena sidan finns dessutom tre stycken hissar. Alla resultat senare i rapporten redovisas från det aktuella typ-våningsplanet som beskrivits och redovisas i figur 6. De öppna kontorsytorna och varje mötesrum har ett VAV-system som är det centrala installationssystemet för denna studie.



Figur 6: Typ-våningsplan för kontorsvåning i den studerade kontorsbyggnaden, med kontor 1 höger i bild och kontor 2 vänster i bild.

Det finns ett intilliggande hus söder om kontorshuset som skuggar delar av fasaden på den tilltänkta byggnaden en stund mitt på dagen, i övrigt ingenting större som skuggar. Kontorsbyggnaden har modellerad solavskärmning som aktiveras vid solstrålning över 200 W/m² som mäts på utsidan av fönstret. Kontor 1 har nordöstlig orientering som präglas av mycket morgonsol och kontor 2 sydvästlig orientering som präglas av mycket eftermiddagssol, se väderstrecksangivelse högst upp i vänstra hörnet av figur 6.

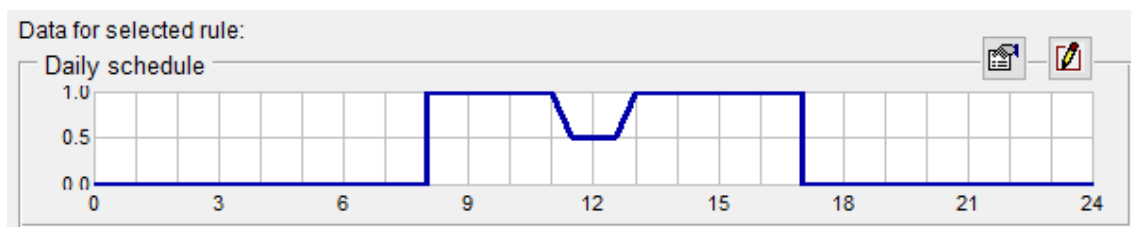
3.1.2 Övriga ytor i byggnaden

Den tilltänkta platsen för byggnaden är en sluttande markyta. Nivåskillnaden gör att det finns marklokaler både på plan 2 och 3 i byggnaden. De två nedersta våningsplanen utnyttjas

till entréparti, caféer, cykelförråd och andra verksamhetslokaler. I övriga ytor ingår också ett atrium centrerat i mitten av huset som sträcker sig från våning 4 till 9, trapphus, hissar, WC och förråd. På högsta våningen i huset är det också tänkt kontorslokaler men med en annan planritning och särprägel, som större fönsterpartier och takterrass, till skillnad från typ-våningsplanen.

3.1.3 Närvaro och utrustning

Kontorsbyggnaden har simulerats utifrån antagandet om kontorstider mellan kl. 8-17 utgående från Svebys rapport om brukarindata för kontor (Sveby 2013). Personalen på kontoren väntas ta lunch någon gång mellan kl. 11-13, där de flesta tar en timme mellan kl. 11.30-12.30, se figur 7 nedan. Det är rimligt att anta att det kommer finnas sjukfrånvaro, VAB, hemarbete eller externa möten för några i personalen och därför är inte beläggningen på kontoret 100 %. Enligt Sveby (2013) antas normalbeläggning under kontorstid vara 70 % vilket även kommer antas i denna rapport. Varje person antas ha en aktivitetsnivå på 1,2 MET och klädernas isoleringsgrad är $0,75 \pm 0,25$ CLO (Khovalyg m. fl. 2020) där isoleringsgraden anpassas inom gränserna för att uppnå bästa komfort för individerna i simuleringsprogrammet IDA ICE. Simuleringen antar också att det är semesterperiod i juli med 50 % beläggning på kontoret av normalbeläggning. På helger antas ingen närvaro på kontoret. Närvaron är också simulerad utifrån jämn fördelning över öppet kontorslandskap och mötesrum, vilket innebär att ingen hänsyn tas till högre koncentration i mötesrum vid exempelvis bokade möten.



Figur 7: Närvaroprofil på kontorsytor under vardagar

Enligt Sveby (2013) antas all belysning vara konstant på under kontorstid, oavsett närvaro och dagsljus, vilket dessvärre ofta är vanligt förekommande. IT-utrustning och belysning är framräknat utifrån schablonvärde för verksamhets el om 50 kWh/m^2 , år vilket baseras på 70 % närvaro i Svebys rapport om brukarindata kontor. På ena sidan är rapporten skriven år 2013 och ger redan då en fingervisning om att energiförbrukningen förväntas vara betydligt lägre om några år när bland annat LED-belysning används, vilket idag i princip alla kontor har. Å andra sidan har antalet enheter per person troligtvis ökat. Det finns inga nya riktlinjer eller ny branschstandard, så denna rapport utgår från Svebys schablonvärde på 50 kWh/m^2 och år. Sedan, för att diversifiera resultatet, genomförs en känslighetsanalys där en lägre energiförbrukning för IT-utrustning och belysning simuleras. För att vara kompatibelt med IDA ICE behövs effekt per kvadratmeter och därför har 50 kWh per m^2 och år beräknats om till $21,3 \text{ W/m}^2$ under kontorstid kl. 8-17 vardagar och 15 % av värdet under övrig tid (Sveby 2013).

3.1.4 Modellerat kyl- och värmesystem

Kontor och mötesrum kyls med ett VAV-system som anpassar luftflödet utifrån temperatur och koldioxidhalt. Tilluften som tillförs byggnaden har en temperatur på 16°C . För att tilluften ska hålla en konstant tilluftstemperatur är det kopplat ett värmebatteri och kylbatteri på tilluftskanalen som värmer eller kyler luften utifrån behov. Fläktarna som används för att cirkulera runt luften i byggnaden höjer temperaturen med en grad, därför är det modellerat i IDA att temperaturen ska värmas eller kylas till 15°C . Byggnadens kylsystem är på under dagtid mellan kl. 06-18. Värmen däremot är alltid på, dygnet runt. Utöver ventilationssystemet används vattenburna radiatorer för att värma byggnaden när det behövs under vintern, som är modellerat med *ideal heaters* i IDA.

Cafélokaler har schemalagd konstant ventilation (*constant air volume*, CAV) på $1,2 \text{ L/s, m}^2$ under vardagar kl. 6-18, en förenklad modell av lokal kylare, så kallade *ideal coolers* i IDA och radiatorer som modelleras med *ideal heaters*. Övriga ytor som trapphus, WC och andra ytor har schemalagd VAV på generellt lägre flöden under vardagar kl. 6-18 och ingen extern extra kylning. Alla övriga utrymmen som inte är kontor har uppvärmningen via radiatorer (*ideal heaters*) och tilluftsflöde med en temperatur på 18°C .

3.1.5 Nattkyla

För några scenarier modelleras nattkyla vilket innebär att under natten, mellan kl. 22-06, tillför ventilationssystemet utomhustempererad luft till kontorsbyggnaden. Utomhustemperaturen behöver vara mer än 2 grader svalare än inomhustemperaturen och utomhustemperaturen måste dessutom vara varmare än 10°C . Nattkyla är modellerat att kunna användas från 1 maj till 30 september när nämnda kriterier är uppfyllda. Om kriterierna är uppfyllda kommer fläktar tillföra luft tills inomhustemperaturen når önskad temperatur under nattkylning. Utomhusluften som tillförs byggnaden under nattkyla varken värms eller kyls, så den tillförda tilluften under nattkyla är utomhustemperatur $+1^{\circ}\text{C}$ då fläktarna i ventilationssystemet alltid höjer temperaturen en grad.

3.1.6 Sammanfattning modelleringsparametrar

Det är ett centralt luftbehandlingsaggregat som försörjer kontorsytor och mötesrum med frisk tilluft via ett VAV-systemet. VAV-systemet styr luftflödet mellan $0,35\text{-}8 \text{ l/s, m}^2$. I resultatdelen i rapporten kommer det totala luftflödet från luftflödesaggregatet att redovisas. De totala kontorsytorna är på $5\,858 \text{ m}^2$ vilket ger vid lägsta luftflöde på $0,35 \text{ l/s, m}^2$ ett luftflöde på 2050 l/s från luftbehandlingsaggregatet. Vid forceringsflöde på 8 l/s, m^2 innebär det $46\,864 \text{ l/s}$.

För beräkning av antal personer i en kontorsbyggnad har Sveby (2013) ett standardvärde på en person per 20 m^2 uppvärmd golvyta (A_{temp}) vilket har använts i denna rapport. Däremot med dagens öppna kontorslösningar är ofta kontor möblerade med betydligt fler personer per kvadratmeter och därför görs en känslighetsanalys på detta värde.

Den planerade byggnaden ämnas att byggas med trästomme och KL-trä i mellanbjälklag som har en isoleringsförmåga på $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$. Trästomme är generellt en lättare

Tabell 2: Modelleringsparametrar för det tekniska systemet i IDA ICE

Parameter	Delparameter	Värde	Kommentar
A_{temp}	case-byggnad	10 476 m ²	
	kontorsytor	5 858 m ²	
FTX	tilluft	16 °C	
	SFP	1,5 kW/m ³ /s	
	temp. verkningsgrad	80 %	
VAV	vardagar, kl. 06-18	0,35-8 l/s, m ²	
	övrig tid	0 l/s, m ²	Sveby (2013)
	forceringsflöde	8 l/s, m ²	vardagar, kl. 07-18
Innetemperatur	uppvärmningssäsong	21 °C ≤ T_{inne} ≤ 24 °C	Sveby (2013)
	kylsäsong	23 °C ≤ T_{inne} ≤ 26 °C	Sveby (2013)
Nattkyla	T_{inne}	20 °C och 18 °C	kl. 22-06, 1 maj-31 sept. $\Delta T = T_{inne} - T_{ute}$
	kriterium	$\Delta T > 2 °C$	
	T_{ute}	> 10 °C	
Mellanbjälklag	isoleringsförmåga	0,2447 W/m ² K	KL-trä
	isoleringsförmåga	0,6853 W/m ² K	betong
Persondata	524 personer	20 m ² /person	Sveby (2013)
	aktivitetsnivå	1.2 MET	(Khovalyg m. fl. 2020)
	kläders isoleringsgrad	0,75 ± 0,25 CLO	(Khovalyg m. fl. 2020)
	beläggningsgrad	70 %	Sveby (2013)
Verksamhetsel	schablon	50 kWh/m ² , år	Sveby (2013)
	vardagar, kl. 8-17	21,3 W/m ²	100 %
	övrig tid	3,2 W/m ²	15 %
Tappvarmvatten	värmebidrag	0	Sveby (2013)
Solavskärmning	gränsvärde solstrålning	200 W/m ²	mät punkt utsidan
	g-värde	från 0,38 till 0,1	med solavskärmning

konstruktion jämfört med betong. Å andra sidan har fler kontorshus i trä byggts de senaste åren på grund av betongens höga CO₂-utsläpp (Axelsson 2022).

3.2 Scenarion

I tabell 3 är tio olika scenarion specificerade med en kort beskrivning, luftflöde under VFR och kommentar kring specifika kriterier. Scenario 1, studiens grundscenarion, är utgångspunkten för att kunna jämföra resultat mot resterande scenarion. För scenario 1, är det ett VAV-system med temperatur- och koldioxidstyrning. Grundscenariot är modellerat med två varianter; båda för att hålla en lägsta temperatur på 21 °C och i det ena fallet (A) är en högsta temperatur på 24 °C och i det andra fallet (B) en högsta temperatur på 23 °C i kontorsbyggnadens kontorslokaler. Koldioxidstyrningen är modellerad för att

öka luftflödet vid 600 ppm och tillåten maximal koldioxidhalt är på 1000 ppm. Under fläktarnas drifttid, vardagar kl. 6-18, är det lägsta möjliga ventilationsflödet 0,35 l/s, m² och forceringsflöde 8 l/s, m².

3.2.1 Scenarier med olika styrningsparametrar

För scenario 2, stängs aldrig fläktarna av helt utan ett grundflöde under nätter och helger på 0,1 l/s, m² är igång. Det eftersom Arbetsmiljöverket (2025a) rekommenderar att flödet aldrig stängs av helt. Nattflödet väljs till 0,1 l/s, m² eftersom det är vad som rekommenderas för bostadshus när ingen är närvarande (Boverket 2011). Under fläktarnas ordinarie drifttid, vardagar kl. 6-18, styrs ventilationssystemet enligt samma parametrar som för grundscenariot (scenario 1). För scenario 3, har den lägre koldioxidgränsen höjts till 800 ppm och maxgränsen för koldioxidhalten höjts till 2000 ppm för att undersöka effekten av koldioxidstyrning. För att diversifiera resultatet undersöks en av känslighetsparametrarna, en ökad beläggning från 70% till 208 %, för scenario 3 (B) med koldioxidstyrning på 2000 ppm.

För scenario 4, undersöks potentialen i nattkyla. Två olika tillåtna lägsta temperaturer under nattkylning jämförs, den första (A) på 20°C och den andra (B) på 18°C. Se beskrivning av kriterier för nattkyla under avsnitt 3.1.5 *Nattkyla*.

3.2.2 Scenarier med ventilationsflödesreducering, VFR

För scenario 5-8, undersöks olika VFR-perioder med hjälp av VAV-systemet. *VFR 15 min* betyder att luftflödet reduceras under 15 min till det luftflöde som beskrivs under rubriken *flöde under VFR*, i detta fall 0,35 l/s, m² för scenario 5 i tabell 3. För scenario 5, testas dessutom två olika högsta tillåtna temperaturer; (A) 24°C och (B) 23°C som luftflödet anpassas utefter i VAV-systemet. Under rubriken *kommentar* för VFR scenarierna 5-8 i tabell 3 är de klockslag som ventilationsflödesreduceringen inleds. För scenario 6, VFR 1h undersöks två olika luftreduceringsflöden; (A) 0,35 l/s, m² och (C) 0,35 l/s, m² + 7 l/s, person. Arbetsmiljöverkets riktlinjer kring ventilationsflöde är 0,35 l/s, m² + 7 l/s, person. Denna byggnad som antas ha 524 kontorsplatser med 70 % beläggning och en total kontorsyta på 5 858 m² blir ett ventilationsflöde på 0,788 l/s, m². Dessutom undersöker detta scenario två olika kyltemperaturer för VFR 0,35 l/s, m², se tabell 3. För scenario 7, reduceras ventilationsflödet till 0,35 l/s, m² under två timmar. För scenario 8, undersöks både vad som händer med inomhusklimatet om fläktarna stängs av helt under fyra timmar från kl. 8 på morgonen fram till kl. 12 mitt på dagen (fall A) och ett fall där luftflödet reduceras till 0,35 l/s, m² (fall B).

För scenario 9, undersöks potentialen av förkylning och efterfrågeflexibilitet. Timmen innan luftflödet reduceras förkyler ventilationssystemet kontorsytan till 23°C för att i förväg kompensera för den temperaturhöjning som uppstår vid luftflödesreducering. Klockslagen är den tidpunkt när ventilationsflödesreduceringen inleds, vilket innebär att förkylning startar en timme innan den angivna tiden i kolumn *kommentar* i tabell 3. För scenario 10, används en dynamisk ventilationsflödesreducering (VFR) under en timme som innebär att

luftflödet reduceras till olika luftflödesvolymmer beroende på årstid. Under vintern, det vill säga första december till sista februari, reduceras ventilationsflödet till 0,35 l/s, m². Under vår och höst som sträcker sig från första mars till sista maj och första september till sista november reduceras luftflödet till 1 l/s, m². Under sommarmånaderna, när luftflödena är som högst eftersom det uppstår ett stort kylbehov, reduceras luftflödet till 2 l/s, m² under VFR-timmen. Scenario 10 utförs för två olika kylningstemperaturer; (A) 24°C och (B) 23°C. En sammanställning av alla beskrivna scenarion syns i tabell 3.

Tabell 3: Modelleringsscenarier.

Scenario	Beskrivning	Flöde under VFR [l/s, m ²]	Kommentar
Scenario 1	A: grundscenario, 24°C B: grundscenario, 23°C		600 - 1000 ppm
Scenario 2	med natt- och helgflöde		
Scenario 3	A: högre koldioxidgräns B: högre koldioxidgräns		800 - 2000 ppm 70% närvarograd 800 - 2000 ppm 208% närvarograd
Scenario 4	A: nattkyla, 20°C B: nattkyla, 18°C		
Scenario 5	A: VFR 15min, 24°C B: VFR 15min, 23°C	0,35 0,35	kl. 8, 10, 12, 14 & 16 kl. 8, 10, 12, 14 & 16
Scenario 6	A: VFR 1h, 24°C B: VFR 1h, 23°C C: VFR 1h, 24°C	0,35 0,35 0,35 + 7 l/s, pers.	kl. 8, 11, 14 & 17 kl. 8, 11, 14 & 17 kl. 8, 11, 14 & 17
Scenario 7	VFR 2h, 24°C	0,35	kl. 8, 12 & 16
Scenario 8	A: VFR 4h, 24°C B: VFR 4h, 24°C	0 0,35	kl. 8 kl. 8
Scenario 9	VFR 1h, förkylning 23°C	0,35	kl. 10 & 15
Scenario 10	A: VFR 1h, 24°C, dynamiskt B: VFR 1h, 23°C, dynamiskt	0,35 ¹ , 1 ² & 2 ³ 0,35 ¹ , 1 ² & 2 ³	kl. 8, 11, 14 & 17 kl. 8, 11, 14 & 17

¹Vinter: 1 december - 28 februari

²Vår: 1 mars - 31 maj & höst: 1 september - 30 november

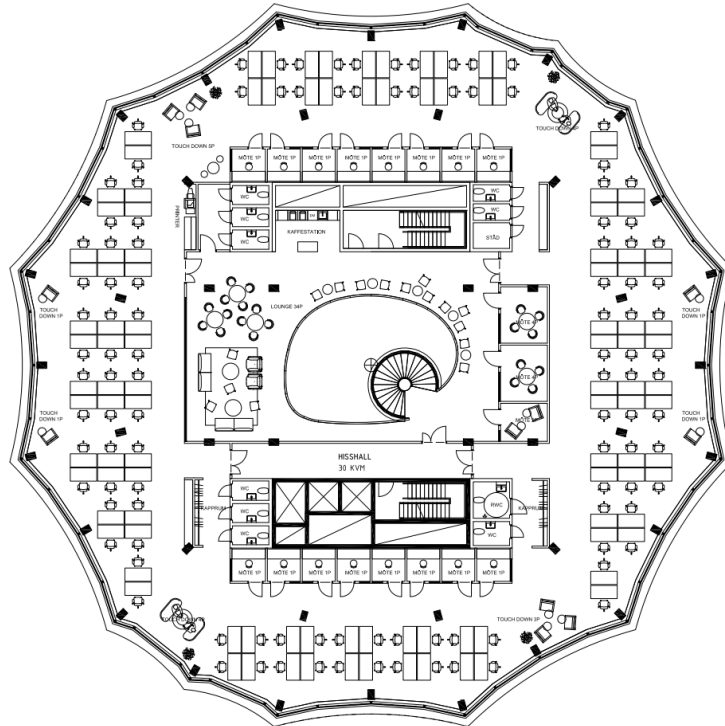
³Sommar: 1 juni - 31 augusti

3.3 Känslighetsanalys

För att diversifiera resultatet har en känslighetsanalys utförts utifrån tre olika parametrar. Den första är en högre persondensitet, den andra är energiåtgången för IT-utrustning och belysning i en kontorslokal vilket påverkar internvärmebidraget och den sista är med betong i mellanbjälklaget istället för KL-trä. Känslighetsanalysen utförs på scenario 10.B som innebär en dynamisk säsongsanpassad ventilationsflödesreducering med kylningstemperatur på 23°C och varje känslighetsparameter har justerats en åt gången för att kunna få ett jämförbart resultat.

I början av processen var det inte känt hur många kontorsplatser som var planerade på respektive kontorsvåningsplan och simuleringarna utgick från Svebys riktvärde på en person per 20 kvadratmeter total uppvärmd golvyta. Senare i processen tillhandahölls ritningar kring planerad beläggning om 150 personer per våningsplan, vilket innebär ungefär en fördubbling i personer gentemot Svebys riktvärde som ger 72 personer per våningsplan. En beläggning på 150 personer per kontorsvåningsplan innebär ungefär en person per 10 kvadratmeter uppvärmd golvyta. Däremot, med 150 personer på den planerade kontorsytan får inte alla en sittplats vid ett skrivbord vilket innebär en aktivitetsbaserad kontorsmiljö. Medarbetare förväntas sitta och jobba i mötesrum, loungegrupper och *touch down*-platser vid 100 % närvaro på kontoret och ta den plats som finns ledig när de anländer till kontoret. Antalet skrivbord på det ritningsförslag med flest skrivbordsplatser är 112 stycken, se figur 8. För att sätta det i perspektiv mot Svebys riktvärde på 1 per 20 m² och 70 % närvarograd motsvarar det på arkitektens planritning att alla anställda har en egen skrivbordsplats och att ungefär 50 % är närvarande på kontoret samtidigt. För att diversifiera detta görs två nya simuleringar utgående från 150 personer per kontorsvåning, där den första är med 100 % närvaro och en andra med 70 % närvaro. Jämfört med ursprungsbeläggningsen utifrån Svebys rapport motsvarar det 208 % och 146 %.

Svebys rapport skrevs 2013 och sedan dess har mycket hänt med IT-utrustning och belysning, bland annat har nästan all belysning bytts ut till LED. Den tekniska utrustningens energiutgång kan beräknas utifrån 125 W utrustning per person (ett värde som används av Incoörd) och 3,2 W/m² i belysning med mycket effektiva LED-armaturer (Sveby 2013). Med utgångspunkt från antalet personer i grundscenariot och 70 % beläggning ger det ett halverat energibehov för utrustning och belysning motsvarande 25 kWh/m² och år. Om utgångspunkten är kontor med fler sittplatser på mindre yta påverkar det andelen utrustning. Med 150 personer per våningsplan och 70 % beläggning ger det ett energibehov på omkring 37 kWh/m² och år och vid 100 % beläggning är energibehovet nästan uppe i Svebys schablonvärde på 50 kWh/m² och år. För att analysera påverkan av utrustningens internvärme simuleras två scenarion med energibehov för utrustning på 25 kWh/m², år och 37 kWh/m², år, vilket förenklas till 50% respektive 70% av IT-utrustningen och belysningen i simuleringarna i IDA ICE.



Figur 8: Arkitektens möbleringsplanritning med 112 skrivbordsplatser.

Den sista aspekten i känslighetsanalysen är att testa med en betongkonstruktion i mellanbjälklaget för att analysera konstruktionens påverkan på ventilationssystemets effektreduceringspotential. Betong har en högre termisk massa som potentiellt kan lagra mer kyla i stommen (Axelsson 2022) och därför simuleras och jämförs ett sådant scenario. Tabell 4 visar en lista över alla känslighetsparametrar som används i känslighetsanalysen.

Tabell 4: Känslighetsparametrar

Känslighetsparameter	Storlek
IT-utrustning och belysning	70 %
Personbeläggning	50 %
	208 %
	146 %
Betongbjälklag	200 mm

3.4 Kodning av prisindikationer och effektreducering i Python

Python version 3.13.2 har använts för att undersöka hur det totala elpriset påverkas av de tio undersökta scenarierna i tabell 3. Python-scriptet utnyttjar den information som simulerats i IDA ICE angående byggnadens elförbrukning vid olika scenarier som kombinerats med Ellevios tariffstruktur och spotpriser för SE3 2023 (det rörliga elpriset). De data som utnyttjas är närmare beskrivna under kapitel 4 *Data*. Scriptet tar fram totalt elpris,

tariffkostnad, effektagiftens bidrag i tariffkostnaden, total energiskatt och totalpriset för byggnadens elförbrukning. Alla kostnader sammanställs över hela året.

Ett annat script jämför den effekt som fläktarna utnyttjar genom att jämföra snittet av de aktuella VFR-timmarna mot grundscenariot med samma kylningstemperatur. Utöver det jämförs det totala elbehovet för fläktarna under de fyra modellerade dagarna.

4 Data

Detta kapitel ger en överblick av vilka data som används i denna rapport; data över byggnaden, klimatet och kostnader för el.

4.1 Data över byggnaden

Data över byggnadens klimatskal och zonuppdelningar har tillhandahållits som IDA ICE-modell i version 4.8 av Incoord. Det är ett planerat kontorshus som Incoord tidigare utfört en energianalys av till en granskningshandling - ett utarbetat förslag som skickas ut för synpunkter innan slutgiltigt beslut. Huset särpräglas av stora fönsterpartier och KL-trästomme som mellanbjälklag. Byggnadens kylsystem har ändrats från vattenburna kylbafflar till kylning med variabelt luftflöde, ett VAV-system, med temperatur- och koldioxidstyrning för att kunna besvara rapportens frågeställningar.

4.2 Klimatdata

Klimatdatafil över år 2023 har tillhandahållits från Sveby:s hemsida (Sveby 2025). I simuleringarna i IDA ICE har klimatdatafilen Stockholm-Stockholm-102612-2023 använts som är data från en väderstation i södra Stockholm på latitud 59,2833° och longitud 18,0398°, uppmätt 29 m.ö.h. Klimatdatafilen innehåller vindriktning, vindhastighet, torra lufttemperaturen, luftfuktighet, molntäcke och solstrålning utifrån tre parametrar, med värden för varje timme för hela året (Sveby 2025). År 2023 var ett något mildare år än normalåret i Stockholm och präglades av en mild inledning av året och mycket solstrålning under april, maj och juni. 2023 var också ett år med mer nederbörd än normalt, där bland annat stormen Hans drog in över Sverige i början av augusti och orsakade stora översvämningsproblem. Året avslutades med kallare väder och snö som kom redan runt slutet på november (SVT Nyheter 2024).

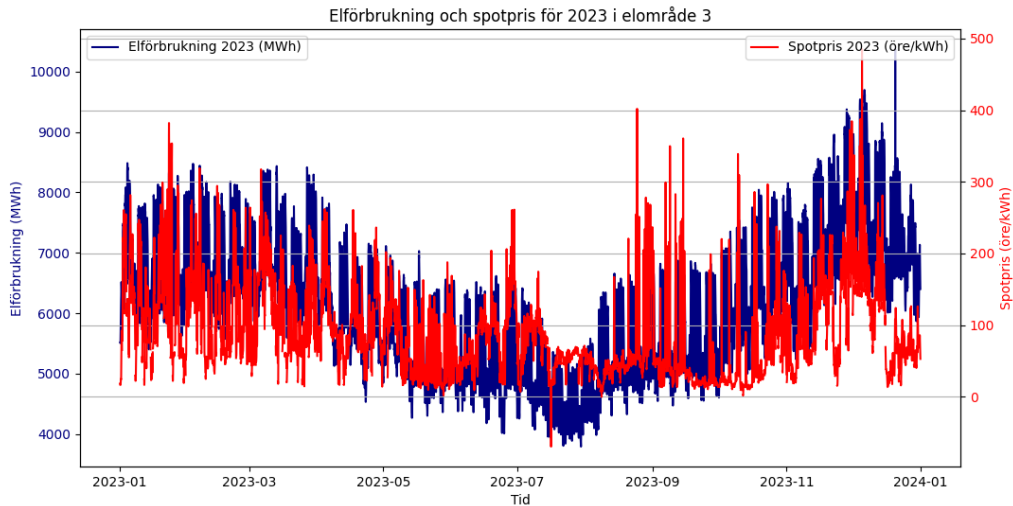
En kommentar kring att modelleringen görs för år 2023 med klimatdata från 2023 men IDA är förprogrammerad att simulera för 2021, därför står det 2021 på datumet i högra hörnet på figurerna från IDA ICE i resultatet.

4.3 Kostnader

Kostnaderna för elpriset består av tre olika delar; elpris, elnätsavgift och energiskatt. Varje kostnadsbeståndsdel är närmare beskriven under respektive avsnitt.

4.3.1 Spotpriser och förbrukningsdata SE3

Spotpriser för hela elområde 3 för varje timme år 2023 (SEOM 2025). De högsta spotpriserna återfinns oftast på morgonen timmarna klockan 7 till 10 och på kvällen mellan klockan 17 till 20.



Figur 9: Elförbrukning och spotpriser i elområden 3 för 2023

De högsta topparna i förbrukning inträffar generellt på morgonen, där de högsta förbrukningstimmarna vanligtvis finns mellan kl. 7-11. Förbrukning och elpris går ibland hand i hand, men inte alltid. Figur 9 visar att det ibland speglar topparna i spotpriser den totala elförbrukningen i elområde 3, men ibland är priset högt och belastningen låg samt belastningen hög och priset lågt.

4.3.2 Elnätsbolagets nättariff

Den studerade kontorsbyggnaden har en maxeffekt på omkring 225-230 kW (beroende på scenario) och till det krävs ett tre-fas effektabonnemang. Den studerade byggnaden antas inte behöva högspänning och därför används Ellevios lågspännings (0,4 kV) effektabonnemang för el i Ellevios lokalnät. Ellevio erbjuder två typer av effektabonnemang för lågspänning; L04L och L04S, där L04S är mest lämpad för denna storleken på byggnad vilket framkom vid mejlkorrespondens med Ellevios kundservice (Ellevios kundtjänst 2025). L04S-abonnemanget består av en fast avgift, en månadseffektavgift, en höglasteffektavgift och en rörlig avgift. Månadseffektavgiften utgör den högsta uttagna aktiva effekten, mätt i timmedelvärde, under varje kalendermånad. Höglasttid för höglasteffektavgiften är under vinterhalvåret, 1 november till 31 mars, på vardagar mellan klockan 06-22 och med undantag för helgdagar. Höglasteffektavgiften tas på det högsta timvärdet av aktiv effekt som inträffar under höglasttiden. Sammanfaller det högsta uttagna timvärdet av effekt under höglasttid med månadens högsta timvärde tas både månadseffektavgiften och höglasteffektavgiften på samma timvärde (Ellevio 2025c). Den rörliga avgiften är också uppdelad i höglasttid och övrig tid, men för detta abonnemang är det samma pris vid båda tidpunkterna. Tabell 5 visar en sammanställning av kostnaderna för respektive delkomponent för effektabonnemang L04S utifrån Ellevios prislista för 2025 (Ellevio 2025a).

Tabell 5: Pristlista för L04S - Ellevios effektabonnemang inklusive moms (Ellevio 2025a).

Elnätsbolag	Fast avgift [kr/mån]	Rörlig avgift [öre/kWh]	Månadseffekt- avgift [kr/kW]	Höglasteffekt- avgift [kr/kW]
Ellevio	3 250	11,25	101,25	106,25 ⁴

4.3.3 Energiskatt

Energiskatten i Sverige 2025 ligger på 54,875 öre/kWh inklusive moms (Konsumenternas energimarknadsbyrå 2025). Energiskatten i Sverige är en statlig punktskatt som tas ut på användning av energi, främst på el, bensin, diesel och andra bränslen. Eftersom det är en punktskatt undantas den inte från moms i mervärdesskattelagen (1994:200). Syftet med energiskatten är både att generera skatteintäkter och att styra energianvändningen i en mer miljövänlig riktning. Energiskatten betalas genom konsumentens elnätsfaktura.

⁴Höglasttid under vardagar mellan kl. 06-22 fr o m 1 november t o m 31 mars, med undantag för helgdagar.

5 Resultat

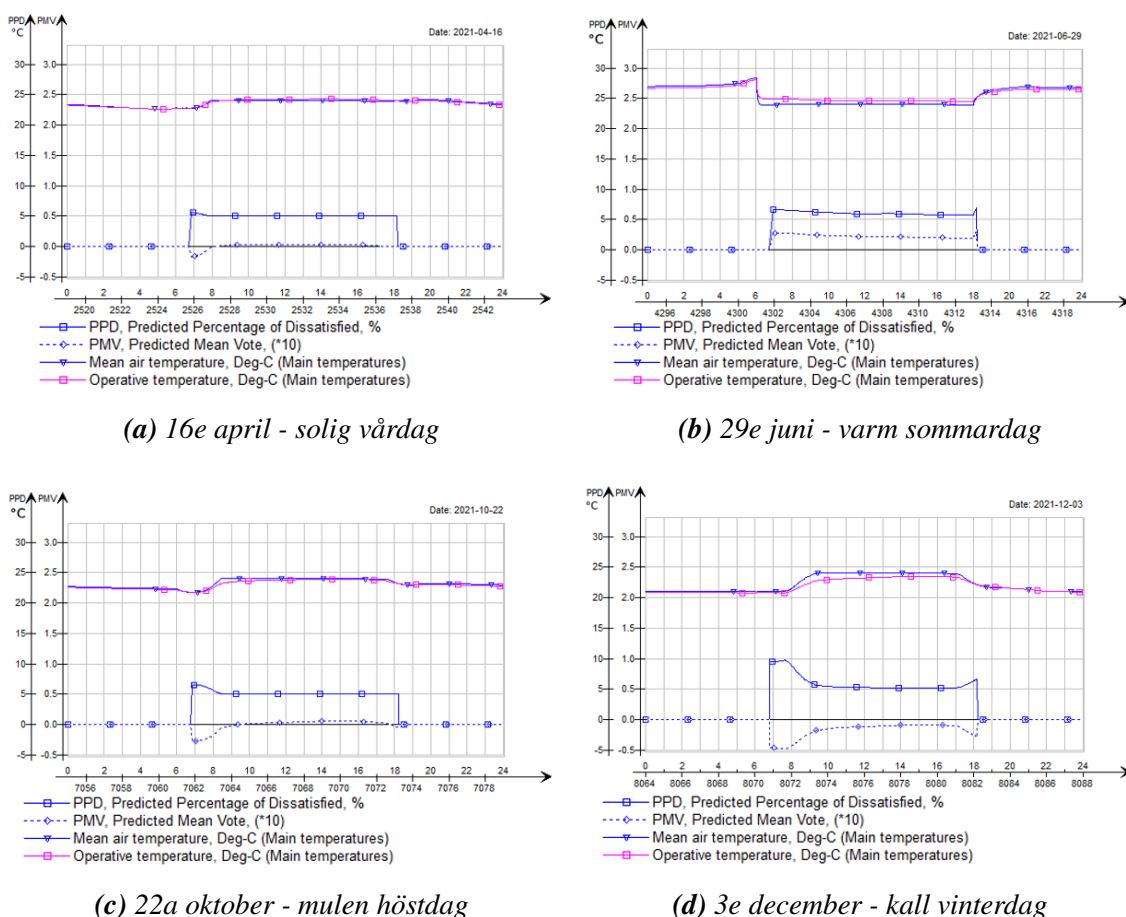
Kapitlet redovisar varje scenarios påverkan på inomhusklimatet, en känslighetsanalys och vilka tidsperioder som är möjliga för ventilationsflödesreducering, VFR. Utöver det redovisar resultatet en sammanställning av påverkan på det totala energibehovet, en kostnads kalkyl och vilka effekter som kan sparas med VFR.

5.1 Olika scenarios påverkan på inomhuskomforten

Detta avsnitt går igenom de faktorer som bedöms relevanta för att förstå påverkan på inomhusklimatet utifrån respektive scenarios förutsättningar.

5.1.1 Scenario 1: Grundscenario

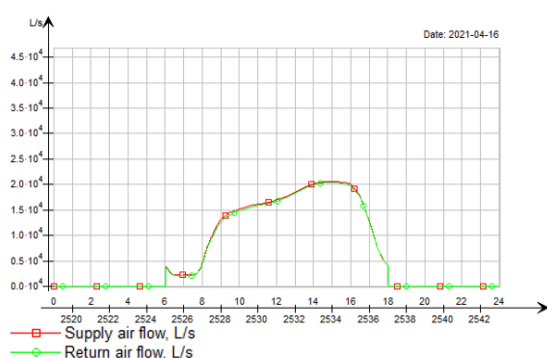
När VAV-systemet arbetar under normala förhållanden utan några luftflödesjusteringar hålls det termiska klimatet på en optimal nivå under hela simuleringsperioden. Se figur 10 för temperatur, PVM och PPD för grundscenariot.



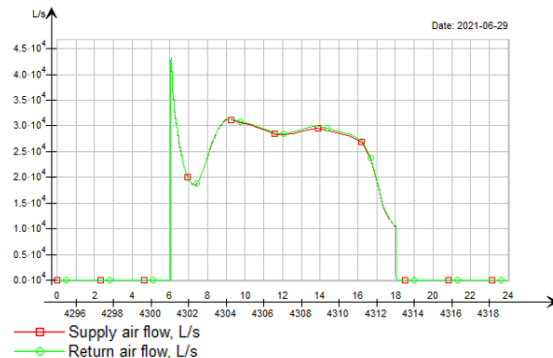
Figur 10: Inomhustemperaturen, PMV och PPD för grundscenariot för respektive utvalt datum för kontor 1 för fall A när temperaturen kyls till 24°C.

I fall A håller temperaturen en jämn nivå runt 24°C under fläktarnas drifttid för alla fyra dagar under de olika årstiderna, se figur 10, men det skiljer sig i fall temperaturen

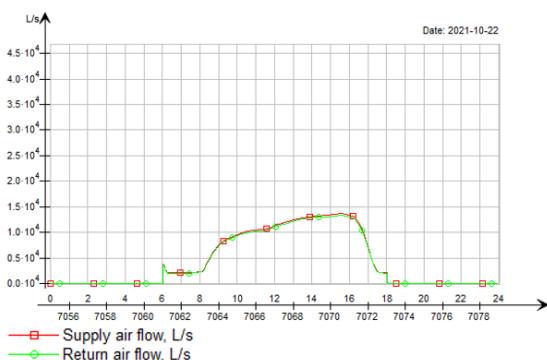
är lägre eller högre innan ventilationssystemet startar. Temperaturen upplevs av de flesta som neutral - varken för varm eller för kall. Andelen missnöjda med temperaturen i kontorslokalerna är runt 5 %. I fall B när temperaturen istället kyls till 23°C är den upplevda termiska komforten runt samma nivå.



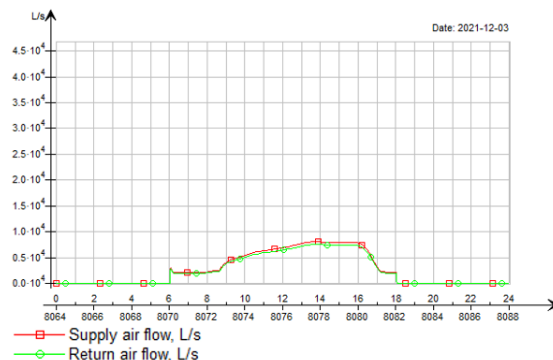
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



(c) 22a oktober - mulen höstdag



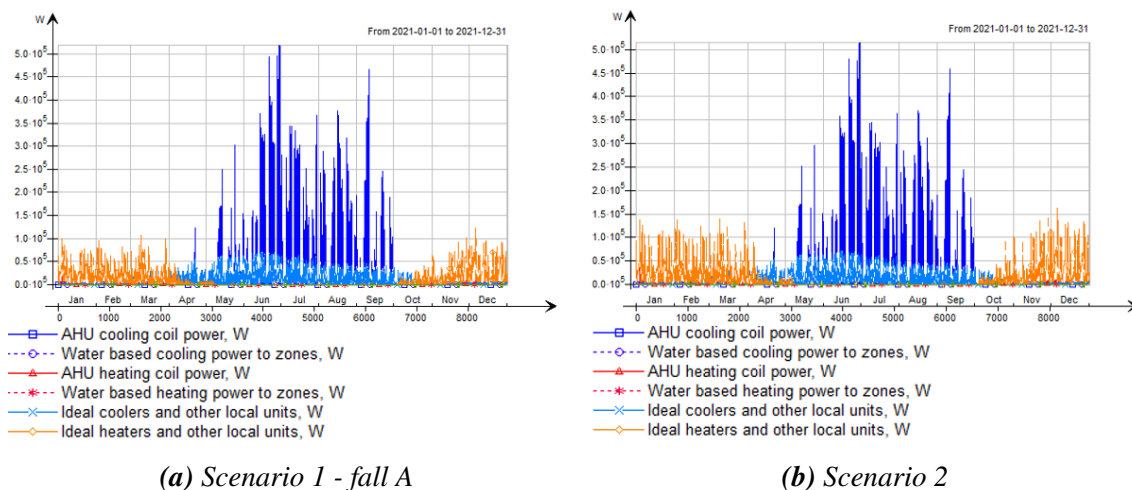
(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 11: Luftflödet från luftbehandlingsaggregatet som försörjer alla kontorslokaler i byggnaden för respektive utvalt datum för fall B med kylning till 23°C.

Det är låga luftflöden under kalla vinterdagar, nästan miniminivå på 0,35 l/s, m². Under vår och höst är flödena något högre, och som högst under varma sommardagar. I figur 11b syns en tydlig topp i luftflöde kl. 6 på morgonen när fläktarna startar, det är för att kyla byggnaden till önskad nivå då temperaturen stigit under natten när ventilationen varit avstängd. När det gäller koldioxidhalten är den generellt högre under vintersäsongen när luftflödena är lägre, däremot är koldioxidhalten som högst runt 800 ppm för båda kontoren vilket betraktas som en acceptabel nivå. Luftflödet följer samma mönster i både fall A och B, vid kylning till 24°C respektive 23°C som i figur 11, men med något lägre flöden under hela tidsperioden för fall A.

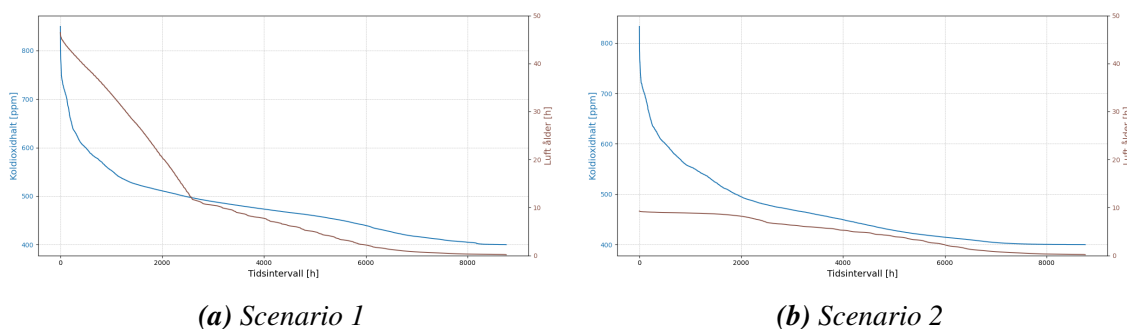
5.1.2 Scenario 2: Grundscenario med grundflöde natt och helger

Med fläktarna i drift även under natten med låga flöden ($0,1 \text{ l/s, m}^2$) genererar det ett högre värmebehov under vinterhalvåret på 7,5 MWh men totalt ett minskat kylbehov på 2,4 MWh, se schematisk jämförelse i figur 12.



Figur 12: Jämförelse av totalt värme- och kylbehov per timme över ett år mellan scenario 1 fall A och 2.

Med ett lågt grundflöde natt och helger är luftens omsättning bättre och det är inte lika gammal luft på kontoret - störst skillnad måndag morgon. Figur 13 visar en jämförelse av koldioxidhalt och luftens ålder inne på kontor 1 över ett år med och utan lågt grundflöde under nätter och helger.

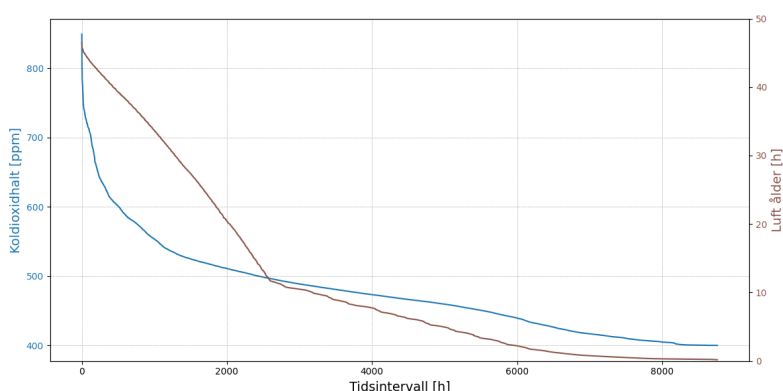


Figur 13: Jämförelse av inomhusluftens kvalitet utifrån parametrarna koldioxid och luftens ålder mellan scenario 1 och 2 i två olika varaktighetsdiagram.

Det termiska klimatet är tillfredsställande utifrån både EN-standard och Arbetsmiljöverkets riktlinjer under kontorstid.

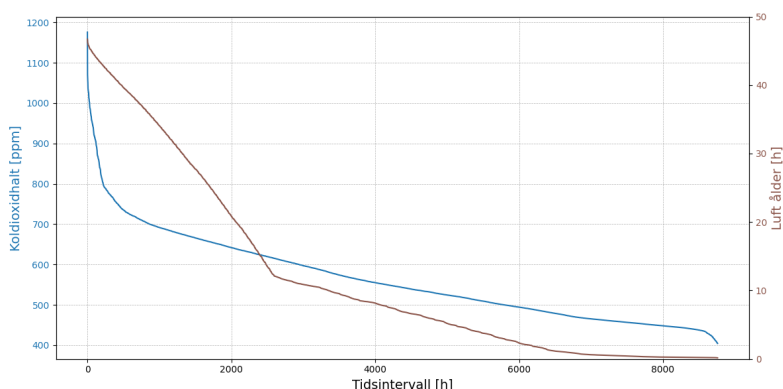
5.1.3 Scenario 3: Höjd koldioxidgräns

Trots att koldioxidgränsen i VAV-systemet är satt till 2000 ppm når koldioxidhalten som högst runt 800 ppm, se figur 14 för kontor 1 fall A. Liknande trend syns i kontor 2 och de åtta mötesrummen på samma våningsplan. Det innebär att temperaturen är mer styrande än koldioxidhalten i VAV-styrningen i denna kontorsbyggnads simulering och med given beläggning. Personer och närvarograd är jämt fördelade över de öppna kontorsytorna och mötesrummen. Ingen hänsyn tas till att det under tillfällen under dagen kommer vara fler personer på en mindre yta, som vid exempelvis möten, vilket skulle kunna ge ett annat resultat.



Figur 14: Luftkvalitén med koldioxid gräns på 2000 ppm på VAV-styrningen för kontor 1 på typ-plan över ett år.

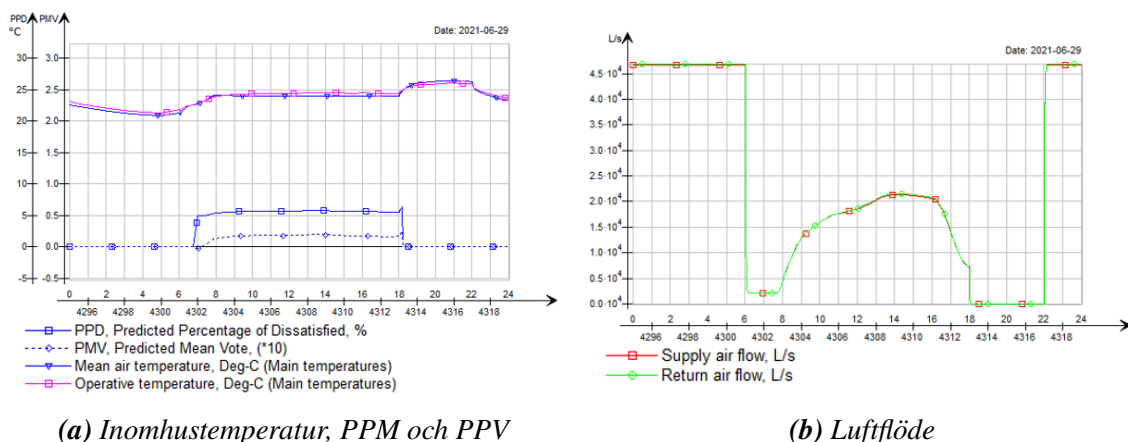
I fall B med fler personer på kontoret har koldioxidstyrningen en mer betydande roll. I en simulering med ungefär tredubbla närvarograden jämfört med grundscenariot når koldioxidhalten nästan 1200 ppm, se figur 15, vilket inträffar under några få timmar på vintern. Däremot är det fortsatt långt ifrån 2000 ppm som är maxgräns, vilket innebär att temperaturen fortfarande är mer avgörande.



Figur 15: Luftkvalitén med koldioxid gräns på 2000 ppm på VAV-styrningen för kontor 1 med tredubbla närvarograd mot grundscenario på typ-plan över ett år.

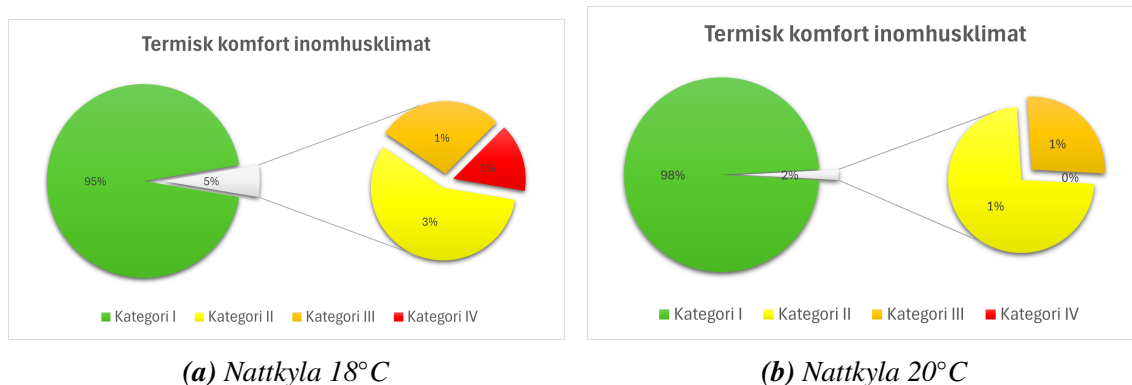
5.1.4 Scenario 4: Nattkyla

Under nattkyla går fläktarna på för fullt fram till kl. 6 på morgonen under den representativa varma sommardagen för att försöka uppnå önskad nattkyla temperatur, se figur 16b.



Figur 16: Jämförelse av inomhustemperaturen, mått på den upplevda temperaturen och luftflödet under fall A med nattkyla till 20°C för den 29:e juni.

Vid nattkyla i fall A till 20°C den 29:e juni når aldrig inomhustemperaturen 20°C innan nattkylan stängs av kl. 06 på morgonen och därför går fläktarna och luftflödet på full effekt hela tidsperioden. Efter att nattkylan stängs av hinner inomhustemperaturen stiga tillräckligt för att nå ett acceptabelt morgonklimat när de anställda anländer till jobbet kl. 8 på morgonen.



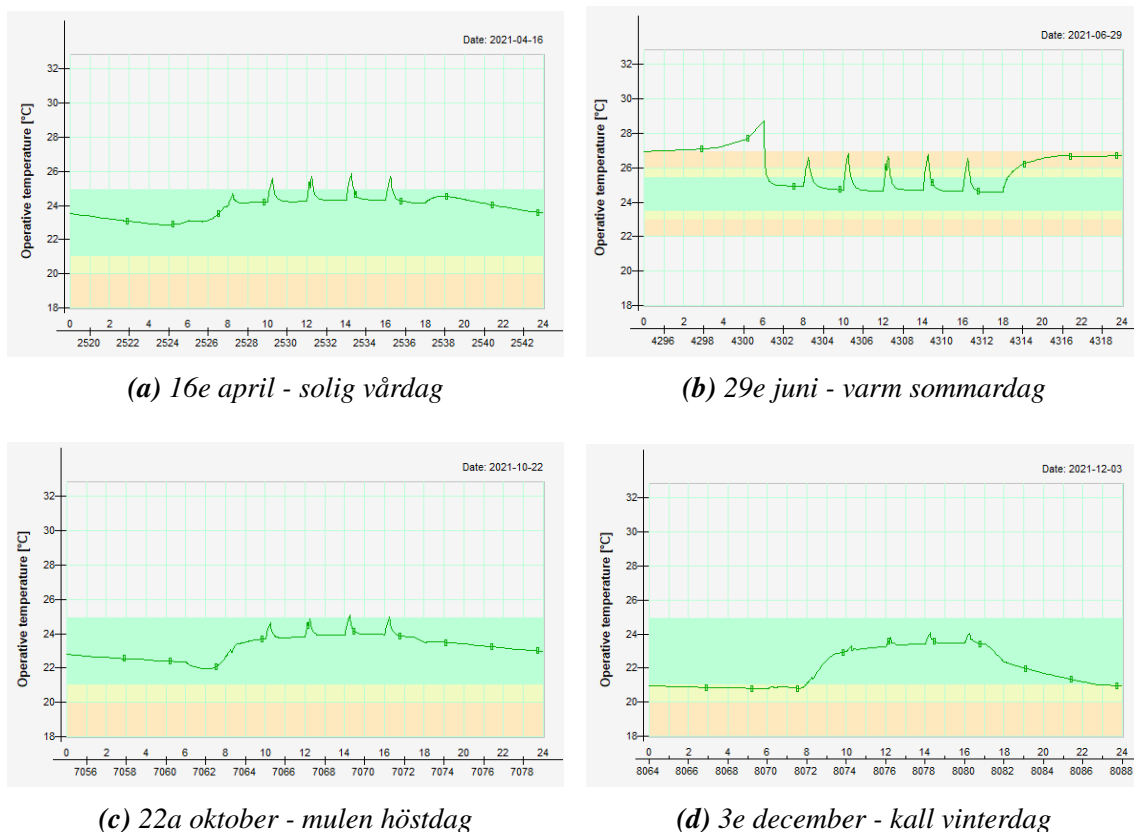
Figur 17: En jämförelse av det termiska klimatet mellan nattkyla till 18°C och 20°C beräknat för de bemannade timmarna under ett år uppmätt på kontor 1 på typ-plan.

Vid nattkyla till 20°C upprätthåller alla bemannade timmar under kontorstid en acceptabel nivå av termisk komfort enligt den europeiska standarden EN 15252:2007. Vid mer aggressiv nattkylning till 18°C är 1 % av tiden, motsvarande 19 timmar, ett oacceptabelt termiskt klimat på kontor 1 och 32 timmar på kontor 2. Den största delen av tiden med oacceptabelt inomhusklimat inträffar under morgonen under septembermånad då inomhustemperaturen inte hunnit stiga tillräckligt för när medarbetarna anländer till jobbet. Skillnaden mellan kontor 1 och 2 beror på att kontor 1 har morgonsol som ligger

på fasad och fönster, medan kontor 2 inte får någon morgonsol. Det tar längre tid för inomhustemperaturen att stiga på kontor 2 och därmed är det kallare på morgonen när de första personerna anländer.

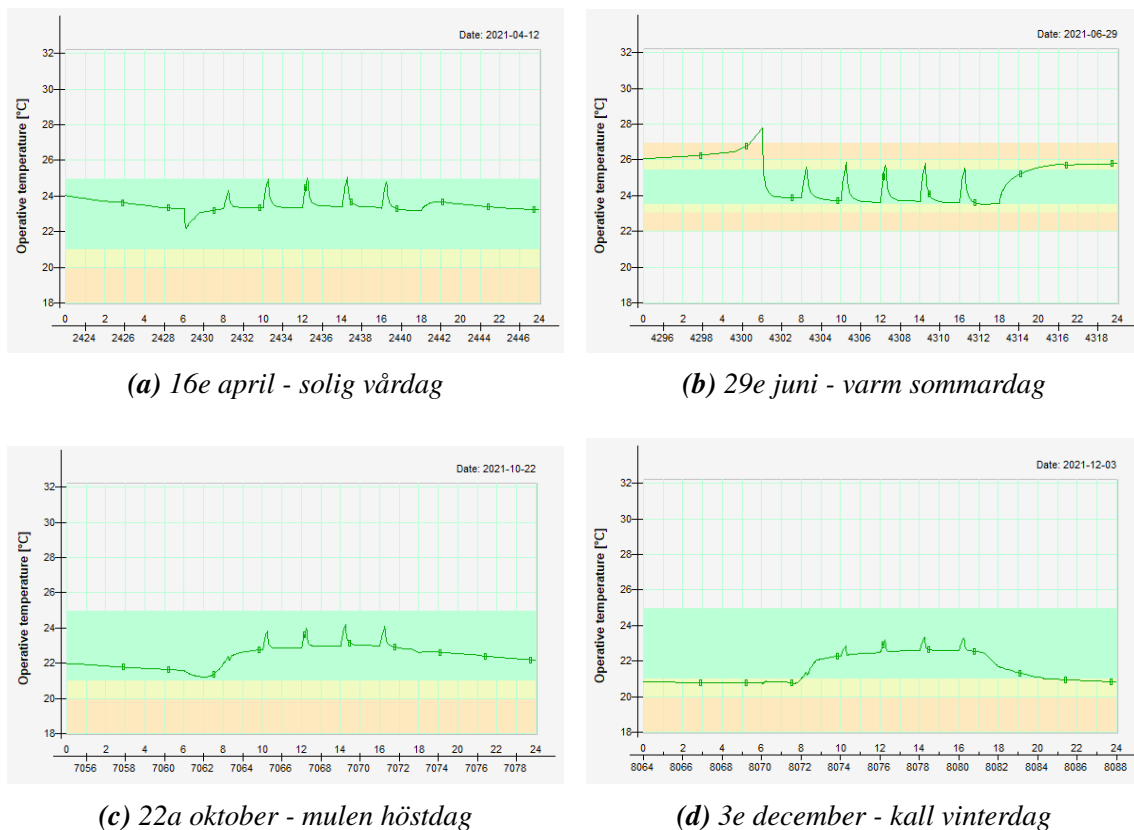
5.1.5 Scenario 5: VFR 15 minuter

Scenario 5 undersöker hur ventilationsflödesreducering under 15 minuter till 0,35 l/s, m² påverkar inomhusklimatet.



Figur 18: Det termiska klimatet på kontor 1 vid VFR på 15 minuter i fall A med inomhustemperatur på 24°C.

Utifrån figur 18 är det ett acceptabelt termiskt klimat eller bättre (kategori I-III) under 15 minuter VFR till 0,35 l/s, m² för alla representativa dagar förutom den 16:e april som representerar en solig vårdag i fall A. Under sommaren anses det accepterat att temperaturer når över 26°C enligt standard EN 15252:2007, däremot får inte temperaturen överstiga 25°C under resten av året. EN 15252:2007 har mer generösa kriterier än Arbetsmiljöverket som har max temperatur på 24°C, men godkänner temperaturer upp till 26°C under sommarsäsongen. Utifrån arbetsmiljöverkets riktlinjer är det termiska inomhusklimatet acceptabelt endast i fallet en kall vinterdag och under den första reduceringen kl. 8 i fallet som representerar en mulen höstdag. Om istället inomhustemperaturen kyls till 23°C som i fall B är det möjligt med VFR i 15 minuter och samtidigt klara Arbetsmiljöverkets kriterier på inomhustemperaturen för 3 av 4 representativa dagar (se figur 19).



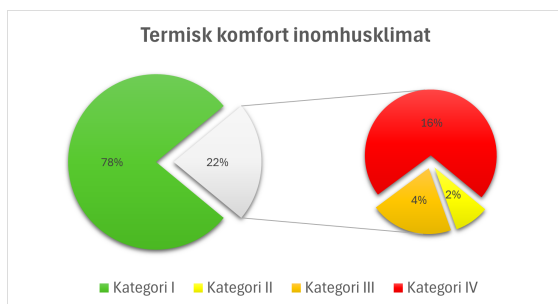
Figur 19: Det termiska klimatet på kontor 1 vid VFR på 15 minuter i fall B med inomhus-temperatur på 23°C.

Under en solig vårdag överstiger inomhustemperaturen 24°C vid 15 minuter VFR till 0,35 l/s, m², däremot uppfylls EN-standarden för vad som är ett acceptabelt inomhusklimat, se figur 19. Det innebär att alla representativa dagar i fall B uppfyller EN-standarens kriterier.

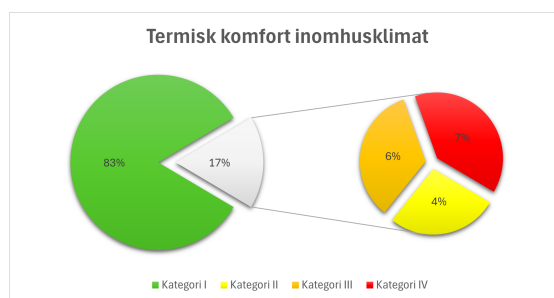
5.1.6 Scenario 6: VFR 1 timme

Om kontoret kyls till 23°C istället för 24°C finns större spelrum vid VFR och det termiska klimatet håller sig längre och oftare inom en acceptabel nivå. Se jämförelse i figur 20 mellan fall A och B med kylning till 24°C respektive 23°C med VFR till 0,35 l/s, m².

Figur 21 visar hur det är fördelat över de fyra representativa dagarna i fall B, och även när luften kyls till 23°C när ventilationssystemet är i drift ostört är det inte möjligt att reducera flödet till så låga nivåer som 0,35 l/s, m² under en timme utan att inomhusklimatet blir oacceptabelt varmt. Åtminstone inte när som helst på dygnet under en solig vårdag, varm sommardag och mulen höstdag, däremot är det totalt sett färre timmar med oacceptabelt termiskt klimat (kategori IV).

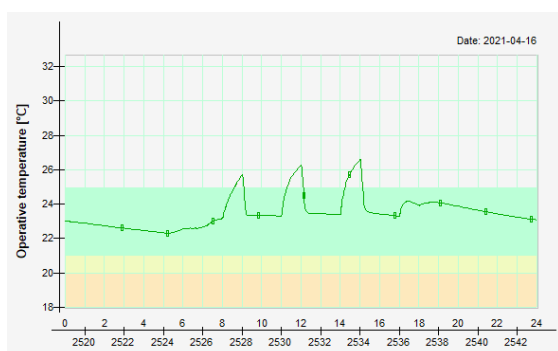


(a) Kontor 1 - fall A: 24°C

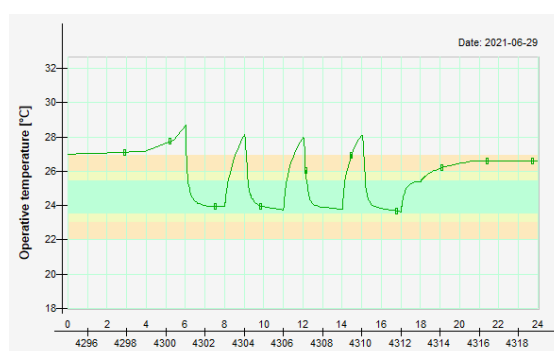


(b) Kontor 1 - fall B: 23°C

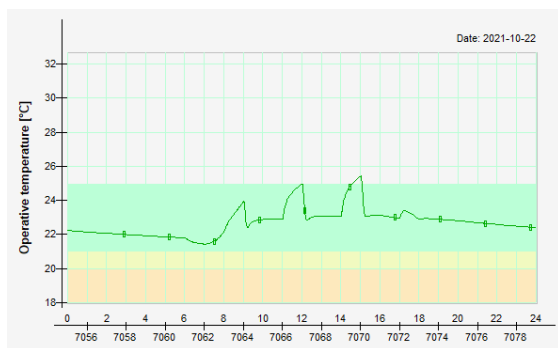
Figur 20: En jämförelse av det termiska klimatet mellan fall A och B vid VFR till 0,35 l/s, m² under en timme.



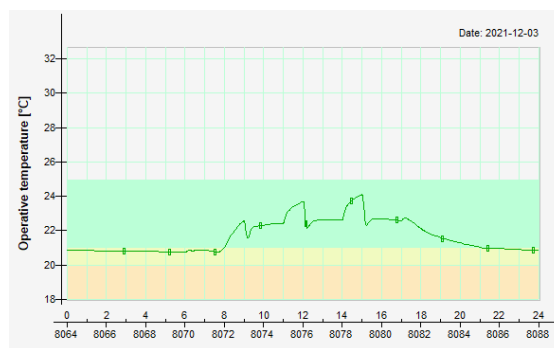
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



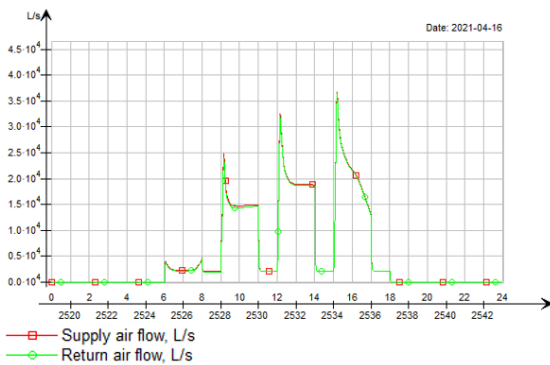
(c) 22a oktober - mulen höstdag



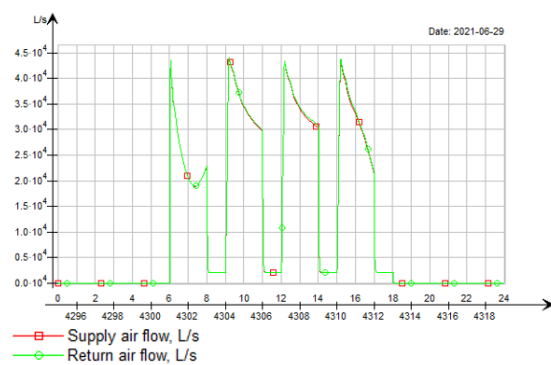
(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 21: Det termiska klimatet på kontor 1 vid VFR en timme till 0,35 l/s, m² och kyla till 23°C (fall B).

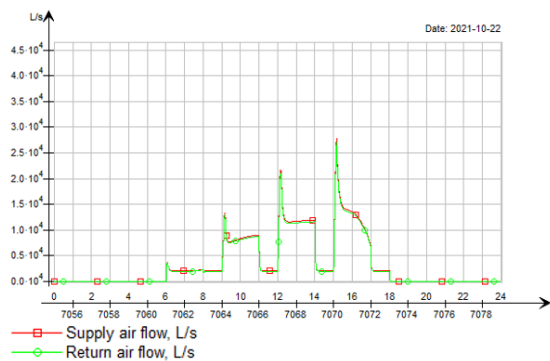
Efter att ventilationsflödet reducerats under en period på bekostnad av inomhusklimatet, när reduceringsperioden är över kommer ventilationsflödet kompensera genom att forcera luft fram till att inomhustemperaturen når önskad måltemperatur, se figur 22.



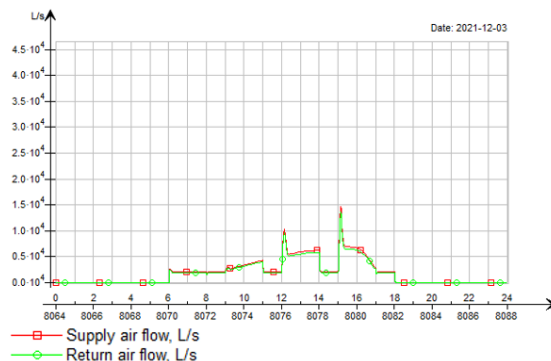
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



(c) 22a oktober - mulen höstdag

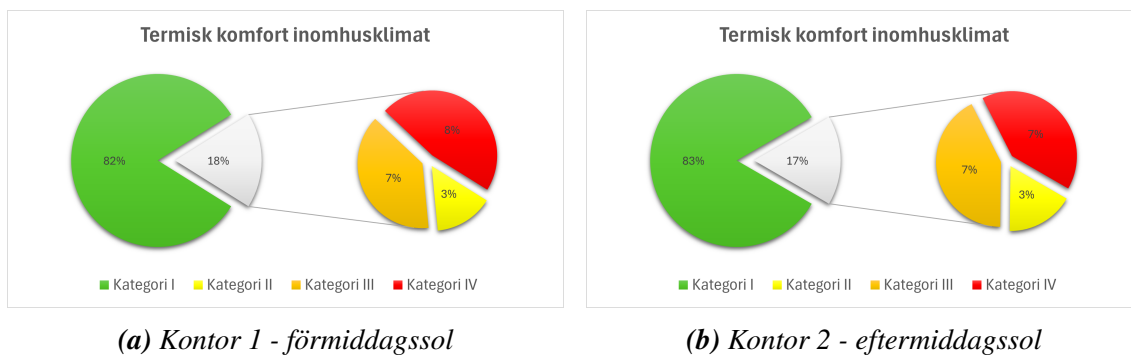


(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 22: Luftflödet från luftbehandlingsaggregatet som försörjer alla kontorslokaler i byggnaden för respektive utvalt datum i fall A.

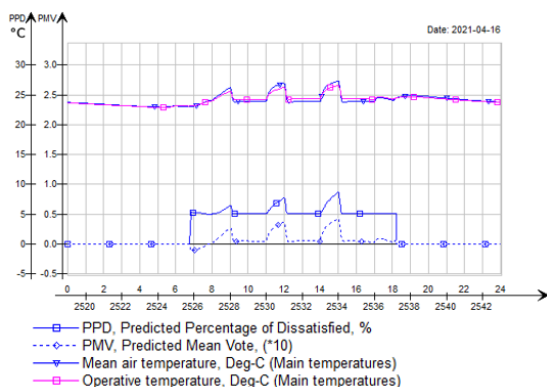
Luftflödets karaktäristiska i figur 22 visar en tydlig topp direkt efter VFR-timmen för alla fyra olika dagar för att få ner temperaturen till önskvärda nivåer. Så reduktion vid en tidpunkt skapar en ny topp vid en annan.

Den termiska komforten skiljer sig mellan kontor 1 och 2, där kontor 1 är mer kritiskt för höga temperaturer vid VFR och kontor 2 är mer känsligt för låga temperaturer som exempelvis vid nattkylning. Det beror på kontorens orientering i olika väderstreck vilket påverkar mängden solinstrålning. I fall C med en timmes reducering till 0,788 l/s, m² påverkas kontoren olika vilket visualiseras i figur 23 som andel av kontorstiden under ett år. Kategori IV är ett oacceptabelt termiskt klimat enligt EN-standard och där kategori I är det bästa upplevda inomhusklimatet. Det är fler timmar med oacceptabelt inomhusklimat enligt EN-standarderna i kontor 1 som främst har mycket morgonsol.

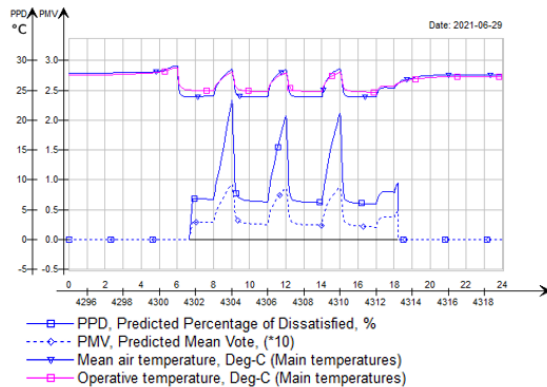


Figur 23: En jämförelse av det termiska klimatet mellan kontor 1 och 2 på typvåningsplanet i fall C.

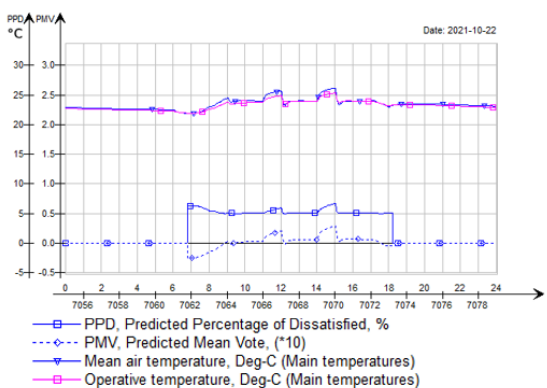
Figur 24 visar hur PVM, PPD och temperaturen förändras under de fyra representativa dagarna i fall C. Utifrån måttet PPD kommer nästan 25 % att vara missnöjda med den termiska komforten under VFR de tre timmarna som inträffar under kontorstid en varm sommardag, se figur 24b.



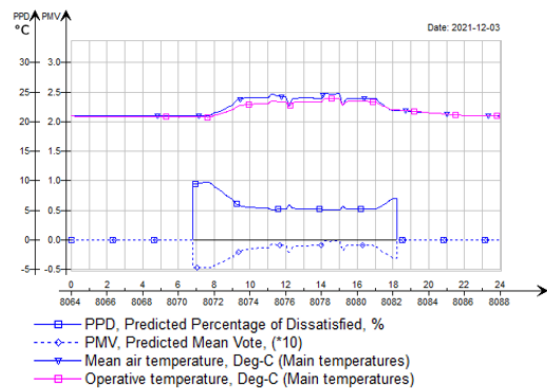
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



(c) 22a oktober - mulen höstdag



(d) 3e december - kall vinterdag

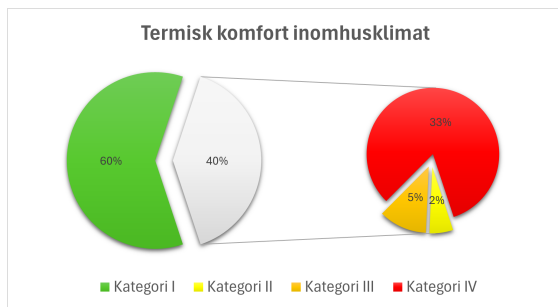
Figur 24: Temperatur, PMV och PPD för kontor 1 i fall C.

Det är endast en kall vinterdag som klarar att upprätthålla ett acceptabelt inomhusklimat i fall C utifrån EN-standard och Arbetsmiljöverkets riktlinjer med VFR under en timme till 0,788 l/s, m² och inomhustemperaturen kyls till 24°C.

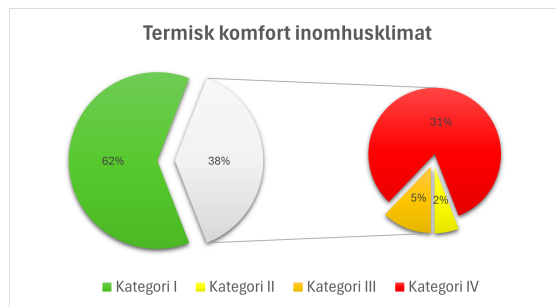
5.1.7 Scenario 7: VFR 2 timmar

I scenario 7 reduceras luftflödet till 0,35 l/s, m² under 2 timmar.

Det är en stor procentuell andel av kontorstiden som det termiska klimatet håller en oacceptabel nivå, och då är EN-standarderna mer generös än Arbetsmiljöverkets riktlinjer, under förutsättningar att luftflödet reduceras till 0,35 l/s, m² under 2 timmar varje vardag mellan kl. 8-10, 12-14 och 16-18 (se figur 25). Om man istället studerar de fyra fall-dagarna närmare i figur 26 är det mest kritiskt under en varm sommardag och en solig vårdag, men även en mulen höstdag. Däremot är det möjligt att under vintern hålla minimiflöde på 0,35 l/s, m² utan att inomhuskomforten rubbas utifrån EN 15251:2007 men inte enligt Arbetsmiljöverkets riktlinjer.

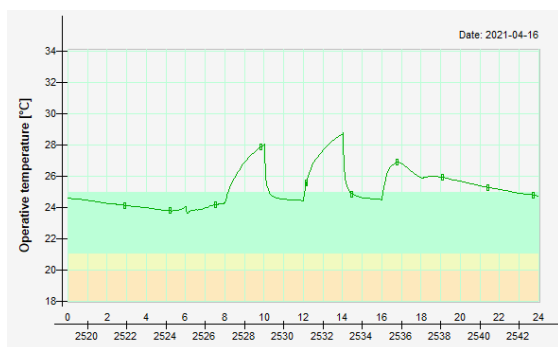


(a) Kontor 1 - förmiddagssol

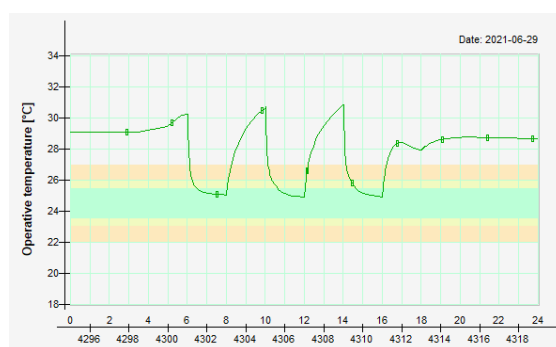


(b) Kontor 2 - eftermiddagssol

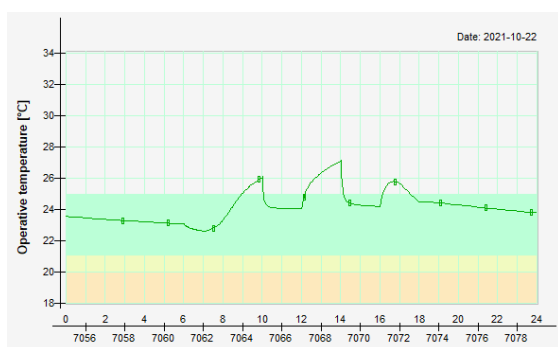
Figur 25: En jämförelse av det termiska klimatet mellan kontor 1 och 2 på typvåningsplanet som är belägna i olika väderstreck när flödet reducerades till 0,35 l/s, m² under 2h.



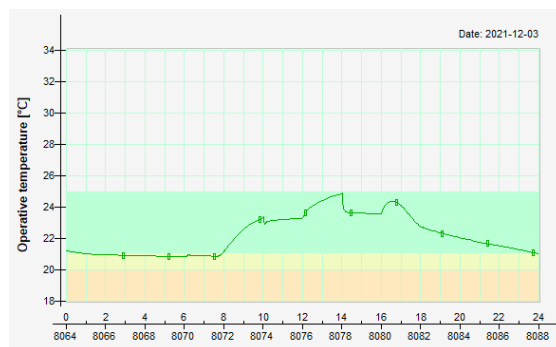
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



(c) 22a oktober - mulen höstdag

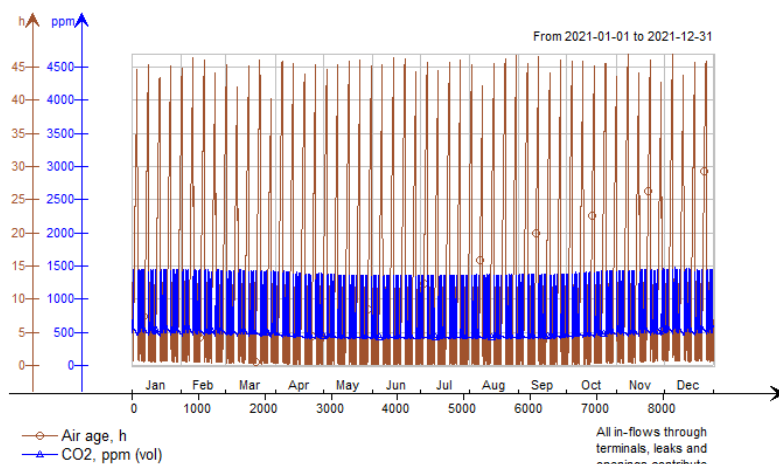


(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 26: Det termiska klimatet på kontor 1 vid VFR under två timmar tre gånger per dag.

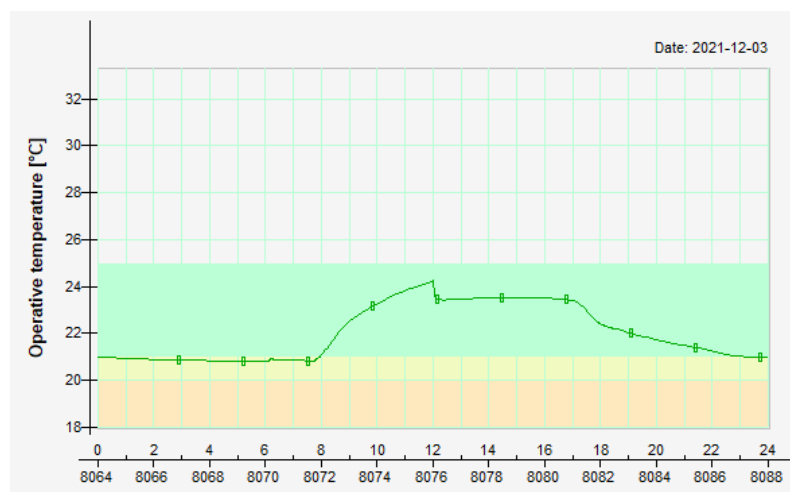
5.1.8 Scenario 8: VFR 4 timmar

Vid helt avstängd ventilation med antagen beläggning om 70 % på kontoret och 20 kvadratmeter per person uppvärmd golvarea når koldioxidhalten maximalt strax under 1500 ppm under VFR-perioden, se figur 27.



Figur 27: Koldioxidhalten när ventilationen är helt avstängd under fyra timmar (fall A).

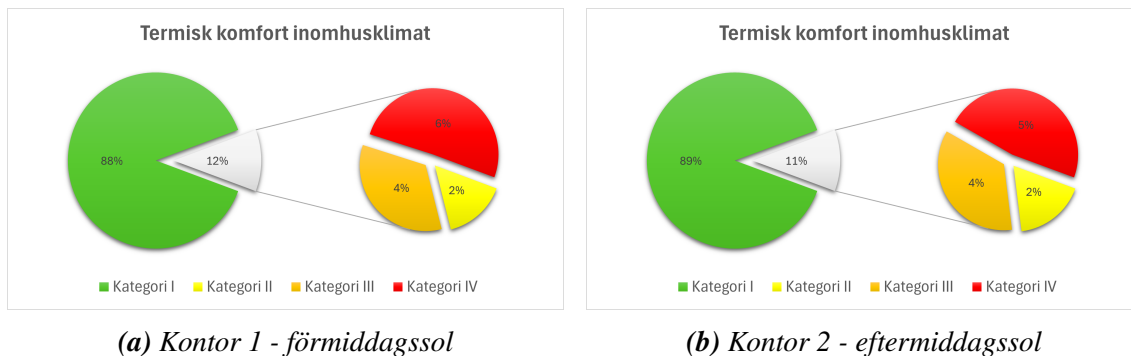
Under rätt tidpunkt på dygnet, i detta fall på morgonen, en kall vinterdag är det möjligt att hålla inomhuskomforten på rimlig nivå med ett luftflöde på 0,35 l/s, m² under fyra timmar, se figur 28. Däremot, utifrån scenario 7 med två timmars reducering, skulle det inte vara möjligt att göra det under en senare tidpunkt på dagen, se figur 26d.



Figur 28: Det termiska klimatet på kontor 1 en kall vinterdag i fall B med 4 timmars VFR till 0,35 l/s, m².

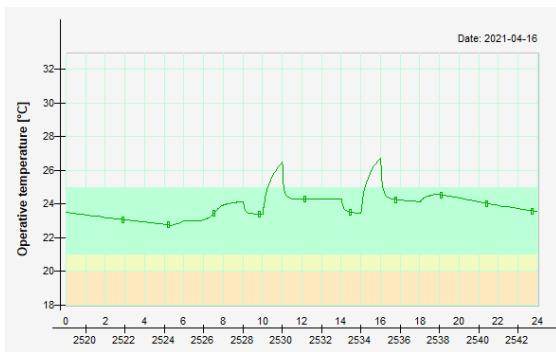
5.1.9 Scenario 9: VFR 1 timme med förkylning

Med en timme förkylning inför en timme med VFR som sker varje dag mellan kl. 10-11 och 15-16 är det 5-6 % av kontorstiden som har oacceptabel termisk inomhuskomfort beroende på kontorets orientering (se figur 29).

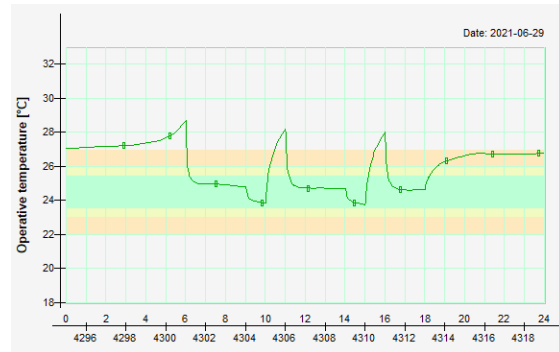


Figur 29: En jämförelse av det termiska klimatet mellan kontor 1 och 2 på typvåningsplanet som är belägna i olika väderstreck när flödet reducerades till 0,35 l/s, m² under 1 timme med förkylning under timmen innan till 23°C.

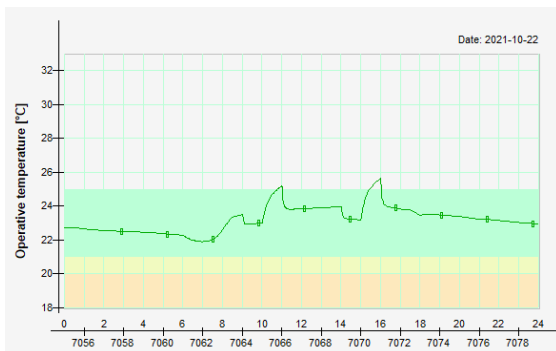
Trots en timmes förkylning som sänkt inomhustemperaturen med 1°C passerar det termiska klimatet en acceptabel nivå. Det blir för varmt inne på kontoret under en timmes reducering till 0,35 l/s, m² under en solig vårdag, varm sommardag och mulen höstdag även efter förkylning, se figur 30.



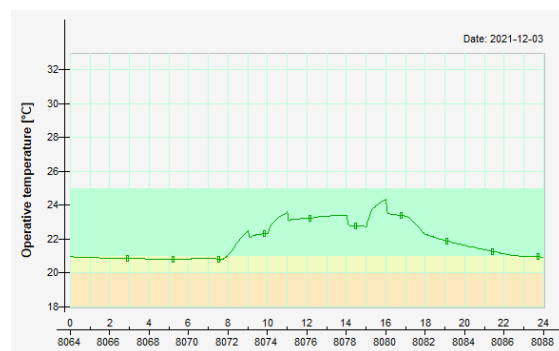
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



(c) 22a oktober - mulen höstdag

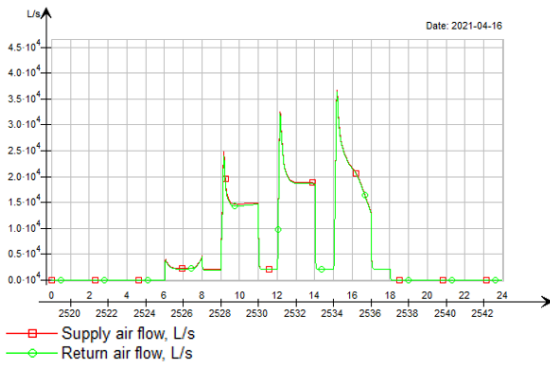


(d) 3e december - kall vinterdag

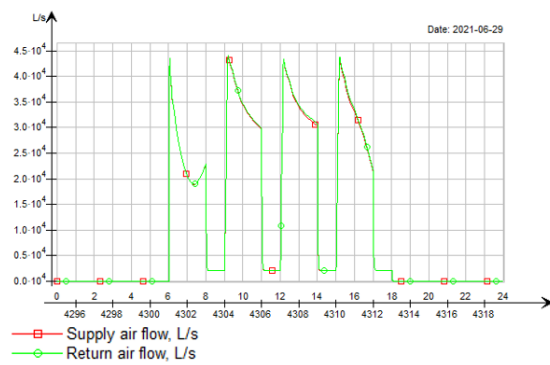
Figur 30: Termisk komfort på kontor 1 för med en timmes förkylning till 23°C innan VFR på en timme till 0,35 l/s, m².

Eftersom det är endast en kall vinterdag som det termiska klimatet upprätthåller en acceptabel termisk komfort har förkylning ingen effekt på vilka av de representativa dagarna som håller det termiska klimatet inom kategori I-III. Däremot har det betydelse för hur stor andel av tiden som är ett oacceptabelt klimat. Med förkylning är det ett oacceptabelt termiskt klimat 6 % av kontorstiden på kontor 1 medan utan förkylning och samma reducering är det 16 % av tiden som är på rött (kategori IV). Jämför figur 20a och figur 29a.

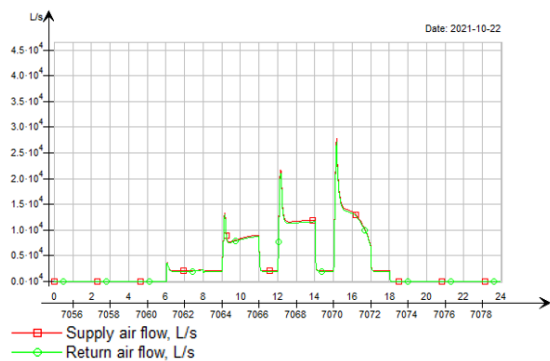
Luftflödet i scenario 9 med förkylning skiljer sig från scenario 6, där toppen med förkylning kommer innan VFR-timmen och inte får en lika markant ökning i luftflöde direkt efter reduceringen som i scenario 6. Jämför figur 22 med figur 31 nedan för att se skillnaden i luftflödets karaktäristika.



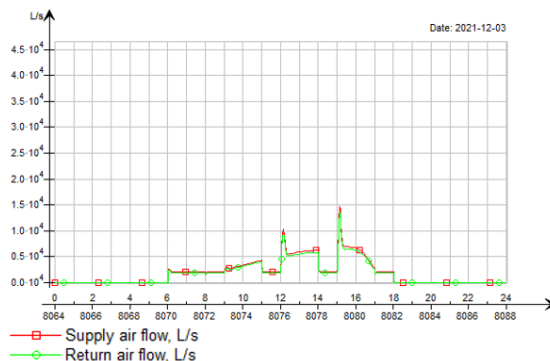
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



(c) 22a oktober - mulen höstdag

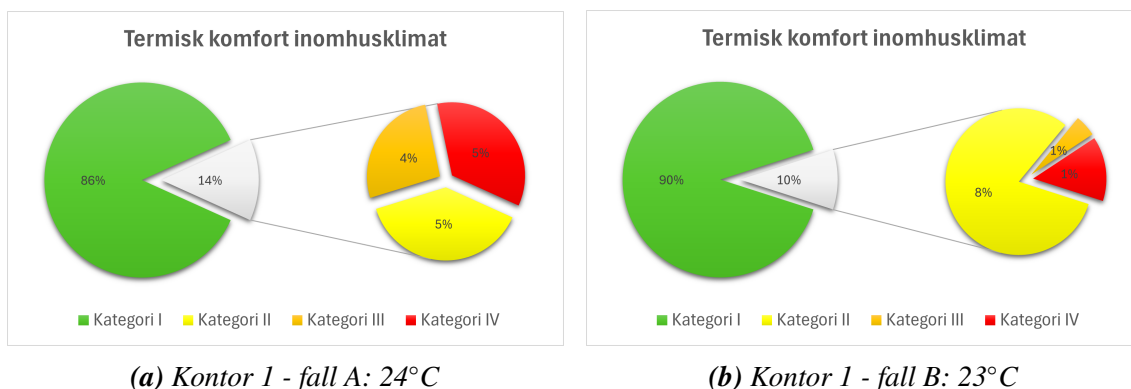


(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 31: Luftflödet från luftbehandlingsaggregatet som försörjer alla kontorslokaler i byggnaden för respektive utvalt datum.

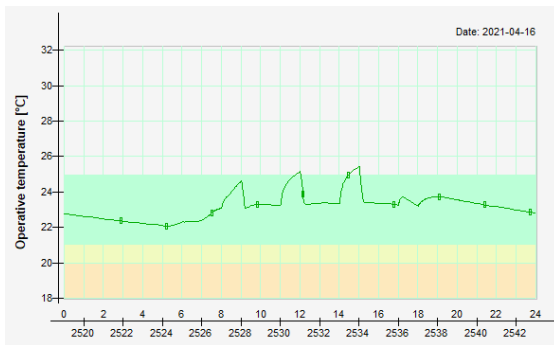
5.1.10 Scenario 10: VFR dynamiskt 1 timme

Den dynamiska luftflödesreduceringen innebär att luftflödet reduceras till $0,35 \text{ l/s, m}^2$ under vintern, 1 l/s, m^2 under vår och höst, samt 2 l/s, m^2 under sommaren. Det för att luftflödet generellt är högre under sommaren och vintern, så en mindre kraftig reduktion kommer fortfarande spara effekt men borde ha större möjlighet att hålla ett acceptabelt termiskt klimat. Den dynamiska VFR jämför både ett scenario med kylning till 23°C respektive 24°C .

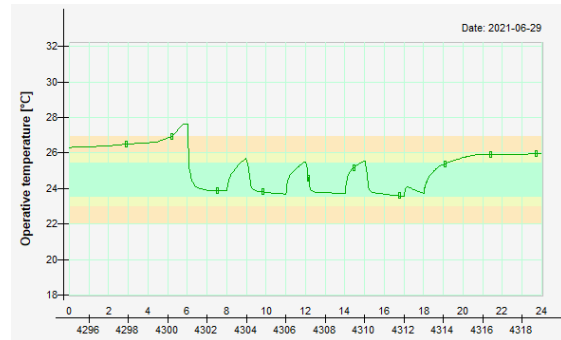


Figur 32: En jämförelse av det termiska klimatet mellan dynamisk VFR för fall A och B för kontor 1.

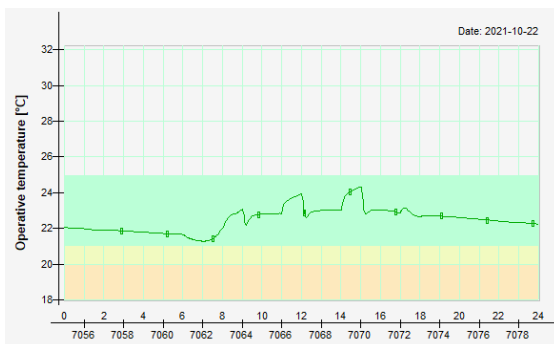
Enligt figur 32a med kylning till 23°C är det endast 1 % av kontorstiden, 33 timmar, som det är ett oacceptabelt klimat med dynamisk VFR. Det är betydligt bättre komfort under större delen av arbetstiden än med reducering till samma miniminivåer oberoende av årstid. Figur 33 visar att det är ett acceptabelt klimat utifrån både Arbetsmiljöverket och EN-standarden under 3 av 4 representativa dagar. Med en dynamisk reducering och kylning till 23°C är det endast en kort period under den soliga vårdagen av de representativa dagarna som kriterierna för EN-standard och Arbetsmiljöverket inte uppfylls, om än nära att EN-standarden uppfylls även då.



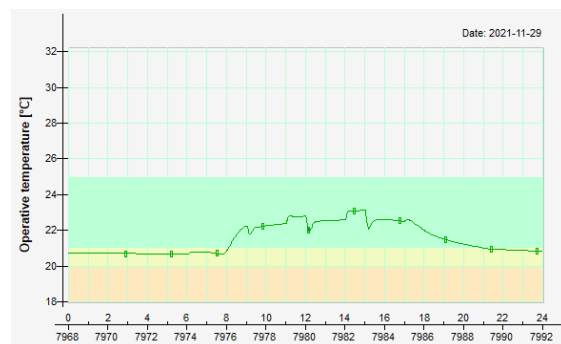
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommardag



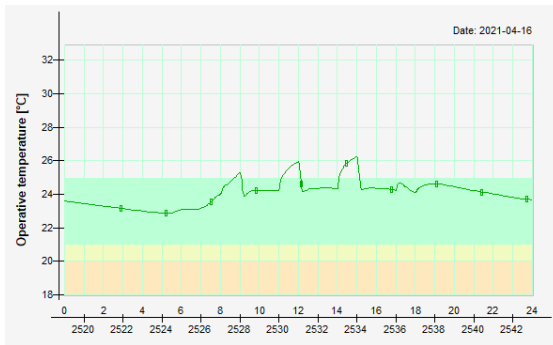
(c) 22a oktober - mulen höstdag



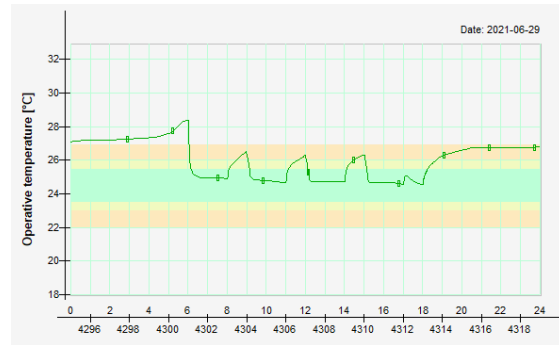
(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 33: Termisk komfort på kontor 1 med en timmes dynamisk VFR och kylningstemperatur på 23°C i fall B.

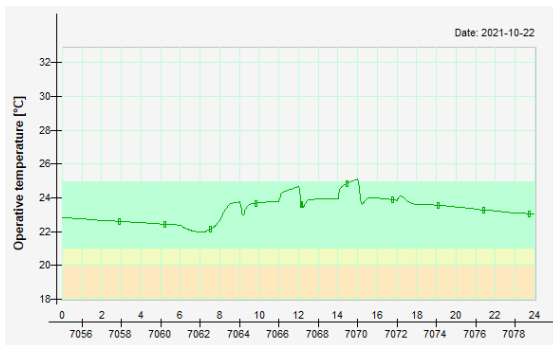
I fall A vid kylning till 24°C är det inte oväntat svårare att upprätthålla det termiska klimatet inom rådande riktlinjer. Arbetsmiljöverkets kriterier överskrids under alla representativa fall-dagar, men EN-standarden för inomhuskomfort är acceptabel i alla fall utom den soliga vårdagen, se figur 34. Däremot är klimatet längre tid utanför acceptabelt klimat, närmare gränsen för oacceptabelt eller mer tid i mindre optimalt termiskt klimat (kategori II-III) jämfört med fall B.



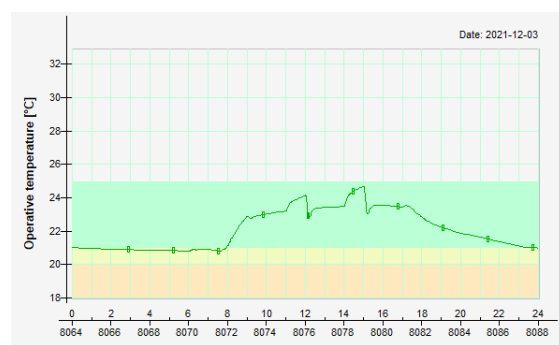
(a) 16e april - solig vårdag



(b) 29e juni - varm sommarkdag



(c) 22a oktober - mulen höstdag



(d) 3e december - kall vinterdag

Figur 34: Termisk komfort på kontor 1 med en timmes dynamisk VFR och kylningstemperatur på 24°C i fall A.

5.1.11 Sammanfattning termisk komfort scenarion

I alla scenarion där det skiljde sig i termisk komfort mellan kontoren var det oftast kontor 1 med mer förmiddagssol som hade fler timmar med oacceptabel termisk komfort och därför görs en sammanställning utifrån kontor 1 i tabell 6. Kontor 1 var värre vid överhettning vilket oftast är fallet medan kontor 2 var känsligare vid för låga temperaturer, som exempelvis efter nattkylning. En procentuell jämförelse av antalet timmar med reducering under kontorstid med antalet timmar med oacceptabelt klimat.

Potentialen för VFR är betydligt större när kylningen på kontoret sker till 23°C. Nackdelen är att det totala fläktenergi behovet och kylbehovet är betydligt större än vid 24°C. Däremot, enligt EN 15251-standard för kontor, är 23°C den övre gränsen för optimal termisk komfort och rimligt att det är utgångsläget vid normal drift.

Tabell 6: Sammanställning av termisk komfort utifrån respektive scenario för kontor 1.

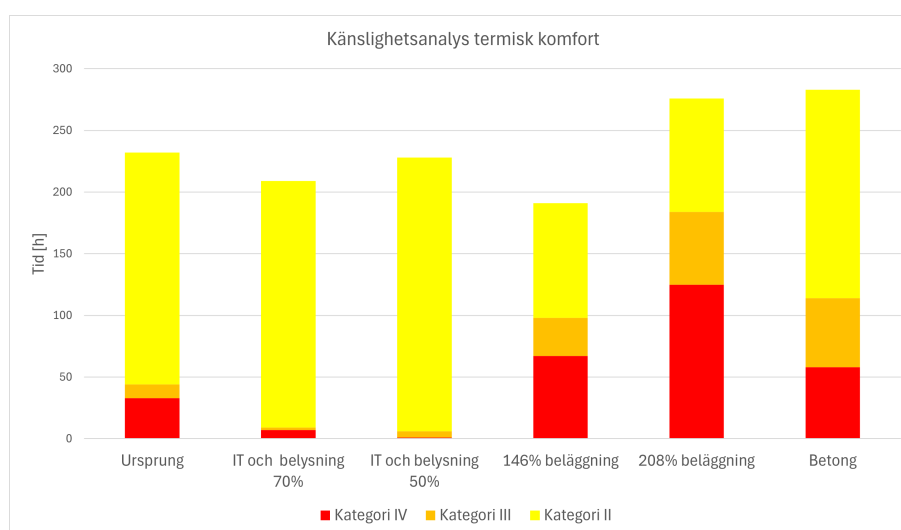
Scenario	Kategori I [%]	Kategori IV [%]	Kategori IV [h]	Total VFR-tid [h]	Andel kategori IV av VFR-tid [%]
Scenario 1.A	100 %	0 %	0 h	-	-
Scenario 1.B	83 %	0 %	0 h	-	-
Scenario 2	100 %	0 %	0 h	-	-
Scenario 3.A	100 %	0 %	0 h	-	-
Scenario 3.B	100 %	0 %	0 h	-	-
Scenario 4.A	98 %	0 %	0 h	-	-
Scenario 4.B	95 %	1 %	19 h	-	-
Scenario 5.A	94 %	1 %	34 h	326 h	10 %
Scenario 5.B	91 %	0 %	2 h	326 h	0,6 %
Scenario 6.A	78 %	16 %	368 h	783 h	47 %
Scenario 6.B	83 %	7 %	156 h	783 h	20 %
Scenario 6.C	82 %	8 %	196 h	783 h	25 %
Scenario 7	60 %	33 %	772 h	1305 h	59 %
Scenario 8.A	64 %	31 %	742	1044 h	71 %
Scenario 8.B	70 %	26 %	606	1044 h	58 %
Scenario 9	88 %	6 %	135 h	522 h	26 %
Scenario 10.A	86 %	5 %	111 h	783 h	14 %
Scenario 10.B	90 %	1 %	33 h	783 h	4,2 %

5.2 Känslighetsanalys

Byggnadens konstruktion, antalet människor i lokalerna och effektbehov till IT-utrustning och belysning är alla parametrar som på olika sätt påverkar byggnadens potential för ventilationsflödesreducering. Känslighetsanalysen visar att den termiska komforten vid VFR har en tydlig förbättring om IT-utrustningen och belysningen drar lägre effekt än vad som är angivet i Svebys rapport för brukarindata för kontor (Sveby 2013). Det är rimligt att tro att effektiviteten på denna utrustning har förbättrats, däremot kan antalet personer på kontoret och antalet enheter per person ha ökat vilket gör att vidare studier behövs. Om utrustningen drar lägre effekt, 50 % eller 70 % av värdet från Sveby, är potentialen för VFR betydligt större (se figur 35). IT-utrustningen och belysningen står för en stor del av internvärmebidraget. Vad gäller beläggningen på ett kontor har både beteendemönster och kontorens utformning förändrats. Efter pandemin syns en trend av större andel distansarbete och kontoren blir mer flexibla med fler kontorsplatser på mindre yta och fler aktivitetsbaserade kontor där inte varje medarbetare har en specifik kontorsplats. Utifrån den planritning som tillhandahölls sent i processen från arkitekten är de simulerade kontorsvåningarna planerade för 150 medarbetare men som mest är det möjligt att få in 112 stycken skrivbordsplatser, vilket innebär att inte varje person kan ha en fast skrivbordsplats. Det leder till att det är räknat på betydligt fler personer per kvadratmeter, i detta fall en person per ca 10 m² uppvärmd golvyta (A_{temp}). Känslighetsanalysen visar att antalet personer på kontoret har stor betydelse för både internvärmerna och koldioxidhalten. I figur

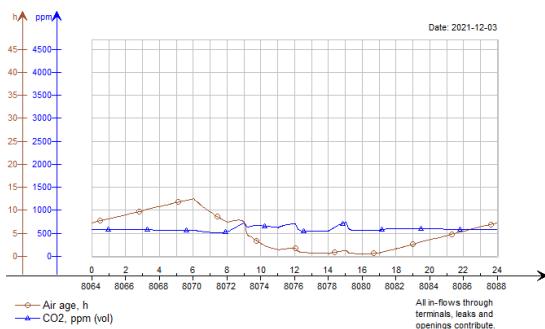
35 syns ökningen av antalet timmar med termiskt klimat i kategori IV när beläggningen på kontoret ökar; både vid 146 % och 208 % närvaro utifrån ursprungsbeläggningsgraden. Det innebär att vid ökad beläggning på kontoren minskar potentialen för efterfrågefleksibilitet med ventilationssystemet. Däremot behövs det även här vidare studier hur beläggningsgraden och närvarograden på ett kontor ser ut i dag efter pandemin och om en ökande andel distansarbete har utslag på densiteten av personer på kontoret eller om det jämnar ut sig med att hyresgästerna successivt flyttar till mindre och mer aktivitetsbaserade kontor för att möta de nya kravställningarna.

Det sista testet i känslighetsanalysen var att utvärdera mellanbjälklagets påverkan på potentialen för ventilationsflödesreducering och den termiska komforten. Teoretiskt borde betongen ha en större termisk massa och bättre energilagring, speciellt av kyla enligt tidigare studier. I denna känslighetsanalys visar dock resultatet motsatsen, med 200 mm betong i mellanbjälklaget istället för massivt KL-trä är det fler timmar med oacceptabelt termiskt klimat (kategori IV), se figur 35.

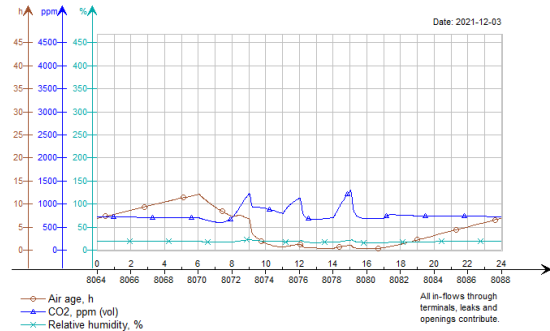


Figur 35: En känslighetsanalys över den termiska komforten beroende på olika känslighetsparametrar vid dynamisk reducering under en timme och kylning till 23°C.

Antalet personer påverkar både temperatur och koldioxidhalt, på vintern när ventilationen reduceras till 0,35 l/s, m² passeras gränsen på 1000 ppm. Som max når koldioxidhalten ca 1250 ppm efter en timme vid 208 % beläggning, alltså att alla medarbetare utifrån planritningen är på plats. Figur 36b visar koldioxidhalt för den 3e december. Vid 146 % beläggning når koldioxidhalten precis över 1000 ppm under VFR-timmen, vilket är stor skillnad jämfört med tidigare simuleringar med 70 % beläggning när koldioxidhalten max når omkring 800 ppm. Figur 36 visar en jämförelse av luftkvalité mellan ursprungsbeläggning och maxad beläggning.



(a) Ursprungsbeläggning (70%)



(b) Maxad beläggning (208%)

Figur 36: En jämförelse av luftkvaliteten mellan ursprungsbeläggning och maxad beläggning från den 3e december med VFR under en timme till $0,35 \text{ l/s, m}^2$.

5.3 Sammanfattning av tillåten tidsperioder med reducerat luftflöde

Det skiljer sig beroende på tid på dygnet, nattkyla och hur mycket flödet reduceras. Med utgångspunkt från reducering till $0,35 \text{ l/s, m}^2$ och kylning till 24°C är följande tidsperioder tillåtna oberoende av tid på dygnet och utifrån den operativa temperaturen, se tabell 7. Utifrån den torra luftens temperatur och Arbetsmiljöverkets riktlinjer klarar inget scenario en reducering i flöde när som helst under dygnet utan ytterligare vidtagna åtgärder som t.ex. förkylning. Under specifika omständigheter, exempelvis under förmiddagen en kall vinterdag, kan ventilationsflödet ventilera med minimiflöde i fyra timmar utan att inomhusklimatet blir oacceptabelt.

Tabell 7: Möjliga tidsperioder för effektreducering till $0,35 \text{ l/s, m}^2$ utifrån den operativa temperaturen när inomhustemperatur kyls till 24°C .

Typ av dag	Datum	Arbetsmiljöverket	EN 15251:2007
Solig vårdag	16 april	0	0
Solig varm sommardag	29 juni	0	15 min
Molnig höstdag	22 oktober	0	15 min
Kall vinterdag	3 december	15 min	2 h

Om inomhusklimatet i normal drift istället kyls till 23°C är potentialen för VFR och att följa Arbetsmiljöverkets riktlinjer betydligt större, även vid minimiflöden, se tabell 8. Det har inte undersökts någon tidsperiod mellan 15 minuter och en timme. Det har inte heller genomförts något scenario med kylning till 23°C och VFR under en längre tidsperiod än en timme, därför märks en *Kall vinterdag* utifrån EN-standarden med $> 1 \text{ h}$ eftersom den potentiella tidsperioden är längre men utifrån denna analys är det inte möjligt att säga något mer konkret (se tabell 8).

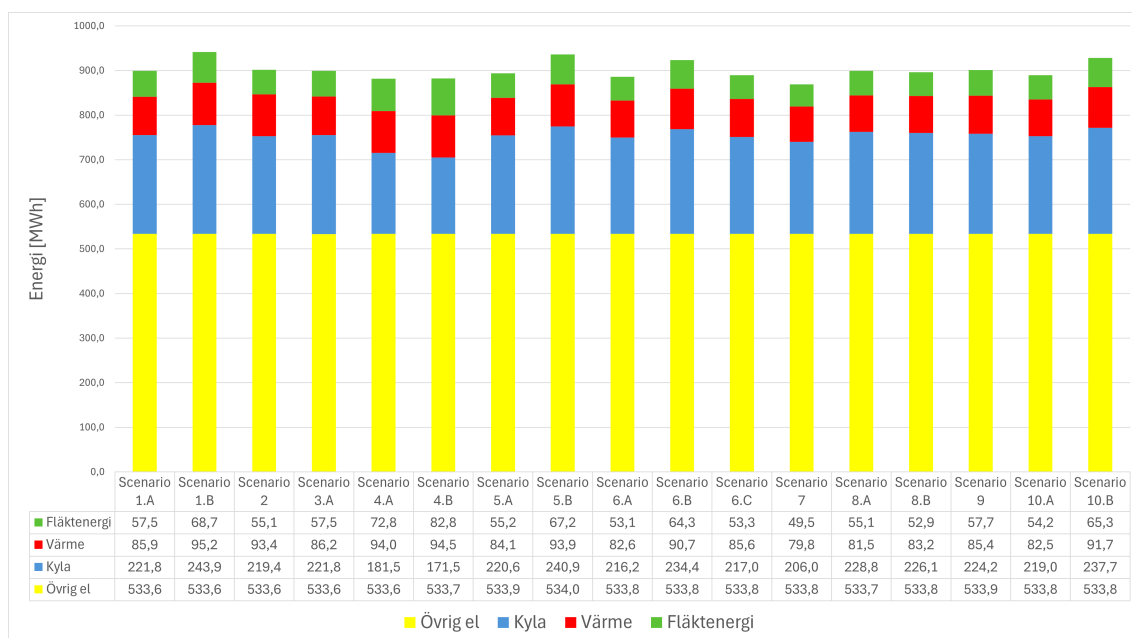
Tabell 8: Möjliga tidsperioder för effektreducering till 0,35 l/s, m² utifrån den operativa temperaturen när inomhustemperatur kyls till 23°C.

Typ av dag	Datum	Arbetsmiljöverket	EN 15251:2007
Solig vårdag	16 april	0	15 min
Solig varm sommardag	29 juni	15 min	15 min
Molnig höstdag	22 oktober	15 min	15 min
Kall vinterdag	3 december	1 h	> 1 h

Vid en mer dynamisk VFR som anpassar luftflödesreduceringen beroende på årstid är det möjligt att i den aktuella byggnaden reducera luftflödet en timme under en varm sommardag och en mulen höstdag och följa både Arbetsmiljöverkets riktlinjer och EN-standard. Under vintern finns potential för även längre reducering, men ett sådant scenario har inte testats i denna rapport. Under en solig vårdag kan nästan det termiska klimatet hållas inom EN-standarden men klarar inte Arbetsmiljöverkets riktlinjer.

5.4 Påverkan på totalt energibehov

Det totala energibehovet är en blandning av vad som är energi från fjärrkyla, fjärrvärme och elnätet. All värme är från fjärrvärmenätet, all kyla från fjärrkylanätet och fläktenergi och övrig el kommer från elnätet. Alla våningsplan är inkluderade i det totala energibehovet i stapeldiagrammet i figur 37, alltså både kontorsplan och övriga ytor.



Figur 37: Det totala energibehovet för år 2023 uppdelat i övrig el, kyla, värme och fläktenergi utifrån respektive modellerat scenario.

Det scenario med nattkylning till 20°C har det lägsta totala energibehovet och samtidigt ett acceptabelt inomhusklimat under hela kontorstiden, eftersom kylbehovet minskar

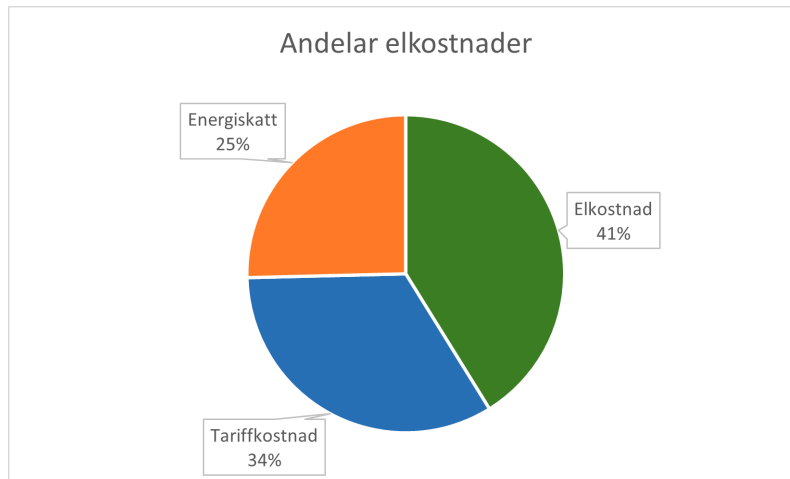
väsentligt samtidigt som fläktenergin ökar. Scenariot med nattkylning till 20°C har lägre totalt energibehov än nattkylning till 18°C. Intressant att notera är att den besparing som görs i kyla (10 MWh) vid lägre nattkylningstemperatur kompenseras av en lika stor ökning av fläktenergi, så totalt energibehov är ingen större skillnad mellan nattkylning till 18°C eller 20°C. Det scenario med allra lägst totalt energibehov är VFR under två timmar till 0,35 l/s, m², men det som är värt att komma ihåg är att detta scenario inte uppfyller komfortkrav under hela året. Det scenario med störst totalt energibehov är grundscenariot med kylning till 23°C. Alla scenarion med kylning till 23°C har ett totalt sett större energibehov på grund av ökat behov av både kyla och fläktenergi än scenarion med kylning till 24°C. Mellan det lägsta energibehovet och största energibehovet skiljer det 72 MWh.

En observation är att alla VFR-scenarion har totalt sett ett lägre totalt energibehov jämfört med grundscenariot med samma kylningstemperatur förutom vid 4 timmar helt avstängd ventilation eller med förkylning. Däremot är en viktig detalj som inte får glömmas att flera av dessa scenarion har flera timmar med ett oacceptabelt inomhusklimat och inte är genomförbara i praktiken.

5.5 Kostnadsanalys

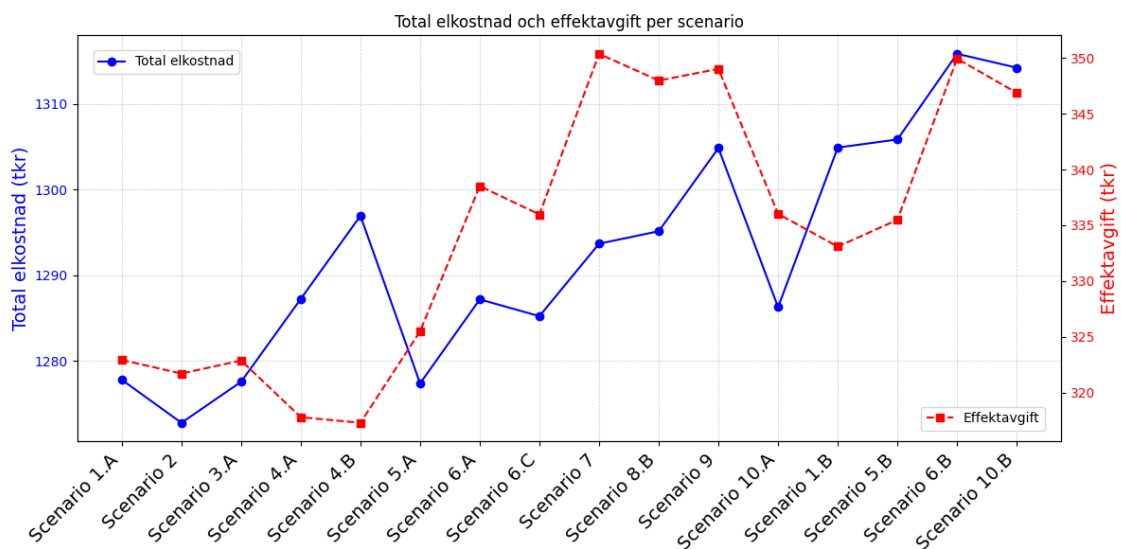
Elpriset är elområde 3:s spotpriser från 2023, nättariffen är enligt Ellevios prismodell för 2025 och energiskatten är för 2025. Figur 38 visar hur stor andel av elkostnaderna som går till respektive post för grundscenariot med kylning till 24°C (Scenario 1.A). Den största andelen av elkostnaderna beror på det totala energibehovet eftersom endast omkring 25 % av de totala elkostnaderna beror på effektavgifter. Av tariffkostnaden består 75 % av effektavgifter, månadseffektavgiften och höglasteffektavgiften, utifrån Ellevios prismodell för grundscenariot. Andelen kan såklart skilja beroende på förhållandet mellan total energi och effekt. Däremot är energiskatten och en del av nättariffen ett rörligt pris som multipliceras med den totala energin. Elpriset, förutsatt att konsumenten har rörligt elpris som i detta scenario, beror på när på dygnet energin används, hur mycket energi som används och vad elmarknadens spotpris är motsvarande timme.

Figur 39 visar en trendlinje hur kostnaderna förändras beroende på scenario. Som förväntat är kostnaderna större vid kylning till 23°C då fläktarna behöver gå på högre effekt för att kyla byggnaden ytterligare en grad. Ett intressant resultat från denna analys är att kostnaderna för alla VFR-scenarion är högre än grundscenariot med samma kylningstemperatur, med enda undantaget med 15 minuters VFR vid kylning till 24°C. Det, trots att de termiska kriterierna inte uppfylls i alla scenarion, är det alltså dyrare ur elkostnadsperspektiv. Det beror troligen på den topp som uppstår i luftflödet för att kompensera efter en reducering för att återställa inomhusklimatet, vilket bekräftas av en högre effektavgift. En annan intressant iakttagelse är att den lägsta totala elkostnaden uppstår för scenario 2, lägre än scenario 1, trots att fläktarna är i drift med ett reducerat luftflöde under nätter och helger i scenario 2. Dock är skillnaden ganska marginell. Denna kostnadsanalys tar ingen hänsyn till kostnader som uppstår utifrån ett förändrat behov av värme eller kyla från fjärrvärme- respektive fjärrkylanätet.



Figur 38: Uppdelning av elkostnader för grundscenariot med kylning till 24°C mellan elpris, elnät och energiskatt. Alla prisuppgifter inkluderar moms.

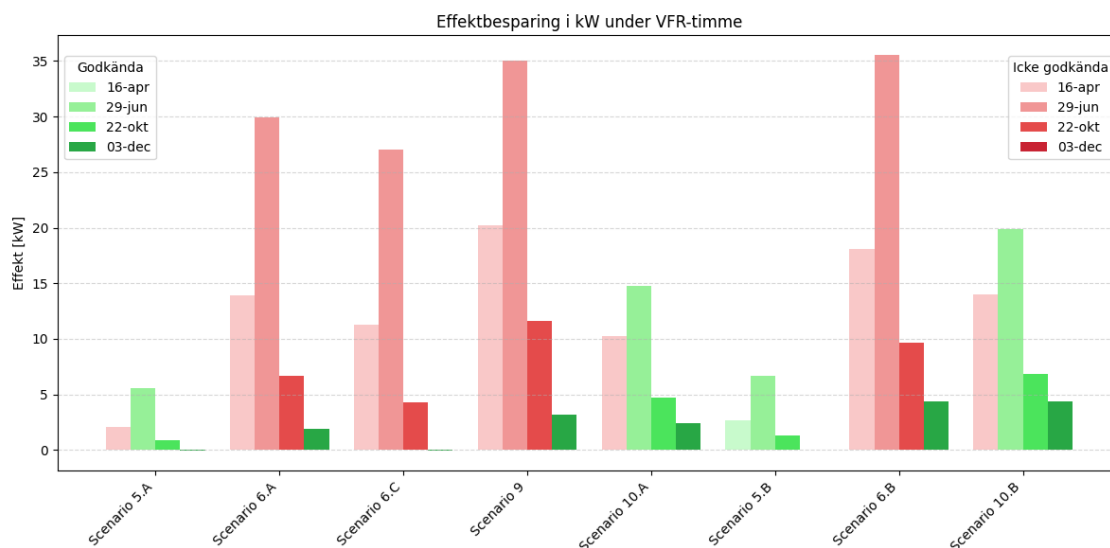
Nattkyla innebär minskad effektavgift, eftersom nattkylningen sker när övrig elintensiv utrustning som exempelvis kontorsutrustning inte är aktiv, men ökade totala elkostnader (se figur 39). De högre elkostnaderna beror på högre total energianvändning för fläktarna eftersom de är i drift, med ibland full effekt, även under natten. Däremot tas det inte hänsyn till ett minskat kylbehov med kyla från fjärrkylanätet, vilket skulle vara intressant för vidare studier att jämföra de totala kostnaderna som inkluderar priser för fjärrvärme och fjärrkyla. Att effektavgiften minskar vid scenarier med nattkyla beror på, genom att kyla ner byggnaden under natten, att fläktarna inte behöver hantera lika stora luftflöden under morgonen varma sommardagar för att få ner temperaturen på kontoret till önskad nivå samtidigt som annan elintensiv utrustning används och elpriset generellt är högre.



Figur 39: Trendlinje för de totala elkostnaderna och effektavgiften för det totala elbehovet som inkluderar fläktenergi och övrig el.

5.6 Effektbesparingar med VFR

Effekten räknas som ett medelvärde över en timme och IDA har noggrannhet en timme. Det innebär att vid reducering 15 minuter kommer det att vara snittet av den timme reduceringen sker som jämförs med grundscenariot. I och med att elhandelsmarknaden övergår till 15-minuters upphandlingsperiod kommer med största sannolikhet noggrannheten och mätningen av el att följa i samma fotspår. För alla scenarier är det ett snitt av de timmarna med ventilationsflödesreducering, VFR, jämfört med snittet motsvarande timmar i grundscenariot med samma kyltemperatur. Figur 40 visar hur mycket effekt uttryckt i kilowatt som sparas vid totalt 8 stycken olika VFR-varianter. De gröna staplarna i figuren representerar de scenarier och dagar som har ett acceptabelt inomhusklimat utifrån EN-standarderna under VFR, medan de röda staplarna då överstiger det termiska klimatet ett godkänt inomhusklimat under VFR.

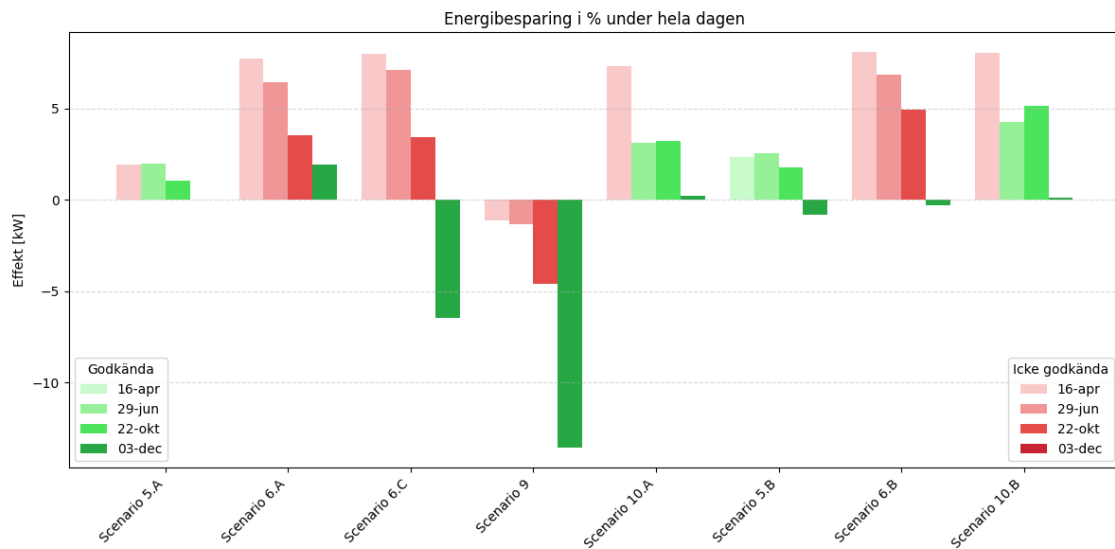


Figur 40: Effektbesparing i snitt i kilowatt för VFR-timmar för scenario 5, 6, 9 och 10 när ventilationssystemet är modellerat för att hålla 24°C under normal drift.

I effekt är den största potentialen på sommaren när luftflödena är som störst och betydligt lägre under vintern. Men de gånger där potentialen att spara mest effekt är som störst upprätthålls inte det termiska inomhusklimatet inom godkända riktlinjer, varken EN-standard eller Arbetsmiljöverkets. Så, om påverkan på det termiska klimatet och belastningen i elnätet vägs in är potentialen och samhällsnyttan större under vintern. Belastningen på elnätet är som störst på vintern och mer specifikt under morgon och förmiddag, vilket sammanfaller med potentialen för längre VFR-perioder utan att drabba det termiska klimatet. Under vintern är det möjligt att spara mellan 2-4 kW i snitt över en timme vid VFR. I stapeldiagrammet i figur 40 är det inte alla staplar med effektbesparing som uppfyller de termiska komfortkraven. Den största effektbesparingen som också uppfyller termiska komfortkraven återfinns i scenario 10 med kylning till 23°C, under den varma sommardagen den 29:e juni, där det är möjligt att spara omkring 20 kW.

Totalt sett över hela dagens kontorstid visar resultatet generellt en besparing av det

totala energibehovet, redovisat i procent i figur 41, vilket skiljer sig från tidigare studier. Undantaget är det scenariot med förkylning, men däremot jämförs det mot att alltid hålla 24°C i kylningstemperatur.



Figur 41: Energibesparing i procent över fläktarnas drifttid (kl. 6-18) för respektive dag. Vid negativ procentsats är det totalt sett ett ökat effektbehov under den dagen.

6 Diskussion

Syftet med denna studie var att undersöka möjligheten att använda ventilationssystemet i en kontorsbyggnad med trästomme som ett verktyg för efterfrågeflexibilitet. Fokus låg på att identifiera hur ventilationsreduktion påverkar inomhusklimat, energianvändning och kostnader under olika scenarier. Resultaten visar att även om potentialen inte är försumbar, så är den också starkt begränsad – både tekniskt och praktiskt.

6.1 Begränsande faktorer och förutsättningar för VFR

En central observation är att temperatur oftare än luftkvalitet är den begränsande faktorn som sätter gränserna för hur mycket luftflödet kan reduceras i den undersökta kontorsbyggnaden. En orimlig nivå för koldioxidhalt nås i de flesta fall långt efter att temperaturkomforten överskridits. Endast under de kallare månaderna som december och januari blir koldioxid en begränsande faktor för styrning av luftflöde eftersom det inte finns samma behov av kylning. Däremot har antalet personer på ett kontor stor betydelse, vilket framkom i känslighetsanalysen.

Samtidigt som möjligheten till effektreduktion är störst under vintern, är luftflödena då generellt låga och besparingspotentialen relativt liten i absoluta tal. Å ena sidan, i elområde 3 som sträcker sig över södra och mellersta Sverige, där belastningen på elnätet är som störst vintertid och spotpriserna på el generellt som högst, finns dock ett systemvärde även i mindre effektreduktioner – enligt principen *många bäckar små*. Å andra sidan är det långt ifrån alltid som förbrukning och pris sammanfaller vilket lyfter frågeställningar kring till vilken nytta: samhällsnytta eller kostnadsbesparingar? Frågan blir dessutom inte bara hur mycket effekt som sparas, utan även när på året och var i landet detta sker. Ur ett kostnadsperspektiv är effektreduktion inte nödvändigtvis ekonomiskt gynnsamt utifrån dagens prismodell, utifrån denna studie genererar ventilationsflödesreduktion ökade kostnader. Det krävs ett tydligt syfte varför. Med en optimal styrning utifrån pris och andra system i en byggnad som drar stora effekter skulle utfallet kunna bli annorlunda. Däremot skulle tariffstrukturen från elnätsbolagen och spotpriserna bättre behöva spegla belastningen i elnätet för att uppnå samhällsnytta med effektreduktion.

Potentialen för VFR är starkt beroende av externa faktorer som utomhustemperatur, solinstrålning och byggnadsorientering. Vid högre temperaturer och mer solinstrålning är potentialen för VFR lägre, trots generösare riktlinjer från Arbetsmiljöverket och EN-standarderna under sommaren. Temperaturen hinner stiga flera grader, speciellt under soliga väderförhållanden, under en timme med låga luftflöden. Byggnadsorientering har också betydelse; mycket morgon- och förmiddagssol försämrade kapaciteten för reducerade luftflöden.

Byggnadens konstruktion spelar också en viktig roll. Den studerade byggnaden är uppförd med en massiv trästomme, vilket innebär relativt låg termisk tröghet. Det gör att inomhusklimatet reagerar snabbt vid reducerat luftflöde, vilket återspeglas i resultaten som i sin tur minskar möjligheten att jämna ut effekttoppar utan att påverka inomhuskomforten.

Tidigare studier har visat att i tyngre konstruktioner, exempelvis betong, kan temperaturen lagras i byggnadsmassan och därmed ge större spelrum för temporära reduktioner. Betongkonstruktioner har framförallt visat sig ha betydelse för lagring av kyla. Däremot, i denna studie när mellanbjälklaget av massivt trä byttes mot 200 mm betong, visade resultatet en motsatt effekt. Temperaturen i betongkonstruktionen steg snabbare och gav fler timmar med oacceptabelt termiskt klimat jämfört med massivt trä i mellanbjälklaget.

Sammanfattningsvis visar resultatet att potentialen för ventilationsbaserad efterfrågefleksibilitet i träkonstruktioner är begränsad, men inte obefintlig. Den verkliga nyttan uppstår sannolikt först när styrningen samordnas med andra system, optimeras utifrån externa signaler, byggnadens fysiska egenskaper och förändrade användningsmönster.

6.2 VFR ur system- och lönsamhetsperspektiv

För att vara med och bidra på stödtjänstmarknaden som en leverantör av balanstjänster, BSP-leverantör, krävs budstorlek mellan 0,1 - 1 MW beroende på vilken form av stödtjänst eller avhjälpande åtgärd. Den potentiella effektbesparingen med ventilationssystemet under vintern är i snitt mellan 2-4 kW under en timme, vilket innebär att det krävs mellan 25 till 500 byggnader med ventilationssystem i samma storleksordning och liknande användningsområde. Under sommaren finns potential uppemot 20 kW i snitt under en timme i effektbesparing och samtidigt hålla ett acceptabelt termiskt inomhusklimat. Oavsett, för att delta på stödtjänstmarknaden behöver en BSP-leverantör kunna agera både med ökad och minskad produktion under hela året, det innebär att det behövs minst 500 ventilations-system av samma storleksordning för att kunna garantera leverans. Dessutom, vid ökad produktion på grund av efterfrågefleksibilitet, står konsumenten för avgifter kopplade till elpris och effektagifter. Utifrån denna analys är potentialen för ventilationssystemet att bidra med tjänster på stödtjänstmarknaden väldigt låg. Ur ett systemperspektiv finns ett behov av att anpassa elnätstariffer och elpriser för att inte straffa de aktörer som agerar för att balansera elnätet och utgör en samhällsviktig funktion, men också för att skapa än större incitament för privatpersoner och företag att vilja bidra.

En annan viktig aspekt är systeminteraktioner: minskad ventilation påverkar behovet av kyla och värme. Från tidigare studier ger ett reducerat ventilationsflöde ett minskat värmebehov och ökat kylbehov, vilket även visas i denna studie. En analys utifrån prispåverkan på dessa system krävs för att kunna besvara huruvida effektreducering med ventilationssystemet är gynnsamt ur ett kostnadsperspektiv. Den största potentialen uppstår troligtvis i samverkan med andra system. Denna systemdynamik visar att energieffektivitet och flexibilitet bör analyseras i ett helhetsperspektiv, snarare än per enskilt system. Däremot kan det konstateras att det finns en viss förmåga att med ventilation kunna reagera på externa signaler, som det uppdaterade EU-direktivet belyser, om än begränsad utan att påverka kvaliteten på inomhusklimatet.

Ur ett praktiskt perspektiv väcks frågan: är det värt det? De ekonomiska resultaten var negativa utifrån den regelmässiga styrningen och tekniskt utmanande att uppnå utan att kompromissa med komforten i byggnaden. Å ena sidan när kylsystemet eftersträvar 23°C

är potentialen för VFR större, men å andra sidan är det totala energibehovet av både el och kyla högre. Det blir en fråga i vad som bidrar med den första nyttan, att minska den totala energiförbrukningen eller bidra med efterfrågefleksibilitet och förmågan att kunna reagera på externa faktorer. Med anpassad styrning av VFR utifrån ett kostnadsperspektiv skulle det ekonomiska utfallet kunna bli annorlunda. Om VFR istället samverkar med övriga system i byggnaden och alla system är integrerade i en optimerad styrning utifrån kostnader och inomhuskomfort skulle nyttan potentiellt vara större ur både ett kostnads- och effektbesparingsperspektiv. Sammanfattningsvis krävs ett tydligt syfte med att genomföra VFR, annars riskerar den nya toppen i luftflöde efter en luftflödesreducering att motverka nyttan.

6.3 Osäkerheter och begränsningar i modellen

I denna analys är det en central aspekt hur närvaron och beläggningen är modellerad. Modelleringen från Svebys rapport som användes baseras på en person per 20 kvadratmeter, vilket är glesare i förhållande till den planritning som erhöles senare i processen över ett modernare aktivitetsbaserat kontor. Beläggningen är dessutom jämnt fördelad över kontorsytan och ingen hänsyn tas till högre koncentration av personer i delar av kontorsytan eller fler personer i olika mötesrum under perioder. Dessutom, eftersom zonerna var icke rektangulära, utfördes energisimuleringar som tar medelvärden av koldioxidhalten över zonen och kan inte fånga olika koncentrationer i olika delar och med kortare tidsupplösning inom en zon. Med det i beaktande är det kanske svårt att avgöra koldioxidhaltens begränsning. Däremot, en högre beläggning och med koldioxiden som en större begränsande faktor skulle endast leda till att potentialen för VFR försämras. Detta väcker också frågan om koldioxid alltid är det bästa måttet för inomhusluftens kvalitet – parametrar som lukt, flyktiga organiska ämnen (VOC) eller andra upplevda kvalitetsaspekter kan ha stor betydelse men fångas inte av simuleringsverktyget IDA ICE. Oklarheter kring vid vilka luftflöden som andra besvärande parametrar för luftkvaliteten uppstår återstår att undersöka för att praktiskt kunna besvara potentialen med VFR. Det finns ytterligare en skillnad mellan modell och verklighet som innefattar personers aktivitetsnivå som påverkar koldioxidutsöndring, men även värmebidrag och luktolägenheter. I simuleringsmodellen är 1.2 MET antaget, som är aktivitetsnivån för stillasittande kontorsarbete, vilket är ett rimligt antagande men skiljer sig till viss grad från verkligheten. I verkligheten är de som jobbar mer rörliga än så och promenerar runt för att fylla på kaffekoppen, gå på möten, prata i telefon eller fråga en kollega om hjälp. Det leder till en högre koldioxidström än vad som fångas i simuleringarna.

Slutligen bör förändrade arbetsvanor efter pandemin vägas in och effektiviteten i den nya tekniska utrustningen på ett kontor. Ökad distansarbete och ojämn beläggning påverkar internvärmelast och närvaromönster, vilket ger både utmaningar och möjligheter för mer dynamisk ventilation. Förändrat närvaromönster påverkar också användningen av IT-utrustning och till viss grad belysningen på ett kontor. För bättre prediktion av VFR-potential behövs mer aktuell data över effektbehov från modern kontorsutrustning.

Framtida system kan därför dra nytta av mer adaptiv styrning, eventuellt baserad på realtidsdata från sensorer och närvarodetektering. Branschen skulle också behöva nya standarder som är mer uppdaterade utifrån dagens förutsättningar eftersom potentialen med ventilationsflödesreducering har stark korrelation med värmegenerering från internlast.

7 Slutsatser

Resultaten från studien visar att temperaturen i kontorsmiljöerna utgör en större begränsning för ventilationsflödesreducering än koldioxidhalten. Däremot spelar personbelastningen i lokalen en avgörande roll för hur snabbt koldioxidnivåerna stiger och i verkligheten kan koldioxidens begränsande faktor vara större än vad som framkommer i simuleringarna. Möjligheten att sänka luftflödet beror på en kombination av interna och externa faktorer samt till vilken nivå luftflödet reduceras. Under optimala förhållanden, till exempel en kall vinterförmiddag, är det möjligt att sänka luftflödet till minimiflöden under upp till fyra timmar utan att överskrida EN-standardens komfortgräns på 25°C – en temperatur som dock kan upplevas som hög av många. Under ogynnsamma förhållanden kan dock termiskt obehag uppstå redan inom 15 minuter efter reducering, vilket tydligt begränsar flexibiliteten.

Vid tillämpning av en dynamisk strategi för luftflödesreduktion, där kylsystemet styrs mot 23°C och flödena anpassas efter säsong – $0,35 \text{ l/s, m}^2$ under vintern, 1 l/s, m^2 på våren och hösten samt 2 l/s, m^2 under sommaren – visar resultaten att ventilationen kan reduceras under en timme de flesta dagar på året, oavsett tid på dygnet.

Bland de interna faktorer som påverkar potentialen är det främst två faktorer. Den första är personantal per kvadratmeter och hur lokalen används under arbetsdagen. Den andra är kontorsutrustningens effektivitet och antalet enheter per person som spelar stor roll, då dessa genererar betydande internvärme som i sin tur påverkar möjligheterna till ventilationsreducering.

Vad gäller externa faktorer visade analysen att högre utomhustemperaturer och stark solinstrålning förkortar den möjliga ventilationsreduceringsperioden. Byggnadens orientering spelar också roll där kontor med morgon- och förmiddagssol är mer benägna att drabbas av övertemperaturer, medan kontor som får mest sol på eftermiddagen har större problem i jämförelse med lägre temperaturer - särskilt efter nattkyllning. Dessa tre faktorer har en direkt inverkan på genomförbarheten av ventilationsflödesreducering, VFR.

Ett ytterligare praktiskt hinder är att reducerad ventilation ofta följs av en effekttopp när systemet kompenserar för att återgå till normalläge, vilket riskerar att motverka den nytta - ur både ett effekt- och kostnadsperspektiv - som uppnåtts under reduceringsperioden. Därför är det avgörande att ventilationsstyrning sker med ett tydligt och genomtänkt syfte - exempelvis att undvika kortvariga pristoppar eller att svara på externa signaler från elnätet.

Sammanfattningsvis visar resultaten att potentialen och lönsamheten för efterfrågeflexibilitet genom ventilation i träbaserade kontorsbyggnader är begränsad. De möjliga effektreduktionerna är små och inomhusklimatet försämras snabbt vid reducerat luftflöde.

7.1 Vidare studier

Flera frågor har uppstått under arbetets gång som lämpar sig för vidare studier. Ett naturligt nästa steg är att undersöka möjligheterna till optimerad styrning av ventilation, exempelvis genom maskininlärningsbaserade algoritmer som dynamiskt anpassar luftflödet utifrån

både klimatdata och elprisvariationer. Det vore också intressant att fördjupa förståelsen för vilka koldioxidhalter som faktiskt är acceptabla under korta perioder, och om andra faktorer – såsom lukt eller andra luftföroreningar – i praktiken har större betydelse för den upplevda inomhusluftens kvalitet än vad nuvarande modell fångar.

Ytterligare ett område för framtida analys är hur ventilationsstyrning påverkar, eller påverkas av, fjärrvärme- och fjärrkylanätet. En jämförelse mellan olika driftstrategier ur ett kostnads-, system- och miljöperspektiv som inkluderar kostnader från fjärrvärme och fjärrkyla skulle kunna ge en mer komplett bild. I förlängningen vore det även värdefullt att jämföra ventilationens flexibilitetspotential med andra stora laster i en byggnad, såsom elbilsladdning eller storköksutrustning.

Ett sista område att studera vidare är synergier mellan smart ventilation och lokal elproduktion, framför allt solceller. Eftersom kylbehovet tenderar att vara högst när solinstrålningen är som störst, skulle en direktkoppling mellan solceller och kylsystem kunna vara ett effektivt sätt att nyttja energin. Särskilt intressant vore att utvärdera möjligheten till likströmsöverföring från solceller till kylbatterier eller fläktar, vilket kan minska omvandlings- och överföringsförluster och därmed höja systemets totala verkningsgrad.

Referenser

- Arbetsmiljöverket (2023). *Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:14) om gränsvärden för luftvägsexponering i arbetsmiljön*. <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/afs-202314/>. Beslutad: 2023-09-15, Utkom från tryck: 2023-11-22, Träder i kraft: 2025-01-01.
- (2025a). *Allmänventilation och luftkvalitet*. URL: <https://www.av.se/inomhusmiljo/ventilation-och-luftkvalitet/allmanventilation-och-luftkvalitet/> (hämtad 2025-04-04).
- (2025b). *Bedöm det termiska klimatet*. URL: <https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-termiskt-klimat-pa-arbetsplatsen/bedom-det-termiska-klimatet/> (hämtad 2025-01-28).
- Axelsson, Kerstin (2022). “Värmetröghet i byggnader: En studie som undersöker en skolbyggnad utifrån olika materials värmetröghet samt dess klimatpåverkan genom en livscykelanalys”. UPTec STS 22023. Examensarbete, Civilingenjörsprogrammet i system i teknik och samhälle. Uppsala: Uppsala universitet.
- Boverket (2011). *Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd)*. BFS 2011:6, BBR 18. URL: <https://rinfo.boverket.se/BFS2011-6/pdf/BFS2011-6.pdf> (hämtad 2025-01-27).
- (2014). *Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*. BFS 2014:3, BBR 21. URL: <https://rinfo.boverket.se/BFS2011-6/pdf/BFS2014-3.pdf> (hämtad 2025-01-27).
- (2020). *Boverkets föreskrifter om ändring i Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd*. BFS 2020:4, BBR 29. URL: <https://rinfo.boverket.se/BFS2011-6/pdf/BFS2020-4.pdf> (hämtad 2025-01-27).
- (2022). *Hälsa och luftkvalitet*. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/forebygg-fel-brister-skador/konsekvenser-samhallet/konsekvenser-halsan/halsa-luftkvalitet/> (hämtad 2025-01-23).
- (2024a). *Direktiv för byggnaders energiprestanda, EPBD*. URL: <https://www.boverket.se/sv/byggande/uppdrag/direktiv-for-byggnaders-energi-prestanda/> (hämtad 2025-02-03).
- (2024b). *Ventilation*. URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/ventilation/> (hämtad 2025-01-27).
- (2025). *Boverkets uppdrag*. URL: <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/boverkets-uppdrag/> (hämtad 2025-01-23).
- Brandsma, Erik, Mikael Odenberg och Jakob Granit (2016). *Vattenkraftens reglerbidrag och värde för elsystemet*. ER 2016:11. Statens energimyndighet, Svenska kraftnät, Havs- och vattenmyndigheten. URL: <https://www.energimyndigheten.se/contentassets/0470e9ec1c58479093f161e614adb474/vattenkraftens-reglerbidrag-och-varde-for-elsystemet.pdf> (hämtad 2025-02-07).

- Bülow-Hübe, Helena m. fl. (2022). *Nuläge termisk komfort: en kunskapssammanställning*. Rapport. Malmö: Malmö universitet, s. 118. URL: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mau:diva-57668> (hämtad 2025-02-25).
- Drivmedla (2025). *Elnätsägare*. URL: <https://drivmedla.vti.se/kartor-och-statistik/elnaetsagare> (hämtad 2025-01-21).
- Ellevio (2025a). *Elnätspriser från och med 1 januari 2025: Elnätspriser för effektabonnemang i Ellevios lokalnät max 24 kV*. URL: https://www.ellevio.se/globalassets/content/priserabonnemang-pdf/2025/lokalnat/effekt_250101.pdf (hämtad 2025-05-21).
- (2025b). *Elnätspriser privat*. URL: <https://www.ellevio.se/abonnemang/elnaetspriser-privat/#h-prislistor-fr-o-m-1-januari-2025> (hämtad 2025-01-22).
- (2025c). *Villkor för effektabonnemang med huvudsäkring över 63 A: Gäller för lokalnät vid maximalt 24 kV*. URL: https://www.ellevio.se/globalassets/content/villkor/villkor-effekt-over-63a_2024-01-01.pdf (hämtad 2025-05-21).
- Ellevios kundtjänst (2025). *Kommunikation om lämpligt effektabonnemang för kontorsbyggnad*. [e-post]. Personlig kommunikation till författaren, 21 maj 2025.
- Energiföretagen (2024). *15-minuters tidsupplösning*. URL: <https://www.energiforetagen.se/fragor-vi-driver/listsida/15-minuters-tidsupplösning/> (hämtad 2025-01-22).
- Energimarknadsinspektionen (2023). *Vad innebär 15 minuters avräkning, mätperiod och handel för aktörer på grossistmarknaderna?* URL: <https://ei.se/om-oss/nyheter/2023/2023-10-23-vad-innebar-15-minuters-avrakning-matperiod-och-handel-for-aktorer-pa-grossistmarknaderna> (hämtad 2025-01-22).
- EQUA Simulation AB (2024). *IDA ICE*. URL: <https://www.equa.se/se/ida-ice> (hämtad 2025-04-24).
- European Parliament and the Council of the European Union (2024). *Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings (recast)*. English. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj> (hämtad 2025-02-03).
- Folkhälsomyndigheten (2024). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*. Online. HSLF-FS 2024:10. URL: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/1c28701a4c8f49cabce85e3bb65695dc/hslf-fs-2024-10.pdf> (hämtad 2025-01-28).
- (2025). *Vägledning om ventilation*. URL: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/halsoskydd/ventilation/> (hämtad 2025-04-04).
- IEQ Global Alliance (2021). *Air infiltration, ventilation and air conditioning glossary - Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*. URL: <https://ieq-ga.net/glossary/predicted-percentage-of-dissatisfied-ppd/> (hämtad 2025-02-04).

- Khoyalgy, Dolaana m. fl. (2020). "Critical review of standards for indoor thermal environment and air quality". I: *Energy and Buildings* 213, s. 109819. ISSN: 0378-7788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109819>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819314719>.
- Konsumenternas energimarknadsbyrå (2025). *Energiskatt - skattesatser och kostnader*. URL: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elrakningen/energiskatt-skattesatser-och-kostnader/> (hämtad 2025-01-22).
- Langer, Sarka, Karin Hallgren och Vera Öberg (2018). *Innemiljön i HSB Living Lab - En studie av innemiljön under en fastighets första år*. B 2299. IVL Svenska Miljöinstitutet. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1552322&dswid=2901>.
- Lantmäteriet och Svenska kraftnät (2010). *Nätområden.se*. URL: <https://www.natomraden.se/> (hämtad 2025-04-24).
- Lindblom, Kalle (2025). *Elnätsavgiften FAQ*. Energiföretagen. URL: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/elssystemet/elnetet--distribution-av-el/fragor--svar/> (hämtad 2025-02-06).
- Lindholm, Kalle (2024). *Kundens elkostnader*. Energiföretagen. URL: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/elssystemet/elhandel-marknad/for-dig-som-elkund/kundens-elkostnader/> (hämtad 2025-01-22).
- Olesen, Bjarne W. (aug. 2012). "Revision of EN 15251: Indoor Environmental Criteria". I: *REHVA Journal*, s. 6–12. URL: https://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/04-2012/revision-of-en-15251_rj1204.pdf (hämtad 2025-04-14).
- Olivares, Melanie Huerta och Mariam Punjani (2023). "En undersökning om två alternativa ventilationsaggregat med kyla på en befintlig byggnad: FTX värmepump med roterande värmeväxlare eller Sorptiv kyla". ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2023/032-SE. Examensarbete, Högskoleingenjörsprogrammet i byggt teknik, 15 hp. Uppsala: Uppsala universitet.
- Regeringen (2023). *Regeringens klimathandlingsplan – hela vägen till nettonoll*. Tekn. rapport 2023/24:59. Stockholm: Regeringen. URL: <https://www.regeringen.se/contentassets/990c26a040184c46acc66f89af34437f/232405900webb.pdf> (hämtad 2025-03-10).
- Rotger-Griful, Sergi m. fl. (2016). "Demand response potential of ventilation systems in residential buildings". I: *Energy and Buildings* 121, s. 1–10.
- Sandels, C., D. Brodén m. fl. (2016). "Modeling office building consumer load with a combined physical and behavioral approach: Simulation and validation". I: *Applied Energy* 162, s. 472–485. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.141>.
- Sandels, C., J. Widén och L. Nordström (2014). "Forecasting household consumer electricity load profiles with a combined physical and behavioral approach". I: *Applied Energy* 131, s. 267–278. DOI: [10.1016/j.apenergy.2014.06.016](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.06.016).

- Sandels, C., J. Widén, L. Nordström och E. Andersson (2015). "Day-ahead predictions of electricity consumption in a Swedish office building from weather, occupancy, and temporal data". I: *Energy and Buildings* 108, s. 279–290.
- Sandels, Claes (2016). "Modeling and Simulation of Electricity Consumption Profiles in the Northern European Building Stock". Doktorsavhandling. Stockholm, Sverige: KTH, Kungliga tekniska högskolan. ISBN: 978-91-7595-886-6. URL: [diva2:914035](https://diva2.org/914035).
- SEOM (2025). *Timpriser på el*. URL: <https://www.seom.se/timpriser-pa-el/> (hämtad 2025-01-29).
- Shehadeh, Maria och Sofia Söderlund (2015). *Optimering av termisk komfort för glasbyggnad - En simuleringsundersökning av en utbyggnad tillhörande Sahlgrenska Akademin*. Examensarbete, Bygg och Miljöteknologi / Byggnadsfysik. Lund, Sweden.
- Socialstyrelsen (2005). *Temperatur inomhus*. 2005-101-6. URL: <https://www.sitrain-learning.siemens.com/dam/jcr:ecf5dfb2-75b6-43ba-9428-6795b8d8f60d/Temperatur%20inomhus%20Socialstyrelsen.pdf> (hämtad 2025-02-04).
- Sveby (2013). *Brukarindata kontor - Svebyprogrammet*. Tekn. rapport. Stockholm: Sveby. URL: <https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2013/06/Brukarindata-kontor-version-1.1.pdf> (hämtad 2025-03-06).
- (2025). *Ny klimatdatafiler för 2024*. URL: <https://www.sveby.org/> (hämtad 2025-03-18).
- Svenska kraftnät (2023). *Dagen före-marknaden – fysisk handel med el*. URL: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/dagen-fore-marknaden--fysisk-handel-med-el/> (hämtad 2025-01-21).
- (2024a). *15 minuters handelsperiod på Dagen före-marknaden för el införs den 11 juni*. URL: <https://www.svk.se/press-och-nyheter/nyheter/balansansvar/2024/15-minuters-handelsperiod-pa-dagen-fore-marknaden-for-el-infors-den-11-juni/> (hämtad 2025-01-22).
- (2024b). *15 minuters handelsperiod på Intradagsmarknaden för el införs den 18 mars*. URL: <https://www.svk.se/press-och-nyheter/nyheter/balansansvar/2024/15-minuters-handelsperiod-pa-intradagsmarknaden-for-el-infors-den-18-mars/> (hämtad 2025-01-22).
- (2024c). *Balansmarknaden*. URL: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/balansmarknaden/> (hämtad 2025-01-21).
- (2024d). *Intradagsmarknaden – justering av dagen före-handel*. URL: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/intradagsmarknaden--justering-av-dagen-fore-handel/> (hämtad 2025-01-21).
- (2024e). *Om elmarknaden*. URL: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/> (hämtad 2025-01-21).
- (2024f). *Så kan du som privatperson bidra med stödtjänster*. URL: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/verktyg-for-systemdrift/stodtjanster-och-avhjalpande-atgarder/sa-kan-du-som-privatperson-bidra-med-stodtjanster/> (hämtad 2025-01-22).

- Svenska kraftnät (2025a). *Balansansvarig part*. URL: <https://www.svk.se/aktorsportalen/balansansvarig-part/> (hämtad 2025-04-14).
- (2025b). *Om olika reserver*. URL: <https://www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/om-olika-reserver/> (hämtad 2025-04-14).
- SVT Nyheter (2024). *Väderåret 2023: Semesterbesvikelse?* URL: <https://www.svt.se/vader/vaderaret2023analys> (hämtad 2025-05-02).
- Young, Matthew m. fl. (2020). “Assessment of peak power demand reduction available via modulation of building ventilation systems”. I: *Energy and Buildings* 214, s. 109867. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109867.
- Öljemark, Jacob (2024). *Energianvändning per sektor*. URL: https://www.ekonomifakta.se/sakomraden/elfakta/energianvandning/energianvandning-per-sektor_1208517.html (hämtad 2025-03-10).