

Energiberäkning av bostadshus med injusterade luftflöden i obalans

Lisa Flawn Orpana och Stanislav Proshyn

2022-01-18

Förord

Utvecklingsprojektet *Energiberäkning av bostadshus med injusterade luftflöden i obalans* är utfört på Skanska Sverige Teknik av Lisa Flawn Orpana och Stanislav Proshyn som båda är författare till rapporten.

Projektet är delfinansierat av SBUF.

Projektets referensgrupp bestod av:

Sören Andersson	The Future / SGBC
Dan Carlsson	Assemblin Ventilation
Rikard Sjöqvist	Midroc /SGBC
Kjell-Åke Henriksson	JM
Per Levin	PE Teknik & Arkitektur/Sveby
Emma Winqvist	NCC
Jenny Sahlén	Peab
Ulla Janson	Lunds tekniska högskola
Birgitta Nordquist	Lunds tekniska högskola
Andreas Nyqvist	Skanska
Marie Forshällen	Skanska

Stort tack till referensgruppen för värdefullt stöd och engagemang!

Malmö 2022-01-18

Lisa Flawn Orpana och Stanislav Proshyn

Sammanfattning

Rapporten belyser hur en rekommendation om luftflödesobalans i flerbostadshus hanteras i ventilationsprojektering, injustering av luftflöden och energiberäkning.

Ventilationshandlingar och injusteringsprotokoll från ett antal nybyggnadsprojekt har studerats jämte standardiserade metoder för injustering av luftflöden i luftbehandlingssystem. Injusterare har intervjuats om arbetssätt. Med energisimuleringar har påverkan av luftflödesobalans på energianvändning analyserats.

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	4
1.1	BAKGRUND	4
1.2	SYFTE	4
1.3	METOD.....	4
2.	Genomförande	5
2.1	REKOMMENDATIONER OCH STANDARDISERADE METODER.....	6
2.2	STUDIE AV VENTILATIONSHANDLINGAR SAMT INTERVJUER.....	6
2.3	ENERGISIMULERINGAR MED LUFTFLÖDESOBALANS	6
2.4	FÖRSLAG PÅ HANTERING AV LUFTFLÖDESOBALANS	6
3.	Luftbehandlingssystem i bostadshus	7
3.1	LUFTBEHANDLINGSSYSTEM MED FLÄKTSTYRD TILLUFT OCH FRÅNLUFT SAMT LUFT- LUFTVÄRMEVÄXLING	7
3.2	INJUSTERING AV VENTILATIONSFLÖDEN	9
3.3	MÄTFEL OCH TOLERANSER	10
4.	Ventilationshandlingar och intervjuer	11
4.1	STUDIE AV VENTILATIONSHANDLINGAR FRÅN BYGGPROJEKT	11
4.2	INTERVJUER	13
5.	Energisimuleringar.....	15
5.1	FÖRUTSÄTTNINGAR.....	15
5.2	INFILTRATIONSMODELL	17
5.3	RESULTAT	17
5.4	SAMMANFATTNING	20
6.	Sammanfattning, slutsatser och diskussion.....	21
6.1	SAMMANFATTNING	21
6.2	SLUTSATSER	21
6.3	FÖRSLAG PÅ HANTERING	22
6.4	DISKUSSION	22
7.	Källförteckning	23

1. Inledning

1.1 Bakgrund

I takt med att samhällskraven på byggnaders energiprestanda skärps blir det allt viktigare att energiberäkningar under projektering är noggranna och rättvisande. Utvecklingen har gått mot allt lägre nivåer för max tillåtet primärenergital samtidigt som kraven på verifiering av energiprestanda i färdiga byggnader också har blivit skarpare. För att fortsättningsvis kunna möta både samhällskrav och ökade kundkrav på energiberäkningar med hög precision, är det viktigt att utreda systematiska avvikelser mellan beräknad energianvändning under projektering och faktiska utfall under drift.

Byggnaders luftbehandlingssystem har stor påverkan på hela byggnadens energianvändning genom el till fläktar och uppvärmning av ventilationsluft. Möjlig återvinning av värme ur frånluft spelar stor roll. När det gäller FTX-system, det vill säga värmeväxling mellan fläktstyrd frånluft och tilluft i luftbehandlingsaggregat, är värmeväxlarens temperaturverkningsgrad en viktig och välkänd parameter. Av betydelse är också hur stor andel av ute-/tilluften som faktiskt passerar värmeväxlaren och tar del av värmeåtervinningen. Energiberäkningar utgår som regel från att det är balans mellan tilluft och frånluft i byggnader och att de luftflöden som kan utläsas ur ventilationsritningar stämmer. Det finns dock rekommendationer att bostäder injusteras med undertryck, så att tilluftsflödet inte uppgår till mer än 90-95 procent av frånluftsflödet.

Vid undertryck i enskilda lägenheter skulle tilluftsflödet kunna kompenseras med inträngande uppvärmd uteluft direkt genom otätheter i klimatskalet. Obalans i FTX-system skulle därför kunna vara orsak till att byggnaders förväntade energiprestanda utifrån energiberäkning inte motsvaras av faktiskt utfall under drift. Obalansen kan vara avsiktlig eller fullt rimlig med hänsyn till praxis vid injustering, men det är problematiskt om dess påverkan på energianvändningen inte är känd vid projekteringen. Uppskattningsvis finns att undertryck i FTX-system kan medföra ökat uppvärmningsbehov i byggnader på flera kWh/kvm A_{temp} , år. Mot bakgrund av nutida storleksordningar vad gäller max tillåtna primärenergital och möjliga säkerhetsmarginaler är det en alltför stor energipost att förbise.

1.2 Syfte

Projektets syfte är att utveckla arbetssätt för mer rättvisande energiberäkningar genom att belysa hur eventuell luftflödesobalans i bostadshus med FTX-system kan hanteras på ett branschgemensamt sätt.

1.3 Metod

En inledande studie belyser frågan om luftflödesobalans i FTX-system utifrån branschpraxis, rekommendationer och standardiserade metoder för injustering. Insamlade ventilationshandlingar för ett antal färdiga byggprojekt med tillhörande injusteringsprotokoll och OVK-protokoll studeras, sammanställs och utvärderas. Intervjuer med berörda aktörer görs för att komplettera utredningen. Resultaten sammanställs, analyseras och delges projektets referensgrupp. Förslag på arbetssätt vid energiberäkningar diskuteras.

2. Genomförande

Ökade krav på energiprestanda medför att byggprojekten ofta ställs mot små marginaler till max tillåten energianvändning. Därtill kommer krav på att byggnadens använda energi skall följas upp under drift och utlovad energiprestanda skall kunna verifieras. Det kräver att energiberäkningarna i projekteringsskede är träffsäkra och utförs med noggrant inhämtande av indata. Ventilationsflöden och luftbehandlingssystemens nyckeltal är viktiga parametrar.

Vid uppföljning av byggnaders energiprestanda har det i flera fall visat sig att beräknad energiprestanda baserad på projekterat underlag inte har kunnat verifieras med verkligt utfall under drift. Särskilt har byggnaders uppvärmningsbehov underskattats både vad gäller energianvändning och effektbehov.

I byggprojekt görs energisimuleringar i regel med uppdateringar enligt projekterings olika skeden som avslutas med relationshandling då även injusterings- och mätprotokoll kan finnas med i underlaget till den slutgiltiga energiberäkningen.

Utvecklingsprojektet initierades efter en diskussion om möjliga felkällor i energiberäkningar gjorda under projekteringsskede av nya flerbostadshus. Några energiberäknare som använt projekterade luftflöden i energisimuleringar noterade att uppdatering under relationshandling kunde innebära förändrade indata med uppmätta totala luftflöden, om dessa fanns att tillgå. Uppmätta luftflöden som avvek från projekterade skulle kunna bero på att anläggningen injusterats med viss luftflödesobalans för att åstadkomma svagt undertryck i bostadshuset, enligt en rekommendation som flera hört att injusterare arbetar efter. Luftflödesobalansen skulle i så fall vara cirka tio procent mindre tilluft än frånluft och verkade kunna påverka energisimuleringen med upp till två kilowattimmar mer energianvändning per år och kvadratmeter uppvärmd area. Åter i andra byggprojekt var injusterade och uppmätta totala luftflöden mycket lika projekterade värden och luftflödesprotokoll visade på balans. En osäkerhet av den här storleken motsvarar ungefär en fjärdedel av den normala säkerhetsmarginalen i energiberäkningar. Det sågs som nödvändigt att ta reda på:

- vad som gäller vid injustering av luftflöden.
- hur stor omfattningen är av eventuell injusterad luftflödesobalans.
- hur energianvändningen påverkas i en byggnad med luftflödesobalans.
- hur osäkerheten kring luftflödesobalans skall hanteras i energiberäkning.

Vid första mötet i projektets referensgrupp diskuterades även

- mätmetoder, toleranser och mätfel. Hur påverkar de utfallet?
- Hur hanteras luftflödesobalans och infiltration i simuleringsprogrammet?
- Var dokumenteras önskad luftflödesobalans?

Fokus lades på husbyggnadsprojekt med flerbostadshus.

2.1 Rekommendationer och standardiserade metoder

En litteraturstudie inleddes för att söka efter rekommendationer och standardiserade metoder för injustering. Rekommendationen om luftflödesobalans i bostäder fanns nämnd i ett fåtal artiklar och rapporter. I mer standardiserade metodbeskrivningar för injustering behandlades inte frågan om luftflödesbalans eller obalans, fokus låg på injustering i enlighet med projekterade luftflöden.

2.2 Studie av ventilationshandlingar samt intervjuer

För att få en uppfattning om vilket genomslag rekommendationen om luftflödesobalans har haft vid projektering och injustering, samlades ett antal ventilationshandlingar i status relationshandling in från ett antal relativt nybyggda projekt med flerbostadshus och FTX-system. I underlaget fanns protokoll från injustering och OVK (obligatorisk ventilationskontroll). Omfattningen av projekterad respektive injusterad luftflödesobalans skulle härigenom kunna uppskattas. Studien visade på att flerbostadshus i övervägande del projekteras med luftflödesbalans i lägenheter vad gäller grundflöde.

Injusterad luftflödesobalans som inte var projekterad kunde dock inte upptäckas med denna metod: balanserade luftflöden verkade i samtliga fall vara injusterade enligt projektering och skillnader i uppmätta totalflöden mot projekterade värden kunde inte entydigt härledas till medvetet vald luftflödesobalans i lägenheterna. För att få reda på att obalanserade luftflöden justerades in behövde injusterare frågas. Intervjuer med injusterare gjordes utan koppling till enskilda byggprojekt, men kontaktuppgifter som återfanns i protokoll i underlaget utnyttjades.

2.3 Energisimuleringar med luftflödesobalans

Eftersom obalanserade luftflöden både finns som krav vid projektering och kan komma att justeras in oavsett, behövde påverkan på energianvändning belysas ordentligt. Simuleringar med mer avancerad modell för infiltration visade att befärad ökad total energianvändning på grund av luftflödesobalans inte är fallet för vanliga typer av flerbostadshus. Mindre hus, med högre formfaktor, påverkas mer av luftflödesobalans vad gäller energi till uppvärmning.

2.4 Förslag på hantering av luftflödesobalans

Studien värderar inte balanserade eller obalanserade luftflöden i bostadshus, utan fokus är hur luftflödesobalans hanteras i energiberäkning. Önskvärt är att energiberäknare och andra kan utgå från att projekterade luftflöden stämmer, i alla fall inom ramarna för måttoleranser. Eventuell luftflödesobalans bör bestämmas i projektering och arbetas in i handlingar. Arbetssätt för energiberäknare föreslås:

- Vid energiberäkning av flerbostadshus fortsatt utgå från projekterade luftflöden.
- Vid energiberäkning av småhus i energisamordningsroll under projekteringskedan vara uppmärksam på problematiken med eventuell luftflödesobalans.
- Hänsyn tas till luftbehandlingssystemens läckluftflöde
 - påslag på SFP-tal i simuleringsmodellen till exempel 5-10%.
- Måttoleranser hanteras av generell säkerhetsmarginal i energiberäkning.

3. Luftbehandlingssystem i bostadshus

3.1 Luftbehandlingssystem med fläktstyrd tilluft och frånluft samt luft-luftvärmeväxling

Ventilationsflödet i en byggnad skall generellt motsvara minst 0,35 l/s uteluft per kvadratmeter golvyta enligt krav i Boverkets byggregler [1], se nedan i figur 3.1.

6:251 Ventilationsflöde

Ventilationssystem ska utformas för ett lägsta uteluftsflöde motsvarande 0.35 l/s per m² golvarea

6:2521 Tilluft

Tilluft ska i första hand tillföras rum eller avskiljbara delar av rum för daglig samvaro samt för sömn och vila.

6:2524 Frånluft

Frånluft ska i första hand tas från rum med lägre krav på luftens kvalitet. Vid dimensionering av frånluftsflöden i hygienrum och kök ska hänsyn tas till fuktbelastning och förekomst av matos.

Figur 3.1: Utdrag ur BBR [1]

I bostadshus med fläktstyrd tilluft och frånluft tillförs normalt förvärmad och filtrerad uteluft till bostädernas sovrum och vardagsrum via tilluftsdon i dessa utrymmen. Utsug sker via frånluftsdon som är installerade i kök och våtrum. För lägenheter i flerbostadshus blir ofta erforderliga frånluftsflöden i grundflöde dimensionerande för tilluftsflödet. Vanlig lösning för osuppfångning under matlagning är tillfälligt forcerat frånluftsflöde i kök via spiskåpa. Det fläktstyrda tilluftsflödet forceras i allmänhet inte. Exempel på principiell uppbyggnad av hela bostadshusets luftbehandlingssystem visas i figur 3.2.

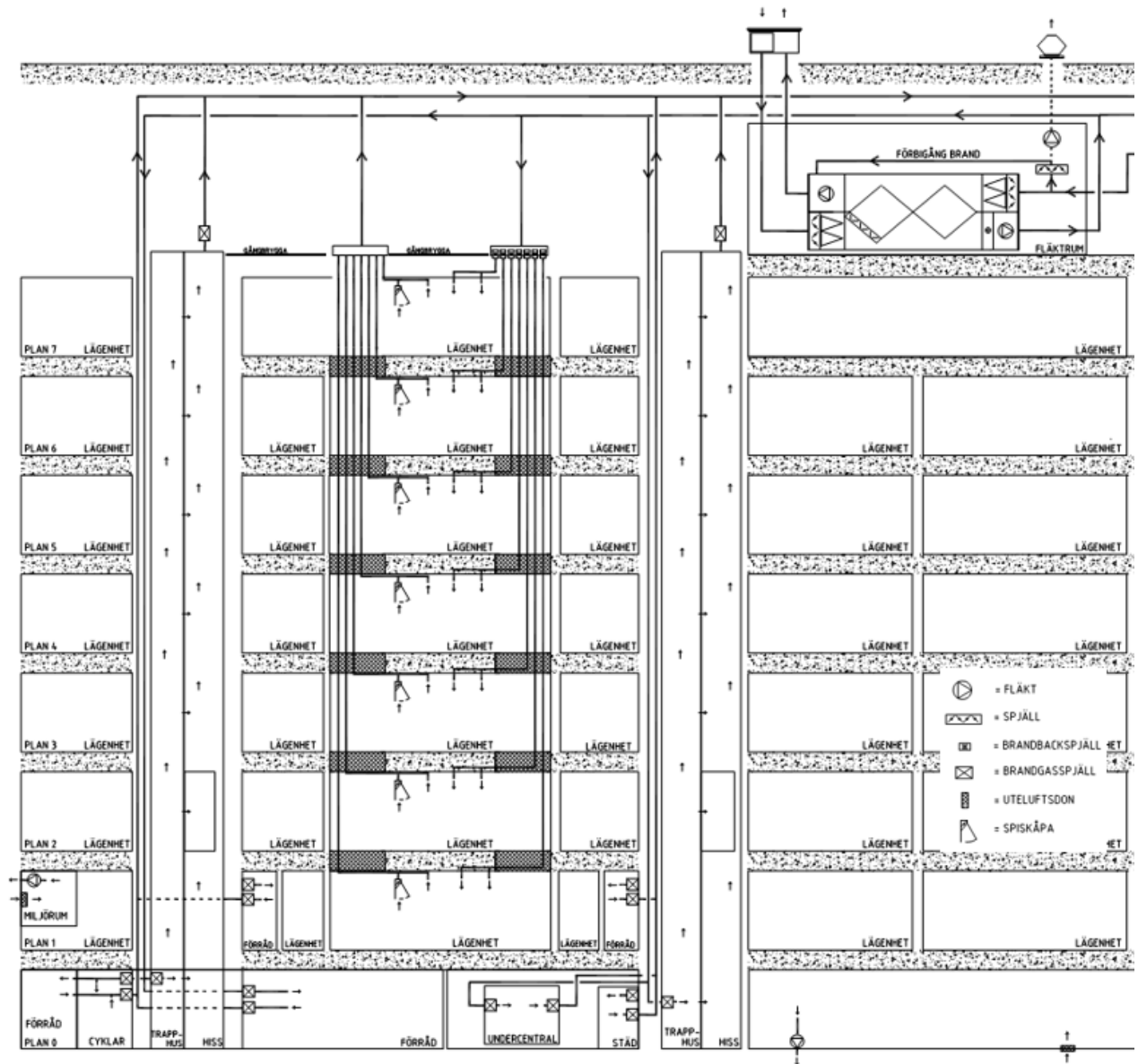
Nybyggda flerbostadshus med fläktstyrd till- och frånluft har som regel värmeåtervinning från frånluften till tilluften, så kallade FTX-system. Den vanligaste lösningen för flerbostadshus är centrala luftbehandlingsaggregat. Småhus, villor och radhus, samt även lägenheter i en del flerbostadshus kan ha egna FTX-system med mindre lokala luftbehandlingsaggregat.

Ett mått på värmeåtervinnarens prestanda är temperaturverkningsgrad, η_t som uttrycker återvunnen temperatur i procent av teoretiskt möjlig temperatur att återvinna. För en luft-luftvärmeväxlare som i figur 3.3 definieras tilluftens temperaturverkningsgrad enligt Ekv.3.1, där $t_{från}$ är inkommande frånluftens temperatur, t_{ute} är inkommande uteluftstemperatur, t_{till} är tilluftens temperatur efter värmeväxlaren, men före eventuell tillskottsvärme, och t_{av} är avluftens temperatur.

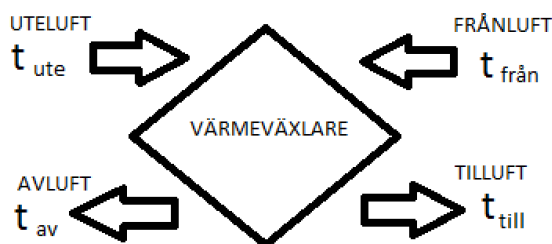
$$\eta_{t, \text{tilluft}} = \frac{t_{\text{till}} - t_{\text{ute}}}{t_{\text{från}} - t_{\text{ute}}}$$

Ekv.3.1

Temperaturverkningsgraden definieras vid bestämda luftflöden. Lägre tilluftsflöde i förhållande till ett större frånluftflöde innebär högre temperaturverkningsgrad.



Figur 3.2 Principiell uppbyggnad av luftbehandlingssystemet i ett flerbostadshus med FTX, fläktstyrd tilluft och frånluft samt värmeåtervinning luft-luft i centralt luftbehandlingsaggregat. Lägenheterna utgör egna brandceller med balanserade luftflöden tilluft och frånluft. Motsvarande princip tillämpas i övriga utrymmen som trapphus och hisschakt, förråds- och teknikutrymmen. Fläktstyrd tilluft kan lokalt ersättas med uteluftsintag och central frånluft kan i vissa utrymmen ersättas av lokal frånluftsfläkt.



Figur 3.3 Luft-luftvärmewäxlare med inkommande frånluftstemperatur $t_{från}$, inkommande uteluftstemperatur t_{ute} , tilluftstemperatur efter värmewäxlaren t_{till} och avluftstemperatur t_{av} .

3.2 Injustering av ventilationsflöden

Luftbehandlingssystemet utformning inklusive detaljerade uppgifter om varje tilluftsdon och frånluftsdons luftflöde bestäms i byggprojektets projekteringsskede och framgår av bygghandlingar. Ventilationsentreprenör monterar luftbehandlingssystemet, det rengörs och driftsätts och därefter tar injustering av luftflöden vid.

Tekniska beskrivningar av luftbehandlingssystem som utgör förfrågningsunderlag eller ingår i bygghandlingar är i stor utsträckning anslutna till referensverket AMA VVS & Kyla [2]. Kod- och rubriksystemet motsvarar föreskrifter som gäller om respektive kod och rubrik angivits i handlingen. Injustering av luftbehandlingssystem har i AMA [2] koden YHC.57, se figur 3.4.

Y / YH / YHC / YHC.5 / YHC.57 Injustering av luftbehandlingssystem		AMA RA AmaNytt VVS & Kyla 19
Sök i VVS & Kyla 19		Generation 2019
Fäll ihop trädet		
YHC.54	Injustering av brandsläckningssystem	
YHC.55	Injustering av kylsystem	AMA RA
YHC.56	Injustering av värmesystem	AMA RA AmaNytt
YHC.57	Injustering av luftbehandlingssystem	AMA RA AmaNytt
YHC.8	Injustering av styr- och övervakningssystem	AMA RA
YJ	TEKNISK DOKUMENTATION	

Figur 3.4 Föreskrifter i AMA [2] under YHC.57 Injustering av luftbehandlingssystem.

AMA [2] föreskriver att injustering skall ske till i handlingarna angivna flöden samt hänvisar till arbetssätt beskrivet i skriften *Injustering av luftflöden i luftbehandlingssystem* [3].

Injustering av luftflöden i luftbehandlingssystem [3] beskriver en systematisk procedur där del i förarbetet till injustering är att granska handlingar ur injusteringsteknisk synvinkel innan projekteringsskedet är avslutat. Vidare att eventuella ändringar i eller anmärkningar på utförandet diskuteras och förankras med projektören. Slutresultatet av injusteringen skall vara att varje don uppnår projekterat luftflöde inom måttoleransen.

Som bilagor till AMA [2] och även återgivna i *Injustering av luftflöden i luftbehandlingssystem* [3] finns mallar till dokumentation under injustering. Intressant för energiberäknare är aggregatprotokoll och luftflödesprotokoll.

3.3 Mätfel och toleranser

Mätning och injustering av luftflöden på enskilda don innebär en viss mätosäkerhet inom ramen för de standardiserade metoder som används. Mätfel per don är av mindre betydelse för energiberäkningen av ett flerbostadshus med en stor mängd tillufts- och frånluftsdon.

För flödesmätning i fläkt finns i AMA [2] förskrivet mätosäkerhet $\pm 5 \%$. I totalflöde för luftbehandlingsaggregatets ingår förutom summan av alla kanalsystemets delluftflöden, även luftbehandlingssystemets läckluftflöde. Enligt *Injustering av luftflöden i luftbehandlingssystem* [3] kan läckluftflödet uppgå till 5 %.

Flödesmätning i frånluftsfläkt kan dessutom omfatta renblåsningsflöde för eventuell roterande värmeväxlare vilket är cirka 10 %.

4. Ventilationshandlingar och intervjuer

4.1 Studie av ventilationshandlingar från byggprojekt

Det finns en uppfattning att bostadshus med FTX-system projekteras med balanserade luftflöden, men injusteras med luftflödesobalans för att åstadkomma ett svagt undertryck i varje lägenhet.

Ett antal ventilationshandlingar och injusteringsprotokoll från husbyggnadsprojekt runt om i landet samlades in och studerades. Byggnaderna var flerbostadshus med FTX-system och centrala luftbehandlingsaggregat.

4.1.1 Projektering

Första frågan att söka svar på var hur lägenheternas luftflöden projekterades. Var det balanserade flöden (lika stora tilluftsflöden som frånluftsflöden) eller var frånluftsflödet större?

Av 19 husbyggnadsprojekt var 17 projekterade med lika stora tilluftsflöden per lägenhet som frånluftsflöden i grundflöde. Till studien lades även fyra koncept, vilket var större beställares programhandling eller uttalade praxis för projektering. Av dessa fyra koncept föreskrevs i två frånluftsflöden större än tilluftsflöden och i två föreskrevs luftflöden i balans. Resultat för frågan om projektering visas i diagram 4.1.

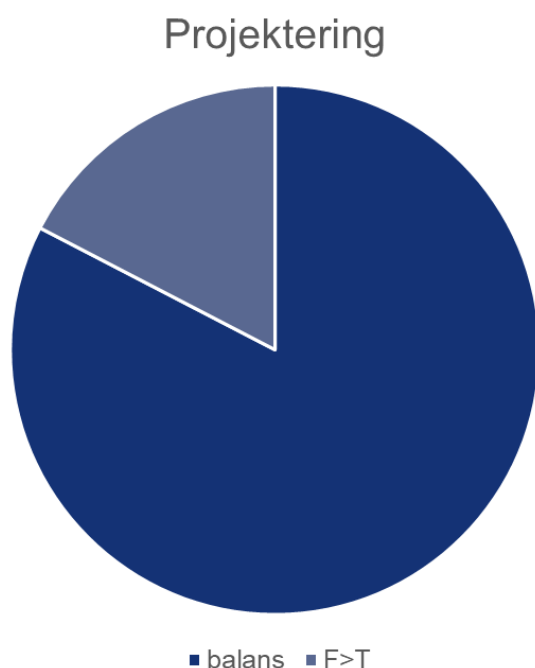


Diagram 4.1 Luftflödesobalans eller balanserade luftflöden i projektering av flerbostadshus.

4.1.2 Injustering av don vid projekterad luftflödesbalans

Luftflödesprotokoll över injusterade luftflöden studerades för de husbyggnadsprojekt som projekterats med lika stora till- och frånluftsflöden per lägenhet. En stor variation av företag var representerade som upprättare av protokollen.

Uppmätta luftflöden jämfördes med projekterade luftflöden på don och per lägenhet. Injustering verkade följa projekterade luftflöden inom normala mättoleranser i samtliga fall, typiska luftflödesprotokoll från studien visas i figur 4.1

LUFTFLÖDESPROTOKOLL										57
Fastighetsbeteckning/ adress		Installeringstryck aggregat TF=110Pa FF=190Pa			Beskrivning Injustering nybyggnad			Säkr. 1		
Aggregatbeteckning LB201		Rörning V57-1-21005 - V57-1-11705			Födesenhet l/s		Datum 2020-01-09			
Rumsnr./Rumsbeteckning	Don beteckn. Dimension	Projekterat flöde (l/s)	Uppmätt flöde (l/s)	Mät metod	Don beteckn.	Projekterat flöde (l/s)	Uppmätt flöde (l/s)	Spalt- öppn.		
A1401										
Vard.rum	TD11-100	17	17	2						
Sovrum	TD11-100	13	13	2						
WC/Dusch Typ6					FD11-100	15	15	+3		
Spiskåpa					FD11-100	15-25	15	+5		
A1402										
Vard.rum	TD11-100	17	17	2						
Sovrum	TD11-100	13	13	2						
WC/Dusch Typ18					FD11-100	15	15	-1		
Spiskåpa					FD11-100	15-25	15	+5		
A1403										
Vard.rum	TD11-100	11	11	2						
Sovrum	TD11-100	8	8	2						
Sovrum	TD11-100	8	8	2						
KLK	TD11-100	3	3	2						
WC/Dusch Typ4					FD11-100	15	15	+1		
Spiskåpa					FD11-100	15-25	15	+5		
Enhet: l/s SUMMA: 90 90 SUMMA: 90-120										

LUFTFLÖDESPROTOKOLL										57
Fastighetsbeteckning/ adress		Installeringstryck aggregat TF=110Pa FF=190Pa			Beskrivning Injustering nybyggnad			Säkr. 1		
Aggregatbeteckning LB201		Rörning V57-1-21005 - V57-1-11705			Födesenhet l/s		Datum 2020-01-09			
Rumsnr./Rumsbeteckning	Don beteckn. Dimension	Projekterat flöde (l/s)	Uppmätt flöde (l/s)	Mät metod	Don beteckn.	Projekterat flöde (l/s)	Uppmätt flöde (l/s)	Spalt- öppn.		
A1401										
Vard.rum	TD11-100	17	17	2						
Sovrum	TD11-100	13	13	2						
WC/Dusch Typ6					FD11-100	15	15	+3		
Spiskåpa					FD11-100	15-25	15	+5		
A1402										
Vard.rum	TD11-100	17	17	2						
Sovrum	TD11-100	13	13	2						
WC/Dusch Typ18					FD11-100	15	15	-1		
Spiskåpa					FD11-100	15-25	15	+5		
A1403										
Vard.rum	TD11-100	11	11	2						
Sovrum	TD11-100	8	8	2						
Sovrum	TD11-100	8	8	2						
KLK	TD11-100	3	3	2						
WC/Dusch Typ4					FD11-100	15	15	+1		
Spiskåpa					FD11-100	15-25	15	+5		
Enhet: l/s SUMMA: 90 90 SUMMA: 90-120										

Figur 4.1 Exempel på luftflödesprotokoll från injustering.

4.1.3 Totalluftflöden

Aggregatprotokoll och OVK-protokoll tillhörande de utvalda husbyggnadsprojekten i kapitel 4.1.2 studerades. Uppmätta totala till- och frånluftsflöden jämfördes med projekterade totalluftflöden. Totala luftflöden var i flera fall större än projekterade, vilket gällde både tilluftsflöden och frånluftsflöden. S figur 4.2. I en del fall redovisades både uppmätt och projekterat totalluftflöde respektive summan av delluftflöden, men i övervägande fall inte.

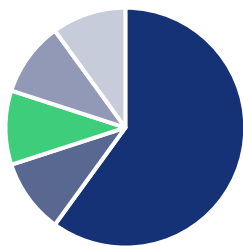
Luftflöden Helfart	Luftflöden Helfart
projekterade: 2060/2155l/s	projekterade: 1340/1370
Uppmätt: 2107/2170l/s	Uppmätt: 1285/1400

Figur 4.2 Exempel på aggregatprotokoll med totalluftflöden.

Tio personer som arbetar med injustering valdes ut för en kort intervju. De representerade olika, både små och stora företag samt olika orter i Sverige. Huvudfrågan som ställdes var:

Av de tio svarade sex stycken att projekterade värden injusteras. Tre svarade att projekterade värden injusteras på don och protokollförs, men de brukar avsluta med att justera det centrala luftbehandlingsaggregatet, till exempel att totala tilluftsflödet sänks med tio procent. Svaren visas i diagram 4.2.

Om projekterad luftflödesbalans vid FTX i flerbostadshus, hur injusteras?



- Enligt projekterade värden på handling
- Injusterar don enligt proj, avslutar med central sänkning av tilluftsflödet 10% och höjning av frånluftsflödet 5%
- Injusterar don enligt proj, avslutar med central sänkning av tilluftsflödet 10%
- Injusterar frånluftsdon med någon extra l/s på varje
- Injusterar don enligt proj, men justerar in tryckskillnad 3-9 Pa på centralaggregat

Diagram 4.2 Resultat av intervju med tio personer som arbetar med injustering.

Argument för att frånga projekterade luftflöden vid injustering, så att slutresultatet blir större frånluftsflöden än tilluftsflöden, var att undvika övertryck i lägenheterna vilket skulle kunna orsaka kondens i ytterväggarna och imma på fönster. Vidare att förebygga för framtida låga frånluftsflöden på grund av smutsansamling i frånluftsdonen. En injusterare, som svarade att projekterade luftflöden injusterades, berättade att vanlig åtgärd vid garantibesiktning var att öka centrala frånluftsflödet fem procent på grund av imma på fönster.

I fall att tilluftsflödet på luftbehandlingsaggregatet sänktes så kunde detta dokumenteras i en bilaga till injusteringsprotokoll.

Angående aggregatprotokoll och uppmätt totalluftflöde, så berättade tre injusterare att summan av luftflödesprotokollens delluftflöden fördes in på den posten. Övriga intervjuade brukade mäta luftbehandlingsaggregatets totalluftflöde med fläktens mätanordning i så kallad q-dysa, genom spårgasmätning eller via tryckgivare i huvudkanalen. Vid mätning av totalluftflödet med frånluftsfläktens q-dysa var det inte ovanligt med en avvikelse på 15 procent mot summan av delluftflöden på frånluftsidan.

Frågorna gällde i första hand flerbostadshus, men vid frågor om så kallade villaaggregat med FTX i småhus svarade fler av de tillfrågade att de justerades för att åstadkomma undertryck i bostaden vid grundflöde.

5. Energisimuleringar

5.1 Förutsättningar

För att analysera påverkan av luftflödesobalans på energiprestanda av bostadshus har energisimuleringar utförts med hjälp av programmet IDA Indoor Climate and Energy v.4.8 (IDA ICE). Ett antal enkla, hypotetiska byggnadsmodeller har studerats såväl som energiberäkningsmodeller från verkliga projekt. Ingångsparametrarna för samtliga testmodeller gällande klimatskal och installationer motsvarar dagens bygg- och energinormer, och brukarrelaterade indata är enligt BEN 2 [4] för flerbostadshus. I denna rapport ges endast ett urval av exempel för att illustrera utveckling av resultat som är gemensam för samtliga studerade fall.

Följande parametrar har studerats:

- Procent luftflödesobalans (5 och 10%, $T < F$)
- Lufttäthet (0,3 - 0,5 l/s/m²)
- Vindprofil (urban och suburban enligt IDA ICE)
- Placeringsort (Malmö, Stockholm, Umeå)
- Formfaktor (0,8 - 1,8)
- Tilluftstemperatur (18 och 20°C)

Följande förutsättningar är lika för samtliga studerade fall:

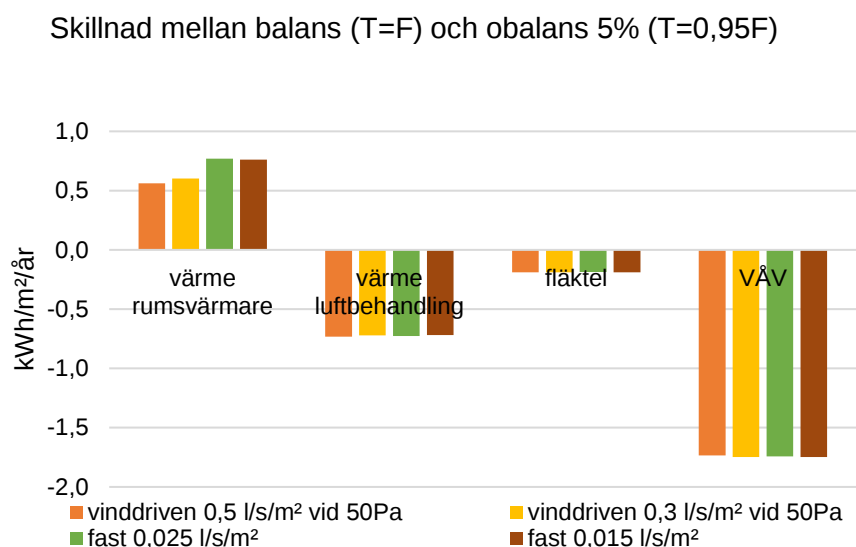
- Värmeåtervinningsgrad ca. 80%
- Börvärde rumsvärmare 21-22°C
- Börvärde för värmeåtervinning är detsamma som för eftervärmningsbatteri.

Analys av energiberäkningsresultat har fokuserats framförallt på ändringar i uppvärmningsbehovet, nämligen energi till rumsvärmare samt värme till luftbehandling (eftervärmningsbatteri), ändringar i fläktel har också noterats. Det har först utförts en analys av hur luftflödesobalans samt vindprofil påverkar in- och exfiltrationsflödena och tryckskillnad genom klimatskalet för att åstadkomma en bättre förståelse av hur beräkningsmodellen fungerar. Generellt har simulerad resultat visat sig motsvara förväntningar och följande noteringar kan göras:

- Vindrelaterad infiltration har betydlig påverkan på uppvärmningsbehovet;
- Tryckskillnad genom klimatskalet varierar över året beroende på inne- samt uteklimat (vind, temperatur);
- Luftflödesobalans skapar något undertryck genom klimatskalet med större infiltrationsflöden och mindre exfiltrationsflöden;
- Större luftflödesobalans resulterar i ett något högre undertryck;
- I en tätare byggnad observeras ett något högre undertryck vid luftflödesobalans samt större skillnad mellan in- och exfiltrationsflödena.

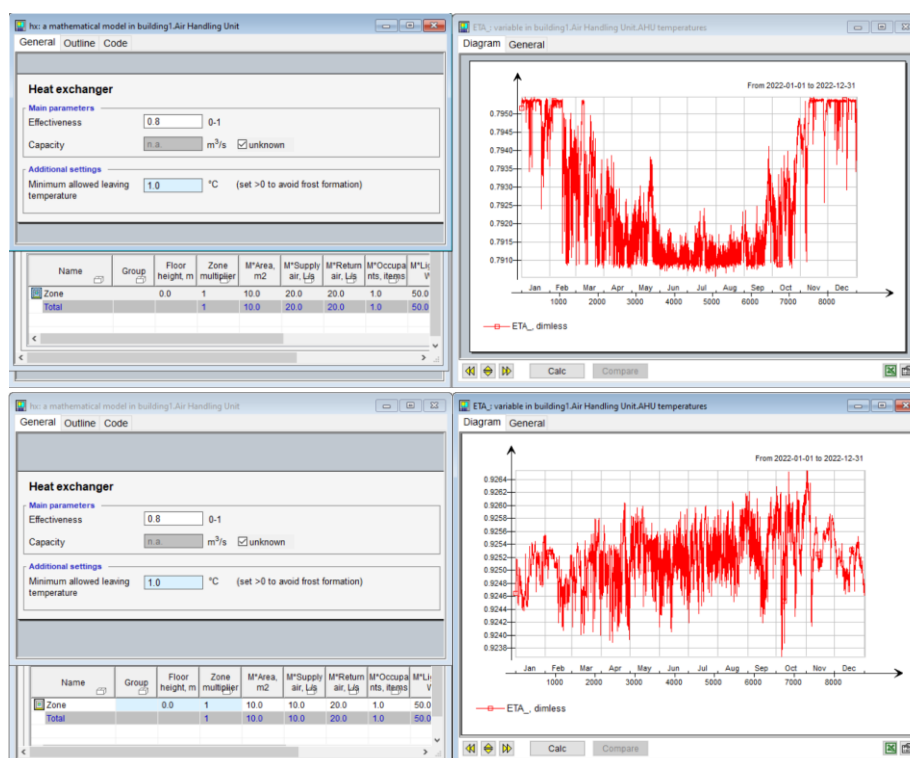
En gemensam tendens i resultatet för samtliga studerade fall då ventilationen ändras från balanserad till obalanserad är ökning av energi till rumsvärmare på grund av ett ökat infiltrationsflöde, samt minskning av värme till luftbehandling, fläktel och återvunnen energi på grund av en mindre mängd tilluft som ska behandlas. Ett exempel som illustrerar detta

visas i Figur 5.1 nedan.



Figur 5.1. Ändring av energi till rumsvärmare, värme till luftbehandling, fläktel samt årevunnen energi vid ändring från blanserad ventilation ($T=F$) till obalanserad ($T=0,95F$) för ett av de studerade fallen. Här studeras olika lufttättheter och typer av infiltration.

Ytterligare en anledning till minskad energi till eftervärmningsbatteri vid luftflödesobalans är förbättring av värmeåtervinningsgrad. Värmeåtervinningsgrad anges ofta för balanserade flöden i aggregatkörningar såväl som i beräkningsprogram. Större obalans, där frånluftsflode är större än tilluftsflode, medför ökad temperaturverkningsgrad på tilluftssidan. Detta illustreras i Figur 5.2.

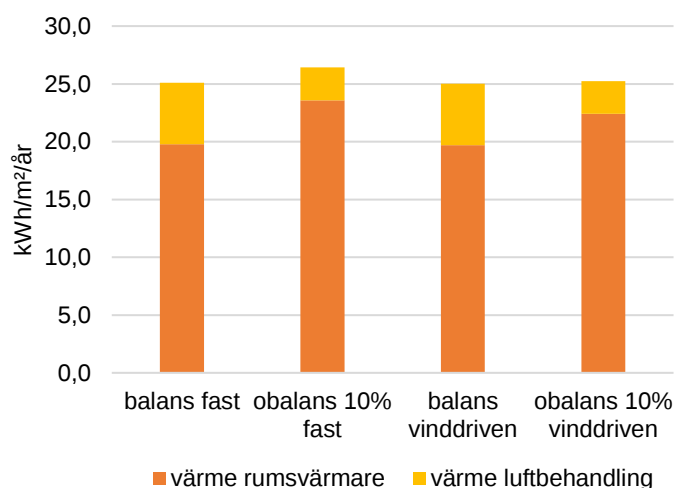


Figur 5.2 Ökning av värmeåtervinningsgrad i luftbehandlingsaggregat vid luftflödesobalans. Bild ovan – $T=F$, verkningsgraden ligger på cirka 79-80%; nedan – $T<F$, verkningsgraden ligger på cirka 92-93%.

5.2 Infiltrationsmodell

En av de viktigaste aspekterna vid analys av luftflödesobalans är modellering av infiltration genom klimatskalet. I beräkningsprogrammet finns det två typ av infiltrationsmodeller, nämligen fast där in- och exfiltrationsflödena är givna, konstanta och lika, samt vinddriven infiltration där flödena genom klimatskalet beräknas utifrån fläkttryck, vindtryck, termiska krafter med mera. Vinddriven infiltrationsmodellen anses vara mer realistisk och har valts för att studera obalans i ventilationssystemet. Den kräver mer uppmärksamhet och input av användaren vid energimodellering, därför använder dagens energiberäknare ofta fast infiltrationsmodell. Eftersom det finns skillnader i resultatet är det viktigt att särskilja de olika infiltrationsmodellerna för rättvis jämförelse mellan olika beräkningar och studier samt bygga slutsatser på ett mer realistiskt beräkningsresultat.

I Figur 5.3 ges ett exempel på hur energiberäkningsresultat skiljer sig mellan två i övrigt identiska modeller, en med fast infiltration och den andra med vinddriven, för ett flerbostadshus.

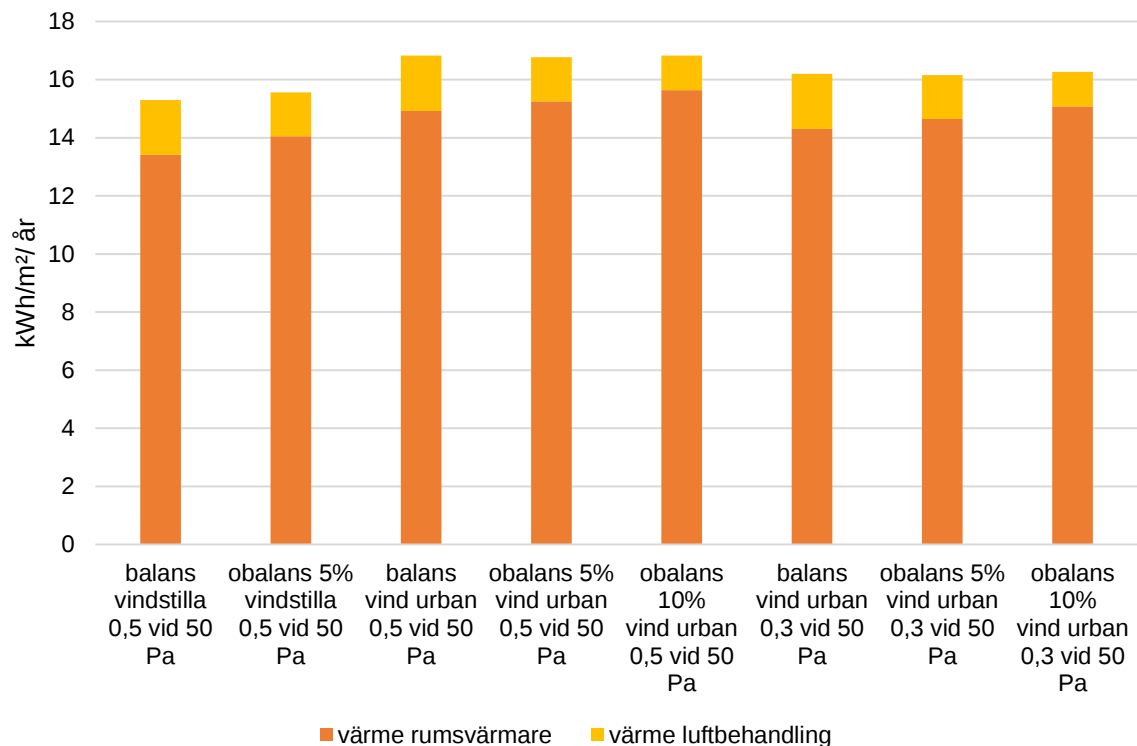


Figur 5.3. Påverkan av infiltrationsmodellen på energiberäkningsresultat. Fast infiltration ger ett högre värmebehov för uppvärmning vid obalanserad ventilation i detta exemplet såväl som i samtliga studerade fall.

Fast infiltration har visat sig resultera i ett högre uppvärmningsbehov än vinddriven, upp till cirka 1–2 kWh/m²Atemp. Det är värt att nämna att detta utgår från en branschgemensam tumregel att fast infiltrationsflöde är lika med 1/20 av infiltrationsflöde vid 50 Pa tryckskillnad genom klimatskalet. Resultat av energisimuleringar som redovisas nedan är beräknade med vinddriven infiltration.

5.3 Resultat

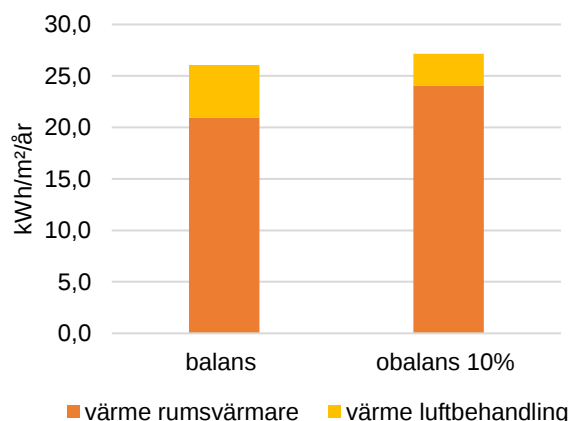
Studier av lufttäthet vid olika procent luftflödesobalans har visat en försumbar skillnad mellan balanserad och obalanserad ventilation med mindre tilluftsflöde, se resultat för ett av de studerade fallen i Figur 5.4.



Figur 5.4. Studie av olika procent luftflödesobalans och lufttäthet för ett av de studerade fallen. Här redovisas även skillnad i resultat jämfört med vindstill klimatprofil. Resultatet visar nästan obefintlig skillnad på uppvärmningsbehovet mellan balanserad och obalanserad ventilation.

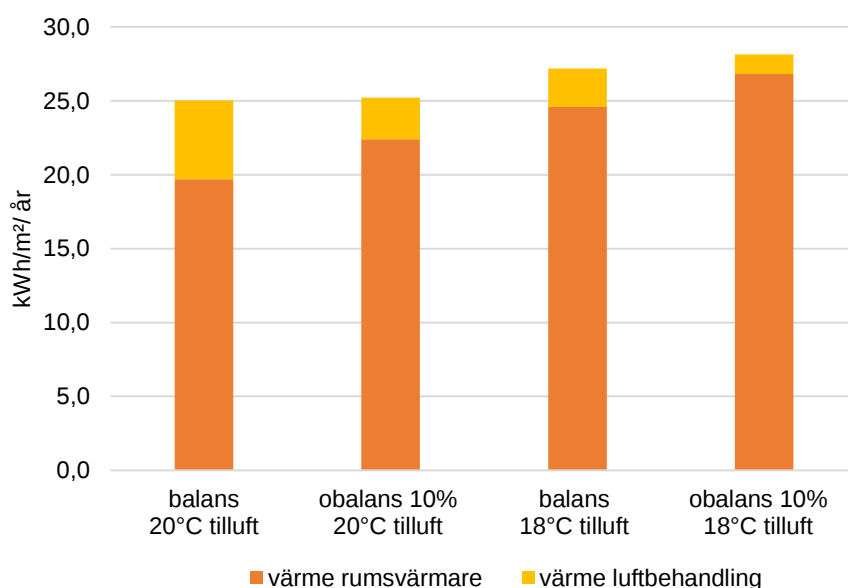
Samma resultat har erhållits i studier av olika vindprofiler och placeringsort. Detta förklaras av ovan beskriven tendens vid luftflödesobalans - trots ökning av energi till rumsvärmare, minskas värme till luftbehandling samtidigt och på så sätt blir nettoskillnaden nära noll i slutänden.

Två parametrar har visat sig påverka uppvärmningsbehovet mer: formfaktor och tilluftstemperatur. Formfaktor över 1 kan orsaka ökning av uppvärmningsbehovet på upp till 1 kWh/m². Se Figur 5.5 för ett exempel med formfaktor = 1,8. Detta resultat förklaras av en större infiltrationsarea per tempererad area och därmed större inverkan av ökad energi till rumsvärmare.



Figur 5.5. Ökad uppvärmningsbehov vid 10% obalans i byggnaden med formfaktor 1,8.

När det gäller tilluftstemperatur, har utgångspunkten varit 20°C. Minskning av tilluftstemperaturen har visat sig att leda till ett ökat uppvärmningsbehov vid luftflödesobalans, se exempel i Figur 5.6.



Figur 5.6. Ändring av uppvärmningsbehov vid 10% obalans i byggnaden med 18°C samt 20°C tilluftstemperatur. Lägre tilluftstemperatur ger ökad uppvärmningsbehov vid luftflödesobalans.

Lägre tilluftstemperatur medför högre belastning på rumsvärmare. Dessutom, i och med att värmeåtervinningen begränsas i samband med tilluftstemperaturen, blir total energianvändningen för uppvärmning något högre än i fall med högre tilluftstemperatur. Ökning av energi till rumsvärmare vid luftflödesobalans har i så fall en större inverkan på det totala uppvärmningsbehovet som i sin tur blir högre jämfört med balanserade flöden. I exemplet ovan var ökningen av uppvärmningsbehovet med tilluftstemperatur 18°C cirka 1,0 kWh/m²/år. Kopplad med en sämre (högre) formfaktor kan ökning med cirka 2 kWh/m²/år observeras.

5.4 Sammanfattning

Energisimuleringar har utförts för att studera påverkan av luftflödesobalans på energiprestanda av bostadshus, där framför allt ändring av uppvärmningsbehovet har analyserats. De två avgörande trenderna som uppstår vid luftflödesobalans är: 1) ökning av energi till rumsvärmare på grund av ett ökat infiltrationsflöde, och 2) minskning av energi till eftervärmningsbatteri på grund av ett reducerat tilluftsflöde samt bättre värmeåtervinningsgrad. Detta i sin tur medför i de flesta fall att skillnaden i den totala uppvärmningen på grund av luftflödesobalans blir minimal.

I och med att det är flera parametrar som påverkar byggnadens energianvändning är det svårt att dra en universell slutsats och därför har påverkan av enskilda parametrar studerats var för sig. Resultat visar att ett ökat uppvärmningsbehov på upp till 1-2 kWh/m²/år kan observeras vid luftflödesobalans i byggnader som har sämre formfaktor (>1) samt lägre tilluftstemperatur (<20°C). I övriga fall är ändring i uppvärmningsbehovet försumbar. Byggnadens lufttäthet, placeringsort, vindprofil och själva andelen luftflödesobalans har inte visat någon märkbar inverkan på resultatet. Det är värt att nämna dock att maximalt 10 % luftflödesobalans har studerats.

6. Sammanfattning, slutsatser och diskussion

6.1 Sammanfattning

Utredningen har fokuserat på energiberäkning vid nybyggnadsprojekt med flerbostadshus som har centrala luftbehandlingsaggregat med FTX-system, det vill säga fläktstyrd tilluft och frånluft samt luft-luftvärmewäxling.

Det finns en uppfattning att bostäder bör injusteras med cirka tio procent luftflödesobalans, men de flesta flerbostadshus projekteras med luftflöden i balans: lika mycket tilluft som frånluft i varje lägenhet.

Genom intervjuer med injusterare har det framkommit att efter injustering till projekterade balanserade luftflöden som förts in på luftflödesprotokoll, så kan efterjustering ske på centrala luftbehandlingsaggregatet så att luftflödesobalans i hela systemet uppstår. Detta förfarande kan vara något mer vanligt i småhus med FTX än i flerbostadshus.

Uppmätt totalluftflöde i luftbehandlingsaggregat är per definition större än summan av kanalsystemets delluftflöden eftersom luftbehandlingssystemets läckluftflöde även omfattas. Uppmätt totalflöde på frånluftssidan kan vara upp till 15 procent större än summerade delluftflöden.

Energisimuleringar med mer komplicerad vinddriven infiltration visar på obetydlig skillnad i flerbostadshus totala energianvändning mellan tio procents luftflödesobalans med minskat tilluftsflöde och balans med tilluftsflödet lika stort som frånluftsflödet. Simuleringar med det förenklade arbetssättet, fast infiltration, kan visa på högre energianvändning med luftflödesobalans.

Energianvändningen blir högre i hus med mindre tilluft än frånluft, hög temperaturverkningsgrad på luft-luftåtervinnaren och låg tilluftstemperatur jämfört med hus med balanserade luftflöden. Energianvändningen påverkas också mer i hus med hög formfaktor, till exempel småhus.

6.2 Slutsatser

Det förekommer att luftbehandlingssystem injusteras till luftflödesobalans som inte framgår av projektering, relationshandling eller luftflödesprotokoll och således undgår energiberäkningen. Ökad total energianvändning på grund av luftflödesobalans verkar inte vara så stor som tidigare befarats i de flesta nybyggda flerbostadshus, enligt simuleringar med vinddriven infiltration.

Vanligt sätt att förenkla simuleringsmodellen är att anta fast infiltration i stället för vinddriven, vilket ger ett visst överslag i energiberäkningen som förstärks med luftflödesobalans. Mot bakgrund av tidigare nämnda problematik runt underskattning av byggnaders uppvärmningsbehov kan det finnas skäl att fortsatt arbeta med detta överslag även om det slår hårdare mot byggnader med luftflödesobalans.

Energiberäkningar som är baserade på enbart projekterade luftflöden missar att ta hänsyn till fullt rimliga läckluftflöden. Dessa flöden hanteras av fläktarna så att mer fläktel åtgår

vilket skulle kunna hanteras med påslag på den posten via luftbehandlingsaggregatets specifika fläkteffekt, SFP-tal.

Problematik runt luftflödesobalans och högre energianvändning kan vara mer påtaglig för småhus.

6.3 Förslag på hantering

Studien värderar inte balanserade eller obalanserade luftflöden i bostadshus, utan fokus är hur luftflödesobalans hanteras i energiberäkning. Önskvärt är att energiberäknare och även andra aktörer kan utgå från att projekterade luftflöden stämmer, i alla fall inom ramarna för måttoleranser. Eventuell luftflödesobalans bör bestämmas i projektering och arbetas in i handlingar.

Arbetssätt för energiberäknare föreslås:

- Vid energiberäkning av flerbostadshus fortsatt utgå från projekterade luftflöden.
- Vid energiberäkning av småhus i energisamordningsroll under projekteringsskede vara uppmärksam på problematiken med eventuell luftflödesobalans.
- Hänsyn tas till luftbehandlingssystemens läckluftflöde
 - påslag på SFP-tal i simuleringsmodellen till exempel 5-10 %.
- Måttoleranser hanteras av generell säkerhetsmarginal i energiberäkning.

6.4 Diskussion

Studien har som tidigare nämnts inte tagit ställning till om obalanserade luftflöden är lämpligt i flerbostadshus. Utredningar i frågan skulle välkomnas! Intressant att utreda vidare är också hur mycket ventilationsflöden i flerbostadshus kan påverka trycket innanför klimatskalet i förhållande till andra krafter, som till exempel vindtryck och stigkrafter.

I studien upptäcktes läckluftflöde som en bortglömd energipost. Förslaget är att hantera den som ett schablonpåslag på SFP-talet motsvarande uppskattat värde. Tillåtet läckluftflöde kan beräknas mer noggrant med täthetsklasser för luftbehandlingsaggregat och kanalsystemet samt kanallängder för typhus.

Problematiken som studien främst handlar om är att luftflödesobalans inte bestäms vid projektering utan vid injustering. Här önskas bättre samordning mellan aktörer i olika skeden.

7. Källförteckning

- [1] Boverket, "Boverkets författningssamling. Boverkets byggregler BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4 (BBR 29 konsoliderad),"
- [2] AMA VVS & Kyla 19 Svensk Byggtjänst.
- [3] Injustering av luftflöden i luftbehandlingssystem, 2019 Svensk Byggtjänst
- [4] Boverket, "Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår,"