

Analys av skolor med fläktförstärkt självdrag

Birgitta Nordquist

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2007
Rapport TVIT-07/3005



Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat.

Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmdda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rök-spridning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

Analys av skolor med fläktförstärkt självdrag

Birgitta Nordquist

© Birgitta Nordquist, 2007

ISRN LUTVDG/TVIT--07/3005--SE(150)

ISSN 1652-6783

ISBN 978-91-85415-04-5

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Abstract

During the last years a number of natural ventilated schools have been built.

The objective of the project are to study the technical and climate conditions required to ensure a satisfying ventilation of classrooms ventilated with fan-assisted natural ventilation, and thereby contributing to a healthy indoor environment in schools.

The project aims to contribute to the knowledge of the performance of the ventilation system in combination with the building. One goal is to provide guidelines and recommendations for the design and operation phase. This will help and guide designers as they report a lack of knowledge concerning this type of ventilation system.

The performance of the ventilation system in combination with the schools building have been studied by theoretical calculations and measurements.

Different aspects have been studied; the effect of the varying driving forces over the year is studied. A tool by which the available driving pressure difference can be determined has been developed. This pressure difference can be compared to a pressure drop for a specific configuration by the designer and thereby enabling him to modify the design if necessary.

A method is developed on how to model a fan-assisted natural ventilation system in school buildings with its components and configurations as for example a culvert system. The significance of locations and sizes of different openings and different opening strategies is studied. The result indicates that when applying windows as exhaust openings the orientation in relation to the wind direction is very important for the resulting air-flows. Cases with reverse air direction may appear.

The airflow in a culvert has been measured and is presented as a function of the outdoor temperature. The airflows are increased for high outdoor temperatures due to an assisting fan.

The significance of the size of an exhaust opening such as a window have on the airflows entering a room have been studied by theoretical model and computer calculations.

Teachers in schools with some form of natural ventilation have answered a questionnaire on their ventilations habits and experience of the ventilation system.

Innehållsförteckning

Abstract	1
Innehållsförteckning	3
Förord	7
Sammanfattning – kort version av rapporten	9
Inledning	23
Bakgrund	23
Syfte	23
Mål	24
Avgränsning	24
Kort beskrivning av det studerade ventilationssystemet	24
Studerade frågeställningar	25
Metod	25
Placering av studien i förhållande till annan forskning	25
1 Naturliga drivkrafter - teoretiska grunder och dimensioneringsmetodik	29
Termisk drivkraft	29
Vind	30
Referensvärden på vindfaktorer	32
Vindhastighet	33
Drivkraft för enskild öppning	34
Drivkraft för hel byggnad	34
Total naturlig drivkraft	35

Nytt verktyg för bestämning av tillgänglig drivkraft för godtycklig byggnadsutformning	38
Beskrivning av modell för beräkning av tillgängligt drivtryck	38
Varaktighetsdiagram	40
Termisk drivkraft vid flera temperaturer i höjdded – vid tilluftskulvert	44
Placering av tilluftsdon	45
2 Mätningar i uppförd skolbyggnad	47
Inledning	47
Byggnadens och ventilationssystemets utformning	48
Flödeskrav	48
Mätningar av luftflöde	49
Resultat	49
Jämförelse med flödeskrav	51
Slutsatser	51
Diskussion	52
3 Luftflödesberäkningar i skolbyggnad med fläktförstärkt självdrag	55
Metod	56
Modell i PFS av fläktförstärkt självdragsventilation i skolbyggnad	56
Drivkrafter	62
Resultat av beräkningar av luftflöden genom en skola med fläktförstärkt självdrag – Känslighetsanalys	68
Grundfall	68
Fall med fel lucka – frånluftsöppning mot vind	73
Fall när alla frånluftsluckor är stängda i alla rum	77
Fall med fönstervädning	79
Fall med C_p 0,8 lovart och $-0,2$ läsida	84
Med fläkt	87
Validering – jämförelse med uppmätta flöden	90
Sammanfattning av resultat	92
Slutsatser	93
Diskussion	94
Fortsatt forskning	96

4 Betydelsen av frånluftsöppningens utformning för uteluft in via öppningen	97
Beskrivning av modell för dubbelströmning	99
Geometri för vertikala fönster	101
Beräkningsmetod för dubbelströmning	102
Resultat	104
Minsta tilluftsflöde för undvikande av uteluft via frånluftsöppning	105
Jämförelse med möjliga tilluftsflöden	110
Största möjliga öppningsgrad	112
Sammanfattning av resultat	115
Slutsats	115
Diskussion	116
5 Enkätundersökning av brukarvanor	117
Metod	117
Resultat	118
Brukarvanor	118
Upplevelse klimat	125
Sammanfattning av resultat	128
Diskussion	130
6 Exempel på uppförda skolbyggnader och några reflektioner kring utformningen	131
Några iakttagelser och reflektioner	133
Referenser	141
Bilaga 1 Indata till PFS-beräkningar	143
Bilaga 2 Enkät om brukarvanor	145

Förord

Denna rapport redovisar de studier som genomförts och de resultat som erhållits i projektet "Uppföljning och vidareutveckling av skolor med fläktförstärkt självdragsventilation" finansierat av FORMAS, nummer 242-2001-1860.

Birgitta Nordquist vid avdelningen för Installationsteknik vid Lunds tekniska högskola samt Lars Jensen, professor vid samma avdelning har genomfört projektet.

Studierna har omfattat både teoretiska beräkningar, mätningar i uppförda skolbyggnader samt enkätundersökning. För att detta skall vara genomförbart krävs medverkan av andra personer.

Jag är mycket tacksam för den hjälp som skolförvaltare, andra tekniker och arkitekter bidragit med genom att ställa upp med information och på olika sätt underlätta studien. En nyckelperson utan vars hjälp omfattande mätdata från en skola ej kunnat erhållas är Tomas Hagman vid Siemens som jag därför vill rikta ett speciellt varmt tack till.

Tack även till de lärare och personal som tagit av sin tid för att svara på en enkät kring sina ventilationsvanor och sin upplevelse av inneklimatet i denna typ av skolor.

Sammanfattningen i denna rapport har gjorts relativt omfattande. Förhoppningen är att denna sammanfattning kan tjäna som ett tillräckligt referat av denna rapport för läsaren med begränsad tid.

Lund juni 2007

Birgitta Nordquist

Sammanfattning - kort version av rapporten

I skolan, vilken är Sveriges största arbetsplats, vistas den del av vår befolkning som rapporteras har högst frekvens av allergi och överkänslighetssymptom. Eftersom dessa besvär är miljörelaterade, är skolans inomhusmiljö av stor vikt.

Såväl i Sverige som i andra länder har det under det senaste decenniet uppförts ett antal självdragsventilerade skolor. I skollokaler är personbelastningen en av de högsta inom de verksamheter som berör stillasittande arbete. Detta ställer höga krav på ventilationssystemet och innebär bland annat behov av relativt sett rikliga luftflöden. Vid ventilation med självdragssystem varierar flödena pga drivkrafterna; vindpåverkan och temperaturskillnad. På grund av de varierande drivkrafterna kan det vara svårare att kontrollera systemets funktion då ett flertal driftfall förekommer. En annan faktor att beakta är dragfri lufttillförsel.

Syftet är att studera fläktförstärkt självdragsventilation i nyuppförda skolor. Fokus har lagts på att undersöka de tekniska och klimatmässiga förutsättningarna för fläktförstärkt självdragsventilation.

Denna studie avser att bidra med en fördjupad teoretisk analys av generella förutsättningar.

Förhoppningen är att utifrån resultaten kunna bidra till kunskapen om funktionen hos denna form av ventilationssystem samt att bidra med projekteringshjälpmedel och verktyg. Detta är även av värde då det har rapporterats en begränsad erfarenhet och kunskap kring dessa.

Vid valet av delstudier har fokus ofta varit att framförallt redovisa känsliga delar av systemen så att läsaren utifrån de redovisade resultaten kan beakta dessa. Både frågeställningar som är aktuella under utformningskedet respektive driftsskedet studeras.

Ventilationssystemen studeras ur teknisk synvinkel. Andra aspekter såsom estetik och brukarnas totala upplevelse av dessa byggnader ingår inte i studien.

De övergripande metoderna som använts vid analys av funktionen är teoretiska beräkningar och framtagande av beräkningsuttryck, verktyg, beräkning med datorprogram, mätningar i befintliga byggnader samt jämförelse mellan teoretiska beräkningar och mätningar.

Resultaten redovisar även vilka förutsättningar som krävs för att ventilationssystemet skall fungera, vilket kan förhoppningsvis kan utgöra en hjälp både vid utformningen och vid val av system, och att identifiera fall som inte är lämpliga att använda.

En relativt omfattande sammanfattning av varje kapitel görs nedan. Förhoppningen är att för läsaren med begränsad tid kan denna sammanfattning tjäna som ett tillräckligt referat av denna rapport.

Naturliga drivkrafter - teoretiska grunder och dimensioneringsmetodik

Först presenteras de teoretiska grunderna och några av de formler och riktvärden som förekommer i litteraturen för närvarande för drivkrafterna skapade av temperaturskillnad och vind. De formler som redovisas ger en storleksordning om vad som kan förväntas med denna typ av system, dock inte heltäckande information för alla specifika fall som kan förekomma.

En ny modell som tagits fram i detta projekt med vilken den möjliga drivkraften för ett specifikt system kan uppskattas redovisas även.

Denna kan användas som ett verktyg med vilket den tillgängliga drivkraften för en given utformning kan bestämmas. Drivkraften som skapas av vind och temperaturskillnad mellan inne och ute kan presenteras i form av varaktighetsdiagram. Projektören kan jämföra drivkraften med sitt individuella systems tryckfall och de perioder av året som en fläkt eventuellt behövs kan även identifieras. Detta ger information om hur stora tryckfall som kan tillåtas i systemet. Detta kan även ge ett underlag för att eventuellt förändringar av systemets utformning /tryckfall för att få erforderligt flöde.

Modellen kan användas för godtyckliga utformningar och vindfaktorer. Den har utvecklats med syftet att drivkraften pga temperaturskillnaden respektive vinden skall kunna adderas. Detta är normalt svårt eftersom

drivkraften pga av temperaturskillnaden även är beroende av höjdskillnaden mellan luftintag och luftutsläpp vilket vindens drivkraft inte är.

Uttryck för den termiska drivkraften vid varierande temperatur i höjddled redovisas. Detta kan tillämpas då exempelvis en tilluftskulvert förekommer.

Utformningen av ventilationssystemet och placeringen av dess komponenter i höjddled har betydelse för den termiska drivkraften. Den termiska drivkraften ökar desto lägre tilluftsdonen är placerade i höjddled i rummen.

Luftflödesmätningar i uppförd byggnad

Insamling av mätdata från två lufthastighetsgivare installerade i en tilluftskulvert har skett för att möjliggöra bestämning av flödet. En medelhastighet i kulverten har bestämts genom att beräkna medelvärdet av de två uppmätta hastigheterna. Luftflödet genom kulverten har sedan beräknats genom att multiplicera den beräknade medelhastigheten med tvärsnittsarean där givarna är placerade.

Tilluftsfloendet i kulverten redovisas som en funktion av utetemperatur.

På den aktuella skolan sätts en hjälpfläkt i drift när utetemperatur överstiger 10°C. Den är varvtalsreglerad och når sitt högsta varvtal vid 25°C.

När drivkrafterna enbart består av de naturliga dvs temperaturskillnaden mellan inne och ute samt vinden (för utetemperaturer <10°C) erhålls lägre flöden (50-700 l/s) än då även fläkten bidrar (utetemperatur >10°C). Då utetemperatur överstiger 10°C kan iaktas att flödet stiger med ökande utetemperatur för de flesta fallen. Flödet är i storleksordningen 500-900 l/s vid 10°C och 1600-1700 l/s vid 25°C.

Om 25 personer antas i de fyra klassrummen som finns i byggnaden (totalt 100 personer) innebär detta att dimensionerande luftflöde, enligt Boverkets dispens angiven vid uppförandet, vid +5°C skall vara 500 l/s. Kortvarigt får luftflödet underskridas 250 l/s och under längre tid med 375 l/s.

Vid 5°C är flödet i huvudsak inom intervallet 200-600 l/s vilket innebär att luftflödeskravet på 500 l/s understigs en stor del av tiden vid 5°C. Dimensionerande tilluftsfloende kommer dock att uppfyllas en mycket stor del av den studerade tiden.

En tydlig skillnad mellan flöden vid utetemperaturer understigande respektive överstigande 10°C kan iakttas. Skillnaden mellan dessa fall är att de naturliga drivkrafterna har förstärkts med hjälpfläkten då utemperaturen överstiger 10°C. Resultaten tyder på att vid utetemperaturer överstigande 10°C kommer luftflödena att uppfylla Boverkets krav. Resultaten visar på att skillnaden i flöde beror på fläktens bidrag.

Avsteg från de rekommenderade flödena motiveras i dessa skolbyggnader med att bl a materialen har valts med omsorg och behöver mindre ventilation än i andra byggnader samt att rumshöjden och volymen är större höjden vilket skall reducera föroreningskoncentrationen i vistelsezonen. Avgivningen från materialen samt rumshöjdens betydelse för föroreningskoncentrationen i höjddled har inte studerats. Detta är två lämpliga frågeställningar att beakta i vidare forskning.

Luftflödesberäkningar i skolbyggnad med fläktförstärkt självdrag

De naturliga drivkrafternas variation leder till att luftflödena varierar över året. Olika kombinationer av öppna respektive stängda komponenter som frånluftsluckor och fönster ger även skiftande flöden och flödesriktningar.

Luftflödena genom ventilationssystemet och byggnadens alla rum och öppningar för olika driftsfall har studerats med beräkningar i datorprogrammet PFS.

PFS är ett program med vilket ett godtyckligt flödessystem kan byggas upp. Ventilationssystem, värmesystem och tappvattensystem är några exempel på system som är möjliga att studera. Varje komponent beskrivs med ett samband mellan tryck och flöde. En modell av byggnaden och ventilationssystemet har byggts upp. Byggnadens olika rum och systemets olika komponenter har modellerats.

Indata har hämtats från en uppförd byggnad vilken har en representativ utformning för denna typ av byggnad och system. Det aktuella ventilationssystemet är tillsammans med byggnaden utformat så att ett antal driftsfall skall förekomma. Tilluft tillförs via jordrör och kulvert till klassrummen. Luft kan även tillföras via fönsteröppningar i fasaden. Frånluften är tänkt att föras bort via takplacerade fönsteröppningar.

De tillgängliga drivkrafterna är temperaturskillnaden mellan ute och inne, vinden samt för vissa driftfall bidraget från en axialfläkt placerad i tilluftskulverten.

Beräkningarna visar att

Vid grundfallet då ”rätt” frånluftslucka är öppen, dvs då den är riktad från vinden vilket ger ett undertryck vid öppningen erhålls via tilluftskulverten det dimensionerande flödet 500 l/s enligt Boverket, förutsatt att 100 personer antas vistas i byggnaden.

Då ”fel” frånluftslucka är öppen, dvs då den är riktad mot vinden kommer luften att vända riktning. Uteluften passerar in via frånluftöppningen. Frånluft från klassrummet trycks ner i tilluftskanalerna och tilluftskulverten tillförs frånluft. Ju högre vindhastigheten är desto större blir denna negativa effekt.

Då samtliga frånluftsluckor är stängda i rummen minskar både tilluftsflöden via kulvert och frånluftflöden kraftigt. Tilluftsflödet till byggnaden från kulverten understiger 200 l/s för samtliga beräkningsfall.

Vid vädring mot lovartsida kommer uteluft in i klassrummet via fönsteröppningen och luften i klassrummet passerar ner i kulverten via tilluftsdonen.

Vid vädring mot läsida uppstår olika fall beroende på utetemperatur. Vid låga utetemperaturer passerar luften in via fönsteröppningen. Luften i klassrummet passerar ner i kulverten via tilluftsdonen och ut via den öppna frånluftsluckan. Vid högre utetemperaturer tillförs tilluften från kulverten via tilluftsdonen till klassrummet. Uteluften passerar ut via fönsteröppningen och ut via den öppna frånluftsluckan. Vid ännu högre utetemperaturer (+25°C) vänder luften riktning i frånluftsluckan och uteluft kommer in i rummet via frånluftsluckan.

Då en hjälpfläkt är i drift i kulverten erhålls högre flöden än utan. Vid temperaturer överstigande 10-15°C får fläkten en avgörande betydelse för flödet. Luckornas läge öppet/stängt har inte så stor betydelse för flödet då fläkten är i drift enligt beräkningarna.

Uppmätta flöden i en befintlig kulvert och beräknade flöden är av samma storleksordning.

Vid högre vindfaktor på lovartsida och lägre på läsidan erhålls något lägre flöden.

De slutsatser som kan dras är att

Då systemet och alla luckor är öppna som avsett erhålls avsedda luftflöden både med avseende på storlek och riktning.

Då samtliga frånluftsluckor är stängda understiger flödena kraftigt de av Boverket angivna dimensionerande flödena. Stängda frånluftsluckor reducerar tilluftsflödet från kulverten avsevärt jämfört med då luckorna är öppna. Den enda skillnaden mellan de studerade fallen är frånluftsluckornas position öppet/stängt. Resultaten tyder därför på att frånluftsluckornas position har stor betydelse för tilluftsflödets storlek. Resultaten tyder på att ett driftsfall med stängda frånluftsluckor (och fönster) bör undvikas om tilluftsflödet via kulverten, vilket är den enda tillförselvägen för detta driftsfall skall vara av icke försumbar omfattning.

Då frånluftsluckor riktade mot vinden öppnas förs rumsluft ner i tilluftskulverten. Detta innebär att den använda luften som skulle förts bort som frånluft kan tillföras andra klassrum. Detta sker till klassrum där frånluftsluckor är öppnade i rätt riktning (läsida). Detta driftsfall bör undvikas. Systemet bör följaktligen utformas och styras så att frånluftöppningar riktade mot vinden eller rättare sagt i riktningar med en positiv vindfaktor inte öppnas.

Ett driftsätt att säkerställa detta är om öppningen av frånluftsluckorna sker automatiskt. Om målsättningen är att brukarna skall ansvara för öppningen av frånluftsluckorna, bör man vara mycket noga med att brukarna verkligen förstår vilka luckor som skall öppnas och när samt att de vill utföra detta och att de verkligen kommer att göra det.

Då vädring sker via fönster riktade mot vinden utgörs all tilluft i klassrum av den uteluft som kommer in direkt via fönsteröppningen. Använd luft tillförs även tilluftskulvert även för detta driftsfall. Om vädring sker på läsidan uppstår samma förhållanden som för vindsidan vid låga utetemperaturer.

Om man vill att tilluft skall tillföras från kulverten och inte gå baklänges, vilket orsakar av använd luft tillförs andra klassrum, bör vädring alltså ske via höga utetemperaturer och då fönstret är placerat på läsidan i förhållande till vinden.

De mest negativa driftfallen har identifierats. Dessa uppstår då frånluftsluckor/fönster alternativt fönstervädring sker via öppningar riktade mot vinden. En generell tumregel kan därför vara att då manuell eller automatisk öppning skall ske i klassrummet bör öppningar riktade rakt mot vin-

den undvikas. Detta gäller både frånluftskomponenter och vädring via fönster i fasad. Öppningar mot övriga riktningar, där oftast negativa vindfaktorer förekommer, vilka är gynnsamma ur ventilationssynpunkt, kan öppnas.

Det bör även observeras att det som för enkelhetens skull benämns läsidan här innebär korrekt uttryckt sida med negativ vindfaktor. Högre negativa vindfaktorer kan förekomma på sidor vinkelrät vind/lovartsidan än på den regelrätta läsidan. Öppnande av frånluftsluckor mot dessa riktningar kan därför ge större luftflöden än för läsidan.

Då en fläkt är i drift i kulverten reduceras tilluftsflödet förhållandevis mindre då frånluftsluckorna hålls stängda jämfört med när de är öppna. Detta är naturligt genom att fläkten i kulverten hjälper till att föra in tilluft i byggnaden trots att den naturliga drivkraften minskas då frånluften inte kan passera ut via de takplacerade luckorna. Slutsatsen dras att en fläkt i drift reducerar den negativa påverkan som uppstår då frånluftsluckorna är stängda.

Resultaten tyder på att för de studerade förhållandena bör en hjälpfläkt vara i drift vid höga utetemperaturer för att erhålla tillfredsställande luftflöden och för säkerställa rätt luftriktning från kulverten. Brytpunkten för när fläkten skall sättas i drift beror på vilka flödeskrav som ansätts. Utifrån de givna förutsättningarna kan ett riktvärde för när en fläkt bör vara i drift vara vid utetemperaturer överstigande 5-10 °C.

De uppmätta flödena är av samma storleksordning som de beräknade flödena vilket tyder på att modellen ger rimliga resultat.

Betydelsen av frånluftöppningens utformning för uteluft in via öppningen

Ett dubbelriktat flöde kan erhållas i en frånluftöppning om de utgörs av fönster. Uteluft kan passera in via frånluftöppningen. Det totala luftflödet in i klassrummet ökar vilket kan vara positivt. Vid låga utetemperaturer kan dock dragupplevelse uppstå när den kalla uteluften rinner ner i lokalen. Risken finns att brukarna stänger frånluftöppningen när de fryser vilket får till följd att den begagnade luften inte förs bort från lokalen vilket är olämpligt.

Betydelsen av frånluftöppningens/fönstrets geometri och storlek för ett uteluftsflöde in via öppningen har undersökts genom framtagning av en teoretisk modell och beräkningar med denna. Vertikala fönster med pi-

vothängning i nederkant samt sidohängda fönster har studerats. De termiska drivkrafterna har studeras och vindens effekt har försumrats.

Uteluftsflödet in via ett fönster upphör då ett tillräckligt stort tilluftsflöde tillförs vid tilluftsdonen. Detta tilluftsflöde kan bestämmas och redovisas för några fall.

Om möjligt tilluftsflöde för en viss utformning är känt kan en högsta öppningsgrad för frånluftsönstret bestämmas.

Beräkningar av tilluftsflöde i en verklig byggnad har utförts i andra kapitel och dessa flöden används för att uppskatta en lämplig öppningsgrad för några fall.

Beräkningarna visar att

- Tilluftsflödet via tilluftsdonen måste vara större ju större frånluftsöppningsspringan är för ett och samma fönster om man vill undvika att uteluft passerar in via frånluftsöppningen.
- Tilluftsflödet måste vara större ju kallare det är.
- Öppningsspringorna kan vara större ju varmare det är.
- Öppningsspringorna kan vara större ju mindre fönstret är (bredd och höjd), dvs ju större fönster desto mer måste öppningsspringan hållas begränsad.
- Ett sidohängt fönster kan ha en något större öppningsspringa än ett pivothängt fönster med samma höjd och bredd för samma flöde
- Vid större flöden såsom vid t ex då en fläkt är i drift kan öppningsgraden /öppningsspringan vara större jämfört med då fläkten inte är i drift /mindre flöden

Resultaten visar att frånluftöppningens storlek har betydelse för huruvida en dubbelriktat flöde uppstår samt för flödenas storlek. Den praktiska konsekvensen av detta är att fönstren inte kan öppnas godtyckligt utan deras öppningsgrad bör regleras om uteluftsflöde in via frånluftsöppningen vill undvikas.

Uteluftsflöden in via frånluftsöppningen kan betraktas som mest negativ under vintertid, då kraftig dragupplevelse och diskomfort kan upplevas. Begränsning av öppningsgraden är därför av vikt framförallt på vintern. Sommartid kan uteluftsflödet vara ett bidrag till en ökad luftomsättning och även hjälpa till att skapa en positiv temperaturnedsättning.

En möjlig konsekvens som studien kan visa på är att regleringen av öppningens storlek kan förfinas och varieras för olika årstider. I de befintliga

anläggningar där öppningen öppnas helt kan dess öppningsgrad följaktligen regleras mera omsorgsfullt.

Enkätundersökning av brukarvanor

För denna typ av ventilationssystem kan brukaren ha en större påverkan på driften än för mekaniskt ventilerade skolor. Därför är brukarnas ventilationsvanor samt deras inställning till systemet även av intresse. En enkätundersökning har därför genomförts.

Även om huvudsyftet är att studera de tekniska förutsättningarna visar de tidigare studierna att man måste även ta hänsyn till och studera brukarnas beteende och deras eventuella påverkan på funktionen.

Vid besök rapporterade personal att de inte är intresserade av att öppna och ha ansvar för det. Detta var även en utgångspunkt eftersom vissa driftsfall kan förutsätta brukarna aktiva deltagande. En nyfikenhet uppstod på hur personalen i just dessa skolor där ibland systemet är utformat för större delaktighet och ibland även helt avhängigt av personalens aktiva handlingar uppfattar det.

Urvalet har begränsats till skolor där utformningen var känd från besök respektive från skolor redovisade i annan studie av självdragsskolor. Totalt har sex skolor tillfrågats. I de aktuella skolorna förekommer oftast endast en flygel eller tillbyggnad med självdragsventilation i någon form, vilket innebär att antalet lärare som kan besvara enkäten är relativt begränsat. Totalt har 41 personer svarat vilket motsvarar en svarsfrekvens på 67 %.

Frågor kring ventilationsvanor har formulerats. En del av frågorna har hämtats från Ecoeffect-enkäten, och en del av frågorna har även använts i tidigare studie för mekaniskt ventilerade skolor.

Resultat och slutsatser

Antal svarande är relativt begränsat och alltför långtgående slutsatser är inte möjligt att dra men svaren kan ändå ge infallsvinklar till projektörer vid utformning av system och driftsfall.

Under lektion vintertid är takfönstren öppna en gång per dag eller mindre för 70% och 58% uppger att takfönstren är öppna någon rast i veckan eller mer sällan. Detta innebär att i majoriteten av klassrummen är takfönst-

ren öppna relativt lite vintertid. I dessa klassrum förs frånluft bort om takfönstren är öppna.

Drag är den faktor som gjort att flest antal lärare har hindrats av att öppna takfönstren även om de har velat öppna dem. 35% uppger att de har undvikit att öppna pga drag. Mer än en tredjedel undviker alltså att öppna takfönstren även om de har velat öppna dem pga drag vilket åskådliggör att frågeställningen bör beaktas. Nästan var tredje (28%) hindras även av för kall uteluft vilket även kopplas till detta.

Drag är även den faktor som får flest lärare att stänga takfönstren, drygt hälften uppger detta.

Tre fjärdedelar av lärarna vill att styrningen av ventilationssystemet skall ske automatiskt med möjlighet att påverka, tex vädring. Endast 15% svarade att de vill att styrningen skall vara helt manuell genom att läraren själv reglerar allt. Antal lärare som svarat är som nämnts ringa, dock bör detta observeras av de projektörer som planerar att enbart manuell styrning skall ske.

Mer än hälften (53%) svarar att de inte har fått instruktioner om hur ventilationen skall fungera och vad de kan/skall göra och hur de kan påverka eller sköta den. Då brukarna ofta skall vara aktiva för dessa system, bl a uppger 62% att takfönstren skall öppnas enbart manuellt, bör även detta uppmärksammas av projektörer och framförallt förvaltare av denna typ av skola.

Fyra av tio upplever att luftkvaliteten är mycket bra och ganska bra för alla årstider. Lika många upplever att luftkvaliteten är ganska dålig och mycket dålig på vintern, respektive knappt var tredje vår, höst och under sommaren.

Mer än hälften (56%) upplever att rumstemperaturen är för varmt och något varmt under sommaren. 62% upplever att rumstemperaturen är för något för kallt och för kallt på vintern.

Majoriteten är obesvärade och ganska obesvärade av drag från takfönstren; 48% på vintern, 59% vår och höst samt 71% under sommaren. Var fjärde (26%) är ganska besvärade och mycket besvärade av drag från takfönstren på vintern, 12% vår och höst samt 0% under sommaren. Drag från takfönster synes inte besvara huvudparten av de svarande enligt denna fråga.

Fler (41%) upplever att ventilationssystemet fungerar mycket bra och ganska bra än de som upplever att ventilationssystemet fungerar ganska dåligt och mycket dåligt (36%).

Sju av tio upplever att deras möjligheter att påverka luftkvaliteten är mycket stora och ganska stora. Fyra av tio upplever att deras möjligheter att påverka värmen är mycket stora och ganska stora. 60% upplever att deras möjligheter att påverka luftkvaliteten är ganska små, mycket små och att det inte finns några möjligheter. Detta tyder på att brukarna känner att de kan påverka inneklimatet ut luftkvalitetssynpunkt relativt väl, men något sämre för värmen i klassrummen.

En målsättning med denna typ av byggnad och ventilationssystem har varit att ge brukarna möjlighet att påverka ventilationen och inneklimatet. Inom beteendevetenskapen är det klarlagt att människan för sitt välbefinnande har ett behov av att uppleva kontroll. Om exempelvis de tekniska systemen utformas utan att brukarna kan påverka sin situation och sitt inneklimat kan detta leda till negativa effekter. Att kunna påverka är alltså positivt.

En klar majoritet, tre av fyra, uppger dock att de inte vill styra enbart manuellt. En möjlig lösning är att utforma systemet och dess styrning så att systemets funktion inte är enbart beroende av skolpersonalens styrning. Ett sätt att åstadkomma en driftsäker ventilation kan vara att skapa förutsättningar för en grundventilation som regleras automatiskt. Automatiskt styrda frånluftsöppningar kan innebära en mer pålitlig funktion hos ventilationssystemet. Alternativt bör rutiner fastställas och föras ut om man vill att brukarna aktivt skall styra.

Med andra ord, om målsättningen på en skola är att all styrning av ventilationssystemet, exempelvis öppning och stängning av komponenter skall göras av brukarna och dessa inte vill ha detta ansvar kan risken föreligga att styrningen inte sker på avsett sätt, komponenterna öppnas inte som planerat. Detta innebär en sämre funktion hos systemet och en risk för ett försämrat inneklimat.

Projektören bör beakta brukarnas intresse och benägenhet för aktivt deltagande och utifrån detta göra sin egen bedömning och utforma systemet efter det.

Exempel på uppförda skolbyggnader och några reflektioner kring utformningen

Vid besök på några skolor har några iakttagelser gjorts. Funktionen hos de specifika utformningarna som visas i exemplen har inte analyserats i denna studie. De allmänna reflektioner utifrån dessa exempel som presenteras i det näst sista kapitlet är alltså författarens subjektiva funderingar. Dessa baseras även på resultat från delstudier och brukarnas upplevelse. Exempelen har valts ut med syfte att bidra till att en tillfredsställande inomhusmiljö skapas varför fokus lagts på mindre lämpliga lösningar.

Reflektioner över hur både utformning respektive driftstyrning har betydelse för funktionen görs. Den styrstrategi som väljs under projekteringskedet bör ges de bästa förutsättningarna för att fungera tillfredsställande. I de fall regleringen av frånluften är planerad att ske helt manuellt vilket kan innebära ett aktivt deltagande av lärarna är det viktigt att tillse att de har bästa möjligheterna till att uppnå detta.

Om frånluften i ett klassrum endast kan föras bort via fönster som alla är placerade i ett väderstreck innebär detta vissa begränsningar. Vid vissa vindriktningar kan luften få oönskad riktning, dvs när vinden ligger på mot fönstren kan självdragssystemets termiska drivkraft inte hålla emot och uteluften passerar in via frånluftöppningen istället. En bättre lösning kan vara att placera fasta öppningar i flera väderstreck. För att en tillfredsställande funktion skall erhållas krävs även att "rätt" öppning öppnas för den aktuella vindriktningen. Om regleringen sker automatiskt kan detta styras med hjälp av en vindgivare. Skall öppningen ske manuellt skall lärarna veta vilket fönster som är lämpligt att öppna och även genomföra detta. En frånluftsanordning vilken är oberoende av vindriktningen är möjligen ännu gynnsammare och driftsäkrare. Denna utformning kräver inte samma höga nivå av aktiva deltagande av lärarna.

En företeelse som förekommer för flera typer av ventilationssystem även mekaniska är mer eller mindre blockering av golvplacerade tilluftsdon. Det är naturligtvis inte lämpligt att placera föremål framför tilluftsdonen eftersom risken att luftflödet reduceras uppstår. Men eftersom drivkrafterna i ett självdragssystem är relativt låga och systemet är relativt känsligt för luftmotstånd är det om möjligt av ännu större vikt att donen i dessa system inte blockeras.

Orsaken till att saker placeras framför tilluftsdonen kan vara flera. Lärarna har inte erhållit information kring hur ventilationssystemet fungerar och vikten av att hålla donen fria samt att det skall förekomma en närsikt framför ett golvplacerat tilluftsdon inom vilken man inte vistas. Tilluften

kan upplevas ge drag orsakad av exempelvis en låg tilluftstemperatur i vissa fall i kombination med en hög hastighet. Föremål placeras därför framför donen och draget reduceras. Om orsaken är att tilluftstemperaturen är för låg trots att man inte vistas i närzonen bör detta lösas genom justering av ventilationssystemet.

Möblering framför donen kan även bero utrymmesbrist. Utrymmesbrist bör lösas i samspel mellan teknikerna och verksamheten för att finna en lösning där både ventilationens funktion och utrymmesbehovet tillgodoses.

Inledning

Bakgrund

I skolan, vilken är Sveriges största arbetsplats, vistas den del av vår befolkning som rapporteras ha högst frekvens av allergi och överkänslighetssymptom. Eftersom dessa besvär är miljörelaterade, är skolans inomhusmiljö av stor vikt.

Såväl i Sverige som i andra länder har det under det senaste decenniet uppförts ett antal självdragsventilerade skolor. I skollokaler är personbelastningen en av de högsta inom de verksamheter som berör stillasittande arbete. Detta ställer höga krav på ventilationssystemet och innebär bland annat behov av relativt sett rikliga luftflöden. Med ett mekaniskt fläktsystem kan ett bestämt flöde med relativt stor säkerhet uppnås över hela året. Vid ventilation med självdragssystem varierar flödena pga drivkrafterna, vindpåverkan och temperaturskillnad. På grund av de varierande drivkrafterna kan det vara svårare att kontrollera systemets funktion då ett flertal driftfall förekommer. En annan faktor att beakta är dragfri lufttillförsel.

Detta projekt avser att studera funktionen hos självdragssystem i skolor. Erfarenhet av och kunskap om detta ventilationssystem uppges även av projektörer vara relativt begränsad (Svensson, 1999) och ett behov av fortsatt forskning och erfarenhetsinsamling inom detta område bl a i form av framtagande av projekteringshjälpmedel anges av bl a Blomsterberg et al (1998).

Syfte

Syftet är att studera fläktförstärkt självdragsventilation i nyuppförda skolor.

Fokus har lagts på att undersöka de tekniska och klimatmässiga förutsättningarna för fläktförstärkt självdragsventilation. Lämpliga och mindre lämpliga utformningar kan identifieras.

Mål

Förhoppningen är att utifrån resultaten

- bidra till kunskapen om funktionen hos denna form av ventilationssystem
- bidra med projekteringshjälpmedel och verktyg

Vid valet av delstudier har fokus ofta varit att framförallt redovisa känsliga delar av systemen så att läsaren utifrån de redovisade resultaten kan beakta dessa. Både frågeställningar som är aktuella under utformningskedet respektive driftsskedet studeras.

Avgränsning

Ventilationssystemen studeras ur teknisk synvinkel. Andra aspekter såsom estetik och brukarnas totala upplevelse av dessa byggnader ingår inte i studien.

Kort beskrivning av det studerade ventilationssystemet

En vanlig utformning av självdragsventilation i de aktuella skolbyggnaderna är följande. Uteluften tas in via rör placerade en bit ifrån byggnaden. Rören fortsätter ner i jorden och ansluter till en kulvert vilken uppförts under marknivå. Utformningen av kulverten varierar i de uppförda studerade byggnaderna. Ett vanligt förekommande utförande är att kulverten löper under hela byggnaden. En målsättning är att uteluften under sin passage passivt skall värmas av jordrör och kulvert vid låga utetemperaturer och kylas vid höga. En axialfläkt kan vara placerad i kulverten och vara i drift vid vissa förhållanden. Sedan passerar luften lodräta kanaler och tilluftsdon in i klassrummen. Frånluften skall föras bort via takplacerade öppningar i form av fönster och vertikala kanaler vars öppning kan styras med spjäll. Skolorna har ofta en tung stomme och en stor rumsvolym.

Studerade frågeställningar

Följande frågeställningar har studerats

- tillgängliga drivkrafter
- luftflödesmönster i system och byggnad
- behov av hjälpfläkt
- funktion i uppförd byggnad
- vädring
- brukarnas ventilationsvanor och upplevelse av klimatet

Metod

De övergripande metoderna som använts vid analys av funktionen är

- teoretiska beräkningar och framtagande av beräkningsuttryck, verktyg
- beräkning med datorprogram
- mätningar i befintliga byggnader
- jämförelse mellan teoretiska beräkningar och mätningar

Analysen har delats upp i ett antal delstudier. Varje kapitel i rapporten omfattar en delstudie. Delstudierna är relativt fristående.

Placering av studien i förhållande till annan forskning

I Sverige har självdragsskolor studerats av framförallt Hult (1998) samt Blomsterberg et al (1998). I Hults undersökning av sju skolor ingick kartläggning av brukarnas upplevelse av miljön, momentana inneklimatmätningar samt energiberäkningar. Blomsterberg et al genomförde en studie av fukt, temperatur och luftflöde genom bl a månadsvisa mätningar och teoretiska beräkningar för tre uppförda byggnader. Denna studie avser att bygga vidare på dessa studier genom att bidra med en mer fördjupad teoretisk analys av generella förutsättningar.

Inom det aktuella forskningsområdet där begreppet hybridventilation frekvent förekommer genomförs både nationell och framförallt internationell forskning.

Stora samarbetsprojekt såsom IEA Annex 35 "Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings" (Heiselberg, 2002) där ett antal länder och forskare samverkat finns. En huvudinriktning som en stor del av

forskningen inriktar sig på är övergripande beräkning av flöden i en byggnad. Ett av de mest använda programmen för detta är COMIS vilken har stor internationell spridning. En annan inriktning är avancerade modellförsök samt CFD-beräkningar av enskilda komponenter i systemet, även fullskaleförsök har utförts (Larsen, 2003).

En stor mängd forskning återstår fortfarande för att erhålla tillförlitlig kunskap om samtliga delar av systemet.

Flera omständigheter leder till att funktionen hos ett självdragssystem är svårt att förutsäga. Flöden i sk naturliga ventilationssystem varierar. Byggnadens utformning inkluderande ventilationssystemet är även mycket skiftande och det finns alltför begränsad kunskap om många av de ingående komponenterna för närvarande. Detta innebär att det är svårt att beräkna fall som exakt motsvarar de fall som förekommer i verkligheten.

Det finns alltså alltför liten kunskap i nuläget för att exakt kunna beräkna den alltför komplexa verkligheten.

I denna studie har detta hanterats genom att utforma delstudierna så att gränfall och huvuddrag kan identifieras. En genomgående tanke och inriktning är att identifiera gränfall, rimliga intervall som kan förväntas och framförallt att försöka identifiera mindre lämpliga drift- och utformningsfall. Denna studie har alltså till målsättning att utifrån fysikaliska förutsättningar ge riktlinjer i stora drag för utformning.

I de fall kvantitativa fall redovisas görs detta för att illustrera och ge exempel, oändligt många fall kan naturligtvis skapas.

Förhoppningsvis kan denna rapport bidra genom att läsaren kan få lite mer fakta kring de tekniska och klimatmässiga egenskaperna och vilka förutsättningar som krävs och utifrån dessa själv bilda sig en omfattning om lämplig utformning, driftsätt samt göra en bedömning om de redovisade förutsättningarna kan uppfyllas.

Det övergripande målet är att skapa tillfredsställande ventilation för barnen som vistas i skolbyggnaderna. Samtidigt eftersom självdrag är beroende av uteklimatet vilket ger ett oändligt antal driftsfall och därför är svårare att förutse är det extra viktigt att kontrollera och försöka säkerställa vid projekteringen att tillfredsställande ventilation kan erhållas. Det är viktigt att undvika otillfredsställande ventilation i form av otillräckliga flöden, eller luftströmningar i felaktiga riktningar. Rapporten är ett försök

till att bidra till att ge underlag till de överväganden och beslut som ligger till grund för utformningen av ventilationssystemet och byggnaden.

Det förekommer även en omfattande internationell litteratur inom området. I denna studie har tyngdpunkten legat på att undersöka de tekniska och klimatmässiga förutsättningarna. Någon omfattande litteratursammanställning redovisas därför inte i denna rapport. Rapporten gör därför ej anspråk på att ge en heltäckande beskrivning av området.

1 Naturliga drivkrafter - teoretiska grunder och dimensioneringsmetodik

Då självdragsventilation förekommer utan fläktförstärkning utgörs drivkrafterna av de termiska krafterna samt vinden. Dessa beskrivs först.

Det har rapporterats en efterfrågan på ökad kunskap samt projekteringshjälpmedel i samband med självdragsventilation i nyuppförda byggnader. I detta kapitel kommer därför först de teoretiska grunderna att redovisas. Mycket återstår att studera innan en fullständig kännedom om funktionen hos detta ventilationssystem finns. Här redovisas några av de tumregler som förekommer i litteraturen för närvarande.

En ny modell har tagits fram i detta projekt för beräkning av tillgängliga drivkrafter i ett självdragssystem. Denna kan användas som ett verktyg med vilket den tillgängliga drivkraften för en given utformning kan bestämmas. Drivkraften som skapas av vind och temperaturskillnad mellan inne och ute kan presenteras i form av varaktighetsdiagram. Projektören kan jämföra drivkraften med sitt individuella systems tryckfall och de perioder av året som en fläkt eventuellt behövs kan även identifieras. Luftflödena under året för en given utformning kan även bestämmas.

De tumregler som redovisas här ger en alltså storleksordning om vad som kan förväntas med denna typ av system, dock inte heltäckande information för alla specifika fall som kan förekomma.

Termisk drivkraft

Drivkraften som temperaturskillnaden mellan ute och inne skapar beräknas till

$$\Delta p_{temp} = (\rho_{ute} - \rho_{inne}) g h \quad (\text{Pa}) \quad (1.1)$$

där ρ_{ute} = densiteten på luften ute, kg/m^3

ρ_{inne} = densiteten på luften inne, kg/m³

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

h = höjdskillnad mellan en nedre och en övre öppning, m

En godtycklig densitet kan beräknas med hjälp av

$$\rho = \frac{\rho_{ref} T_{ref}}{T} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1.2)$$

där ρ_{ref} = luftens densitet vid en referens lufttemperatur T_{ref} , kg/m³,

förlagsvis 1,20 kg/m³ vid $T_{ref} = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$

T_{ref} = referens lufttemperatur, K

T = aktuell lufttemperatur, K

Den termiska drivkraften kan alltså även beräknas till

$$\Delta p_{temp} = 351,78 \frac{T_{inne} - T_{ute}}{T_{inne} T_{ute}} gh \quad (\text{Pa}) \quad (1.3)$$

där T_{inne} = lufttemperatur inne, K

T_{ute} = lufttemperatur ute, K

och approximativt till

$$\Delta p_{temp} = 0,043 (T_{inne} - T_{ute}) h \quad (\text{Pa}) \quad (1.4)$$

där T_{inne} = lufttemperatur inne, °C alt. K

T_{ute} = lufttemperatur ute, °C alt. K

Vind

Drivkraften som erhålles från vindpåverkan beräknas till

$$\Delta p_{vind} = C_p \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (1.5)$$

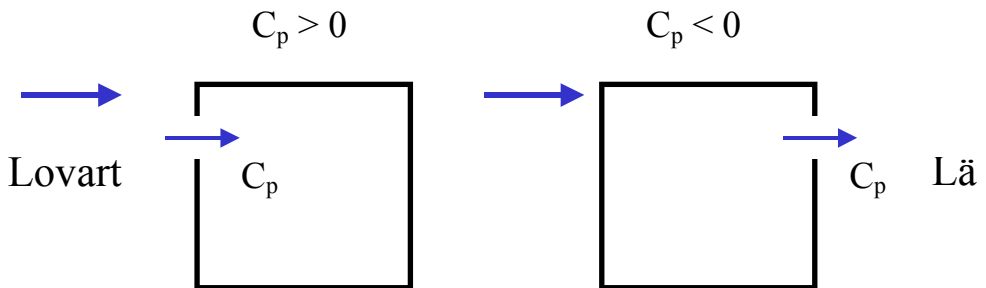
där C_p = vindfaktor, -

ρ = luftens densitet, sätts normalt (approximativt) till 1,2 kg/m³

v = lufthastighet i fri luftström, m/s

Formfaktor/vindfaktorn C_p kan normalt variera mellan -1 till $+1$ beroende på utformning och lokalisering av byggnaden i förhållande till övrig terräng, vegetation och byggnader.

Vindfaktorn är en parameter vilken relaterar vindriktningen till den specifika byggnaden och dess orientering och utformning. Enkelt uttryckt blir faktorn positiv på den skovartsidan av byggnaden, där vinden ligger på. På den skoläsidan, motsatt vinden blir faktorn negativ enligt figur 1.1.



Figur 1.1 Exempel på vindfaktorer.

Vindfaktorn C_p varierar kring byggnaden, där ett övertryck skapas mot byggnaden blir vindfaktorn positiv och uteluften trycks in i byggnaden. Där ett undertryck skapas mot byggnaden fås en negativ vindfaktor och inneluften sugs ut från byggnaden.

Om vinden skall utnyttjas på mest effektiva sätt innebär detta exempelvis att ett luftintag bör placeras där vindfaktorn är positiv vilket den bl a är på lovartsidan. Ett luftutsläpp bör följaktligen placeras där vindfaktorn är negativ vilket den bl a är på läsidan.

Denna faktor C_p bestäms genom skalmodeller i vindtunnlar. Den kan också studeras med hjälp av CFD-beräkningar. För praktiska tillämpningar för projektören, kan det vara svårt att bestämma faktorn exakt om inte datorsimuleringar görs. Effekterna av olika värden på vindfaktorn undersöks lämpligen för att erhålla resultat för ett rimligt förväntat intervall.

Referensvärden på vindfaktorer

Vindfaktorerna för en specifik byggnad måste bestämmas individuellt. I tabell 1.1 redovisas några generella vindfaktorer som kan användas då inga andra är kända. Generella vindfaktorn anges oftast vid fasta vindriktningar i förhållande till byggnaden. Mest användbart är naturligtvis om det finns ett uttryck för godtyckliga vindriktningar, dvs alla.

I ASHRAEs Fundamentals (2001) redovisas en funktion för beräkning av C_p för alla vindriktningar på **väggar** vilken hämtats från Walker och Wilson (1994)

$$C_p(\phi) = \frac{0,3(\cos\phi^2)^{1/4} + 0,9(\cos\phi)^{3/4} - 1,3(\sin\phi)^4}{2} \quad (-) \quad (1.6)$$

där ϕ = vinkel mellan vindriktning och normal till studerad vägg, °

för $\phi > 90^\circ$ och $< 270^\circ$ är term 2 = $-0,9(-\cos\phi)^{3/4}$

Detta samband kan användas vid framförallt infiltration. Vindfaktorer i stora öppningar kan skilja sig från detta samband. Enligt Walker kan den dock användas då storleksordningar är av intresse och specifika faktorer för den enskilda byggnaden ej går att erhålla.

Den resulterande vindfaktorn som en funktion av vindriktning i förhållande till byggnaden enligt ekv. (1.6) redovisas i diagram 1.1.

Vindfaktor $C_p(\phi)$

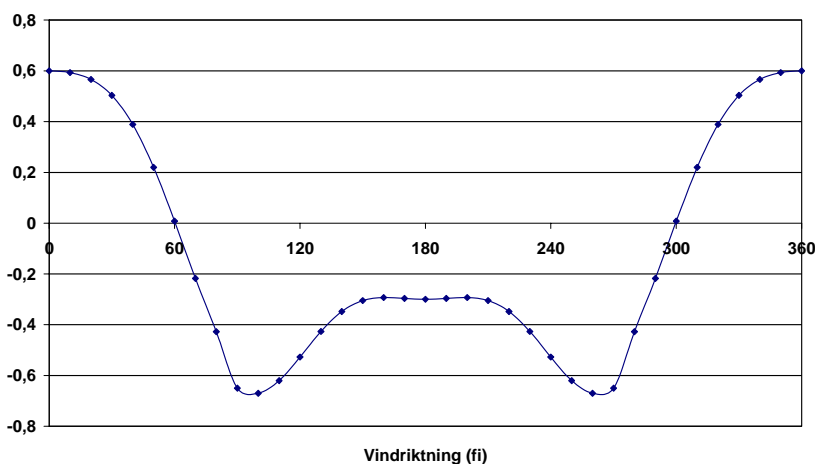


Diagram 1.1 Vindfaktorn C_p som en funktion av vinkeln mellan vindens riktning och fasadens läge enligt Walker och Wilson.

I ASHRAEs Fundamentals (1997) redovisas en annan funktion framtagen av Swami och Chandra

$$C_{p,n} = \ln \left(1.248 - 0.703 \frac{a}{2} - 1.175 \sin^2(a) + 0.131 \sin^3(2aG) + 0.769 \cos\left(\frac{a}{2}\right) + 0.07G^2 \sin^2\left(\frac{a}{2}\right) + 0.717 \cos^2\left(\frac{a}{2}\right) \right) \quad (-) \quad (1.7)$$

där $C_{p,n}$ = normaliserat C_p , -

a = vinkel mellan vindriktning och normal till studerad vägg, °

G = naturlig logaritm av kvoten mellan bredden på den studerade väggen och bredden på angränsande vägg, -

Om vindfaktorerna skall användas för luftflöden via stora öppningar kan dessa skilja sig från vindfaktorn för en vägg. Värden för stora öppningar är för närvarande ett aktuellt forskningsområde bl a Sandberg studerar detta. Det finns därför inga klara riktvärden än. Tills mer kunskap redovisas om detta får de vindfaktorer som finns att tillgå vilka ofta förutsätter hel ytor utan stora öppningar användas. Häri ligger dock en osäkerhet.

Vindhastighet

Vindens hastighet ökar med höjden ovan mark. Detta innebär att den vindhastighet som uppmäts vid väderstationer, oftast 10 m ovan mark, måste korrigeras. Vindhastigheten v som påverkar byggnaden på höjden H ovan mark beräknas till (Awbi, 1991)

$$\frac{v}{v_w} = \frac{\alpha \left(\frac{H}{10} \right)^\gamma}{\alpha_w \left(\frac{H_w}{10} \right)_w^\gamma} \quad (-) \quad (1.8)$$

där v = medelvindhastighet vid höjden H ovan mark, m/s

v_w = medelvindhastighet uppmätt vid väderstation, normalt 10 m ovan mark, m/s

H = byggnadens höjd, m

H_w = höjd för vindmätning, m

α, γ = faktorer beroende av terräng, värden redovisas i tabell 1.1, (-)

Index w anger att värdet gäller terrängen kring väderstationen och α ,
 γ utan index anger värden kring den aktuella byggnaden.

Tabell 1.1 Korrektionsfaktorer för vindhastighet beroende på terräng (Awbi, 1991).

Terräng	γ	α
Hav eller vatten med minst 5 km utsträckning	0,10	1,30
Platt landskap med enstaka hinder väl separerade från varandra	0,15	1,00
Lantbruksområde med låga byggnader, träd	0,20	0,85
Urban miljö, industri eller skogsområden	0,25	0,67
Storstadscenter	0,35	0,47

Exempel. Vindhastigheten 4 m ovan mark i ett område som betraktas som urbant är 56% av vindhastigheten som uppmätts vid en väderstation som är belägen i ett lantbruksområde.

$$\frac{v}{v_w} = \frac{0,67 \left(\frac{4}{10}\right)^{0,25}}{0,85 \left(\frac{10}{10}\right)^{0,20}} = 0,56$$

Om vindhastigheten uppmätts till 4,5 m/s vid väderstationen är medelvindhastigheten följaktligen 2,5 m/s för en byggnad vid 4 m höjd.

Drivkraft för enskild öppning

Tryckskillnad mellan tryck på byggnadsyta och lokalt atmosfärstryck på samma nivå i en ostörd vind beräknas som tidigare angivits med (1.5). Vindfaktorn C_p är den lokala vindfaktorn för den aktuella placeringen.

För bestämda utformningar av byggnader kan drivtrycket och det resulterande flödet bestämmas noggrannare.

Drivkraft för hel byggnad

I ASHRAEs Fundamentals redovisas även vindens totala effekt för en hel byggnad med en intagsöppning och en utsläppsöppning.

Vindens totala effekt för hela byggnaden fås för intag och utsläpp tillsammans

$$\Delta p_{vind} = (C_{p \text{ intag}} - C_{p \text{ utsläpp}}) \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (1.9)$$

Drivkraften förstärks om $C_{p \text{ intag}} > C_{p \text{ utsläpp}}$ och reduceras om $C_{p \text{ intag}} < C_{p \text{ utsläpp}}$.

Detta får man även hänsyn till vid dimensionering av fläktar.

Total naturlig drivkraft

Den totala drivkraften beräknas till

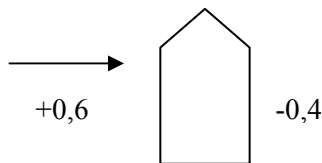
$$\Delta p_{total} = \Delta p_{temp} + \Delta p_{vind} \quad (\text{Pa}) \quad (1.10)$$

Exempel på total drivkraft

När man betraktar drivkraften för hela byggnaden innebär detta att den totala vindfaktorn är skillnaden mellan vindfaktorn för luftintaget samt vindfaktorn för luftutsläppet dvs

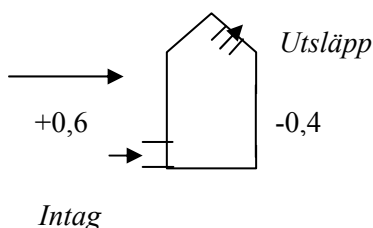
$$C_{p \text{ total}} = C_{p \text{ intag}} - C_{p \text{ utsläpp}} \quad (-) \quad (1.11)$$

Vindfaktorerna antas till +0,6 på sida med övertryck respektive -0,4 på sida med undertryck.



Figur 1.2 Byggnad med antagna vindfaktorer på sida med positiv vindfaktor (+0,6) respektive sida med negativ vindfaktor (-0,4).

Vindkrafterna utnyttjas effektivast om intaget är riktat mot en sida med positiv vindfaktor och utsläppet mot en sida med negativ vindfaktor. Positiv vindfaktor uppkommer vid lovartsida och negativ vind vid bläsida.

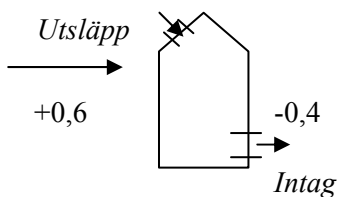


Figur 1.3 Resultande luftriktning i intag placerad på sida med positiv vindfaktor (+0,6) och i utsläpp placerad på sida med negativ vindfaktor (-0,4).

Den totala vindfaktorn blir

$$C_{ptotal}=0,6-(-0,4)=1 \quad (-) \quad \text{Intag lovart, utsläpp lä} \quad (1.12)$$

Det mest ogynnsamma fallet är intag mot sida med negativ vindfaktor och utsläpp mot sida med positiv vindfaktor.



Figur 1.4 Resultande luftriktning i intag placerad på sida med negativ vindfaktor (-0,4) och i utsläpp placerad på sida med positiv vindfaktor (+0,6).

Vindfaktorn blir då

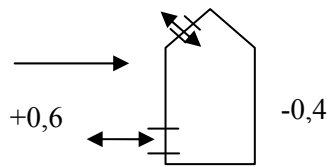
$$C_{ptotal}=(-0,4) - (0,6)= -1 \quad (-) \quad \text{Intag lä, utsläpp lovart} \quad (1.13)$$

Detta fallet innebär att luften går baklänges genom byggnaden.

Vindfaktorerna för fasader vinkelrät lovartsidan är ofta större än på den regelrätta läsidan. För enkelhetens skull benämns här sidor med negativ vindfaktor läsidan, vilket alltså även kan innefatta andra sidor.

För ett tredje fall där både intag och utsläpp är riktat mot positiv vindfaktor (samma sida) blir den totala vindfaktorn

$$C_{ptotal}=0,6 - (0,6)= 0 \quad (-) \quad \text{Intag lovart, utsläpp lovart} \quad (1.14)$$



Figur 1.5 Resultande luftriktning i intag placerad på sida med positiv vindfaktor (+0,6) och i utsläpp placerade på sida med positiv vindfaktor (+0,6).

Exempel. För ett fall då temperaturskillnaden är 10°C, höjdskillnaden mellan intag och utsläpp är 10 m och vindhastigheten är 4 m/s blir den totala drivkraften

$\Delta p_{total} = 4,3 + 9,6 Pa = 13,9 Pa$	Intag lovert, utsläpp läsida
$\Delta p_{total} = 4,3 - 9,6 = -5,3 Pa$	Intag lä, utsläpp lovert
$\Delta p_{total} = 4,3 + 0 = 4,3 Pa$	Intag lovert, utsläpp lovert

Nytt verktyg för bestämning av tillgänglig drivkraft för godtycklig byggnadsutformning

En ny modell har tagits fram i detta projekt för beräkning av tillgängliga drivkrafter i ett självdragssystem. Denna kan användas som ett verktyg med vilket den tillgängliga drivkraften för en given utformning kan bestämmas.

Hur bidraget från en eventuell tilluftskulvert skall beaktas vid beräkning av den tillgängliga drivkraften redovisas också.

Beräkningen beskrivs för ett allmänt fall. För ett bestämt objekt kan läsaren sätta in sina egna värden på respektive parameter och erhålla de utnyttjbara drivkrafterna.

Målsättningen är att erhålla enkla formler samt att skapa ett diagram som projektören kan gå in i och få information om drivkraften för en viss utformning. Genom att känna till det tillgängliga drivtrycket kan projektören få en uppfattning om sitt system och vilka flöden som är vänta. Detta ger information om hur stora tryckfall som kan tillåtas i systemet. Detta kan även ge ett underlag för att eventuellt förändringar av systemets utformning /tryckfall för att få erforderligt flöde.

Om en fläkt skall användas under vissa perioder kan även detta diagram ge information vilka driftsfall som fläkten bör vara i drift och/eller hur stor del av året fläkten bör vara i drift för att erforderliga flöden skall erhållas. Brytpunkten kan identifieras och därigenom kan relevanta faktorer värden vid denna bestämmas, t ex värden på utetemperatur, höjdskillnad etc.

Beskrivning av modell för beräkning av tillgängligt drivtryck

Modellen kan användas för godtyckliga utformningar och vindfaktorer. Den har utvecklats med syftet att drivkraften pga temperaturskillnaden respektive vinden skall kunna adderas. Detta är normalt svårt eftersom drivkraften pga av temperaturskillnaden även är beroende av höjdskillnaden mellan luftintag och luftutsläpp vilket vindens drivkraft inte är.

Modellen beaktar detta genom att normalisera både den termiska drivkraften samt vindens drivkraft mot denna höjd vilken betecknas H .

Den termiska drivkraften Δp_{temp} redovisas per meter av denna höjdskillnad och betecknas $\Delta p_{tempnorm}$.

Eftersom den termiska drivkraften Δp_{temp} är en funktion av höjden H beräknas $\Delta p_{tempnorm}$ till

$$\Delta p_{tempnorm} = (\rho_{ute} - \rho_{inne})g \quad (\text{Pa/m}) \quad (1.15)$$

Vindens drivkraft normaliseras genom att även vindfaktorn relateras till höjdskillnaden mellan öppningarna H . En normaliserad vindfaktor C_{pnorm} beräknas till

$$C_{pnorm} = \frac{C_p}{H} \quad (-/m) \quad (1.16)$$

och den normaliserade drivkraften blir

$$\Delta p_{vindnorm} = C_{pnorm} \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa/m}) \quad (1.17)$$

Vindfaktorn C_{pnorm} för de två öppningarna intag respektive utsläpp beräknas till

$$C_{pnorm} = \frac{(C_{pin} - C_{put})}{H} \quad (-) \quad (1.18)$$

Den totala drivkraften Δp_{norm} beräknas till

$$\Delta p_{norm} = \Delta p_{tempnorm} + \Delta p_{vindnorm} \quad (\text{Pa/m}) \quad (1.19)$$

eller

$$\Delta p_{norm} = (\rho_{ute} - \rho_{inne})g + \frac{C_{pnorm}}{H} \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa/m}) \quad (1.20)$$

alternativt

$$\Delta p_{norm} = 3451,0 \frac{(T_{inne} - T_{ute})}{(T_{inne} T_{ute})} + \frac{C_{pin} - C_{put}}{H} \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa/m}) \quad (1.21)$$

Varaktighetsdiagram

De aktuella väderdata; utetemperatur, vindhastighet och vindriktning insättes i (1.33) och Δp_{norm} kan beräknas. Den totala normaliserade drivkraften Δp_{norm} för ett antal data exempelvis timmarna under ett år kan beräknas och redovisas i ett varaktighets-diagram.

Δp_{norm} avläses på y-axeln och den verkliga totala drivkraften Δp för ett aktuellt fall beräknas genom

$$\Delta p = H \Delta p_{norm} \quad (\text{Pa/m}) \quad (1.22)$$

Beräkningen kan göras för ett antal vindfaktorer.

Flödet kan även beräknas utifrån diagrammet genom

$$q = C_d A \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1.23)$$

där C_d = kontraktionsfaktor för öppning, -

A = öppningens area, m^2

ρ = luftens densitet, kg/m^3

Ett varaktighetsdiagram innebär att data har sorterats i fallande eller stigande ordning. Den timme under året som ger störst drivtryck Δp_{norm} hamnar först för respektive kurva.

Ur varaktighetsdiagrammet kan utläsas under hur lång tid minst ett bestämt drivtryck erhålles.

Exempel. Uppmätta väderdata från en väderstation i Lund under året 2001 har använts som indata till diagram 1.3. Data har registrerats per timme och data för timmarna mellan kl 7-18 (dagtid) har använts. I diagram 1.2 har fast placerad öppning i öster alternativt väster och oberoende intag (jordrör) antagits. För varje timme har den mest gynnsamma placeringen öster eller väster antagits och vindhastighetskomponenten för utsläppets riktning i förhållande till den aktuella vindriktningen har beräknats.

Antag att man exempelvis vill veta det tillgängliga drivtrycket som uppnås 50% av tiden när vindfaktorn är 0,6. Δp_{norm} avläses på y-axeln från kurvan för $C_{p_{norm}} = +0,6$ till 2 Pa/m. Vid en höjdskillnad H mellan tilluft och frånluft på 8 meter är det totala tillgängliga drivtrycket i byggnaden $\Delta p = 16$ Pa; 50 % av tiden under ett år. Varje kurva har sorterats med max värdet vid y-axeln. Samma timme utgör inte max värdet för de olika kurvorna.

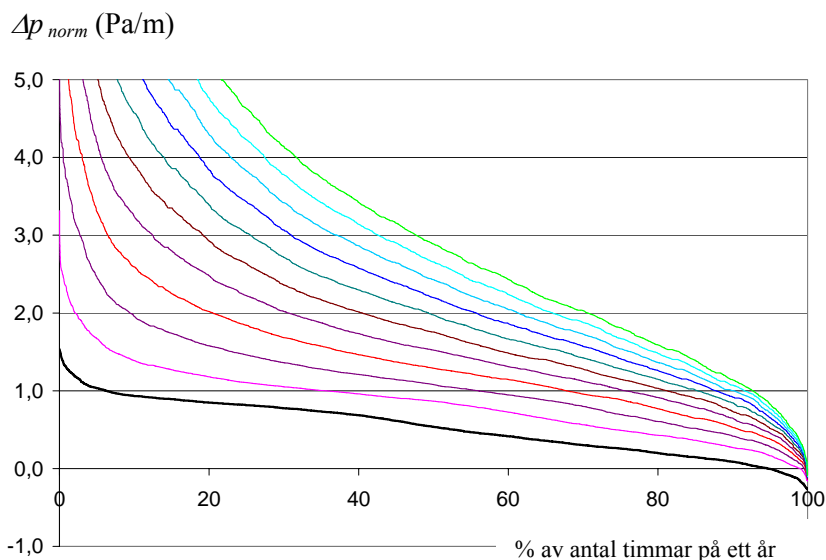


Diagram 1.2 Drivkraften för den nedersta kurvan är enbart temperaturskillnaden, dvs $C_{pnorm}=0$. För den näst nedersta kurvan är $C_{pnorm}=+0,1$ och ökar med 0,1 för varje kurva. För den översta kurvan är $C_{pnorm}=+1$.

Observera att endast positiva vindfaktorer återfinns i diagram 1.2. Om C_{pnorm} är negativ kommer även drivkraften att bli negativ för framförallt timmar med hög vindhastighet. Ju större negativ vindfaktor samt vindhastighet desto större negativ drivkraft Δp_{norm} erhålls.

I diagram 1.3 har ekv. (1.6) använts på samma klimatdata som för diagram 1.2. Intag har antagits till sydväst och utsläpp mot nordost. Vid gynnsamma fall då positiva vindfaktorer förekommer för sydväst och negativa mot nordost blir drivkraften blir något större än i diagram 1.2 där intag ej är rikttningsberoende eftersom den totala vindfaktorn blir större. Vid fasta placeringar uppstår dock även ogynnsamma fall då negativa vindfaktorer förekommer för intag i sydväst och positiva vindfaktorer för utsläpp i nordost. Dess leder till negativa drivtryck vilket innebär att luften går baklänges.

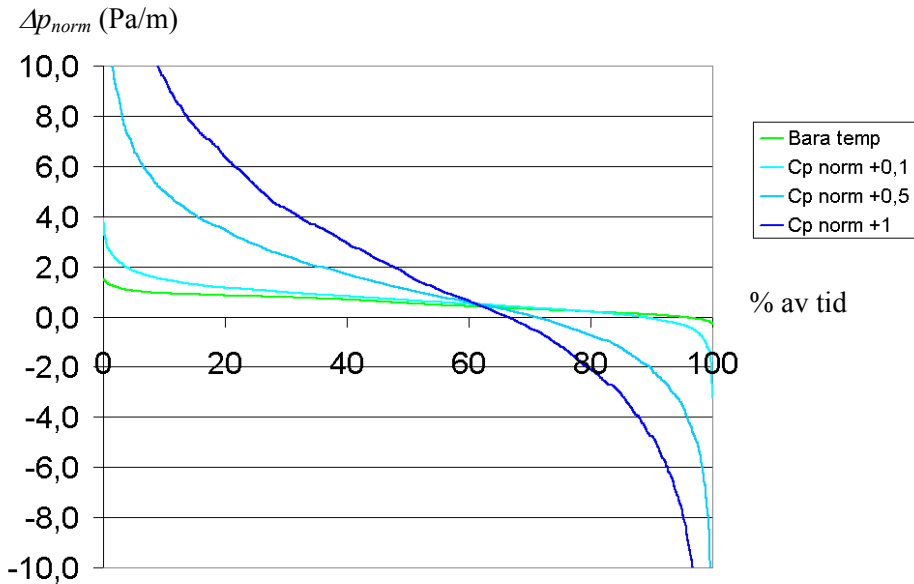


Diagram 1.3 Luftintag sydväst, Luftutsläpp nordost

Diagram 1.2 kan även framställas för intag och utsläpp som ej är fasta mot en riktning utan rör sig efter vinden. Vindhastigheten kan då utnyttjas till fullo oavsett vindriktning vilket ger större drivkrafter.

Olika utformning och komponenter kan studeras i projekteringsstadiet med hjälp av detta verktyg. Effekten av att vinden skapar ett övertäck på lovartsidan och ett undertryck på läsidan kan studeras. Om exempelvis luftintagen utgörs av komponenter vilka följer vinden så att luftintaget alltid riktar sig mot lovartsidan efter vinden dvs får hjälp av vinden att föra in uteluften i byggnaden (positiv vindfaktor) och luftutsläppet riktar sig mot läsidan (negativ vindfaktor) och därigenom får hjälp av vinden att suga ut frånluften från byggnaden blir det tillgängliga drivtrycket för i övrigt samma förutsättningar som tidigare enligt diagram 1.4.

Här ses att det tillgängliga drivtrycket är positivt under alla timmar. Detta innebär att luften inte går baklänges vilket är fallet i diagram 1.3. Denna utformning är alltså gynnsammare. Ju högre vindhastighet samt ju högre vindfaktor desto större blir det negativa drivtrycket vilket kan iaktas i diagram 1.4.

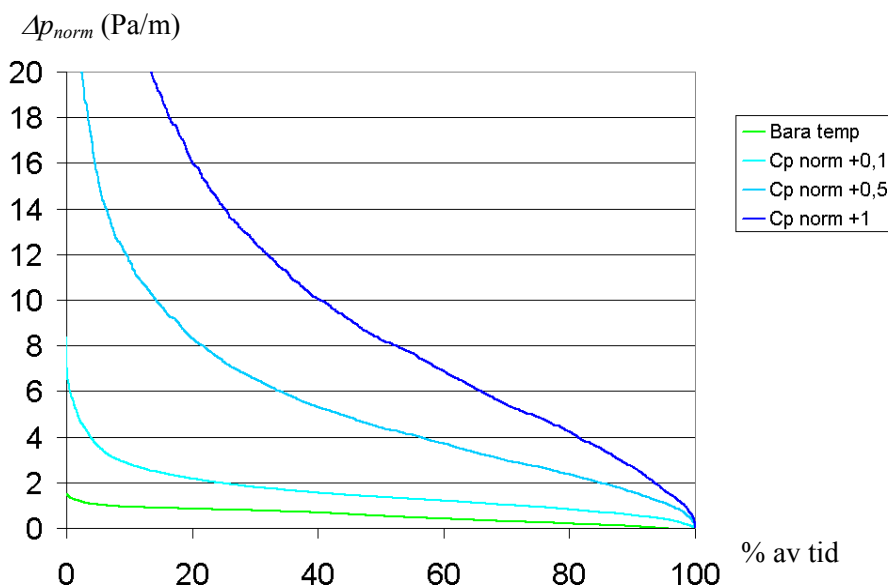


Diagram 1.4 Luftintag lovart, Luftutsläpp läsida

Klimatvärden

Mest tillförlitliga värden erhålls naturligtvis från en väderstation placerad intill den aktuella byggnaden. För noggrannast diagram är data registrerade per timme bra. Troligen är för de flesta praktiska fall sällan dessa väderdata tillgängliga. Klimatdata från samma stad är nästa steg. Man bör då ha i åtanke att både temperatur och vind skiljer sig från den lokala platsen.

Vindhastigheten varierar ständigt vilket ger ett varierande flöde. Ett sätt att hantera detta och för att vara säker på att tillräckligt flöde erhålls kan vara att anta värsta fallet dvs ingen vindhastighet. Detta ger att det totala tryckfallet vilket skall motsvara det totalt tillgängliga drivtryck vilket är lika med det tillgängligt drivtrycket pga temperaturskillnad.

Termisk drivkraft vid flera temperaturer i höjddled – vid tilluftskulvert

Hur bidraget från en eventuell tilluftskulvert skall beaktas vid beräkning av den tillgängliga drivkraften redovisas här.

Temperaturen inne förutsätts som en grundansats vara högre än lufttemperaturen ute. För en enkel volym beräknas temperaturskillnaden som skillnaden mellan medellufttemperaturen inomhus och lufttemperaturen utomhus. Höjdskillnaden ΔH beräknas som skillnaden mellan en nedre öppning genom vilken uteluften passerar in och en övre öppning genom vilken den varmare inneluften passerar ut. Verkliga utformningar är sällan så enkla.

För fallet med en tilluftskulvert kommer lufttemperaturen inne i byggnaden variera med höjden. När uteluften kommer in i kulverten kan den ha värmts i jordrör och eventuellt ha en högre temperatur än ute. Luften värms sedan ytterligare i kulverten och har en något högre temperatur då den passerar de lodräta tilluftskanalerna. När tilluften kommer in i klassrummet har den en temperatur som kan antas vara något lägre än rums-temperaturen. Frånluften som slutligen lämnar klassrummet via de takplacerade frånluftsöppningarna kan antas ha den högsta lufttemperaturen.

Den termiska stignakraften för en byggnadsutformning med tilluftskulvert beräknas genom

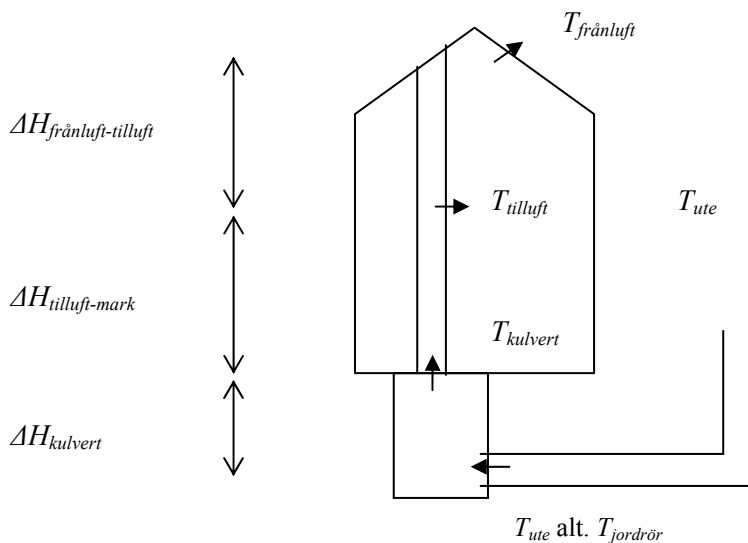
$$\begin{aligned} \Delta p_{temp} = & (\rho_{ute} - \rho_{frånluft}) g \Delta H_{frånluft-tilluft} + (\rho_{ute} - \rho_{tilluft}) g \Delta H_{tilluft-mark} \\ & + (\rho_{ute} - \rho_{kulvert}) g \Delta H_{kulvert} \end{aligned} \quad (Pa) \quad (1.24)$$

eller approximativt

$$\begin{aligned} \Delta p_{temp} = & 0,043 (T_{frånluft} - T_{ute}) \Delta H_{frånluft-tilluft} \\ & + 0,043 (T_{tilluft} - T_{ute}) \Delta H_{tilluft-mark} \\ & + 0,043 (T_{kulvert} - T_{ute}) \Delta H_{kulvert} \end{aligned} \quad (Pa) \quad (1.25)$$

(1.24) och (1.25) innebär en förenkling av verkliga förhållanden. Lufttemperaturen förutsätts vara konstant i de olika volymerna, dvs lufttemperaturen i rumsvolymen mellan tilluftsdon och frånluftsdon är frånluftstemperaturen $T_{frånluft}$, i den lodräta tilluftskanalen är den tilluftstemperaturen $T_{tilluft}$, och i kulverten är den $T_{kulvert}$. In i kulverten antas utetemperatu-

ren T_{ute} . Om temperaturen är känd på luften när den passerar från jordrö-
ren in i kulverten kan uttemperaturen ersättas med denna $T_{jordrör}$.



Figur 1.5. Ingående temperaturer och höjder vid beräkning av den termiska drivkraften för en byggnad med tilluftskulvert.

Med hjälp av dessa ekvationer kan olika utformningars betydelse för den termiska drivkraften studeras. Höjderna kan varieras och effekterna på den termiska drivkraften kan erhållas.

Placering av tilluftsdon

Utifrån (1.24) kan man se att placeringen av tilluftsdonet i höjddled har betydelse för drivkraften. Om tilluftsdonet placeras lägre kommer höjden mellan från- och tilluft att öka. Den totala drivkraften kommer att öka eftersom den största temperaturskillnaden föreligger i detta skikt.

Exempel. För ett fall där tilluftsdonen placeras på väggen relativt högt upp i ett rum (4,6 m över golv) med $T_{ute}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{kulvert}=16\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{tilluft}=17\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{frånluft}=22\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $\Delta H_{frånluft-tilluft}=3,3\text{ m}$, $\Delta H_{tilluft-mark}=4,6\text{ m}$ och $\Delta H_{kulvert}=2\text{ m}$ beräknas den termiska drivkraften till $\Delta p_{temp}=7,9\text{ Pa}$

Om tilluftsdonen till exempel placerats i golvnivå förändras $\Delta H_{frånluft-tilluft}$ till $3,3+4,6\text{ m}$ och den termiska drivkraften blir $\Delta p_{temp}=8,8\text{ Pa}$
Drivkraften ökar alltså med ca 1 Pa för detta fall.

2 Mätningar i uppförd skolbyggnad

Inledning

Självdraagsventilation har funnits under lång tid. Under senare århundraden har en utveckling mot ventilationssystem med fler tekniska komponenter skett. De naturliga drivkrafternas begränsningar i form av svårkontrollerbara och begränsade flöden har lett till en utveckling med kontinuerlig fläktdrift. Även komfort- och energimässiga aspekter har påverkat utvecklingen.

Under de senaste decennierna har ett antal byggnader främst skolor uppförts med ett sk fläktförstärkt självdraagsystem. Målsättningen är ofta att ta nytta av de naturliga drivkrafterna under vissa perioder av året och förstärka dem med en fläkt under övriga perioder. Den tekniska utvecklingen har även inneburit större möjligheter till övervakning och styrning av ett självdraagsystem. Detta var inte möjligt i äldre tiders byggnader. Utformningen av både byggnaden och ventilationssystemet vilka är tänkta av samverka till en helhet skiljer sig i vissa fall från äldre tiders självdraagsbyggnader. De skiljer sig även från andra skolbyggnader av modernt datum vilka ventileras med mekanisk ventilation.

I detta kapitel presenteras först kort en skolbyggnad som när den uppfördes under mitten av 1990-talet tillhörde de första inom denna typ. Flera skolbyggnader har uppförts efter denna och utformningen av ventilationssystemet och byggnaden har i större eller mindre omfattning varierat.

Den aktuella skolbyggnadens och dess ventilationssystemets utformning är dock av en principiellt intressant karaktär. Utformningen är representativ för den aktuella typen av byggnader. Byggnaden har även varit i drift under ett antal år vilket reducerar risken för eventuella startproblem.

Byggnaden har även valts som exempel eftersom ett stort antal givare installerades vid uppförandet. Detta har möjliggjort att ett stort antal mätdata kunnat samlats in. Mätdata har dels analyserats för att erhålla informa-

tion om funktionen och inneklimatet i en verklig byggnad. De insamlade mätdata har även utgjort ett underlag vid validering och jämförelse för de teoretiska beräkningarna med uppmätta värden i en verklig byggnad.

Byggnadens och ventilationssystemets utformning

Byggnaden är en en-plans byggnad med fyra klassrum, två allrum, en verkstad, ett antal mindre grupprum samt toaletter. Klassrummen har en hög takhöjd. Innertaket följer yttertakets lutning. Stommen är tung bestående av murade tegelväggar och vid val av material och ytskikt har låg-emitterande material eftersträvat. Grunden består av en betongplatta på mark samt en betongkulvert.

Uteluften skall tas in via sex betongrör som är placerade ca 20 m från byggnadens gavel. Dessa leder ner i jorden till ca 2 m under markytan. Jordrören leder fram till byggnaden och mynnar i en betongkulvert som löper under hela byggnaden. I inloppet till kulverten finns en axialfläkt samt spjäll placerade. Kulverten är 2,1 m hög och 1 m bred och 66 m lång. Den böjer av 180° och sedan passerar luften ett utrymme med kamflänsbatterier. Kulverten löper sedan tillbaka under byggnaden. I dess tak skall luften passera in i murade tegel kanaler vilka leder upp till respektive rum. Tilluften tillförs via don placerade relativt högt upp på hjärtvägg. Frånluft i klassrummet skal föras bort via öppningsbara fönster som är placerade i tak. Tilluft från kulvert tillförs även andra rum såsom allrum och grupprum.

Flödeskrav

Inför uppförandet av byggnaden erhöles dispens av Boverket för ventilationsflöden. Dispensen formulerades enligt följande

Dispens av Boverket

Luftflöden får underskridas kortvarigt under skolåret med högst 50% och under längre tid med högst 25%. Dimensionerande luftflöden vid utetemperatur +5 °C skall uppfylla NR-kravet 5 l/s person.

Detta innebär att

- luftflödet vid +5°C skall vara 5 l/s person
- långvarigt skall flödet vara minst 3,75 l/s person
- kortvarigt skall flödet vara minst 2,5 l/s person

Boverket angav även att

Kontroller av inneklimat och luftkvalitet skall utföras vid såväl låga (<0 °C) som högre utetemperaturer (>10 °C) och omfatta några dygns varaktighet.

Detta har studerats av Hult (1998).

Mätningar av luftflöde

Givare för mätning av bl a temperatur och relativ fuktighet har placerats på ett antal platser i tilluftskulverten, i rummen samt ute på Risebergaskolan. Givarna har anslutits till ett system vilket är möjligt att kontinuerligt samla in mätdata från. Med bistånd av Stadsfastigheter i Malmö samt Tomas Hagman vid Siemens har därför mätdata insamlats.

I detta kapitel redovisas flödet som passerar tilluftskulverten som en funktion av utetemperaturen.

Insamling av mätdata har skett under en period från juni-april månad. Mätvärden registreras med 15 minuters intervall. Nedladdning av mätdata måste ske vartannat dygn pga. av systemets datalagringskapacitet. Efter två dygn skrivs de äldsta mätdata över av nya.

Resultat

Två lufthastighetsgivare installerades i tilluftskulverten vid byggnadens uppförande för att möjliggöra bestämning av flödet. En medelhastighet i kulverten erhålls genom att beräkna medelvärdet av de två uppmätta hastigheterna. Luftflödet genom kulverten har beräknats genom att multiplicera den beräknade medelhastigheten med tvärsnittsarean vilken är 0,57 m² där givarna är placerade. På den aktuella skolan sätts hjälpfläkten i drift när utetemperaturen överstiger 10°C. Den är varvtalsreglerad och når sitt högsta varvtal vid 25°C.

En av givarna gav till en början en konstant och hög hastighet (75 m/s). Företaget som har ansvaret för driften av skolan åtgärdade detta och luft-

hastigheter i samma storleksordning som den andra givaren gav erhöles sedan.

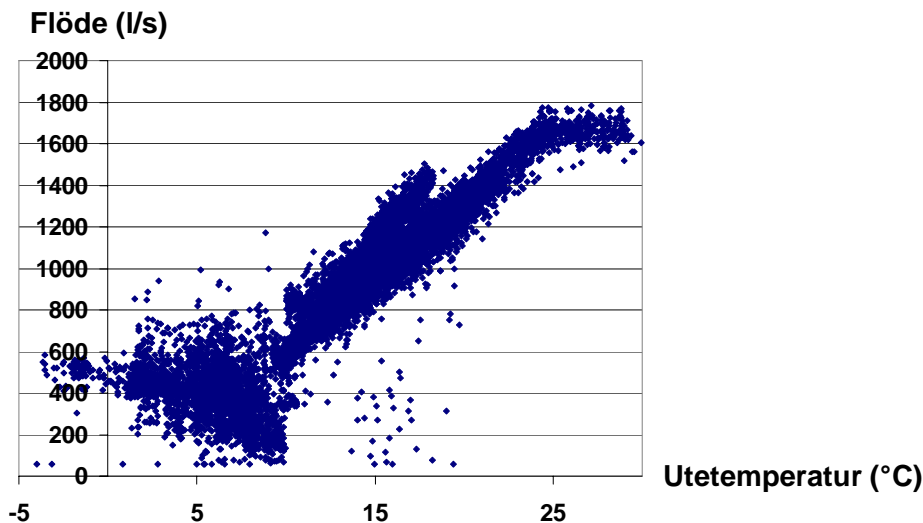


Diagram 2.1 Flöde i tilluftskulverten som funktion av utetemperaturen uppmätt under perioden 7 juni 2004-19 januari 2005 under skoltid.

Flödet är främst intressant under skoltid då människor vistas i lokalerna. I diagram 2.1 har helger och nätter sorterats bort.

Flöden då utetemperaturen understiger 10°C är i intervallet 50-700 l/s. Flödet är i storleksordningen 500-900 l/s vid 10°C och 1600-1700 l/s vid 25°C. Vid 25°C utetemperatur planar flödet ut.

Vid utetemperaturer överstigande 10°C sätts en axialfläkt i gång i kulverten. I diagrammet kan man iaktta att flödet är lägre för utetemperaturer understigande 10°C, dvs när drivkrafterna består av temperaturskillnaden mellan inne och ute samt vinden, jämfört med fallen då utetemperaturen överstiger 10°C då även fläkten bidrar. Då utetemperaturen överstiger 10°C kan iakttas att flödet stiger med ökande utetemperatur för de flesta fallen.

Jämförelse med flödeskrav

Om 25 personer antas i de 4 klassrummen (totalt 100 personer) innebär dispensen att dimensionerande luftflöde vid +5°C skall vara 500 l/s. Kortvarigt får luftflödet därmed underskridas 250 l/s och under längre tid med 375 l/s.

Ur diagram 2.1 framgår att vid 5°C är flödet i huvudsak inom intervallet 200-600 l/s vilket innebär att luftflödeskravet på 500 l/s understigs en stor del av tiden vid 5°C. Mätningarna under mätperioden tyder följaktligen på att det verkliga luftflödet underskrider kravet vid +5°C. Flödet är minst 500 l/s vid 10°C och stiger sedan till ca 1600-1700 l/s vid de högsta utetemperaturerna (25-30°C).

Eftersom flödena för utetemperaturer över 10°C är 500 l/s eller högre kommer endast flödena understiga kravet på 5 l/s person under perioder då utetemperaturen är under 10°C. I det aktuella området understigs månads-medelutetemperaturen 8°C mellan kl 8-18 under 5 av årets 12 månader.

Förvaltarna har valt att använda fläkten vid temperaturer överstigande 10°C. Vilka flöden som hade förekommit utan fläkt vid högre temperaturer än 10°C går inte att erhålla. Ett rimligt antagande är att flödet via kulverten hade varit av samma storleksordning som erhållna flöden för temperaturer understigande 10°C med ett avtagande för högre temperaturer.

Det bör nämnas att flödet via kulverten ej är alltid utgör hela bidraget till klassrummens luftomsättning. Luftomsättningen i rummet kan vara högre då vädring exempelvis sker.

Slutsatser

Dimensionerande tilluftsflöde uppfyller inte Boverkets krav vid +5°C om 100 personer antas i byggnaden.

Dimensionerande tilluftsflöde kommer dock att uppfyllas en mycket stor del av den studerade tiden.

En tydlig skillnad mellan flöden vid utetemperaturer understigande respektive överstigande 10°C kan iakttas. Skillnaden mellan dessa fall är att de naturliga drivkrafterna har förstärkts med hjälpfläkten då utetemperaturen överstiger 10°C. Resultaten visar att vid utetemperaturer översti-

gande 10°C kommer luftflödena att uppfylla Boverkets krav 5 l/s person. Resultaten tyder på att skillnaden i flöde beror på fläktens bidrag.

Diskussion

Mätperioden täcker inte in mycket låga utetemperaturer (-5°C och lägre). Dessa förekommer relativt sällan i södra Sverige där byggnaden är belägen. Något högre flöden än vid utetemperaturer kring 0° till +5 C kan förväntas pga den ökade termiska drivkraften.

I Arbetsmiljöverkets författning AFS2000:42 vilken gäller för skolor anges att

”För lokaler där personer vistas mer än tillfälligt kan behövas ett uteluftsflöde som inte understiger 7 l/s person vid stillasittande arbete. Med hänsyn till föroreningar från andra källor än personer bör ett tillägg på lägst 0,35 l/s m² golvarea göras.”

Golvytan är ca 660 m² och om 100 personer antas innebära detta ett flöde på 700 + 230 l/s. Totalt blir detta 930 l/s. Detta flöde understigs för samtliga mättillfällen under 10 °C, dvs då fläkten inte är i drift.

Material med låga emissioner eftersträvas i denna typ av byggnad. Om flödet för föroreningar från övriga källor (230 l/s) försummas blir det totala flödet 700 l/s. Detta flöde understigs för majoriteten av mättillfällena under 10 °C.

Avsteg från de rekommenderade flödena motiveras i dessa skolbyggnader med att bl a materialen har valts med omsorg och behöver mindre ventilation än i andra byggnader samt att rumshöjden och volymen är större höjden vilket skall reducera föroreningskoncentrationen i vistelsezonen. Avgivningen från materialen samt rumshöjdens betydelse för föroreningskoncentrationen i höjddel har inte studerats. Detta är två lämpliga frågeställningar att beakta i vidare forskning.

De parametrar som kan påverka lufthastigheten i kulverten är inte helt kända. Det är exempelvis inte känt hur ofta fönstren är öppna i klassrummen. Som visas i beräkningar i kommande kapitel är kulverten relativt störningskänslig och öppna fönster kan ha påverkat flödet via kulverten. Exempelvis kan luften ha passerat från klassrummen ner i kulverten, vilket innebär att flödet kan ha omvänd riktning. Storleksmässigt kan flödet via kulverten kan även ha reducerats pga öppna fönster, större andel av luften tillförs via fönstren istället för via kulverten.

Troligen sker vädring vid högre utetemperaturer ($>10^{\circ}\text{C}$) då fläkten är igång. Påverkan av vädring är möjligen mindre för lägre utetemperaturer och störst andel av luften till klassrummen kan antas tillföras via kulverten.

För högre utetemperaturer tillförs möjligen större andel via öppna fönster och mindre andel via kulverten. I figuren kan dock iaktas att flödet stiger med ökande utetemperatur för de flesta fallen. Detta tyder på, vilket är rimligt, att då fläkten är igång blir kulverten mindre störningskänslig eftersom fläkten "håller emot" med ett mottryck vid eventuella störningar såsom öppna fönster.

3 Luftflödesberäkningar i skolbyggnad med fläktförstärkt självdrag

De naturliga drivkrafternas variation leder till att luftflödena varierar över året. Olika kombinationer av öppna respektive stängda komponenter som frånluftsluckor och fönster ger även skiftande flöden och flödesriktningar. Vilka luftflöden som erhålls i byggnaden vid olika driftsfall studeras i detta kapitel genom beräkningar.

I de byggnader som uppförts med fläktförstärkt självdrag förekommer olika utformning av ventilationssystemet. I detta kapitel studeras den utformning där tilluft tillförs via en kulvert. Det aktuella ventilationssystemet är tillsammans med byggnaden utformat så att ett antal driftsfall skall förekomma. Tilluft tillförs via jordrör och kulvert till klassrummen. Luft kan även tillföras via fönsteröppningar i fasaden. Frånluften är tänkt att föras bort via takplacerade fönsteröppningar.

Detta kapitel beskriver beräkningar av luftflöden genom byggnadens alla transportvägar såsom kulvert, kanaler, rum och öppningar. Genom att hela byggnaden studeras kan samtliga luftflödens storlek och riktning bestämmas.

Luftflödernas storlek och riktning varierar för de olika driftsfallen. Kombinationer av öppna respektive stängda komponenter vid olika uteklimat har studerats. Effekten av stängda frånluftsfönster respektive frånluftöppningar placerade i olika relation till vindriktningen samt vädring och hjälpfläkt har studerats. Systemets känslighet kan på detta sätt undersökas.

Metod

Luftflödena genom byggnadens alla rum och öppningar har studerats med beräkningar i datorprogrammet PFS.

PFS är ett program med vilket ett godtyckligt flödessystem kan byggas upp. Ventilationssystem, värmesystem och tappvattensystem är några exempel på system som är möjliga att studera. Varje komponent beskrivs med ett samband mellan tryck och flöde. En modell av byggnaden och ventilationssystemet har byggts upp. Byggnadens olika rum och systemets olika komponenter har modellerats. Indata har hämtats från en uppförd byggnad vilken har en representativ utformning för denna typ av byggnad och system.

Modell i PFS av fläktförstärkt självdragsventilation i skolbyggnad

Modellen utgår från en modell som skapades i en tidigare studie vid avdelningen (Kurnitski, 1996). I datorprogrammet anges inledningsvis samtliga komponenters egenskaper sedan byggs grafiska modeller upp. De aktuella modellerna visas i de följande figurerna. Varje rum/volym utgörs av en rektangel i datormodellen. Samtliga luftflödesvägar till varje rum modelleras med dubbla linjer vilket är programmets grafiska form för kanaler. Hur ventilationssystemets olika delar har modellerats beskrivs nedan. Beskrivningen följer luftens väg genom byggnaden med början vid jordrörens intag av uteluft. Indata till PFS-program redovisas i bilaga 1.

Jordrör - tilluft

Alla engångsmotstånd beskrivs med elementet ”engångsmotståndsfaktorn”. Alla inlopp och utlopp från komponenter som fungerar som luftkanaler har ett engångsmotstånd vilket anges till ”e, 1”. Detta innebär att tryckfallet över bl a jordrörens intag är

$$\Delta p = l \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (3.1)$$

Varje jordrör beskrivs med ett element där diametern samt längden anges, vilken i beräkningarna antagits till 20 m.

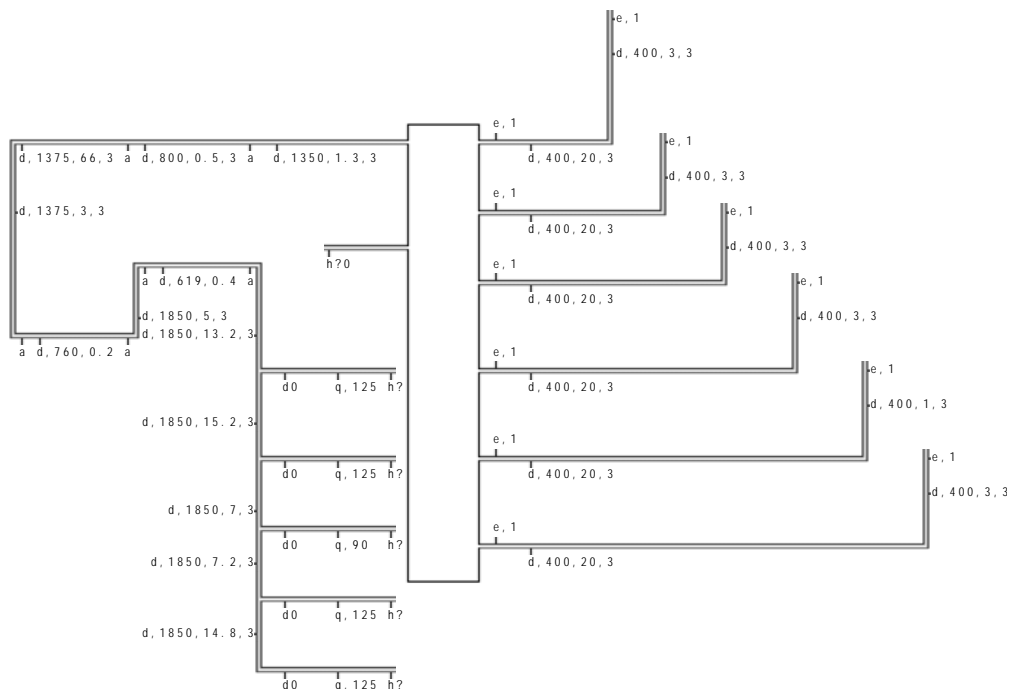
Friktionsmotståndet är högre för betong än för spirorör. Ytråheten för betong är 0,3-3 mm. I beräkningarna har värdet 1 mm använts för ytråheten i de delar av systemet som består av betong eller tegel. Detta modelleras genom att i kanalelementet lägga till ytråheten dvs ”d, diameter, längd, ytråhet”.

Kulvert - tilluft

Sex jordrör ansluter till betongkulverten under byggnaden. Luften passerar först genom en kulvert vilken är 1 m bredd, 2,1 m hög och 66 m lång. Denna sk kalla kulvert beskrivs med ett element där den hydrauliska diametern samt längden anges. Kulverten böjer av och luften passerar ett utrymme med kamflänsrör. Sedan kommer luften i den sk varma kulverten från vilken lodräta murade kanaler leder tilluften upp till varje klassrum.

Tilluftsdelen inkluderande jordrör och kulvert redovisas i figur 3.1. Denna del har studerats separat och ett tryckfall över hela denna del har kunnat bestämmas. Beräkning av tryckfallet har gjorts vid två olika flöden för att erhålla ett samband mellan tryck och flöde så att tryckfallet för godtyckliga flöden kan bestämmas och utifrån detta har flödet vid 1 Pa bestämts till 260 l/s. Flödesexponenten blir 1,99. Sambandet är alltså i princip kvadratisk. Hela denna del representeras sedan av en komponent i övriga systemet ”sup=g,1,260,1.99”. Programmet kan med hjälp av denna räkna med alla önskade flöden. Modellen som används i det övergripande systemet redovisas i figur 3.2. Mötet mellan kulverten och respektive lodrät tilluftskanal anges med siffran ett. Detta betyder att alla punkter med beteckningen ”1” knyts samman i den övergripande modellen i figur 3.4.

Tilluft från kulverten tillförs även en passage i den del av byggnaden som försörjs av ett mekaniskt till- och frånluftssystem. Från passagen sugs luften via toalettutrymmen. Frånluftsflödet i dessa utrymmen vilket skall balanseras med tilluften från passagen är 175 l/s. I modellen anges därför 175 l/s passera ut från kulverten förutom övriga lodräta tilluftskanaler.



Figur 3.1 Studerad modell av jordrör och kulvert. De sex jordrören återfinns på högra sidan. De ansluter till en gemensam kammare vilken leder vidare till betongkulverten.



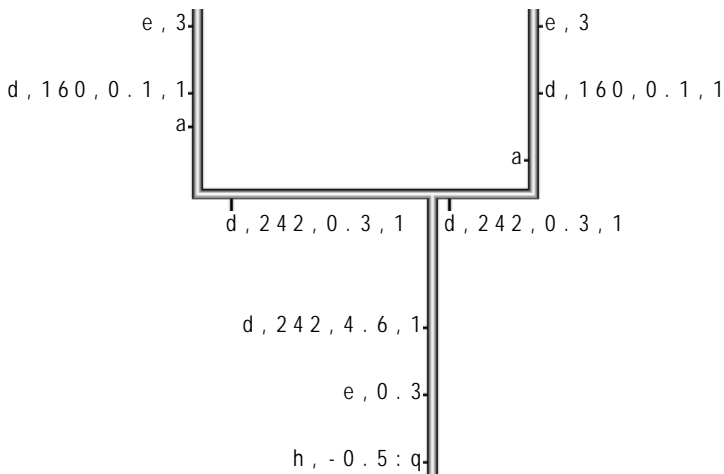
Figur 3.2 Modell av jordrör och kulvertdel som används i det övergripande systemet.

Lodrät tilluftskanal

De murade lodräta tilluftskanalerna som leder från kulverten upp till klassrummen har modellerats enligt figur 3.3. Till varje klassrum leds fyra lodräta kanaler från kulverten. Varje kanal avslutas med två stycken tilluftsdon genom vilka tilluften passerar. Totalt finns alltså åtta tilluftsdon per klassrum. Tilluftskanaler leds även från den varma kulverten till allrum, verkstad samt förråd.

Flödet via de lodräta tilluftskanalerna samt donen för ett visst tryckfall kan beräknas med hjälp av modellen i figur 3.3. Engångsmotståndsfaktorn för donen ansätts till 3. Vid tryckfallet 0,5 Pa passerar 17,6 l/s och vid tryckfallet 1,5 Pa passerar 30,7 l/s.

De lodräta tilluftskanalerna tillsammans med tilluftsdonen beskrivs sedan i modellen för hela systemet med komponenten "SD" vilken beskrivs med "g,0.5,17.6,1.5,30.7;q".



Figur 3.3. Modell av murad vertikal tilluftskanal mellan kulvert och klassrum.

Den övergripande modellen över skolan redovisas i figur 3.4.

Takfönster/lanterniner - frånluft

Frånluften skall passera ut från klassrummen via fönsteröppningar placerade i taknivå. Eftersom öppningarna är inte konventionella don utan fönsteröppningar modelleras dessa istället med en effektiv öppningsarea. Fönstren antas öppnas i ett antal positioner från helt stängt (position 0) till sitt mest öppna läge (position 5). Arean genom vilken luften kan passera ansätts till 0,020, 0,025, 0,050, 0,100 och 0,200 m² för de olika öppna positionerna 1 till 5. Om öppningen är 1 m bred innebär detta att öppningsspringan är 2 cm, 2,5 cm, 5 cm, 10 cm respektive 20 cm. Tryckfallet över en fri öppning är

$$\Delta p = \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (3.2)$$

Vid hastigheten 1 m/s är tryckfallet $\Delta p=0,6$ Pa. En viss kontraktion sker när luften passerar öppningen. Kontraktionsfaktorn antas till 0,6 vilket flödena multipliceras med. När fönstret är stängt antas den effektiva arean till 0,001 m² (0,1 cm springa). Då kommer flödet $0,6 \cdot 1 \text{ m/s} \cdot 0,001 \text{ m}^2 = 0,6$ l/s att passera öppningen vid detta tryckfall. Flödet för de övriga positionerna vid samma tryckfall (0,6 Pa) och hastighet (1 m/s) är 12 l/s, 15 l/s, 30 l/s, 60 l/ samt 120 l/s. Fönsteröppningarna vilka via frånluften skall passera betecknas med elementen EDE och EDW. Elementen beskrivs med funktionen "diagram". Tryckfallet anges och sedan anges respektive position med tillhörande flöde, dvs "diagram EDE p(iq) 0.6 0:0.6 1:12 2:15 3:30 4:60 5:120". Beräkningar med positionerna 0 (stängd) och 5 (helt öppen) redovisas.

Don på toalett, i allrum – frånluft

Frånluft från toaletter samt allrum förs även bort via spirokanaler vilka avslutas med en s k dansare. Frånluftsdonen ansätts ha engångsförlustkoefficienten 3. Faktorn för böjar ansätts till 0,3 och till 1 för utloppet. Dansaren vrider sig efter vinden och har därför en vindfaktor som motsvarar öppning mot läsidan. Vindfaktorn ansätts till -0.4.

Förbindelser mellan rum

Luftrörelser kan även ske mellan rummen via t ex öppna dörrar och överluftsdon. Dörröppningarna har modellerats på samma sätt som takfönstren med hjälp av en effektiv area. Dörröppningarna kan även ha en mängd olika öppningslägen, med exempelvis en dörrspringa/öppning på 0,5 mm (stängd), 2 mm, 2 cm, 10 cm, 50 cm samt 1 m (helt öppen). Om dörröppningen är 2 m hög innebär det att öppningsarean för dessa är 0,001, 0,004, 0,04, 0,2, respektive 2 m². Flödena beräknas på samma sätt som för frånluftsöppningarna. En viss kontraktion sker när luften passerar öppningen. Kontraktionsfaktorn antas till 0,6 vilket flödena multipliceras med. Vid tryckfallet 0,6 Pa (hastigheten 1 m/s) kommer flödet 0.6 l/s, 2.4 l/s, 24 l/s, 120 l/s, 600 l/s respektive 1200 l/s att passera öppningen. Dörröppningarna beskrivs med elementet Do enligt "diagram Do p(iq) 0.6 0:0.6 1:2.4 2:24 3:120 4:600 5:1200". Dörrarna kan alltså öppnas i lika många lägen som antalet positioner som definierats. Dock redovisas inte beräkningar här med alla varierande lägena.

Läckage

Byggnaden har en viss täthet vilken inte är känd. Luftläckaget via de omslutande ytorna antas uppfylla byggnormen dvs 1,6 l/s m². Ett hörnklassrum ansätts ha omslutande arean 125 m² och ett klassrum mitt i byggnaden arean 100 m², vilket ger ett läckageflöde på 200 respektive 160 l/s vid 50 Pa tryckskillnad. Detta läckage modelleras med komponenten "leak" för rum belägna mitt i byggnaden och "leakcorner" för rum i byggnadens hörn.

Fönstervädring

Några beräkningsfall behandlar förhållandena när fönster öppnas i klassrummen. Ett öppet fönster modelleras med elementet "h, dpla:q" då fönstret är placerat på sida med negativ vindfaktor och "h, dplov:q" för sida med positiv vindfaktor. Läckageelementet "leak" ersätts med detta element i de rum där fönster antas vara öppna. Vädring modelleras genom det tryck som skapas pga uteklimatet. Tryckförlusten över fönsteröppningen försummas. Öppningsarean antas så stor att fasadtrycket anses råda även i klassrummet.

Drivkrafter

De tillgängliga drivkrafterna är temperaturskillnaden mellan ute och inne, vinden samt för vissa driftfall bidraget från en axialfläkt placerad i tilluftskulverten.

Drivkrafterna har modellerats enligt följande. Drivkraften skapad av temperaturskillnaden anges i modellen med elementet “ htx ”, där x varierar beroende på vilket rum som är aktuellt. Elementet i klassrummen benämns exempelvis “ htc ” och elementet i allrummen benämns “ hta ”. Drivkrafterna varierar för de olika rummen på grund av varierande höjdskillnad mellan luftinsläpp och luftutsläpp i rummen.

Drivkraften skapad av vinden anges med elementet “ hwx ”, där x varierar. “ hww ” är drivkraften via takfönster riktad mot väster, “ hwe ” takfönster mot öster, “ hwn ” mot norr. “ hwd ” anges när frånluften passerar en skansare.

Temperaturskillnad

En noggrannare beräkning av drivkraften pga tilluftskulverten och placering av tilluftsdon görs enligt det tidigare avsnittet om termisk drivkraft vid flera temperaturer i höjddled i kapitlet om teoretiska grunder. Den termiska drivkraften beräknas till

$$\begin{aligned} \Delta p_{temp} = & 0,043(T_{frånluft} - T_{ute})\Delta H_{frånluft-tilluft} \\ & + 0,043(T_{tilluft} - T_{ute})\Delta H_{tilluft-mark} \\ & + 0,043(T_{kulvert} - T_{ute})\Delta H_{kulvert} \end{aligned} \quad (\text{Pa}) \quad (3.3)$$

Detta underskattar drivkraften vid -10 °C med $0,5\text{ Pa}$, vid övriga utetemperatur underskattas drivkraften endast några tiondels Pascal jämfört med då den beräknas med luftdensiteterna. Drivkrafterna studeras för varierande utetemperatur. Eftersom kulvert-temperaturerna kan antas variera med utetemperaturen har de uppmätta temperaturerna i en befintlig skola använts. En linjär regressionkurva har beräknats för respektive mätplats. Sålunda har utloppstemperaturen från kulverten $T_{kulvert}$ beräknats med $T_{kulvert} = 0,01 \cdot T_{ute} + 17,22$. Tilluftstemperaturen till klassrummen har sedan i detta kapitel antagits till $T_{tilluft} = T_{kulvert} + 1\text{ °C}$, respektive frånluftstemperaturen antagits till $T_{frånluft} = T_{klassrum} + 2\text{ °C}$ där $T_{klassrum} = 0,10 \cdot T_{ute} + 20,67\text{ °C}$. De resulterande drivkrafterna samt temperaturerna och höjdskillnaderna för varje typ av rum redovisas i tabell 3.1 för utetemperaturerna -10 till $+20\text{ °C}$. De anges i elementet för frånluftöppningen.

Tabell 3.1 Termisk drivkraft d_{temp} vid åtta fall av varierande ute-temperaturer -10 till $+20^{\circ}\text{C}$. Temperaturer i kulvert, tilluft, frånluft samt höjdskillnad i kulvert, tilluftskanal samt i rum mellan tilluft och kulvert anges även.

Rum	Tute	Tkulvert	T tilluft	Tfrånluft	Hkulvert	Htilluft	Hfrånluft	d_{temp}	element
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	m	m	m	Pa	
Klassrum	-10	17,12	18,12	21,67	2	4,6	3,3	12,4	htc
Klassrum	-5	17,17	18,17	22,17	2	4,6	3,3	10,3	htc
Klassrum	0	17,22	18,22	22,67	2	4,6	3,3	8,3	htc
Klassrum	5	17,27	18,27	23,17	2	4,6	3,3	6,3	htc
Klassrum	10	17,32	18,32	23,67	2	4,6	3,3	4,2	htc
Klassrum	15	17,37	18,37	24,17	2	4,6	3,3	2,2	htc
Klassrum	20	17,42	18,42	24,67	2	4,6	3,3	0,1	htc
Klassrum	25	17,47	18,47	25,17	2	4,6	3,3	-1,9	htc
Allrum	-10	17,12	18,12	21,67	2	4,1	3,8	12,5	hta
Allrum	-5	17,17	18,17	22,17	2	4,1	3,8	10,4	hta
Allrum	0	17,22	18,22	22,67	2	4,1	3,8	8,4	hta
Allrum	5	17,27	18,27	23,17	2	4,1	3,8	6,4	hta
Allrum	10	17,32	18,32	23,67	2	4,1	3,8	4,3	hta
Allrum	15	17,37	18,37	24,17	2	4,1	3,8	2,3	hta
Allrum	20	17,42	18,42	24,67	2	4,1	3,8	0,3	hta
Allrum	25	17,47	18,47	25,17	2	4,1	3,8	-1,8	hta
Verkstad	-10	17,12	18,12	21,67	2	4,7	4	13,5	htp
Verkstad	-5	17,17	18,17	22,17	2	4,7	4	11,3	htp
Verkstad	0	17,22	18,22	22,67	2	4,7	4	9,1	htp
Verkstad	5	17,27	18,27	23,17	2	4,7	4	6,9	htp
Verkstad	10	17,32	18,32	23,67	2	4,7	4	4,7	htp
Verkstad	15	17,37	18,37	24,17	2	4,7	4	2,5	htp
Verkstad	20	17,42	18,42	24,67	2	4,7	4	0,3	htp
Verkstad	25	17,47	18,47	25,17	2	4,7	4	-1,9	htp
Grupprum	-10	17,12	18,12	21,67	0	2,3	6,4	11,5	htg
Grupprum	-5	17,17	18,17	22,17	0	2,3	6,4	9,8	htg
Grupprum	0	17,22	18,22	22,67	0	2,3	6,4	8,0	htg
Grupprum	5	17,27	18,27	23,17	0	2,3	6,4	6,3	htg
Grupprum	10	17,32	18,32	23,67	0	2,3	6,4	4,6	htg
Grupprum	15	17,37	18,37	24,17	0	2,3	6,4	2,9	htg
Grupprum	20	17,42	18,42	24,67	0	2,3	6,4	1,1	htg
Grupprum	25	17,47	18,47	25,17	0	2,3	6,4	-0,6	htg
Allrum spirorör	-10	17,12	18,12	21,67	2	4,1	4,6	13,6	htas
Allrum spirorör	-5	17,17	18,17	22,17	2	4,1	4,6	11,4	htas
Allrum spirorör	0	17,22	18,22	22,67	2	4,1	4,6	9,2	htas
Allrum spirorör	5	17,27	18,27	23,17	2	4,1	4,6	7,0	htas
Allrum spirorör	10	17,32	18,32	23,67	2	4,1	4,6	4,8	htas
Allrum spirorör	15	17,37	18,37	24,17	2	4,1	4,6	2,6	htas
Allrum spirorör	20	17,42	18,42	24,67	2	4,1	4,6	0,4	htas
Allrum spirorör	25	17,47	18,47	25,17	2	4,1	4,6	-1,8	htas
Kaprum	-10	17,12	18,12	21,67	0	0	1,3	1,8	hth
Kaprum	-5	17,17	18,17	22,17	0	0	1,3	1,5	hth
Kaprum	0	17,22	18,22	22,67	0	0	1,3	1,3	hth
Kaprum	5	17,27	18,27	23,17	0	0	1,3	1,0	hth
Kaprum	10	17,32	18,32	23,67	0	0	1,3	0,8	hth
Kaprum	15	17,37	18,37	24,17	0	0	1,3	0,5	hth
Kaprum	20	17,42	18,42	24,67	0	0	1,3	0,3	hth
Kaprum	25	17,47	18,47	25,17	0	0	1,3	0,0	hth

Vind

Över en enskild öppning skapar vinden drivtrycket

$$\Delta p_{vind} = C_p \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (3.4)$$

Specifik vindfaktor för given utformning är inte känd. Vindkraften anges över frånluftsöppningen. Dessa antas placerade i två riktningar dels med positiv vindfaktor och dels med negativ. Detta kan motsvara exempelvis fallen lovert respektive läsida.

Normalt brukar vindfaktorn C_p på lovartsidan variera mellan +0,5 till +0,7 och mellan -0,25- till -0,5 på läsidan för fasadytor. Vindfaktorn i en öppning kan skilja sig från referensvärden för fasadytor. Forskning kring vindfaktorer för öppningar pågår. För aktuell utformning utgör öppningen en relativ liten andel av fasadytan varför en vindfaktor för en fasadyta kan tillämpas för öppningen. Om öppningens areaandel hade varit stor hade öppningen haft större betydelse. Vindfaktorn hade då avvikit mer från referensvärden för fasadytor.

I beräkningarna antas +0,6 på lovartsidan och -0,4 på läsidan. För detta fall utnyttjas vindkrafterna effektivast om utsläppet är riktat mot läsidan, frånluften sugs då ut från byggnaden. På lovartsidan blåser luften in i byggnaden.

Om exempelvis vindhastigheten ansätts till 4 m/s blir vindkraften för en öppning för detta fall

$$\Delta p_{vind} = -0,4 \cdot \frac{1,2 \cdot 4^2}{2} = -3,8 Pa \quad \text{Utsläpp mot läsida}$$

Det mest ogynnsamma fallet är utsläpp mot lovert. Vindkraften blir då

$$\Delta p_{vind} = 0,6 \cdot \frac{1,2 \cdot 4^2}{2} = 5,8 Pa \quad \text{Utsläpp mot lovert}$$

Detta fallet innebär att luften går baklänges, dvs in i byggnaden via frånluftsöppningarna.

Systemet har studerats vid vindhastigheterna 2, 4, 6 respektive 8 m/s. Drivkrafterna skapade av vinden redovisas i tabell 3.2.

Tabell 3.2 Ansatta vindhastigheter, vindfaktorer och resulterande drivkraft orsakad av vind för lä och lovartsida.

Utetemp.	Hastighet	Densitet	Vindfaktor	Vindtryck	Vindfaktor	Vindtryck
			Cp lovart	dpvind lovart	Cp lä	dpvind lä
°C	m/s	kg/m ³		Pa		Pa
-10,0	2,0	1,34	0,6	1,6	-0,4	-1,1
-5,0	2,0	1,31	0,6	1,6	-0,4	-1,0
0,0	2,0	1,29	0,6	1,5	-0,4	-1,0
5,0	2,0	1,26	0,6	1,5	-0,4	-1,0
10,0	2,0	1,24	0,6	1,5	-0,4	-1,0
15,0	2,0	1,22	0,6	1,5	-0,4	-1,0
20,0	2,0	1,20	0,6	1,4	-0,4	-1,0
25,0	2,0	1,18	0,6	1,4	-0,4	-0,9
-10,0	4,0	1,34	0,6	6,4	-0,4	-4,3
-5,0	4,0	1,31	0,6	6,3	-0,4	-4,2
0,0	4,0	1,29	0,6	6,2	-0,4	-4,1
5,0	4,0	1,26	0,6	6,1	-0,4	-4,0
10,0	4,0	1,24	0,6	6,0	-0,4	-4,0
15,0	4,0	1,22	0,6	5,9	-0,4	-3,9
20,0	4,0	1,20	0,6	5,8	-0,4	-3,8
25,0	4,0	1,18	0,6	5,7	-0,4	-3,8
-10,0	6,0	1,34	0,6	14,4	-0,4	-9,6
-5,0	6,0	1,31	0,6	14,2	-0,4	-9,4
0,0	6,0	1,29	0,6	13,9	-0,4	-9,3
5,0	6,0	1,26	0,6	13,7	-0,4	-9,1
10,0	6,0	1,24	0,6	13,4	-0,4	-8,9
15,0	6,0	1,22	0,6	13,2	-0,4	-8,8
20,0	6,0	1,20	0,6	13,0	-0,4	-8,6
25,0	6,0	1,18	0,6	12,7	-0,4	-8,5
-10,0	8,0	1,34	0,6	25,7	-0,4	-17,1
-5,0	8,0	1,31	0,6	25,2	-0,4	-16,8
0,0	8,0	1,29	0,6	24,7	-0,4	-16,5
5,0	8,0	1,26	0,6	24,3	-0,4	-16,2
10,0	8,0	1,24	0,6	23,9	-0,4	-15,9
15,0	8,0	1,22	0,6	23,4	-0,4	-15,6
20,0	8,0	1,20	0,6	23,0	-0,4	-15,4
25,0	8,0	1,18	0,6	22,7	-0,4	-15,1

Då vädring studeras beräknas vindtrycket i fönsteröppningen på samma sätt som i tabell 3.2. Dansare antas ha vindfaktorn -0,4.

Total naturlig drivkraft - temperaturskillnad och vind

Den totala drivkraften blir

$$\Delta p_{total} = \Delta p_{temp} + \Delta p_{vind} \quad (\text{Pa}) \quad (3.5)$$

Tabell 3.3 Totala naturliga drivkrafter d_{ptotal} för klassrum på lä respektive lovartsida.

Tute	Vind	dptemp	Cp lovart	Cp lä	dpvind lovart	dpvind lä	dptotal lovart	dptotal lä
°C	m/s	Pa			Pa	Pa	Pa	Pa
-10	2	12,4	0,6	-0,4	-1,6	1,1	10,8	13,5
-5	2	10,3	0,6	-0,4	-1,6	1,0	8,8	11,4
0	2	8,3	0,6	-0,4	-1,5	1,0	6,8	9,3
5	2	6,3	0,6	-0,4	-1,5	1,0	4,7	7,3
10	2	4,2	0,6	-0,4	-1,5	1,0	2,7	5,2
15	2	2,2	0,6	-0,4	-1,5	1,0	0,7	3,1
20	2	0,1	0,6	-0,4	-1,4	1,0	-1,3	1,1
25	2	-1,9	0,6	-0,4	-1,4	0,9	-3,3	-1,0
-10	4	12,4	0,6	-0,4	-6,4	4,3	6,0	16,7
-5	4	10,3	0,6	-0,4	-6,3	4,2	4,0	14,5
0	4	8,3	0,6	-0,4	-6,2	4,1	2,1	12,4
5	4	6,3	0,6	-0,4	-6,1	4,0	0,2	10,3
10	4	4,2	0,6	-0,4	-6,0	4,0	-1,7	8,2
15	4	2,2	0,6	-0,4	-5,9	3,9	-3,7	6,1
20	4	0,1	0,6	-0,4	-5,8	3,8	-5,6	4,0
25	4	-1,9	0,6	-0,4	-5,7	3,8	-7,6	1,9
-10	6	12,4	0,6	-0,4	-14,4	9,6	-2,0	22,0
-5	6	10,3	0,6	-0,4	-14,2	9,4	-3,8	19,8
0	6	8,3	0,6	-0,4	-13,9	9,3	-5,6	17,6
5	6	6,3	0,6	-0,4	-13,7	9,1	-7,4	15,4
10	6	4,2	0,6	-0,4	-13,4	8,9	-9,2	13,2
15	6	2,2	0,6	-0,4	-13,2	8,8	-11,0	11,0
20	6	0,1	0,6	-0,4	-13,0	8,6	-12,8	8,8
25	6	-1,9	0,6	-0,4	-12,7	8,5	-14,7	6,6
-10	8	12,4	0,6	-0,4	-25,7	17,1	-13,3	29,5
-5	8	10,3	0,6	-0,4	-25,2	16,8	-14,8	27,1
0	8	8,3	0,6	-0,4	-24,7	16,5	-16,4	24,8
5	8	6,3	0,6	-0,4	-24,3	16,2	-18,0	22,4
10	8	4,2	0,6	-0,4	-23,9	15,9	-19,6	20,1
15	8	2,2	0,6	-0,4	-23,4	15,6	-21,3	17,8
20	8	0,1	0,6	-0,4	-23,0	15,4	-22,9	15,5
25	8	-1,9	0,6	-0,4	-22,7	15,1	-24,6	13,2

Drivkraft med fläkt

Data för en axialfläkt vilken placerats i en befintlig tilluftskulvert har använts. Fläkten är av typen ZIEHL-4 FC4F. I den befintliga byggnaden varierar varvtalet steglöst. Fläktens fyra fläktkurvor har dock studerats. Ju högre utetemperatur desto högre fläktkurva har använts.

Med hjälp av axialfläktens fläktkurva kan detta element beskrivas med "fan FC4F dp1:q1 dp2:q2 dp3:q3" där 3 tryckfall-flödespar anges.

Resultat av beräkningar av luftflöden genom en skola med fläktförstärkt självdrag - Känslighetsanalys

Ett oändligt antal fall kan naturligtvis studeras. Följande fall har valts. Den termiska drivkraften vid utetemperaturen -10, -5, 0, +5, +10, +15, +20, +25 °C har kombinerats med vindens drivkraft vid hastigheterna 2, 4, 6 respektive 8 m/s. Effekten av olika driftfall såsom öppning av "fel" frånluftslucka, stängda frånluftsluckor, med fläkt samt fönstervädring studeras.

Några fall har valts ut för att illustrera resultaten och redovisas i figurerna. Ytterligare fall med varierande utemperaturer och vindförhållanden redovisas i tabell- och diagramform. Fokus ligger på att redovisa de huvudsakliga flödena. Framförallt tilluft från kulvert till hela byggnaden samt till ett klassrum redovisas eftersom detta är den avsedda vägen för tilluften.

Grundfall

Flödesberäkningarna görs först för ett grundfall. Vindriktningen antas vara från väster. Frånluftöppningarna riktade mot läsidan (öster) antas vara öppna i alla rum. Detta driftfall motsvarar hur systemet är tänkt att fungera utifrån vilken frånluftslucka som bör vara öppen. De flöden och flödesriktningar som erhålls i tilluftskulverten redovisas i diagram 3.1. Övriga fallstudier kan sedan jämföras med detta grundfall.

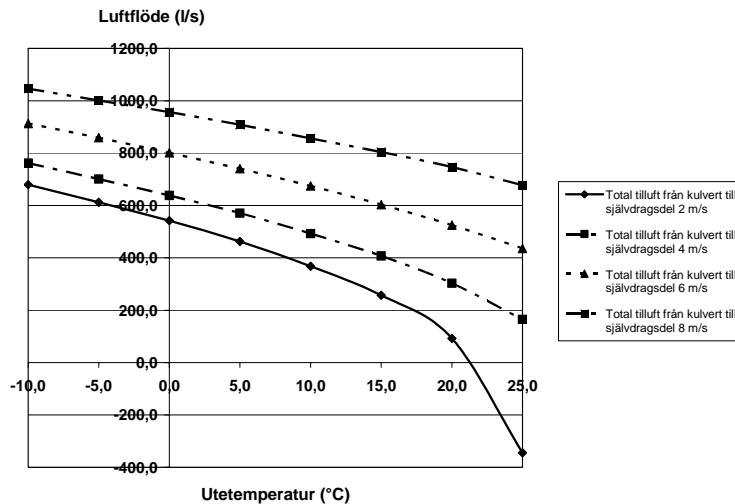


Diagram 3.1 Beräknat luftflöde som tillförs från tilluftskulverten till byggnadens självdragsdel.

I diagram 3.1 kan ses att tilluftsflödet vid +5°C är ≥ 500 l/s vid vindhastigheter ≥ 4 m/s. Endast för vindhastigheten 2 m/s understiger flödet 500 l/s vilket är det dimensionerande flödet som skall uppnås enligt Boverket om 100 personer antas vistas i byggnaden; 25 personer i fyra klassrum.

I diagram 3.1 ses bl a även att vid 25°C och vindhastigheten 2 m/s blir tilluftsflödet negativt. Vid höga utetemperaturer fås en negativ termisk drivkraft pga kulvertens kylande förmåga på tilluften. Detta leder till negativa flöden vid låga vindhastigheter.

I diagram 3.2 ses tilluftsflödet från kulverten till ett klassrum.

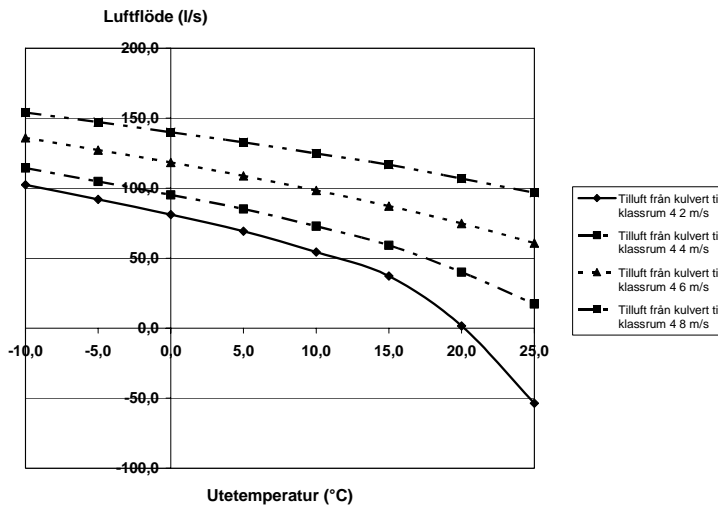


Diagram 3.2 Beräknat luftflöde som tillförs från tilluftskulverten till ett klassrum.

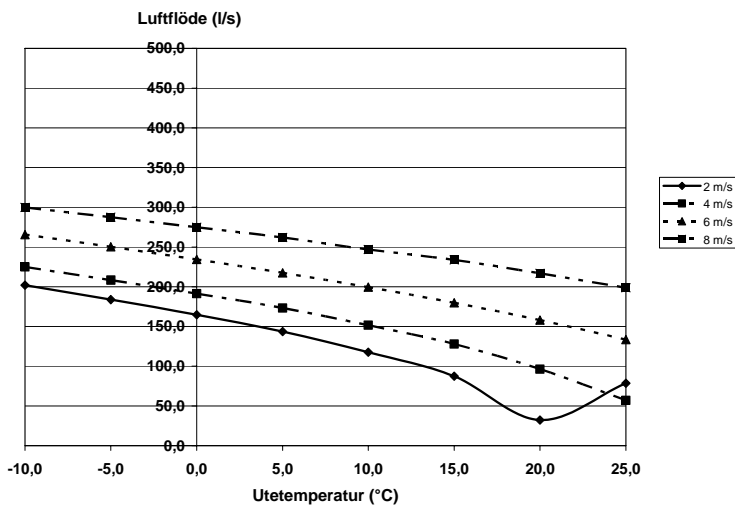
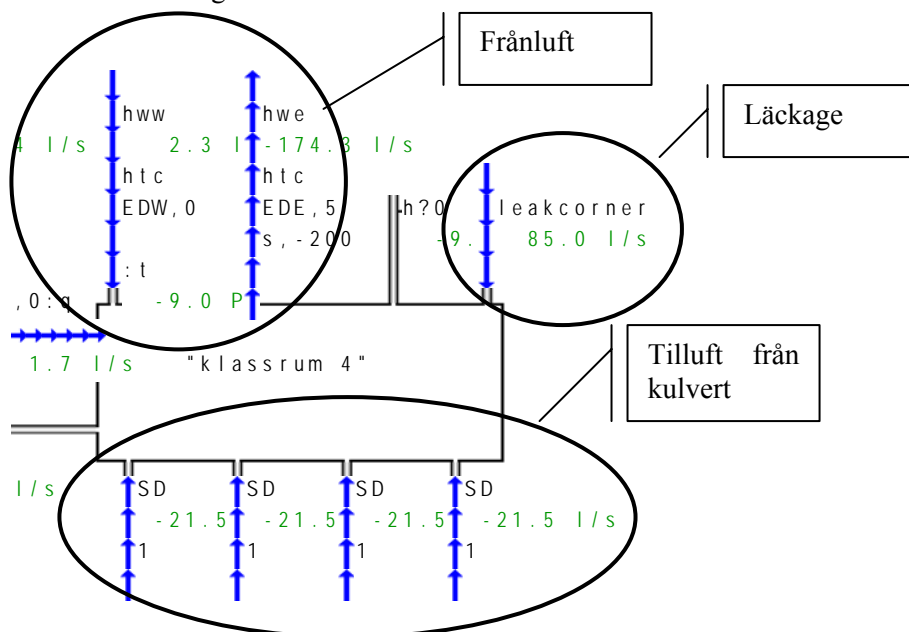


Diagram 3.3 Beräknat totalt tillufts- och frånluftsflöde som tillförs till/från ett klassrum.

Det totala tillufts/frånluftsflödet i ett klassrum blir större än tillfört flöde från tilluftskulverten pga övriga läckage och tillförselvägar. Då utemperaturen är 25°C är den termiska drivkraften negativ. Vid en låg vindhas-

tighet 2 m/s blir den totala drivkraften negativ vilket leder till att uteluft kommer att passera in i klassrummet via frånluftsöppningarna och passera ut från rummet via läckage och tilluftskanaler ner i kulverten.



Figur 3.5 Resultatutskrift från PFS som visar ett klassrum i byggnaden. Ett av grundfallen vilket innebär utetemperatur $+5^{\circ}\text{C}$, vindhastighet 4 m/s, frånluftsluckor öppna mot läsidan.

Klassrummet motsvaras av en rektangel till vilken luften passerar till/från beroende på pilarnas riktning I figur 3.5 ses att 21,5 l/s i tilluft tillförs via fyra tilluftskanaler kallade SD från kulverten totalt 86 l/s. Den stängda frånluftsöppningen mot väster (lovart) benämns EDW (position 0) och 2,3 l/s passerar via otätheter kring denna. Via den öppna frånluftsöppningen mot öster (lä) EDE (position 5) passerar 174, 2 l/s ut från klassrummet. Uteluft passerar även in via otätheter i fasaden genom elementet "leakcorner"; 85,0 l/s. 1,7 l/s passerar via otätheter kring stängd dörr. Minustecknen som redovisas framför vissa flöden beror på att positiv flödesriktning definieras i programmet nedåt och åt höger.

Beräkningar för utetemperaturer mellan -10 och $+25^{\circ}\text{C}$ och vindhastighet 2, 4, 6 respektive 8 m/s redovisas i tabell 3.4. Flödena i klassrum 4 enligt figur 3.4 redovisas. Flödena blir av samma storleksordning i övriga klassrum. Alla flöden som passerar in i ett rum har summerats och redovisas som total tilluft i tabellen. Motsvarande gäller för all frånluft in i ett rum. Detta flöde blir lika stort som det totala tilluftsflödet och redovisas inte. De möjliga flödesvägarna är förutom via tilluftskanalerna och frånluftsöppningarna, dörrar och läckage.

Tabell 3.4 Klassrum 4. Grundfall.

Temp. (°C)	Vind (m/s)	Tilluft till klassrum 4 via kulvert (l/s)	Frånluft från klassrum 4 via takfönster (l/s)	Total tilluft till klassrum 4 (l/s)	Läckage, dörrar till klassrum 4 (l/s)	Total tilluft från kulvert till självdragsdel (l/s)	Tilluft/person om 100 personer i byggnaden fr. kulvert (l/s)
-10	2	102,4	201,9	202	99,6	679,3	6,8
-5	2	92	182,3	183,8	91,8	611,8	6,1
0	2	81,2	164,8	164,8	83,6	541,3	5,4
5	2	69,2	143,6	143,5	74,3	462,7	4,6
10	2	54,4	117,7	117,5	63,1	367,8	3,7
15	2	37,2	86,8	87,4	50,2	256,9	2,6
20	2	1,6	31,7	32,2	30,6	92,4	0,9
25	2	-53,6	0,0	-24,0	-23,4	-344,5	-3,4
-10	4	114,4	223,9	224,9	110,5	761,6	7,6
-5	4	104,8	207,5	208,3	103,5	700,7	7,0
0	4	95,2	190,7	191,3	96,1	638,3	6,4
5	4	86,0	174,3	173,3	89,0	570,5	5,7
10	4	72,8	150,8	151,6	78,8	492,1	4,9
15	4	59,2	127,1	127,8	68,6	407,2	4,1
20	4	40	95,6	96,2	56,2	302,7	3,0
25	4	17,2	0,0	56,9	39,7	164,5	1,6
-10	6	136,0	264,5	265,6	129,6	912,9	9,1
-5	6	127,3	249,4	250,3	123,1	858,5	8,6
0	6	118,4	233,5	234,4	116,0	801,1	8,0
5	6	108,8	216,6	217,6	108,8	740,0	7,4
10	6	98,4	198,6	199,4	101,0	674,4	6,7
15	6	87,2	179,1	179,8	92,6	603,2	6,0
20	6	74,8	157,5	158,0	83,2	524,7	5,2
25	6	60,8	133,0	133,4	72,6	435,8	4,4
-10	8	154	298,7	299,8	145,8	1046	10,5
-5	8	147,2	286,2	287,5	140,3	1001	10,0
0	8	140	273,9	274,9	134,9	956,5	9,6
5	8	132,8	261,1	262,1	129,3	908,1	9,1
10	8	124,8	246,9	246,9	122,1	856,1	8,6
15	8	116,8	232,8	233,8	117,0	803,8	8,0
20	8	106,8	216,2	216,9	110,1	746,7	7,5
25	8	96,8	198,0	198,8	102,0	677,3	6,8

Fall med fel lucka – frånluftsöppning mot vind

För att utnyttja drivkrafterna på ett så gynnsamt sätt som möjligt skall de öppna frånluftsöppningarna vara riktade mot sidor med negativ vindfaktor såsom lässida. Den sugkraft som bildas utnyttjas för att skapa ett undertryck. Om fasta öppningar såsom takfönster används innebär detta att för vissa vindriktningar skall öppningar riktade mot ett håll öppnas och för andra vindriktningar öppningar riktade mot ett annat håll öppnas. Det som bestämmer luftriktningen i öppningen är positiva respektive negativa vindfaktorer. Vindfaktorerna varierar kring en byggnad i både storlek och under/övertryck. Det finns därför även andra riktningar förutom rakt i lä respektive lovart som ger motsvarande positiva eller negativa bidrag från vinden. För enkelhetens skull anges förhållanden med positiva vindfaktorer som lovartsida och negativa som lässida i denna rapport.

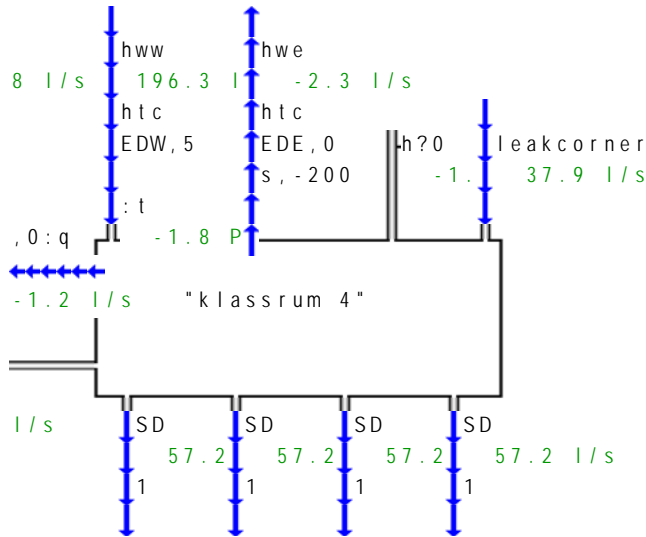
Vilken öppning som skall öppnas kan avgöras på olika sätt. Systemet kan vara automatiskt och vindriktningsgivare kan användas som styrparameter. Andra driftfall kan vara att brukarna skall öppna frånluftsöppningarna.

Vad händer om brukarna öppnar "fel" lucka, dvs de öppnar takluckan som är placerad i lovart? Hur kommer flödenas storlek och riktning att påverkas? Beskrivna kvalitativa förhållanden har studerats kvantitativt med hjälp av beräkningar med PFS.

Vindfaktorn kan anta olika värden, vilket redovisats i tidigare kapitel.

Först illustreras resultaten med ett fall där "fel" frånluftsluckor öppnas i rum 4. Utetemperatur är som för grundfallet 5°C och vindhastigheten 4 m/s.

Luftutsläpp lovartsida, klassrum 4



Figur 3.6 Resultat av beräkning vid "fel" frånluftslucka lucka öppen i klassrum 4, dvs mot lovartsidan; EDW. Vinden antas komma från väster. Pilarna anger luftflödenas riktning. Flödet via respektive komponent redovisas intill respektive komponent. EDW är frånluftslucka mot väster vilken är öppen (position 5), EDE är frånluftslucka mot öster vilken borde varit öppen men är stängd (position 0). Tilluften från tilluftskulverten skall tillföras via fyra kanaler SD till klassrummet.

Takluckorna genom vilka frånluften skall föras bort från klassrummet benämns EDW respektive EDE i figur 3.6. EDW är riktad mot väster och EDE mot öster. Vinden ansätts komma från väster.

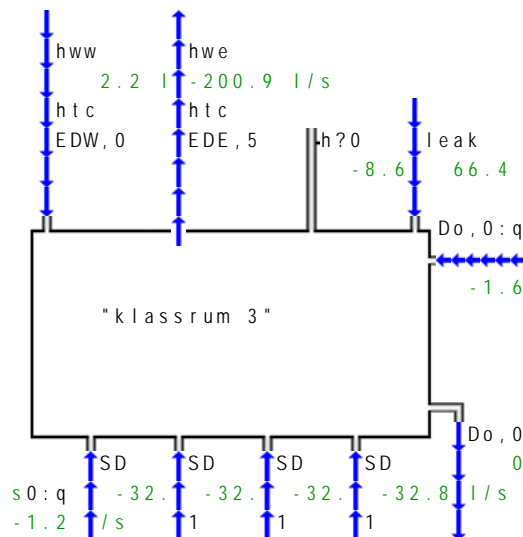
I figur 3.6 kan iaktas att uteluften rör sig in i rummet via den öppna takluckan riktad mot vinden (lovart); EDE. Luftflödet in i rummet är 196,3 l/s. Via otätheter kring den stängda takluckan riktad mot väster passerar 2,3 l/s ut från rummet (lä).

Tilluftskanalerna benämns SD. Det visar sig att när takluckan riktad mot vinden öppnas kommer luftriktningen att vara från rummet ner i tilluftskanalerna till kulverten. Använd rumsluft kommer att tillföras tilluftskulverten i storleksordningen $57,2 \cdot 4$ dvs 229 l/s.

Vad händer i övriga rum när detta inträffar och påverkas dessa? Om "rätt" taklucka öppnas i övriga rum kommer luftflödet att röra sig i avsedd

riktning in och utfrån dessa rum. Luftflöden och riktningar som fås i klassrum 3 vid samma fall redovisas i figur 3.7. 200,9 l/s passerar ut från klassrummet via den västra frånluftsluckan.

Tilluft passerar från kulvert till klassrum som avsett totalt $32,8 \cdot 4 = 131,2$ l/s. Men i kulverten har samtidigt frånluft från klassrum 4 tillförts. Detta innebär att en del av den luft som tillförs klassrum 3 från kulverten består av frånluft från klassrum 4. Använd luft kommer att tillföras andra klassrum. Detta driftfall bör undvikas.



Figur 3.7 Flöden i klassrum 3 då "fel" lucka är öppen i klassrum 4, dvs mot lovartsidan. Pilarna anger luftflödenas riktning. EDW är frånluftöppning mot väster (lovart) vilken är stängd, EDE frånluftöppning mot öster (lä) vilken är öppen. Tilluften från tilluftskulverten tillförs via fyra kanaler SD.

Ett antal fall med varierande temperatur och vind har beräknats med PFS. Tilluftsflödena från kulvert till klassrum 4 redovisas i diagram 3.4.

I diagram 3.4 ses att då fel lucka öppnas blir luftflödet negativt i tilluftskanalen oavsett vindhastighet förutom då utetemperaturen är -10°C vid 2 m/s. Detta innebär att luften vänder riktning och att frånluft tillförs kulverten. Ju högre vindhastighet desto större blir denna effekt.

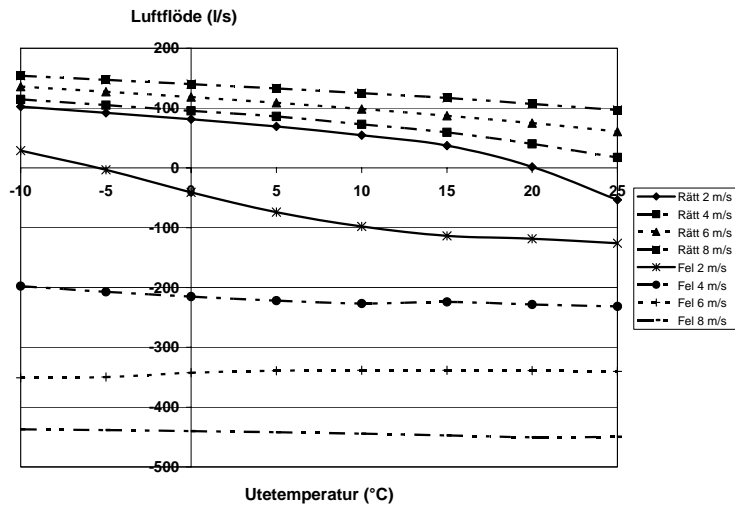


Diagram 3.4. Tilluftsflöde via kulvert till klassrum 4 då fel lucka öppnas (mot lovartsida). Luftflödena för fallet då rätt lucka öppnas (mot lässida) redovisas också. Vindfaktorn är +0,6 på lovartsidan och -0,4 på lässidan.

Fall när alla frånluftsluckor är stängda i alla rum

Hur påverkas flödena vid fallet då inga frånluftsluckor är öppna i rummen? Frånluft kan då endast föras bort via frånluftskanaler på toaletter och i några allrum.

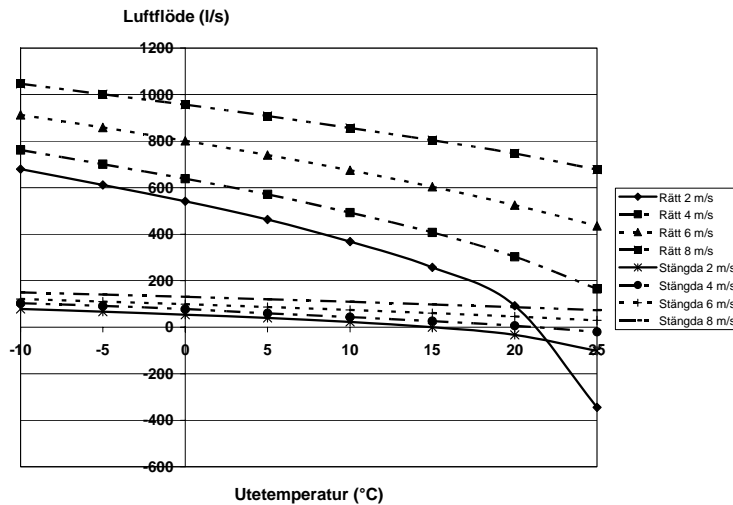


Diagram 3.5 Luftflöde från tilluftskulvert till byggnadens självdragsdel för fallen frånluftsluckor öppna mot läsidan (rätt) respektive samtliga frånluftsluckor stängda.

I diagram 3.5 ses att då frånluftsluckorna är stängda understiger tilluftsflödet via kulverten 200 l/s för samtliga vindhastigheter och utetemperaturer. Detta kan jämföras med Boverkets flöde på 5 l/s person vilket med 100 personer i byggnaden ger 500 l/s.

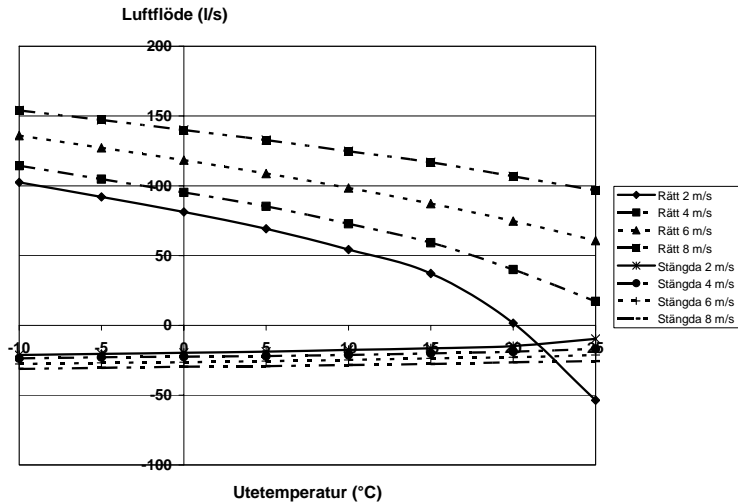


Diagram 3.6 Luftflöde från tilluftskulvert till klassrum 4 för fallen frånluftsluckor öppna mot läsidan respektive samtliga frånluftsluckor stängda.

Då samtliga frånluftsluckor är stängda i klassrummet blir tilluftsflödet från kulverten negativt för samtliga utetemperaturer och vindhastigheter. Detta innebär att luft från rummet tillförs kulverten.

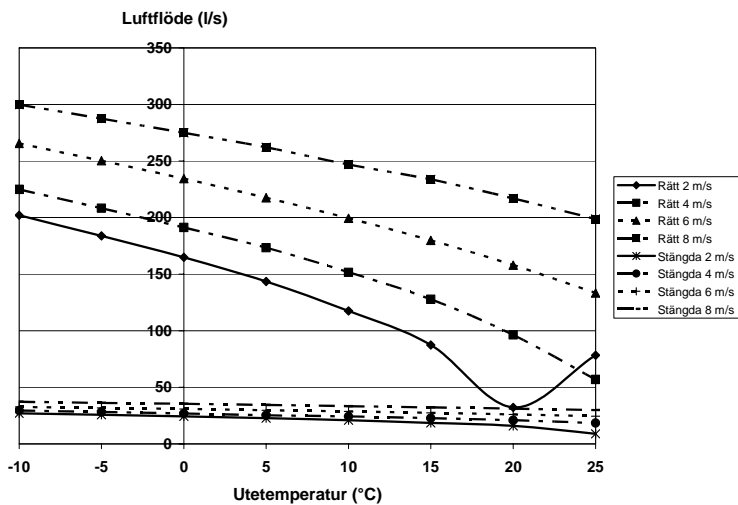


Diagram 3.7 Totalt till/frånluftflöde till klassrum 4 för fallen frånluftsluckor öppna mot läsidan respektive samtliga frånluftsluckor stängda.

Det totala tilluftsflödet till klassrum 4 då samtliga frånluftsluckor är stängda understiger 50 l/s för alla studerade fall av uteklimat. Om 25 per-

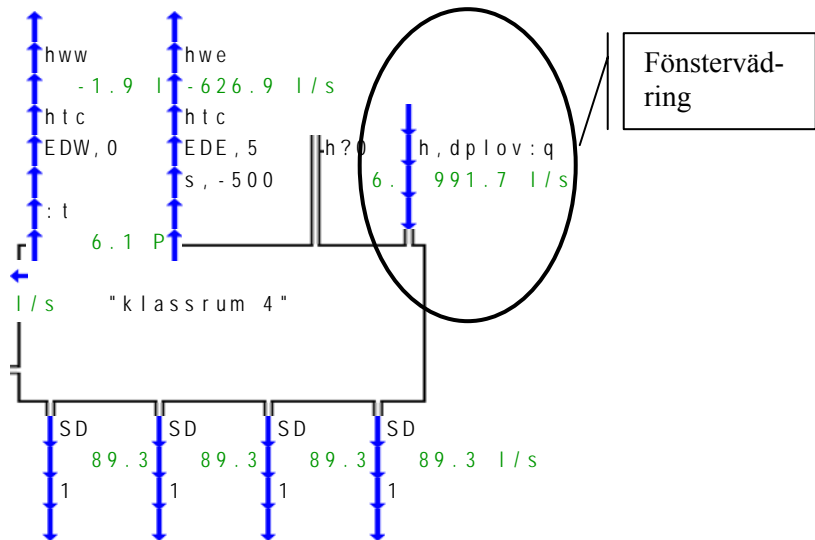
soner vistas i klassrummet blir flödet ca 1 l/s person. Tilluften består endast av den luft som passerar in i rummet via läckage.

Fall med fönstervädning

Hur påverkas luftflödena när fönstren öppnas? Detta illustreras först för fall då fönster är öppet på vindsidan dvs lovart sidan.

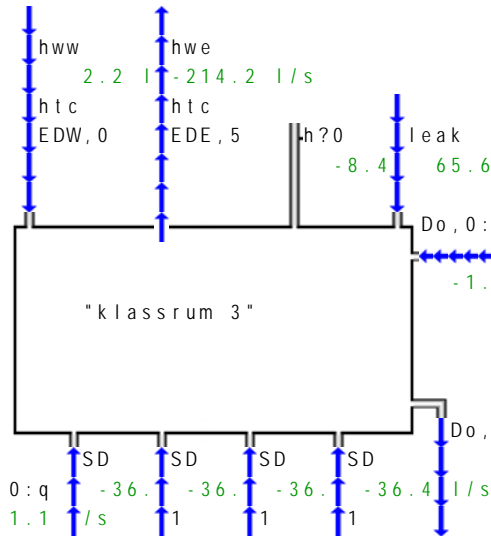
Fönster öppet på vindsida

När vinden ligger på på den fasad där fönstret öppnas fås ett positivt vindtryck. Uteluften passerar in via fönsteröppningen. Ett fall med vindhastigheten 4 m/s och +5°C illustreras i figur 3.8. Frånluftsflödet vid den öppnade frånluftsluckan EDE ökar jämfört med grundfallet då fönstren är stängda. Luften i klassrummet passerar från klassrummet ner i kulverten via tilluftsdonen, dvs luften vänder riktning. Tilluft till klassrummet utgörs endast av den uteluft som passerar in via fönsteröppningen. Dessa luftflödesriktningar erhålles för samtliga studerade utetemperaturer (-10 °C - +25 °C) och vindhastigheter (2, 4, 6, 8 m/s). Flödesmängderna ökar vid ökande vindhastighet och minskar vid ökande utetemperatur.



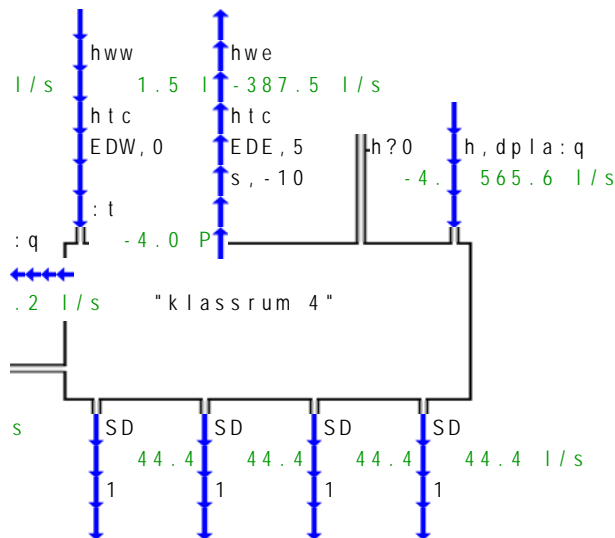
Figur 3.8 Flöde då fönster är öppet mot lovartsida i klassrum 4. Fönsteröppning betecknas dplov. Utetemperatur +5 °C, vindhastighet 4 m/s, Cp+0,6.

Samma luftflödesmönster uppstår som vid fall med frånluftslucka öppen i fel riktning. I övriga klassrum där fönstren är stängda passerar tilluft in via kulverten och en del av denna luft utgörs av luft från klassrum med öppet fönster vilket åskådliggörs i figur 3.9.



Figur 3.9 Flöden i klassrum 3 då fönster är öppet mot lovartsida i klassrum 4. Utetemperatur $+5^\circ\text{C}$, vindhastighet 4 m/s , $C_p+0,6$.

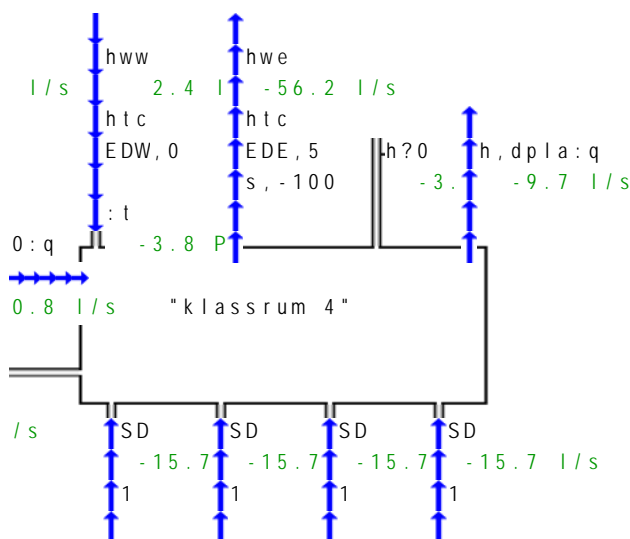
Fönster öppet på lärsida



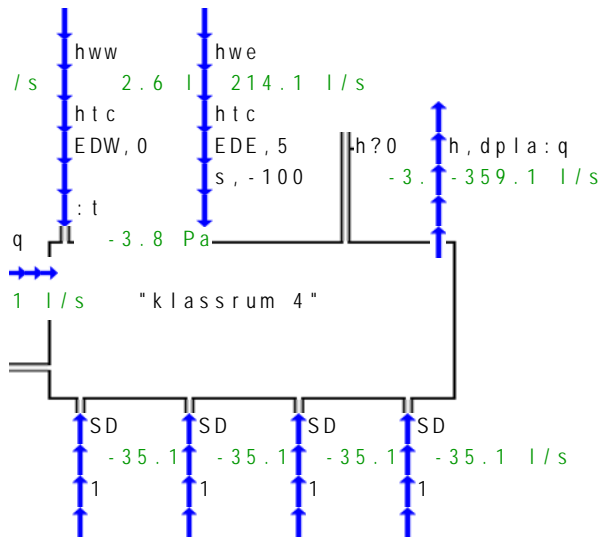
Figur 3.10 Flöden då fönster är öppet i klassrum 4. Fönsteröppning betecknas $dpla$. Utetemperatur $+5^\circ\text{C}$, vindhastighet 4 m/s , C_p vid fönster $-0,4$.

Vid låga utetemperaturer passerar luften in via fönsteröppningen. Luften i klassrummet passerar ner i kulverten via tilluftsdonen och ut via den öppna frånluftsluckan vilket ses i figur 3.10.

Vid högre utetemperaturer tillförs tilluften från kulverten via tilluftsdonen till klassrummet. Uteluften passerar ut via fönsteröppningen och ut via den öppna frånluftsluckan se figur 3.11. Vid ännu högre utetemperaturer (+25°C) vänder luften riktning i frånluftsluckan och uteluft kommer in i rummet via frånluftsluckan. Detta ses i figur 3.12.



Figur 3.11 Flöden då fönster är öppet i klassrum 4. Fönsteröppning betecknas dpla. Utetemperatur +20 °C, vindhastighet 4 m/s, Cp vid fönster -0,4.



Figur 3.12 Flöden då fönster är öppet i klassrum 4. Fönsteröppning betecknas dpla. Utetemperatur +25 °C, vindhastighet 4 m/s Cp vid fönster -0,4.

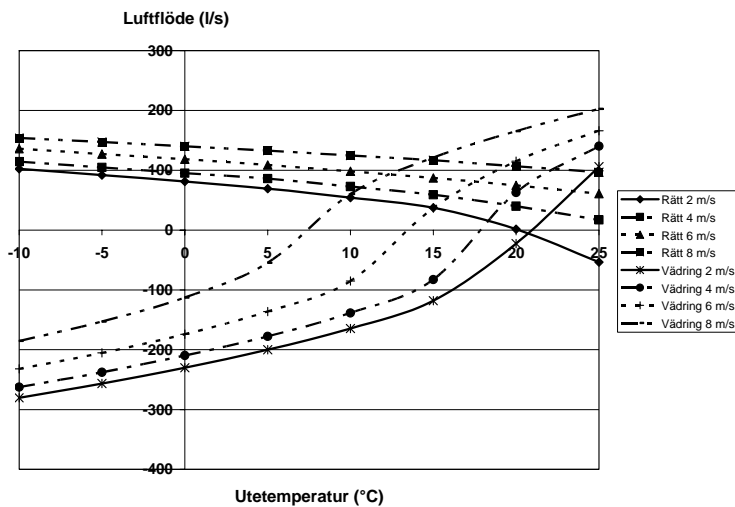


Diagram 3.8 Tilluftsflöden från kulvert till klassrum 4 då fönster är öppet på läsidan i klassrum 4 samt grundfallets flöde vilka betecknas "rätt x m/s". Cp vid fönster -0,4.

I diagram 3.8 ses att vid låga temperaturer går luften baklänges i tilluftskanalen ner till tilluftskulverten från klassrum 4. Ju lägre

vindhastigheten är desto varmare måste det vara ute för att luften inte skall gå baklänges.

Tabell 3.5 Luftflöden i klassrum 4 vid vädring på läsida i klassrum 4.

Temp °C	Vind m/s	Tilluft från kulvert till klassrum 4 l/s	Luftflöde via fönster- öppning l/s	Frånluftslucka l/s
-10	2	-280,4	831,9	545,2
-5	2	-256,4	760,4	498,2
0	2	-230	681,4	446,3
5	2	-200	591,9	387,5
10	2	-164,4	486,8	318,1
15	2	-118	347,5	228,4
20	2	-22,4	77,4	56,2
25	2	106	-323,6	-214,1
-10	4	-262,4	812,1	545,2
-5	4	-237,6	738,5	498,2
0	4	-209,6	657,5	446,3
5	4	-177,6	585,6	387,5
10	4	-138,4	456,8	318,1
15	4	-82,8	309,6	228,4
20	4	62,8	-9,7	56,2
25	4	140,4	-359,1	-214,1
-10	6	-232	777	545,2
-5	6	-205,2	702,4	498,2
0	6	-174	618,7	446,3
5	6	-136	521,6	387,5
10	6	-85,2	400,4	318,1
15	6	36,8	188,1	228,4
20	6	115,2	-64,3	56,2
25	6	166	-386,3	-214,1
-10	8	-185,2	727,4	545,2
-5	8	-152,8	647,7	498,2
0	8	-112,8	556,3	446,3
5	8	-54,8	438,2	387,5
10	8	60,4	252,9	318,1
15	8	121,2	101,9	228,4
20	8	165,2	-116,1	56,2
25	8	202,4	-424,4	-214,1

Uteluft som passerar in i klassrummet via fönstret anges positivt och inneluft som passerar ut via fönsteröppningen anges negativt i tabell 3.5.

Fall med C_p 0,8 lovert och $-0,2$ läsidan

Ett fall med vindfaktorerna $C_p=+0,8$ på lovertsidan och $-0,2$ på läsidan har studerats. I diagram 3.9 ses bl a att vid 20°C och vindhastigheten 2 m/s blir tilluftsflödet via kulverten nära 0 l/s (1,6 l/s). Flödena är lika grundfallet med vindfaktorerna $+0,6$ samt $-0,4$ som ses i diagram 3.10, 3.12 och 3.14.

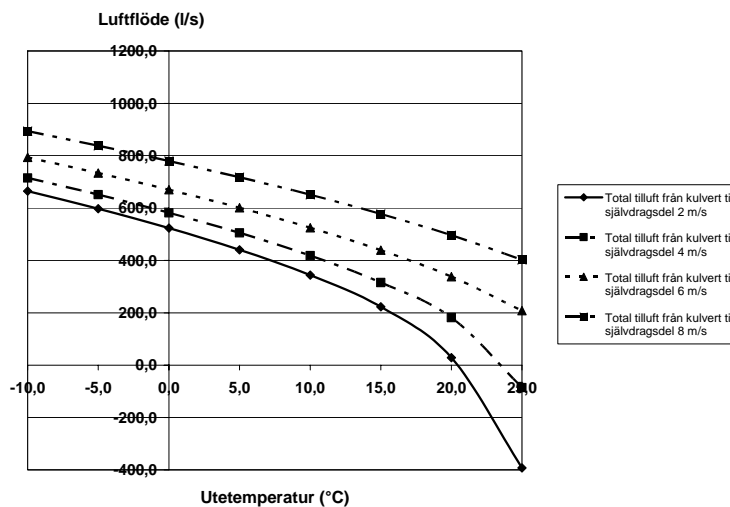


Diagram 3.9 Beräknat luftflöde som tillförs från tilluftskulvert till byggnadens självdragsdel, $C_p=+0,8$ respektive $-0,2$.

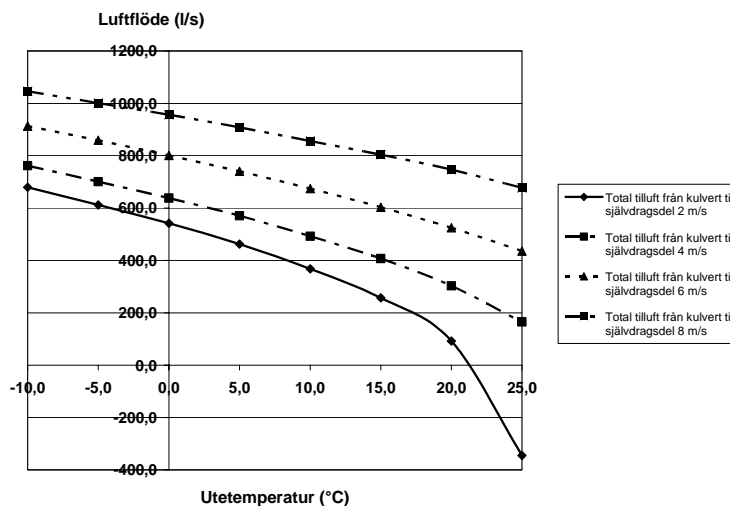


Diagram 3.10 Beräknat luftflöde som tillförs från tilluftskulvert till byggnadens självdragsdel, $C_p=+0,6$ respektive $-0,4$.

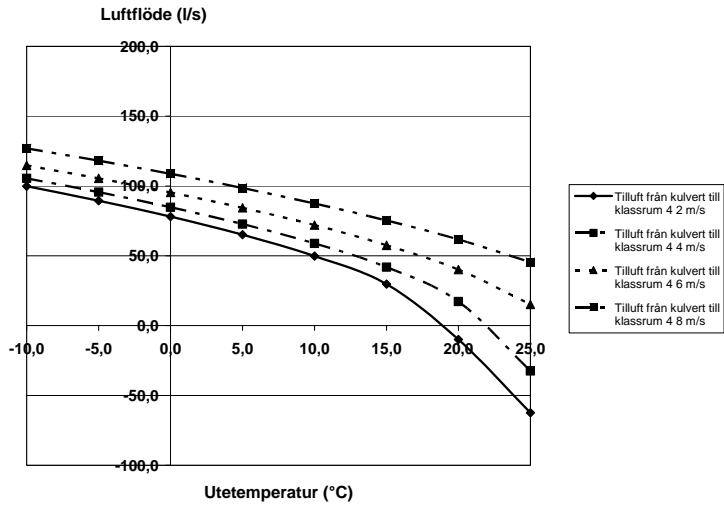


Diagram 3.11 Beräknat luftflöde som tillförs från tilluftskulvert till klassrum 4, $C_p=+0,8$ respektive $-0,2$.

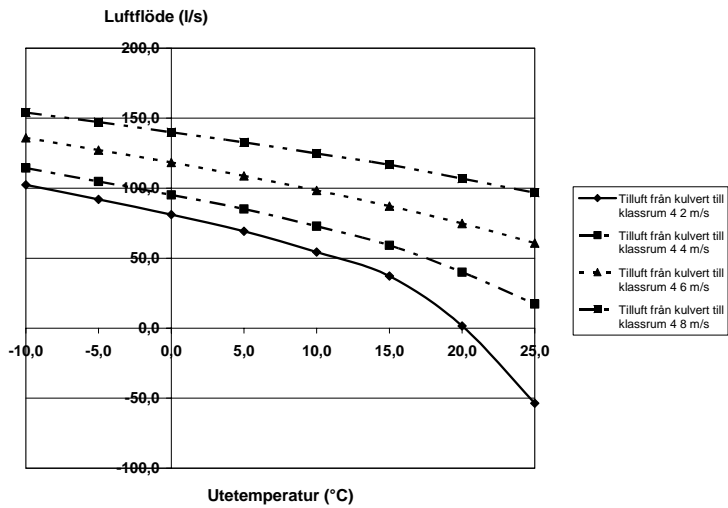


Diagram 3.12 Beräknat luftflöde som tillförs från tilluftskulvert till klassrum 4, $C_p=+0,6$ respektive $-0,4$.

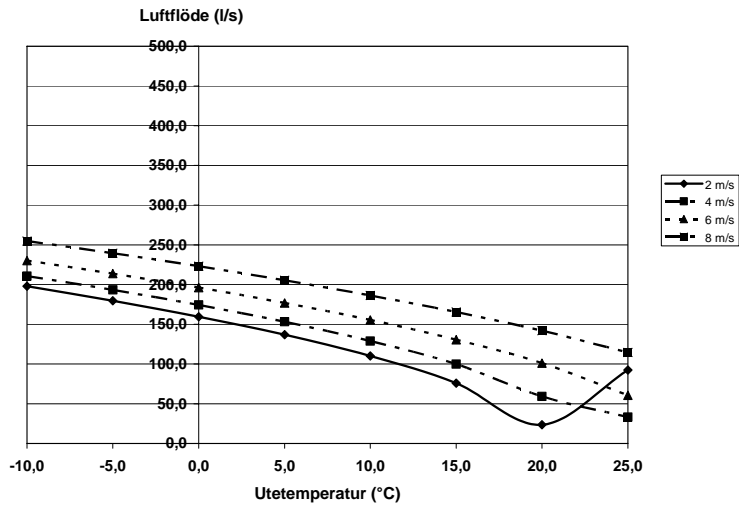


Diagram 3.13 Beräknat tilluftsflöde respektive frånluftsflöde som tillförs till/från ett klassrum, $C_p=+0,8$ respektive $-0,2$.

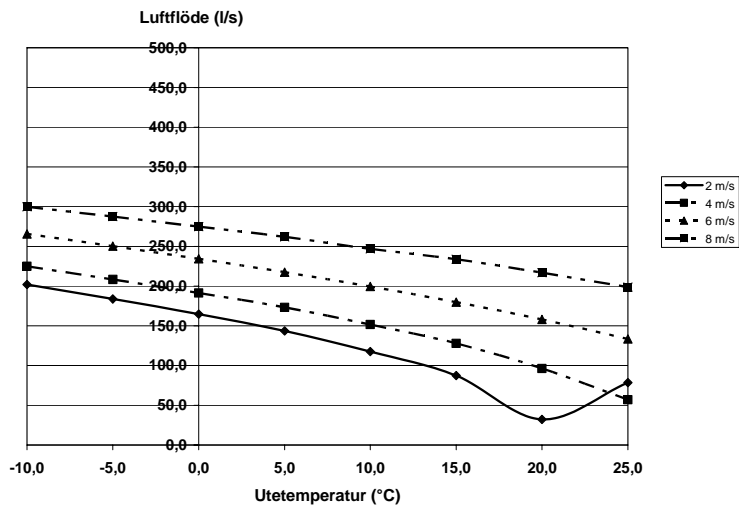


Diagram 3.14 Beräknat tilluftsflöde respektive frånluftsflöde som tillförs till/från ett klassrum, $C_p=+0,6$ respektive $-0,4$.

Med fläkt

Effekten av en fläkt har undersökts genom att beräkna flödena i systemet då en axialfläkt är placerad i kulverten. Flödena som erhålls då axialfläkten är i drift har studerats vid fläktens fyra olika kurvor. I den studerade befintliga skolan startas fläkten vid utetemperatur $>10^{\circ}\text{C}$ och når sitt maxläge vid 25°C . Vid utetemperaturen 10°C antas min-kurvan användas, i programmet beskrivet med elementet "SU11", vid 15°C kurva "SU8", vid 20°C kurva "SU5" och vid 25°C kurva "SU2". Det är även intressant att undersöka effekten vid lägre utetemperaturer. Beräkningar har därför även genomförts vid utetemperaturerna -10°C , -5°C , 0°C och 5°C . Den lägsta fläktkurvan har använts vid dessa temperaturer. De tilluftsflöden som tillförs självdragsdelen via tilluftskulverten redovisas i diagram 3.15. Vindhastigheten antas till 2 m/s i samtliga fall. Vindfaktorn antas över öppning mot lovart till $+0,6$ och $-0,4$ mot läsidan.

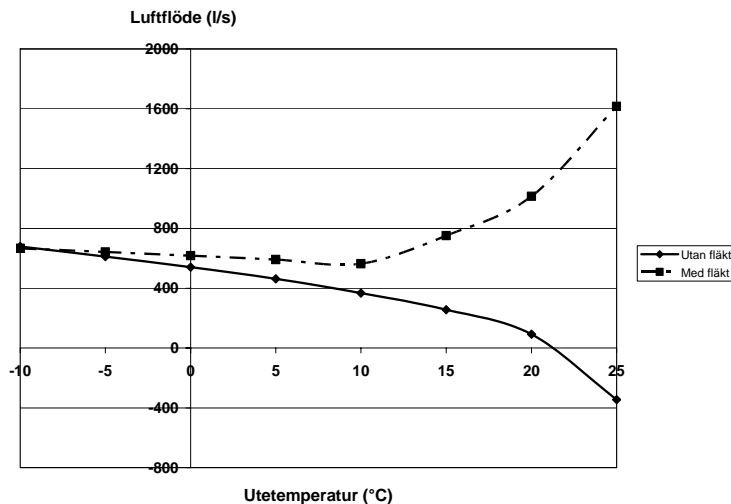


Diagram 3.15 Tilluftsflöde från kulverten till byggnadens självdragsdel med respektive utan fläkt. Vindhastighet 2 m/s .

I diagram 3.15 kan bl a iakttas att fläktens bidrag för gällande förhållanden är relativt litet för temperaturer lägre än 0°C .

Behovet av fläkt är beroende av vilka flöden som skall uppnås. Vid temperaturer överstigande $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$ får fläkten en avgörande betydelse för flödet. En möjlig rekommendation kan vara att fläkten bör vara i drift vid temperaturer överstigande dessa.

Vid temperaturer överstigande 20°C är flödena mycket låga och vänder till och med riktning då fläkten inte är i drift. Vid dessa fall är det väsentligt att fläkten är i drift för att säkerställa en tillfredsställande funktion.

Det kan nämnas att Boverket angav ett dimensionerande flöde på 5 l/s vid +5°C för den befintliga skolan som modelleras. Om 100 personer vistas i byggnaden innebär detta ett totalt flöde på 500 l/s. Enligt diagram 3.15 understiger flödet något detta krav vid +5°C då fläkten inte är i drift vid vindhastigheten 2 m/s. Flödet är 463 l/s då vindhastigheten är 2 m/s. Vid 4 m/s blir flödet 570 l/s och överstiger 500 l/s.

Flödet fick långvarigt understiga 3,75 l/s och kortvarigt 2,5 l/s person vilket motsvarar ett totalt flöde på 375 l/s samt 250 l/s. Vid +15°C och 2 m/s är flödet 257 l/s vilket tangerar den kortvariga flödesnivån 250 l/s.

I skolor rekommenderas generellt 7 l/s person + 0,35 l/s m² golvyta (AFS 2000:42). Golvytan är ca 660 m² och om 100 personer antas innebär detta ett flöde på 700 + 230 l/s. Totalt blir detta 930 l/s. Material med låga emissioner eftersträvas i denna typ av byggnad. Om flödet för byggnaden och emissioner (230 l/s) försummas blir det totala flödet 700 l/s. För att detta skall uppnås krävs att fläkten är i drift vid alla utetemperaturer. Den lägsta flätkurvan räcker inte riktigt till utan en högre flätkurva får användas för låga temperaturer.

Effekten av stängda frånluftsluckor har även studerats vilket redovisas i diagram 3.16.

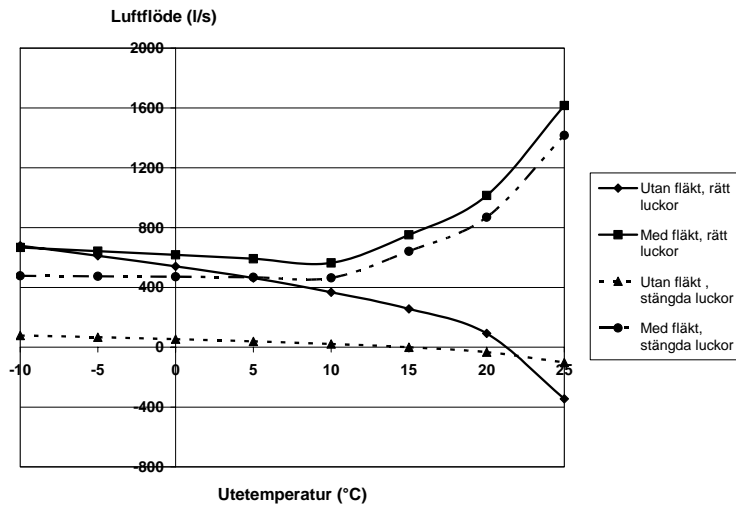


Diagram 3.16 Tilluftsflöden från kulverten vid rätt frånluftslucka öppen respektive alla frånluftsluckor stängda samt med och utan fläkt i drift.

Utan fläkt i drift

Tilluftsflödet är högst vid låga temperaturer och minskar för att ändra riktning vid höga utetemperaturer. Då rätt frånluftsluckor är öppna varierar flödet mellan 679 l/s vid -10°C till -345 l/s vid $+25^{\circ}\text{C}$. Då frånluftsluckorna i klassrummen är stängda ses i diagram 3.16 att tilluftsflödet via kulvert reduceras till mindre än 100 l/s för samtliga utetemperaturer.

Med fläkt i drift

Tilluftsflödet från kulverten ökar för ökande utetemperaturer. Flödet varierar mellan från som lägst 666 l/s till 1616 l/s då frånluftsluckorna är öppna. Då alla frånluftsluckorna är stängda varierar flödet mellan 477-1417 l/s.

Validering – jämförelse med uppmätta flöden

Indata i beräkningarna har hämtas från en befintlig byggnad. Flöden erhållna från beräkningen samt uppmätta flöden i den befintliga byggnaden redovisas i tabell 3.6 och diagram 3.17.

Tabell 3.6 Uppmätta och beräknade tilluftsflöden till byggnadens självdragsdel från tilluftskulverten.

Utetemperatur	-5°C	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C
Fläktkurva	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Fläktkurva 1	Fläktkurva 2	Fläktkurva 3	Fläktkurva 4
Uppmätt flöde min/max (l/s)	200/400	200/400	25/600	300/700	600/900	900/1200	1400/1600
Beräknat flöde stängda/öppna luckor (l/s)	67/612	54/541	40/463	464/564	642/751	869/1014	1417/1616

De uppmätta flödena varierar och ett uppskattat medelvärde redovisas i diagram 3.17. I den studerade befintliga skolan startas fläkten vid utetemperatur $>10^{\circ}\text{C}$ och når sitt maxläge vid 25°C . Om modellen överensstämmer med den verkliga byggnaden skall det uppmätta flödet följa kurvan utan fläkt för temperaturer $<+10^{\circ}\text{C}$ och kurvan med fläkt för $>+10^{\circ}\text{C}$. Samtliga förhållanden är inte kända för de uppmätta flödena exempelvis är samtliga frånluftsluckors läge är inte känt. Därför redovisas två beräknade kurvor, en kurva för fallet då alla frånluftsluckor mot läsidan är öppna (rätt lucka) och en kurva för fallet då alla luckor är stängda. Verkliga flöden kan antas falla inom dessa två ytterlighetsfall.

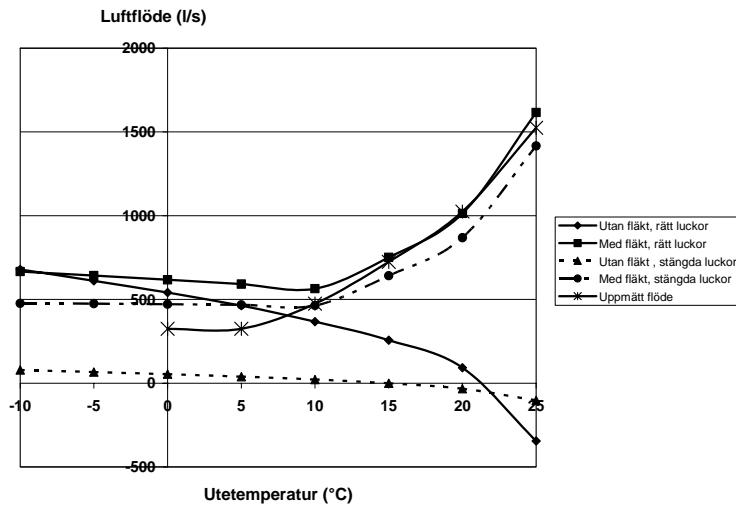


Diagram 3.17 Beräknat tilluftsflöde med datorprogram samt uppmätt flöde i uppförd byggnad.

I diagram 3.17 kan iaktas att modellen överensstämmer väl för temperaturer över ca 10°C dvs för fall med fläkt i drift. Luckornas läge har inte så stor betydelse då fläkten är i drift enligt beräkningarna. För låga utetemperaturer (utan fläkt i drift) synes de uppmätta flödena ligga mellan fallen med stängda luckor respektive öppna. Detta skulle tyda på att i byggnaden där flödena uppmäts har luckornas läge varierat, stängda för vissa fall och öppna för vissa fall.

Sammanfattning av resultat

Vid grundfallet då ”rätt” frånluftslucka är öppen, dvs då den är riktad från vinden vilket ger ett undertryck vid öppningen erhålls via tilluftskulverten det dimensionerande flödet 500 l/s enligt Boverket, förutsatt att 100 personer antas vistas i byggnaden.

Då ”fel” frånluftslucka är öppen, dvs då den är riktad mot vinden kommer luften att vända riktning. Uteluften passerar in via frånluftöppningen. Frånluft från klassrummet trycks ner i tilluftskanalerna och tilluftskulverten tillförs frånluft. Ju högre vindhastigheten är desto större blir denna negativa effekt.

Då samtliga frånluftsluckor är stängda i rummen minskar både tilluftsflöden via kulvert och frånluftflöden kraftigt. Tilluftsflödet till byggnaden från kulverten understiger 200 l/s för samtliga beräkningsfall.

Vid vädring mot lovartsida kommer uteluft in i klassrummet via fönsteröppningen och luften i klassrummet passerar ner i kulverten via tilluftsdonen.

Vid vädring mot läsida uppstår olika fall beroende på utetemperatur. Vid låga utetemperaturer passerar luften passerar in via fönsteröppningen. Luften i klassrummet passerar ner i kulverten via tilluftsdonen och ut via den öppna frånluftsluckan. Vid högre utetemperaturer tillförs tilluften från kulverten via tilluftsdonen till klassrummet. Uteluften passerar ut via fönsteröppningen och ut via den öppna frånluftsluckan. Vid ännu högre utetemperaturer (+25°C) vänder luften riktning i frånluftsluckan och uteluft kommer in i rummet via frånluftsluckan.

Då en hjälpfläkt är i drift i kulverten erhålls högre flöden än utan. Vid temperaturer överstigande 10-15°C får fläkten en avgörande betydelse för flödet. Luckornas läge har inte så stor betydelse för flödet då fläkten är i drift enligt beräkningarna.

Uppmätta flöden i en befintlig kulvert och beräknade flöden är av samma storleksordning.

Vid högre vindfaktor på lovartsida och lägre på läsidan erhålls något lägre flöden.

Slutsatser

De slutsatser som kan dras är att

Då systemet och alla luckor är öppna som avsett erhålls avsedda luftflöden både med avseende på storlek och riktning.

Då samtliga frånluftsluckor är stängda understiger flödena kraftigt de av Boverket angivna dimensionerande flödena. Stängda frånluftsluckor reducerar tilluftsflödet från kulverten avsevärt jämfört med då luckorna är öppna. Den enda skillnaden mellan de studerade fallen är frånluftsluckornas position öppet/stängt. Resultaten tyder därför på att frånluftsluckornas position har stor betydelse för tilluftsflödets storlek. Resultaten tyder på att ett driftfall med stängda frånluftsluckor (och fönster) bör undvikas om tilluftsflödet via kulverten, vilket är den enda tillförselvägen för detta driftfall skall vara av icke försumbar omfattning.

Då frånluftsluckor riktade mot vinden öppnas förs rumsluft ner i tilluftskulverten. Detta innebär att den använda luften som skulle förts bort som frånluft kan tillföras andra klassrum. Detta sker till klassrum där frånluftsluckor är öppnade i rätt riktning (läsida). Detta driftfall bör undvikas. Systemet bör följaktligen utformas och styras så att frånluftöppningar riktade mot vinden eller rättare sagt i riktningar med en positiv vindfaktor inte öppnas.

Ett driftsätt att säkerställa detta är om öppningen av frånluftsluckorna sker automatiskt. Om målsättningen är att brukarna skall ansvara för öppningen av frånluftsluckorna, bör man vara mycket noga med att brukarna verkligen förstår vilka luckor som skall öppnas och när, samt att de vill utföra detta och att de verkligen kommer att göra det.

Då vädring sker via fönster riktade mot vinden utgörs all tilluft i klassrum av den uteluft som kommer in direkt via fönsteröppningen. Använd luft tillförs även tilluftskulvert även för detta driftfall. Om vädring sker på läsidan uppstår samma förhållanden som för vindsidan vid låga utetemperaturer.

Om man vill att tilluft skall tillföras från kulverten och inte gå baklänges, vilket orsakar av använd luft tillförs andra klassrum, bör vädring alltså ske via höga utetemperaturer och då fönstret är placerat på läsidan i förhållande till vinden.

Då en fläkt är i drift i kulverten reduceras tilluftsflödet förhållandevis mindre då frånluftsluckorna hålls stängda jämfört med när de är öppna. Detta är naturligt genom att fläkten i kulverten hjälper till att föra in tilluft i byggnaden trots att den naturliga drivkraften minskas då frånluften inte kan passera ut via de takplacerade luckorna. Slutsatsen dras att en fläkt i drift reducerar den negativa påverkan som uppstår då frånluftsluckorna är stängda.

Resultaten tyder på att för de studerade förhållandena bör en hjälpfläkt vara i drift vid höga utetemperaturer för att erhålla tillfredsställande luftflöden och för säkerställa rätt luftriktning från kulverten. Brytpunkten för när fläkten skall sättas i drift beror på vilka flödeskrav som ansätts. Utifrån de givna förutsättningarna kan ett riktvärde för när en fläkt bör vara i drift vara vid utetemperaturer överstigande 5-10 °C.

Vindfaktorer varierar och är i de flesta fall inte kända för befintliga byggnader. Effekten av en något högre vindfaktor på lovartsidan och en något lägre på läsidan i förhållande till grundfallet visar på en reducering av flödena, skillnaden är dock inte avsevärd. Detta tyder på att om vindfaktorer antas inom rimliga intervall påverkas flödena inte signifikant och flöden erhålls av sannolik storleksordning.

Det bör även observeras att det som för enkelhetens skull benämns läsidan här innebär korrekt uttryckt sida med negativ vindfaktor. Högre negativa vindfaktorer kan förekomma på sidor vinkelrät vind/lovartsidan än på den regelrätta läsidan. Öppnande av frånluftsluckor mot dessa riktningar kan därför ge större luftflöden än för läsidan. De driftsfall som leder till att luft går baklänges är då öppning i klassrummet sker mot vind/lovartsidan. Detta gäller både frånluftsluckor och vädring med fönster i fasad. Eftersom dessa driftsfall bör undvikas kan en generell regel vara att framförallt säkerställa att luckor/fönster riktade mot vinden inte öppnas. Luckor riktade mot alla övriga riktningar kan öppnas.

Validering med uppmätta flöden

De uppmätta flödena är av samma storleksordning som de beräknade flödena vilket tyder på att modellen ger rimliga resultat.

Diskussion

En beräkningsmodell har använts i studien vilket innebär att framför allt kvalitativa resultat erhålls. De kvantitativa resultat som erhållits överensstämmer vid jämförelse relativt väl med värden uppmätta i en

befintlig byggnad. Överrensstämningen gäller framförallt för höga utetemperaturer. Modellen överskattar flödena vid låga utetemperaturer. Detta innebär att de resultat som erhålls från modellen är rimliga och storleksordningen som fås på flödena kan förväntas i verkliga byggnader. Enskilda siffror som erhålls som resultat bör dock inte användas vid generella analyser.

Skillnader i förutsättningar mellan uppmätta och beräknade flöden är bl a att i modellen antas att vindriktningen skapar en gynnsam negativ och konstant vindfaktor för frånluftsluckorna. De uppmätta flödena innefattar naturligtvis vind från alla riktningar för vilka vindfaktorns värde kommer att variera. I modellen antas en konstant vindhastighet på 2 m/s vid jämförelsen. Vindhastigheten har varierat för de uppmätta flödena. Dessa skillnader innebär att en komplett jämförelse är svår att göra. Luckornas läge är ej heller kända. Vid jämförelse mellan beräkningar och mätningar erhålles emellertid flöden av samma storleksordning. Modellen kan därför bedömas ge en rimlig återgivning av verkliga förhållanden, framförallt för fall överstigande 10°C och fläkt i drift.

En osäkerhet i modellen är värdena för vindfaktorer. Dessa är inte kända för den specifika byggnaden och utformningen. Flödena som erhålls med modellen kan därför skilja sig något från flöden i en verklig byggnad. Modellens tillförlitlighet stöds emellertid av den goda överensstämningen med de uppmätta flödena. Modellen kan därför användas då storleksordningar av flöden är av intresse. Modellen kan användas under designfasen och betydelsen av olika utformningar kan studeras. Den kan även användas som ett verktyg för projektören för att identifiera lämpliga driftsfall samt driftsfall som bör undvikas.

Resultaten visar att systemet är känsligt. Vid ogynnsamma förhållanden kan luftflödena ändra riktning och gå baklänges. Det är bl a inte tillfredsställande att frånluft passerar genom tilluftskulverten och tillförs andra rum.

Systemet är så känsligt pga av att tryckfallet över komponenterna som exempelvis en taklucka är mycket lågt i förhållande till konventionella frånluftsdon. Eftersom tryckfallet är lågt har luften mindre motstånd och kan lättare ta sig in på lovartsidan samt att vindtrycket blir större än drivtrycket som temperaturskillnaden skapar.

När vinden ligger på på den fasad där fönstervädring sker fås ett positivt vindtryck. Detta förstärker frånluften ut via den öppna frånluftsluckan. Dock är motståndet mindre över fönsteröppningen än över tilluftsdonen vilket leder till att för samtliga fall med fönsteröppning på vindsida

kommer luften i klassrummet att passera ner i kulverten via tilluftsdonen, tilluften vänder alltså riktning och använd luft tillförs andra klassrum.

Endast ett begränsat antal fall har studerats. Andra driftsfall och andra byggnads- och systemutformningar skulle naturligtvis även vara intressanta att undersöka.

Fortsatt forskning

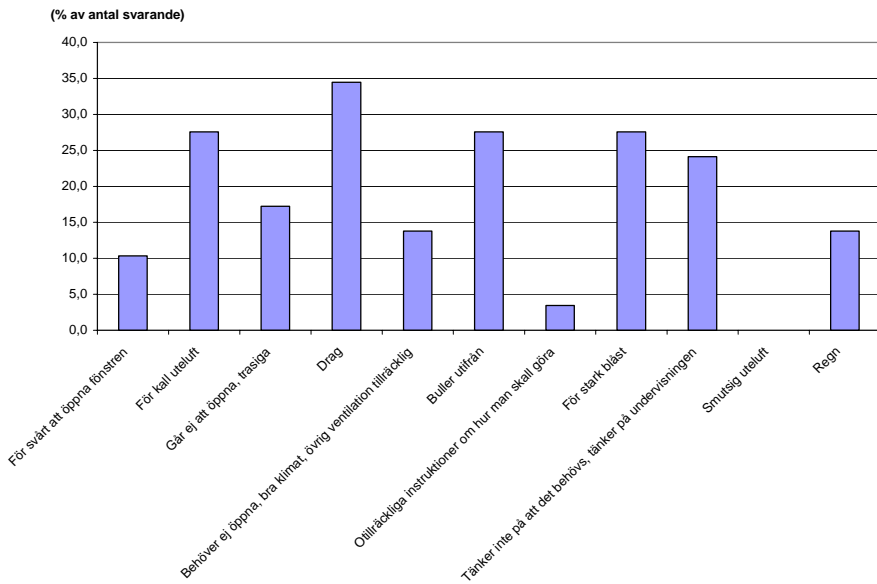
En osäkerhet i indata är även de temperaturer som har antagits. I möjligaste mån har dessa hämtats från mätdata. Data från några av givarna har dock inte kunnat användas eftersom dessa pga av de varierande luftrörelseriktningarna inte återger förhållanden som är representativa för denna beräkningsstudie. Temperaturgradienter har därför antagits. Temperaturantagandena skiljer sig troligen inte avsevärt från de förhållanden som kan förväntas i detta system och lokaler. Resultatet i termer om flöden påverkas sannolikt inte i avsevärd grad. Men detta är inte studerat och en studie av temperaturgradienter i dessa lokaler skulle vara av värde att genomföra vid fortsatta studier. Förutom att ge underlag till noggrannare beräkningsindata skulle kännedom om dessa skulle ha betydelse för flera andra tillämpningar. Om temperaturgradienten och föroreningarnas fördelning i höjdlid i klassrummen var känd skulle större kunskap om luftkvaliteten i vistelsezonen erhållas vilket skulle vara av stor vikt för innemiljön.

4 Betydelsen av frånluftsöppningens utformning för uteluft in via öppningen

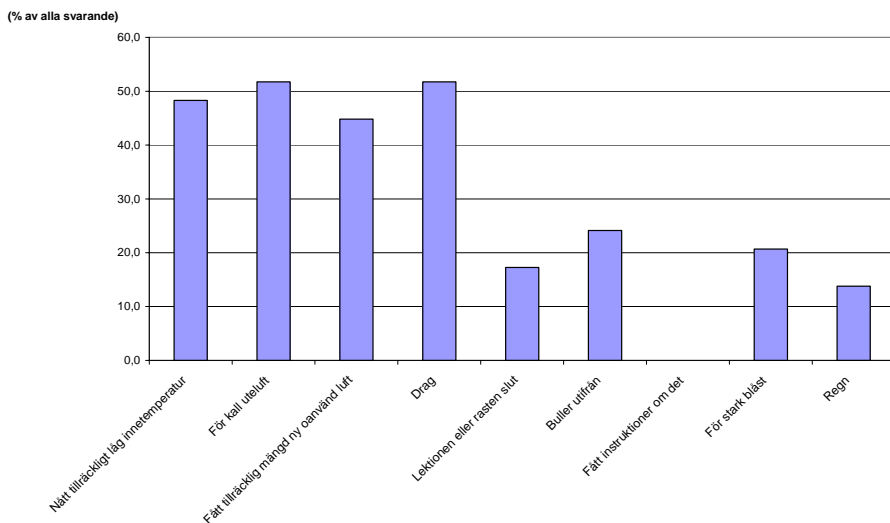
Ett dubbelriktat flöde kan erhållas i en frånluftsöppning om den utgörs av ett fönster. Detta innebär att uteluft passerar in via frånluftsöppningen. Det totala luftflödet in i klassrummet ökar vilket kan vara positivt. Vid låga utetemperaturer kan dock dragupplevelse uppstå när den kalla uteluften rinner ner i lokalen. Risken finns att brukarna stänger frånluftsöppningen när de fryser vilket får till följd att den begagnade luften inte förs bort från lokalen – ingen styrd frånluft erhålles vilket inte är acceptabelt.

Dragupplevelsen har framförts av flera brukare och enkäten som besvarats på skolor med någon form av självdrag visar att drag är den faktor som gjort att flest antal lärare har hindrats av att öppna takfönstren även om de har velat öppna dem. Figur 4.1 visar att 35% uppger att de har undvikit att öppna pga drag vilket åskådliggör att frågeställningen bör beaktas.

På frågan om orsaker till att takfönstren stängs anges två ”negativa” faktorer av något fler lärare än ”positiva” faktorer. Drag och för kall uteluft uppges av 52% vara orsak till att takfönstren stängs. De positiva faktorerna ”nått tillräckligt låg innetemperatur” samt ”fått tillräcklig mängd ny oanvänd luft” vilka kan tyda på att ventilationen upplevs fungera tillfredsställande anges av 48% resp. 45% enligt figur 4.2.



Figur 4.1 Personalens svar på frågan vilka faktorer som har hindrat dem från att öppna takfönstren även om de i vissa fall har velat öppna dem, där flera svarsalternativ kunde anges.



Figur 4.2 Personalens svar på frågan vad som är orsaken till att de stänger takfönstren, vilket kunde anges med flera svarsalternativ.

Det skulle därför vara av värde om det gick att bestämma hur öppningen skall utformas och hur mycket den skall öppnas för att reducera mängden kall uteluft in i lokalen via frånluftsöppningarna.

Den följande studien utgår från målsättningen att hindra att uteluft passerar in via frånluftsöppningen.

Detta innebär att undvika dubbelströmning i frånluftsöppning. En modell som studerar dubbelströmning har därför utvecklats.

Beskrivning av modell för dubbelströmning

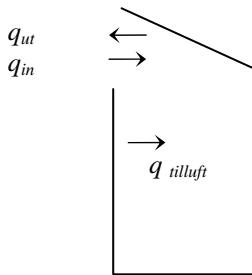
Betydelsen av frånluftsöppningens/fönstrets geometri och storlek för flödet in via öppningen har undersökts. Ett antal geometrier har studerats. Vertikala fönster med pivohängning i nederkant samt sidohängda fönster har studerats. I den befintliga skolbyggnaden som utgör modell i flera av studierna består frånluftsöppningarna i klassrummen av pivohängda fönster i nederkant.

Endast de termiska drivkrafterna studeras och vindens effekt försummas. Vind kan även skapa ett luftflöde in via frånluftsöppningen. Om öppningen är belägen på lovartsidan kan som nämnts i tidigare kapitel vinden pressa in uteluft in i klassrummet via öppningen. Eftersom effekten av detta studeras i andra kapitel beaktas vinden ej här.

Det dubbelriktade luftflödet som kan uppstå genom en öppning bestäms genom temperaturskillnaden mellan ute och inne samt öppningens geometri och storlek samt hela tilluftssystemets egenskaper. I klassrummet tillförs tilluft via tilluftskanaler.

Tilluftsfödet via tilluftsdonen benämns $q_{tilluft}$, frånluftsflödet ut via frånluftsöppningen q_{ut} och utluftsfödet in via frånluftsöppningen q_{in} . Det totala luftflödet in i lokalen blir lika stort som flödet ut från lokalen dvs

$$q_{tilluft} + q_{in} = q_{ut} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4.1)$$



Figur 4.3 Tilluften $q_{tilluft}$ kommer in i rummet via tilluftskanaler och frånluften q_{ut} passerar ut via en frånluftsöppning som i detta fallet utgörs av ett fönster. Eventuell uteluft som passerar in via frånluftsöppningen benämns q_{in} .

När tilluftsflödet $q_{tilluft}$ är tillräckligt stort kommer ett övertryck att skapas i lokalen vilket innebär att uteluften inte kommer att passera in via öppningen, q_{in} blir 0. Detta fall inträffar när $q_{tilluft} = q_{ut}$. Om man vill undvika att uteluft passerar in via öppningen gäller det alltså att finna när detta gränsfall inträffar.

Detta gränsfall inträffar när neutrallagret tangerar underkant av frånluftsöppningen. Fönstrets geometri och storlek har betydelse för neutrallagrets läge och därmed eventuell dubbelströmning.

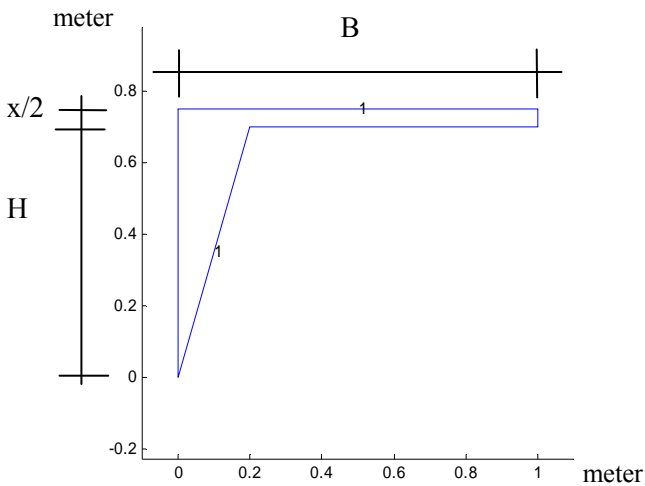
Ju större frånluftsöppningen är desto större blir luftflödet q_{in} in via öppningen. Vid en tillräckligt liten öppning kommer uteluftsflödet att bli 0.

Samtidigt kan bara ett visst tilluftsflöde skapas i byggnaden pga av drivkraften i hela systemet. Detta flöde beräknas i annat kapitel med programmet PFS och benämns därför $q_{tilluft\ PFS}$. Tilluftsflödet $q_{tilluft\ PFS}$ varierar med utetemperaturen. Minimiflödet är större ju kallare det är. Detta tilluftsflöde in i klassrummet måste överstiga det erforderliga minimiflödet $q_{tilluft}$.

Geometri för vertikala fönster

Pivohängt fönster i nederkant

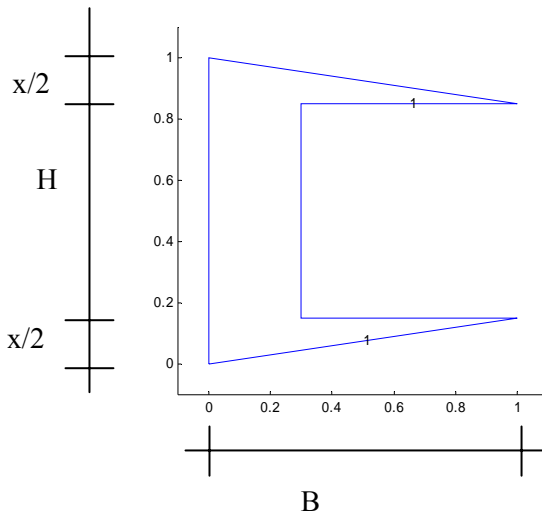
Luften passerar en horisontell tvärsnittsytta i fönstrets ovankant (kan betraktas som fönstrets öppningsspringa) alltså mellan karm och båge. Avståndet mellan karm och båge i öppet läge benämns x . Den horisontella ytan översätts till en vertikal yta för beräkning av drivkraften. Den effektiva arean luften kan passera igenom kan antas bestå av de trianglar som bildas på sidorna samt den vertikala arean motsvarande ytan i fönstrets ovankant mellan karm och båge vid öppet läge. Den vertikala ytans höjd antas vara halva den horisontella dvs $x/2$. Geometrin redovisas i figur 4.4 där fönstrets höjd är H , fönstrets bredd benämns L . De två sido-trianglarna sammanfogas till en stor.



Figur 4.4 Öppningsarean för ett pivohängt fönster som öppnas i ovankant. De två sidoöppningarna slås samman till en, vilken utgörs av en triangel i figuren. Fönstrets bredd är 1 m och höjd 0,7 m.

Sidohängt fönster

Luften kan passera genom en rektangulär öppning samt genom två trianglar i ovan och underkant av fönstret. Exempel på modelleringen i Matlab visas i figur 4.5. Öppningens höjd är H och bredd är B . Det horisontella avståndet mellan karm och båge; öppningsspringan är x . De horisontella triangelarna i ovan och underkant som luften passerar projiceras till två vertikala areor med basen $x/2$.



Figur 4.5 *Sektion över öppningsarean för ett sidohängt fönster. Fönstrets bredd är 1 m och höjd 0,7 m. Öppningsspringan är 0,3 m.*

Beräkningsmetod för dubbelströmning

Beräkningar av flöden via öppningar till ett rum har gjorts med hjälp av ett Matlab program som utformats för denna studie.

Flödet ut via frånluftsöppningen, flödet in via frånluftsöppningen samt neutrallagrets höjd i frånluftsöppningen beräknas som funktion av tilluftsflödet.

Öppningsareans ytterpunkter anges med x och z -koordinater och ytan kan ritas upp i Matlab. Ett exempel redovisas i figur 4.4 för ett pivothängt fönster. Tyngdpunkten i x -led respektive och z -led (höjddled) för ytan beräknas. Öppningsarean A kan beräknas med hjälp av x och z -koordinaterna.

Beräkningsmetoden bygger på att iterativt finna det neutrala lagrets läge som uppfyller flödesbalansen (4.1) för ett givet tilluftsflöde, en given utetemperatur, en given innetemperatur och given fönstergeometri. Neutrallagrets läge bestäms genom intervallhalvering.

Fönsterytans geometri delas upp i ett stort antal horisontella strimlor av olika bredd.

För varje strimla beräknas ytan, dess tryckskillnad och därmed hastigheten. Flödet för varje strimla kan beräknas med hjälp av

hastigheten och ytan. Det totala nettoflödet ut genom frånluftsöppningen kan beräknas som summan av flödet för alla strimlor. Detta flödet balanseras med tilluften som kommer in via tilluftsdonen.

Programmet beräknar sedan q_{ut} ($q_{tilluft}$) och q_{in} ($q_{tilluft}$) där $q_{tilluft}$ varierar mellan 0 upptill q_{max} normaliserat till 1.

Då tilluftsflödet är noll kommer allt luft att passera in respektive ut till rummet genom frånluftsöppningen och $q_{in}=q_{ut}$.

För det andra gränsfallet då $q_{tilluft}=q_{max}$ passerar all luft in i rummet via tilluftsöppningen och all luft passerar ut via frånluftsöppningen. Ingen uteluft passerar in via frånluftsöppningen dvs $q_{in}=0$ och $q_{tilluft}=q_{ut}$.

Denna iterativ beräkningsmetod måste tillämpas eftersom neutrallagret inte kan beräknas analytiskt för ett givet tilluftsflöde. Ett fall med ett känt tilluftsflöde som inte resulterar i dubbelströmning kan däremot beräknas genom att neutrallagret ligger i frånluftsöppningens underkant.

Resultat

I de följande två diagrammen visas de tre flödena $q_{tilluft}$, q_{in} , q_{ut} samt neutral lagrets läge som funktion av $q_{tilluft}$.

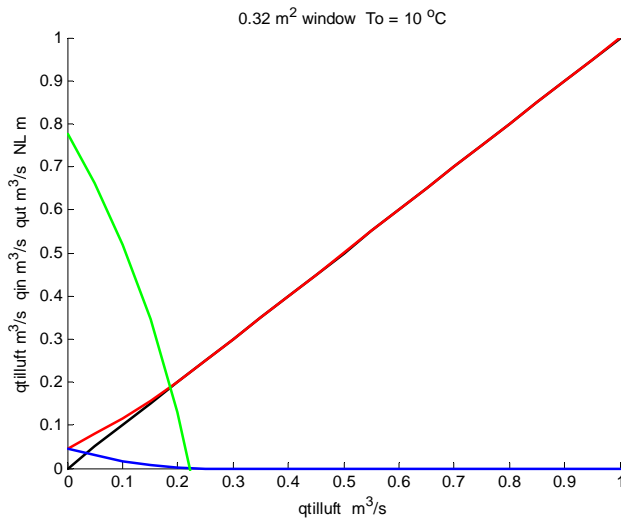


Diagram 4.1 Utgående från y-axeln redovisas parametrarna $q_{tilluft}$, q_{in} , q_{ut} samt neutral lagret (NL) i stigande storleksordning som en funktion av $q_{tilluft}$. Öppningens bredd är 2 m, höjd 0,8 m samt springan 0,3 m. Utetemperaturen är 10 °C. Då $q_{tilluft}=0$ är neutrallagret = 0,78 m, $q_{in} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$ och $q_{ut} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$.

När $q_{tilluft}=0$ (vid y-axeln) sker endast luftutbytet via frånluftsöppningen. Flödet ut q_{ut} samt flödet q_{in} är då lika stora. Allt eftersom tilluftsflödet som passerar in i rummet via tilluftskanalerna ökar, reduceras flödet in via frånluftsöppningen q_{in} i samma grad som $q_{tilluft}$ ökar.

Då $q_{tilluft}=0$ är neutrallagret beläget i öppningens "mitt" där arean genom vilken uteluften passerar in är lika stor som öppningsarean genom vilken frånluften passerar ut. Neutrallagret sänks sedan neråt eftersom flödet q_{in} minskar. När neutrallagret nått öppningens underkant (0 m) upphör flödet q_{in} . Om målet är att undvika att uteluft passerar in i rummet via frånluftsöppningen erhålls detta alltså när neutrallagret är beläget vid öppningens underkant.

Efter detta kommer tilluftsflödet $q_{tilluft}$ att skapa ett övertryck och frånluftsflödet ut q_{ut} följer $q_{tilluft}$, dvs blir lika stort som $q_{tilluft}$.

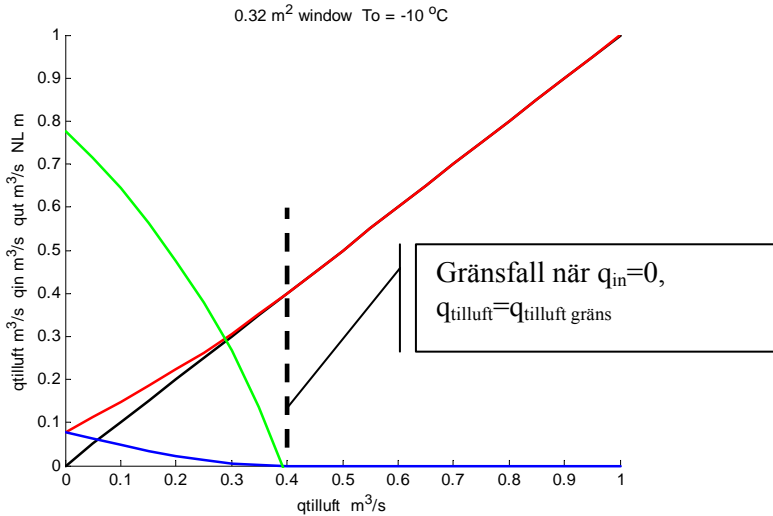


Diagram 4.2 Utgående från y-axeln redovisas parametrarna $q_{tilluft}$, q_{in} , q_{ut} samt neutral lagret (NL) i stigande storleksordning som en funktion av $q_{tilluft}$. Öppningens bredd är 2 m, höjd 0,8 m samt springan 0,3 m. Utetemperaturen är -10 °C . Då $q_{in}=0$ är $q_{tilluft}=0,4\text{ m}^3/\text{s}$.

Om man vill undvika att uteluft passerar in i rummet skall alltså gränsvärdet markerat i diagram 4.2 studeras närmare vilket görs i det följande.

Minsta tilluftsflöde för undvikande av uteluft via frånluftsöppning

Pivothängt fönster

Gränsvärdet då $q_{tilluft}=q_{ut}$ och $q_{in}=0$ och neutrallagret är i nivå med frånluftsöppningens nederkant kan beräknas. Tilluftsflödet via tilluftskanalerna $q_{tilluft\ gräns}$ är det minsta luftflöde som måste tillföras rummet för att uteluft inte skall passera in i rummet. Om tilluftsflödet är mindre kommer uteluft in enligt tidigare figurer. I diagram 4.3 visas $q_{tilluft\ gräns}$ som funktion av utetemperaturen. Bredden på fönstrets springa har varierats mellan 0,1-0,5 m.

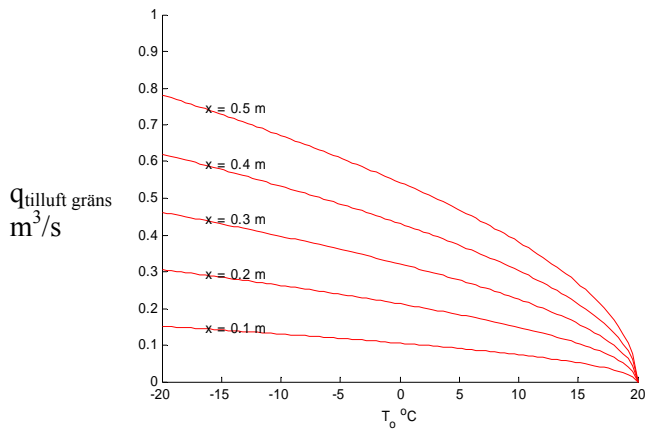


Diagram 4.3 *Minimitilluftflöde som måste tillföras rummet via tilluftsdonen för att uteluft inte skall passera in i rummet via frånluftsöppningen. Flödet är en funktion av utetemperaturen samt bredden på öppningsspringan vilken är 0,1-0,5 m. Frånluftsöppningen består av ett fönster som är pivothängt i nederkant. Fönstrets bredd=1 m, höjd=0,7 m.*

I diagram 4.3 kan ses att tilluftsflödet måste vara större ju större frånluftsöppningsspringan är. Vid utetemperaturen 0°C krävs ett tilluftsflöde på ca 100 l/s om springan är 0,1 m. Är den istället 0,5 m måste tilluftsflödet vara ca 550 l/s. Vid ett lågt tilluftsflöde måste alltså springan vara relativt liten.

I diagram 4.3 kan även ses att tilluftsflödet måste vara större ju kallare det är; vid en springa på 0,3 m krävs ett tilluftsflöde på ca 400 l/s vid -10 °C respektive ca 300 l/s vid +10 °C.

Vid ett konstant tilluftsflöde ses att öppningen måste vara mindre ju kallare det är ute.

Resultterande tilluftsflöde för några andra fönsterstorlekar redovisas nedan.

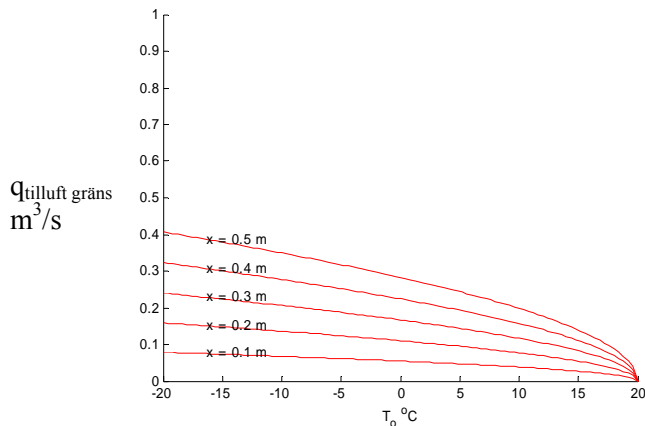


Diagram 4.4 Minimitilluftflöde som måste tillföras rummet för att uteluft inte skall passera in i rummet via frånluftsöppningen. Flödet är en funktion av utetemperaturer samt bredden på öppningsspringan. Frånluftsöppningen består av ett fönster som är pivothängt i nedkant. Springan är 0,1-0,5 m. Fönstrets bredd=0,5 m, höjd=0,5 m.

Vid jämförelse mellan fönsterstorleken 1*0,7 m och 0,5*0,5 m ses att tilluftsflödet kan vara lägre för det mindre fönstret vid samma öppningsspringa och utetemperatur; vid exempelvis -10 °C krävs ett flöde på drygt 200 l/s för 0,5*0,5 m fönstret respektive ett flöde på ca 400 l/s för 1*0,7 m fönstret vid en öppningsspringa på 0,3 m. Vid samma flöde krävs alltså en mindre öppningsspringa för ett större fönster; om flödet kan vara 200 l/s kan öppningsspringan vara 0,3 m för 0,5*0,5 m fönstret men bara ca 0,15 m för 0,7*1 m fönstret vid 0 °C ute.

Erforderligt tilluftsflöde via tilluftsdonen redovisas för några andra fönsterstorlekar nedan.

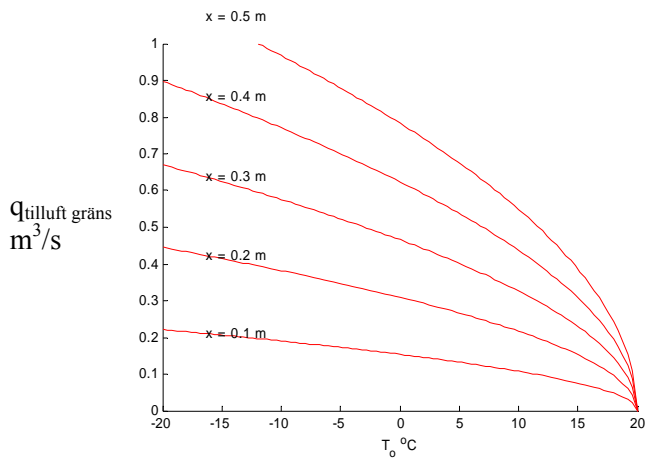


Diagram 4.5 Minitilluftflöde som måste tillföras rummet för att uteluft inte skall passera in i rummet via frånluftsöppningen. Flödet är en funktion av utetemperaturen samt bredden på öppningsspringan. Frånluftsöppningen består av ett fönster som är pivothängt i nedkant. Springan är 0,1-0,5 m. Fönstrets bredd=1 m, höjd=1 m.

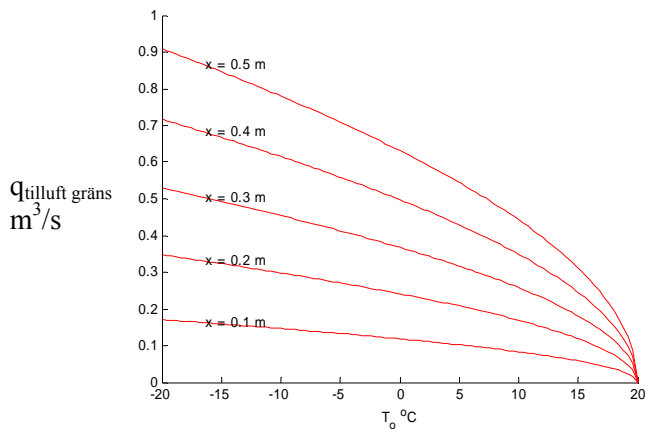


Diagram 4.6 Minitilluftflöde som måste tillföras rummet för att uteluft inte skall passera in i rummet via frånluftsöppningen. Flödet är en funktion av utetemperaturen samt bredden på öppningsspringan vilken är 0,1-0,5 m. Frånluftsöppningen består av ett fönster som är pivothängt i nedkant. Fönstrets bredd=2 m, höjd=0,5 m.

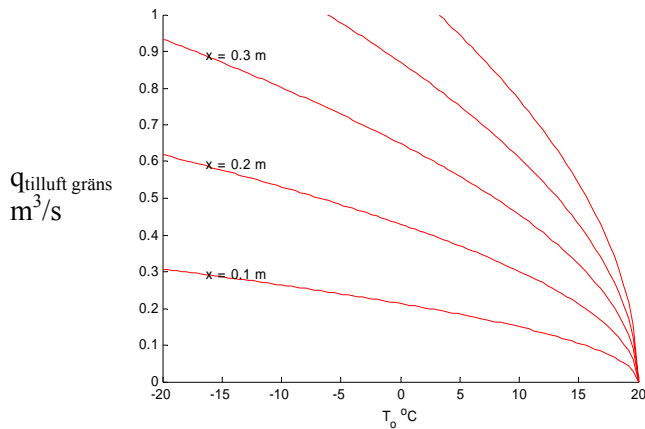


Diagram 4.7 Minitilluftflöde som måste tillföras rummet för att uteluft inte skall passera in i rummet via frånluftsöppningen. Flödet är en funktion av utetemperaturen samt bredden på öppningsspringan vilken är 0,1-0,5 m. Frånluftsöppningen består av ett fönster som är pivothängt i nederkant. Fönstrets bredd=2 m, höjd=1 m.

Ju större öppningen är desto viktigare är det att endast öppna en liten del av den möjliga öppningsspringan om man har ett visst tilluftsflöde att tillgå vilket bestäms av ventilationssystemets totala tryckfall. Dvs ju större fönster desto mer måste öppningsspringan hållas begränsad.

Sidohängt fönster

Tilluftsflödet då sidohängda fönster används redovisas för några fönsterstorlekar nedan.

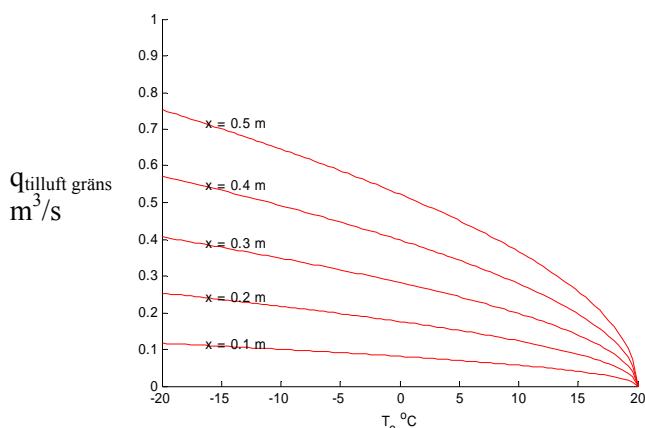


Diagram 4.8 Minimitilluftflöde som måste tillföras rummet för att uteluft inte skall passera in i rummet via frånluftsöppningen. Flödet är en funktion av utetemperaturen samt bredden på öppningsspringan. Frånluftsöppningen utgörs av ett sidohängt fönster. Fönstrets bredd=1 m, höjd=0,7 m.

Om ett fönster som är 1*0,7 och sidohängt jämförs med ett lika stort som är pivothängt ses att vid exempelvis 0°C är flödet ca 200 l/s för ett sidohängt respektive 250 l/s för ett pivothängt med en öppningsspringa på 0,2 m. Det krävs alltså ett något mindre tilluftsflöde för sidohängt fönster. Detta innebär även att ett sidohängt fönster kan ha en något större öppningsspringa än ett pivothängt fönster med samma höjd och bredd för samma flöde.

Jämförelse med möjliga tilluftsflöden

Lämplig öppningsgrad kan bestämmas när det möjliga tilluftsflödet är känt. Samtliga flöden som erhålls i byggnaden vid olika utetemperatur och vindhastighet har beräknats med programmet PFS i annat kapitel. Varierande flöden erhålls beroende på ett antal parametrar. De storleksordningar som erhålls då en frånluftslucka öppnas på läsidan (rätt sida) och vindhastigheten antas till 2 m/s resp. 8 m/s används vid jämförelsen.

Tre fall har studerats; ett flödesfall utan hjälpfläkt, och två fall då en hjälpfläkt är igång vid utetemperaturer överstigande 10°C. Antaget tilluftsflöde $q_{tilluft\ PFS}$ som passerar tilluftskulverten och kanalerna in i ett klassrum redovisas i tabell 4.1-4.3 för varierande utetemperaturer.

Tabell 4.1 Antaget tilluftsflöde via kulvert in i ett klassrum. Fall 1 utan hjälpfläkt. Vindhastighet 2 m/s.

Utetemperatur °C	-10	-5	0	5	10	15
Tilluftsflöde utan fläkt l/s	102	92	81	69	54	37

Tabell 4.2 Antaget tilluftsflöde via kulvert in i ett klassrum. Fall 2 med hjälpfläkt vid utetemperaturer överstigande 10°C. Vindhastighet 2 m/s.

Utetemperatur °C	-10	-5	0	5	10	15
Tilluftsflöde med fläkt \geq 10°C l/s	102	92	81	69	89	112
Fläktkurva	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Fläkt- kurva 1	Fläkt- kurva 2

Tabell 4.3 Antaget tilluftsflöde via kulvert in i ett klassrum. Fall 3 med hjälpfläkt vid utetemperaturer överstigande 10°C. Vindhastighet 8 m/s.

Utetempera- tur °C	-10	-5	0	5	10	15
Tilluftsflöde med fläkt \geq 10°C l/s	154	147	140	133	148	186
Fläktkurva	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Ingen fläkt	Fläkt- kurva 1	Fläkt- kurva 2

Flödet som passerar in i klassrummet via kulverten enligt tabell 4.1-4.3 måste överstiga minimiluftflödet som krävs för att uteluftsflödet in via

frånluftsöppningen skall vara 0. Flödet $q_{tilluft\ PFS}$ har jämförts med flödena $q_{tilluft\ gräns}$ beräknade i Matlab och en öppningsgrad för detta flöde kan bestämmas.

Största möjliga öppningsgrad

För att detta skall uppnås kan öppningsgraden/öppningsspringan vara högst enligt tabell 4.4-4.6.

Tabell 4.4 *Maximalt avstånd mellan karm och båge (öppningsgrad /öppningsspringa) för undvikande av att uteluft passerar in via frånluftsöppning vid angivna flöden.
Fall 1, förhållanden då ingen hjälpfläkt används.*

Utetemperatur °C	-10	-5	0	5	10	15
Tilluftsflöde utan fläkt l/s	102	92	81	69	54	37
Pivohängt B*H						
0,5*0,5 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m
1*0,7 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m
1*1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m
2*0,5 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m
2*1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m
Sidohängt B*H						
0,5*0,5 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m
1*0,7 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m

Betydelsen av frånluftsöppningens utformning för uteluft in via öppningen

Tabell 4.5 *Maximalt avstånd mellan karm och båge (öppningsgrad /öppningsspringa för undvikande av att uteluft passerar in via frånluftsöppning vid angivna flöden.
Fall 2, förhållanden då hjälpfläkt används vid utetemperaturer 10°C eller högre.*

Utetemperatur °C	-10	-5	0	5	10	15
Tilluftsflöde, med fläkt ≥ 10°C l/s	102	92	81	69	89	112
Pivohängt B*H						
0,5*0,5 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m	0,4 m
1*0,7 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m
1*1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	0,1-0,2 m
2*0,5 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	0,1-0,2 m	0,2 m
2*1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	0,1m
Sidohängt B*H						
0,5*0,5 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m	0,4 m
1*0,7 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m

Då fläkten är i drift erhålls större flöden och då kan öppningsgraden /öppningsspringan vara större jämfört med då fläkten inte är i drift.

Tabell 4.6 Maximalt avstånd mellan karm och båge (öppningsgrad /öppningsspringa för undvikande av att uteluft passerar in via frånluftsöppning vid angivna flöden.
Fall 3, förhållanden då hjälpfläkt används vid utetemperaturer 10°C eller högre.

Utetemperatur °C	-10	-5	0	5	10	15
Tilluftsflöde, med fläkt \geq 10°C l/s	166	149	131	110	148	186
Pivohängt B*H						
0,5*0,5 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m	0,2-0,3 m	0,3-0,4 m	0,6-0,7 m
1*0,7 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,2 m	0,3-0,4 m
1*1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m
2*0,5 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,3 m
2*1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	<0,1 m	0,1 m	0,1-0,2 m
Sidohängt B*H						
0,5*0,5 m	0,2-0,3 m	0,2-0,3 m	0,2-0,3 m	0,2-0,3 m	0,3-0,4 m	>0,5 m
1*0,7 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,1-0,2 m	0,2-0,3 m	0,4 m

I tabellerna redovisas beräknade storlekar på öppningsspringor för angivna flöden. Springorna kan vara större ju varmare det är. För de större fönsterstorlekarna (bredd, höjd) blir öppningsspringan relativt liten.

Sammanfattning av resultat

Beräkningarna visar att tilluftsflödet via tilluftsdonen måste vara större ju större frånluftsöppningsspringan är för ett och samma fönster om man vill undvika att uteluft passerar in via frånluftsöppningen. Vid ett lågt tilluftsflöde måste springan vara relativt liten. Tilluftsflödet måste vara större ju kallare det är. Vid ett konstant tilluftsflöde ses att öppningen måste vara mindre ju kallare det är ute.

Vid jämförelse mellan olika fönsterstorlekar ses att tilluftsflödet kan vara lägre för det mindre fönstret vid samma öppningsspringa och utetemperatur. Vid samma flöde krävs alltså en mindre öppningsspringa för ett större fönster.

Vid jämförelse mellan pivothängt och sidohängt fönster ses att det krävs ett något mindre flöde för sidohängt fönster för samma storlek på öppningsspringa. Detta innebär även att ett sidohängt fönster kan ha en något större öppningsspringa än ett pivothängt fönster med samma höjd och bredd för samma flöde.

Ju större öppningens area är desto viktigare är det att endast öppna en liten del av den möjliga öppningsspringan om man har ett visst tilluftsflöde att tillgå vilket bestäms av ventilationssystemets totala tryckfall. Dvs ju större fönster desto mer måste öppningsspringan hållas begränsad.

Vid jämförelse med möjliga tilluftsflöden i en byggnad med tillufts-kulvert ses att öppningsspringorna kan vara större ju varmare det är. För de större fönsterstorlekarna (bredd, höjd) blir öppningsspringan relativt liten.

Vid större flöden såsom vid t ex då fläkten är i drift kan öppningsgraden /öppningsspringan vara större jämfört med då fläkten inte är i drift /mindre flöden.

Slutsats

Beräkningarna visar att frånluftöppningens storlek har betydelse för hurvida en dubbelriktat flöde uppstår samt för flödenas storlek. Den praktiska konsekvensen av detta är att fönstren inte kan öppnas godtyckligt utan deras öppningsgrad bör regleras om uteluftsflöde in via frånluftöppningen vill undvikas.

Begränsning av ett frånluftsfönsters öppningsgrad bör göras om uteluftsflöde in via frånluftöppningen vill undvikas.

Diskussion

Eftersom detta är en teoretisk studie kan det exakta öppningsmåttet skilja sig från verkliga förhållanden. En storleksuppskattning fås emellertid och betydelsen av öppningsgraden har illustrerats.

Endast termiska drivkrafter har studerats genom modellering vilket innebär att vid verkliga förhållanden kan en del uteluft passera in genom öppningen pga vind. En reducering av uteluftsflödet in via frånluftsöppningen erhålls emellertid genom att öppningsgraden reduceras.

Uteluftsflöden in via frånluftsöppningen kan betraktas som mest negativ under vintertid, då kraftig dragupplevelse och diskomfort kan upplevas. Begränsning av öppningsgraden är därför av vikt framförallt på vintern. Sommartid kan uteluftsflödet vara ett bidrag till en ökad luftomsättning och även hjälpa till att skapa en positiv temperaturnedsättning. Sommartid kan alltså öppningen öppnas så mycket som möjligt.

En möjlig konsekvens som studien kan visa på är att regleringen av öppningens storlek kan förfinas och varieras för olika årstider. I de befintliga anläggningar där öppningen öppnas helt kan dess öppningsgrad följaktligen regleras mera omsorgsfullt.

5 Enkätundersökning av brukarvanor

Brukarnas upplevelse är som alltid viktig. En omfattande undersökning av deras upplevelse av inneklimatet har genomförts av Hult (1998).

För denna typ av ventilationssystem kan brukaren ha en större påverkan på driften än för mekaniskt ventilerade skolor. Även om huvudsyftet är att studera de tekniska förutsättningarna visar de tidigare studierna att man måste även ta hänsyn till och studera brukarnas beteende och deras eventuella påverkan på funktionen.

Vid besök rapporterade personal att de inte är intresserade av att öppna och ha ansvar för det. Detta var även en utgångspunkt eftersom vissa driftsfall kan förutsätta brukarna aktiva deltagande. En nyfikenhet uppstod på hur personalen i just dessa skolor där ibland systemet är utformat för större delaktighet och ibland även helt avhängigt av personalens aktiva handlingar uppfattar det.

Syfte med denna delstudie är att undersöka brukarnas ventilationsvanor samt deras inställning till systemet.

Metod

Utformningen av ventilationssystemen varierar i de byggnader som uppförts. Framförallt frånluftskomponenterna skiljer sig. För att kunna erhålla information krävdes därför att frågor anpassades i detalj efter varje skolas utformning. Detta har styrts urvalet. Urvalet har begränsats till skolor där utformningen var känd från besök respektive från skolor redovisade i annan studie av självdragsskolor (Hult, 1998).

Totalt har rektorer vid sex skolor tillfrågats om att låta personalen delta. Samtliga ställde sig positiva till detta. I de aktuella skolorna förekommer oftast endast en flygel eller tillbyggnad med självdragsventilation i någon form, vilket innebär att antalet lärare som kan besvara enkäten är relativt

begränsat. Totalt har 41 personer svarat vilket motsvarar en svarsfrekvens på 67 %.

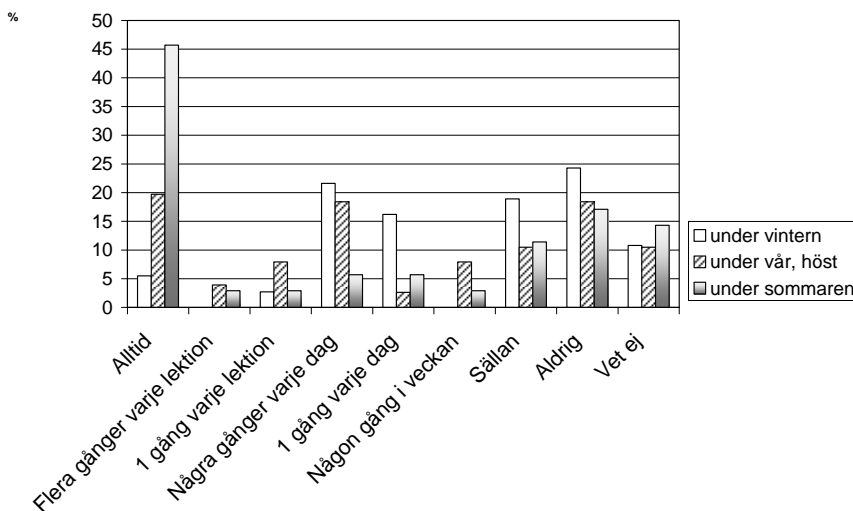
Skolorna är Risebergskolan i Malmö, Fredkullaskolan i Kungälv, Garda skola på Gotland, Länna skola, Klostergården samt Östra Torn i Lund.

Frågor kring ventilationsvanor har formulerats. En del av frågorna har hämtats från Ecoeffect-enkäten, och en del av frågorna har även använts i tidigare studie för mekaniskt ventilerade skolor (Nordquist, 1998). Exempel på enkät finns i bilaga 2.

Resultat

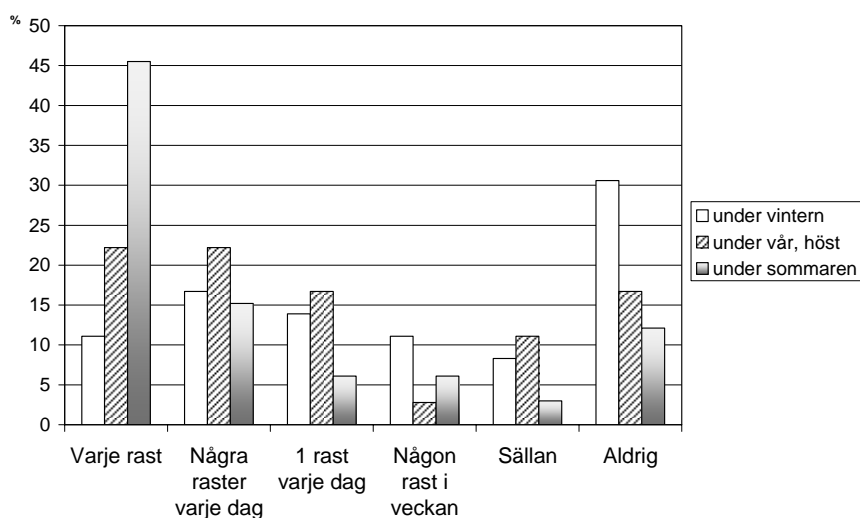
Lärarnas och övrig personals svar redovisas i diagramform. Svar på frågor kring takfönster, dvs där frånluften skall passera ut samt frågor kring upplevelse av inneklimate redovisas här. Frågor kring vädring med fönster placerade i yttervägg har även ställts men svaren redovisas inte här.

Brukarvanor



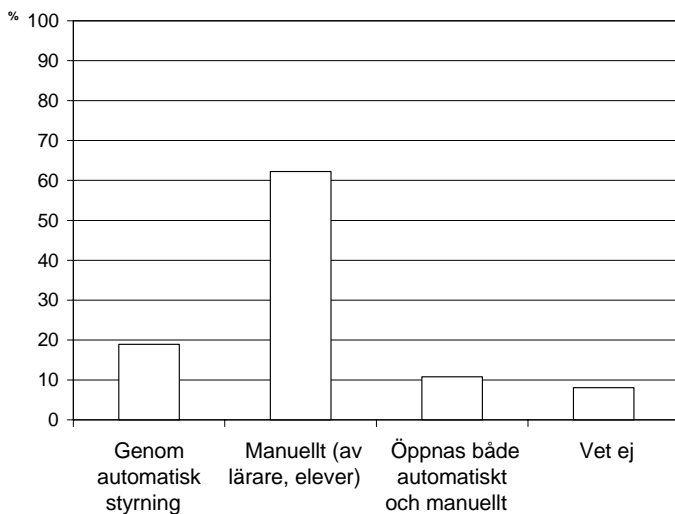
Figur 5.1 Svar på frågan: Hur ofta är takfönstren öppna under lektionerna?

Under vintern svarar 30% av lärarna att takfönstren är öppna minst några gånger per dag. 70% uppger att takfönstren är öppna en gång per dag eller mindre.



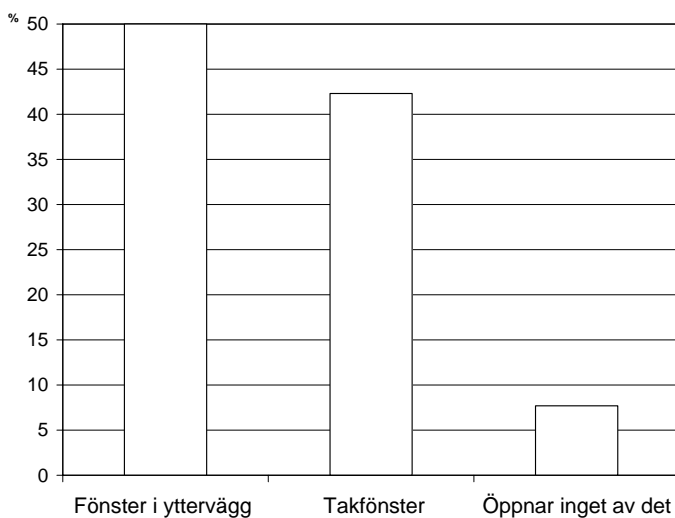
Figur 5.2 Svar på frågan: Hur ofta är takfönstren öppna under rasterna?

Totalt 42% svarar att takfönstren är öppna minst en rast varje dag under vintern. 58% uppger att takfönstren är öppna någon rast i veckan eller mer sällan. 28% svarar att takfönstren är öppna minst några raster varje dag under vintern. 17% öppnar aldrig på vintern.



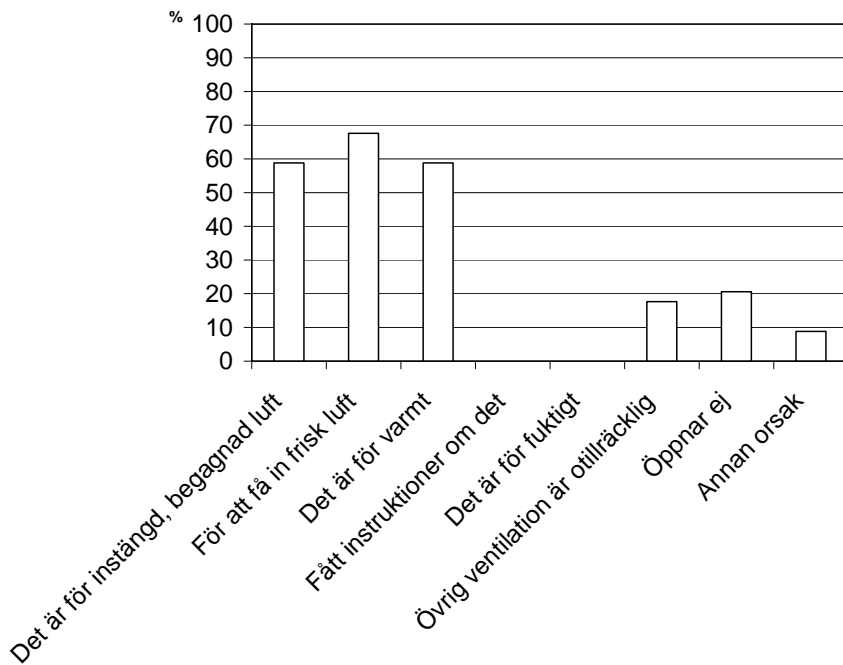
Figur 5.3 Svar på frågan: Hur öppnas takfönstren?

Takfönstren öppnas automatiskt enligt 19%, manuellt 62% samt både automatiskt och manuellt 11%.



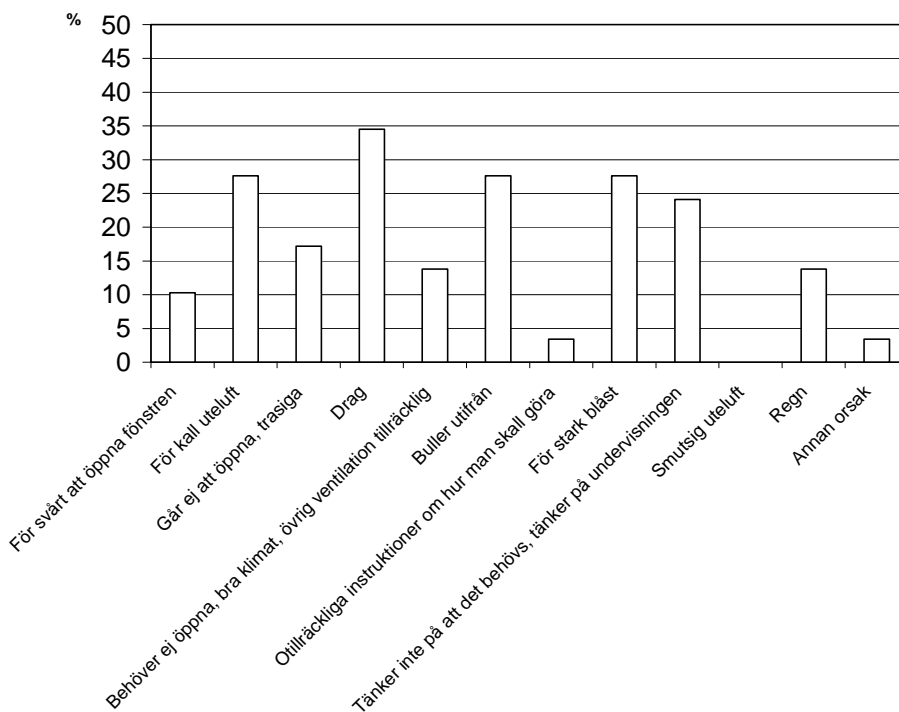
Figur 5.4 Svar på frågan: Vad brukar du i första hand öppna, fönster placerade i yttervägg eller takfönster?

Något fler; 50%, uppger att de i första hand öppnar fönster i yttervägg än de som öppnar takfönster 42%.



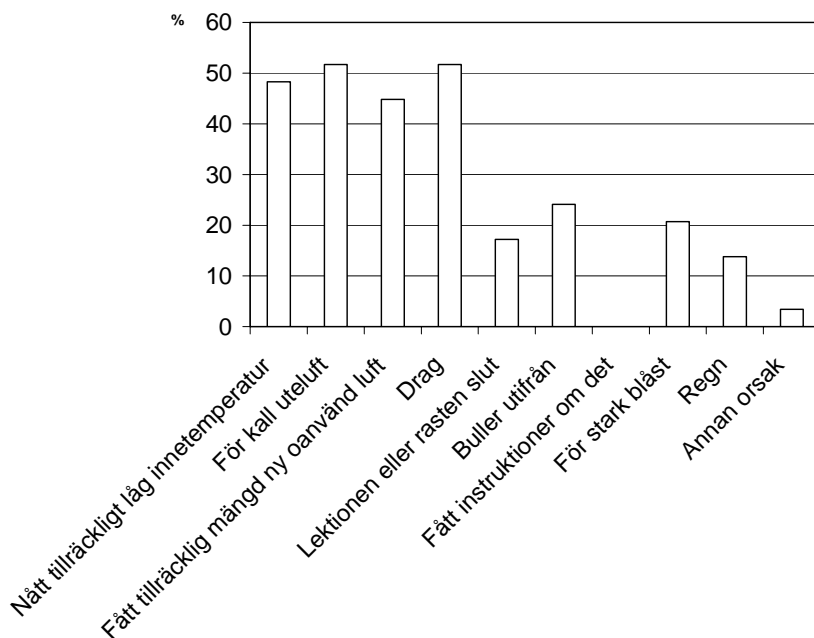
Figur 5.5 Svar på frågan: Vad är orsaken till att du öppnar takfönstren?
(kan besvaras med flera alternativ)

De främsta orsakerna till att man öppnar takfönstren är ”för att få in frisk luft” (68%), samt ”det är för instängd, begagnad luft” och ”det är för varmt”(59%).



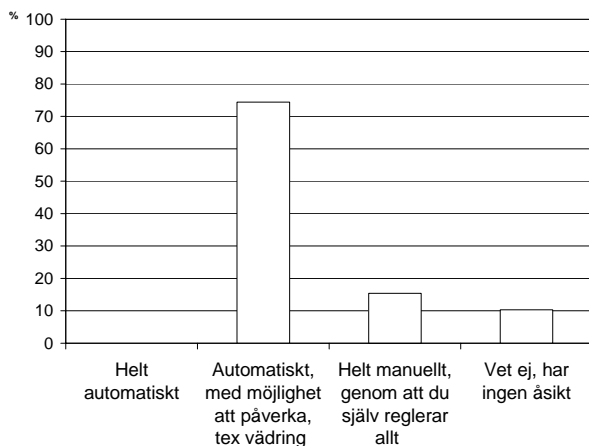
Figur 5.6 Personalens svar på frågan vilka faktorer som har hindrat dem från att öppna takfönstren även om de i vissa fall har velat öppna dem, där flera svarsalternativ kunde anges.

Figur 5.6 visar svar på frågan ”Vilka faktorer har hindrat dig från att öppna takfönstren även om du i vissa fall har velat öppna dem?”. 35% uppger att *drag* har hindrat dem, 28% uppger för *kall uteluft*, *buller utifrån* samt för *stark blåst*. 24% svarar att de *inte tänker på att öppna*.



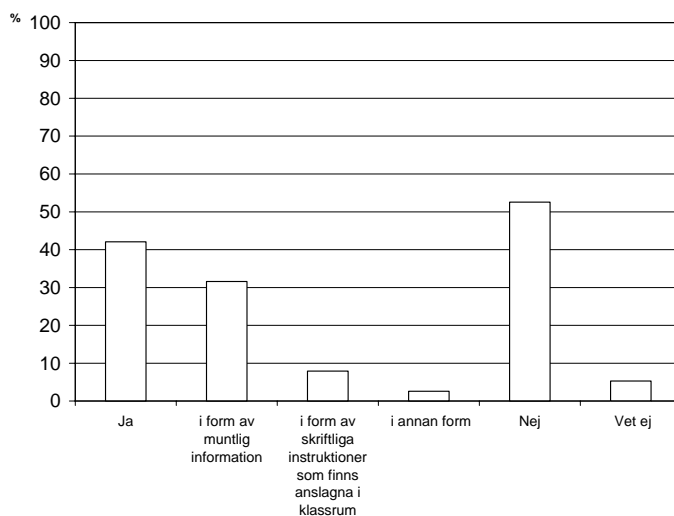
Figur 5.7 Personalens svar på frågan vad som är orsaken till att de stänger takfönstren, vilket kunde anges med flera svarsalternativ.

På frågan om orsaker till att takfönstren stängs anges två ”negativa” faktorer av något fler lärare än ”positiva” faktorer. ”Drag och ”för kall uteluft” uppges av 52% vara orsak till att takfönstren stängs. De positiva faktorerna ”nått tillräckligt låg innetemperatur” samt ”fått tillräcklig mängd ny oanvänd luft” vilka kan tyda på att ventilationen upplevs fungera tillfredsställande anges av 48% resp. 45% enligt figur 5.7.



Figur 5.8 Svar på frågan: "Hur vill du att styrningen av ventilations-systemet skall ske?".

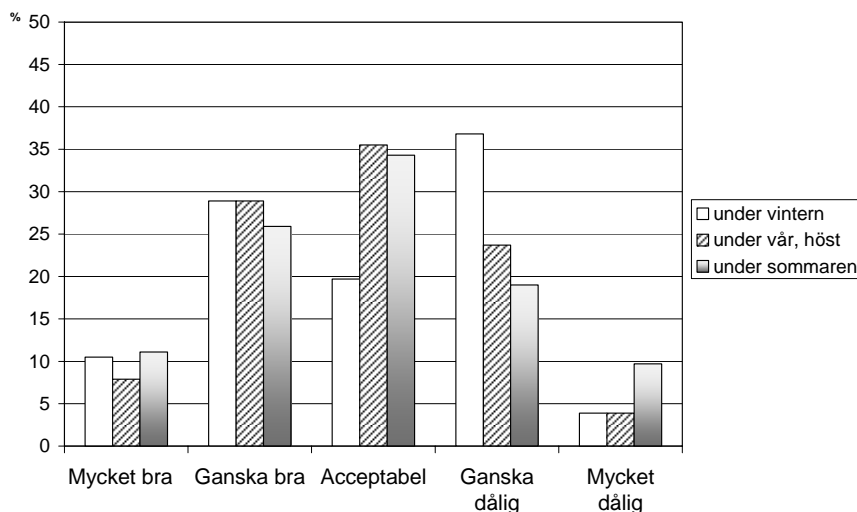
Målsättningen är ofta att brukarna skall delta i reglering och styrning av systemet. Frågor kring detta ställdes också. På frågan "Hur vill du att styrningen av ventilationssystemet skall ske?" svarade 74% att de vill att det skall ske automatiskt med möjlighet att påverka, t ex vädring. 15% svarade att de vill att styrningen skall vara helt manuell genom att läraren själv reglerar allt.



Figur 5.9 Svar på frågan: "Har du fått någon information/instruktioner om hur ventilationen skall fungera och vad ni kan/skall göra och hur ni kan påverka den eller skall sköta den och i så fall i vilken form".

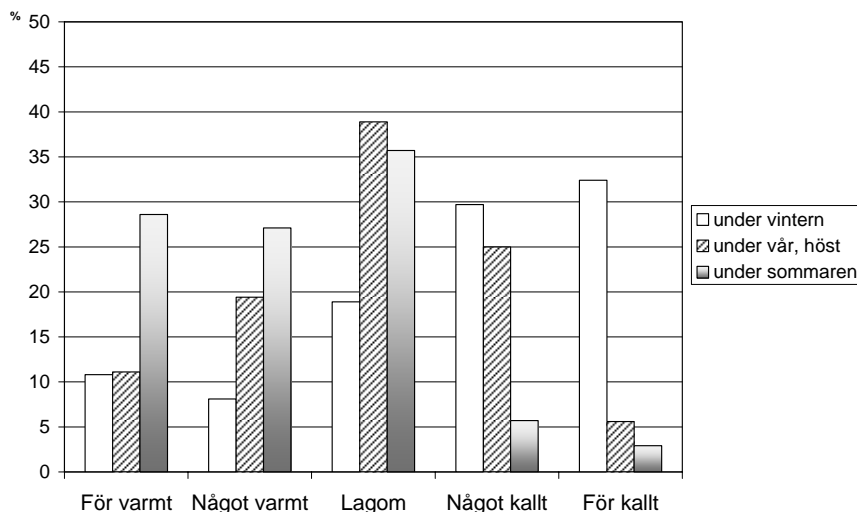
42% uppger att de har fått instruktioner om hur systemet fungerar varav 32% i form av muntlig information och 8% i skriftliga instruktioner. 53% svarar att de inte har fått några instruktioner.

Upplevelse klimat



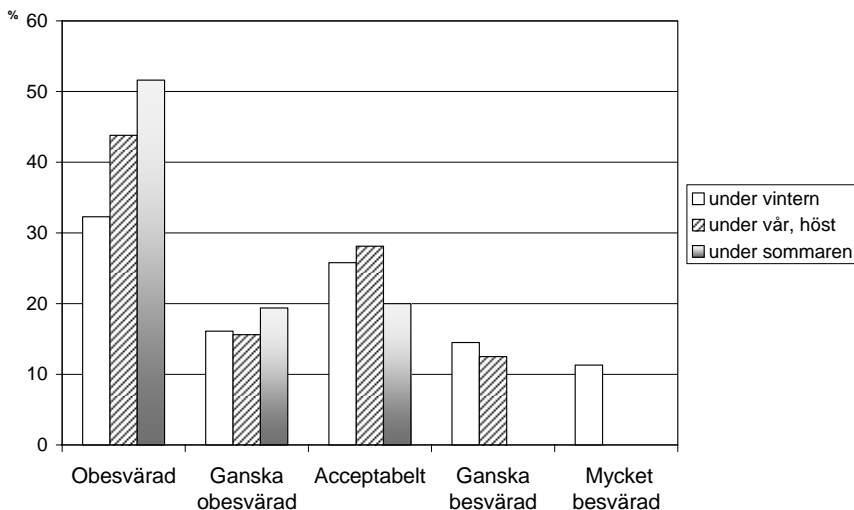
Figur 5.10 Svar på frågan: Hur tycker du att luftkvaliteten i stort sett brukar vara i klassrummet?

40% upplever att luftkvaliteten är mycket bra och ganska bra på vintern, 37% vår och höst samt 37% under sommaren. 40% upplever att luftkvaliteten är ganska dålig och mycket dålig på vintern, 28% vår och höst samt 30% under sommaren.



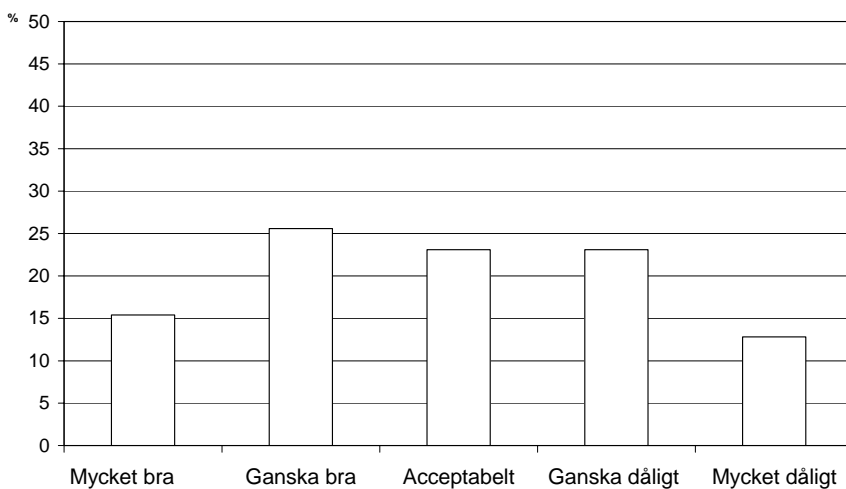
Figur 5.11 Svar på frågan: Hur tycker du att rumstemperaturen i stort sett brukar vara i klassrummet?

19% upplever att rumstemperaturen är för varmt och något varmt på vintern, 30% vår och höst samt 56% under sommaren. 62% upplever att rumstemperaturen är för något för kallt och för kallt på vintern, 31% vår och höst samt 9% under sommaren.



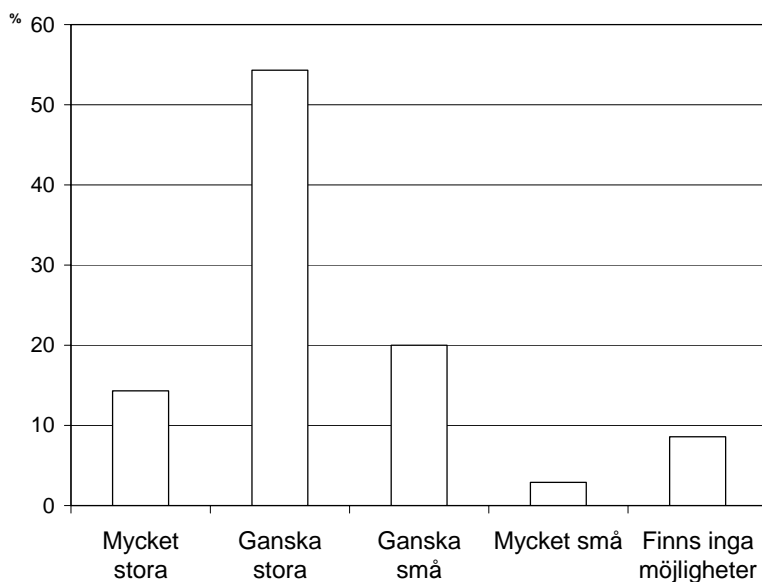
Figur 5.12 Svar på frågan: Hur upplever du drag då takfönstren är öppna?

48% är obesvärade och ganska obesvärade av drag från takfönstren på vintern, 59% vår och höst samt 71% under sommaren. 26% är ganska besvärade och mycket besvärade av drag från takfönstren på vintern, 12% vår och höst samt 0% under sommaren.



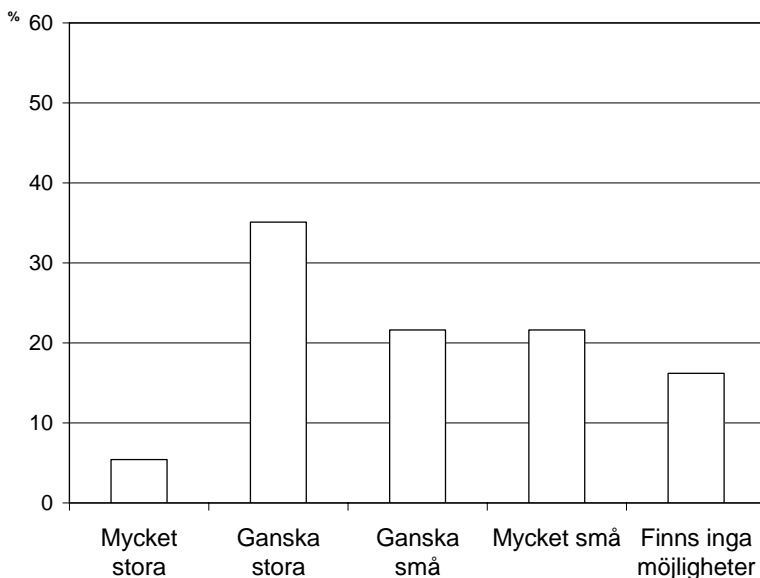
Figur 5.13 Svar på frågan: Hur bedömer du att ventilationssystemet fungerar?

41% bedömer att ventilationssystemet fungerar mycket bra och ganska bra. 36% bedömer att ventilationssystemet fungerar ganska dåligt och mycket dåligt.



Figur 5.14 Svar på frågan: Hur stora är dina möjligheter att påverka luftkvaliteten i klassrummet genom att reglera ventilationen eller vädra?

69% upplever att deras möjligheter att påverka luftkvaliteten är mycket stora och ganska stora. 31% upplever att deras möjligheter att påverka luftkvaliteten är ganska små, mycket små och att det inte finns några möjligheter.



Figur 5.15 Svar på frågan: Hur stora är dina möjligheter att påverka värmen i klassrummet?

40% upplever att deras möjligheter att påverka värmen är mycket stora och ganska stora. 60% upplever att deras möjligheter att påverka luftkvaliteten är ganska små, mycket små och att det inte finns några möjligheter.

Sammanfattning av resultat

Antal svarande är relativt begränsat och alltför långtgående slutsatser är inte möjligt att dra men svaren kan ändå ge infallsvinklar till projektörer vid utformning av system och driftsfall.

Under lektion vintertid är takfönstren öppna en gång per dag eller mindre för 70% och 58% uppger att takfönstren är öppna någon rast i veckan eller mer sällan. Detta innebär att i majoriteten av klassrummen är takfönstren öppna relativt lite vintertid. I dessa klassrum förs frånluft bort om takfönstren är öppna.

Drag är den faktor som gjort att flest antal lärare har hindrats av att öppna takfönstren även om de har velat öppna dem. 35% uppger att de har undvikit att öppna pga drag. Mer än en tredjedel undviker alltså att öppna takfönstren även om de har velat öppna dem pga drag vilket åskådliggör

att frågeställningen bör beaktas. Nästan var tredje (28%) hindras även av för kall uteluft vilket även kopplas till detta.

Drag är även den faktor som får flest lärare att stänga takfönstren, drygt hälften uppger detta.

Tre fjärdedelar av lärarna vill att styrningen av ventilationssystemet skall ske automatiskt med möjlighet att påverka, tex vädring. Endast 15% svarade att de vill att styrningen skall vara helt manuell genom att läraren själv reglerar allt. Antal lärare som svarat är som nämnts ringa dock bör detta observeras av de projektörer som planerar att enbart manuell styrning skall ske.

Mer än hälften (53%) svarar att de inte har fått instruktioner om hur ventilationen skall fungera och vad de kan/skall göra och hur de kan påverka eller sköta den. Då brukarna ofta skall vara aktiva för dessa system, bl a uppger 62% att takfönstren skall öppnas enbart manuellt bör även detta uppmärksammas av projektörer och framförallt förvaltare av denna typ av skola.

Fyra av tio upplever att luftkvaliteten är mycket bra och ganska bra för alla årstider. Lika många upplever att luftkvaliteten är ganska dålig och mycket dålig på vintern, respektive knappt var tredje vår, höst och under sommaren.

Mer än hälften (56%) upplever att rumstemperaturen är för varmt och något varmt under sommaren. 62% upplever att rumstemperaturen är för något för kallt och för kallt på vintern.

Majoriteten är obesvärade och ganska obesvärade av drag från takfönstren; 48% på vintern, 59% vår och höst samt 71% under sommaren. Var fjärde (26%) är ganska besvärade och mycket besvärade av drag från takfönstren på vintern, 12% vår och höst samt 0% under sommaren. Drag från takfönster synes inte besvära huvudparten av de svarande enligt denna fråga.

Fler (41%) upplever att ventilationssystemet fungerar mycket bra och ganska bra än de som upplever att ventilationssystemet fungerar ganska dåligt och mycket dåligt (36%).

Sju av tio upplever att deras möjligheter att påverka luftkvaliteten är mycket stora och ganska stora. Fyra av tio upplever att deras möjligheter att påverka värmen är mycket stora och ganska stora. 60% upplever att deras möjligheter att påverka luftkvaliteten är ganska små, mycket små

och att det inte finns några möjligheter. Detta tyder på att brukarna känner att de kan påverka inneklimatet ut luftkvalitetssynpunkt relativt väl, men något sämre för värmen i klassrummen.

Diskussion

En målsättning med denna typ av byggnad och ventilationssystem har varit att ge brukarna möjlighet att påverka ventilationen och inneklimatet. Inom beteendevetenskapen är det klarlagt att människan för sitt välbefinnande har ett behov av att uppleva kontroll. Om exempelvis de tekniska systemen utformas utan att brukarna kan påverka sin situation och sitt inneklimat kan detta leda till negativa effekter. Att kunna påverka är alltså positivt.

En klar majoritet, tre av fyra, uppger dock att de inte vill styra enbart manuellt. En möjlig lösning är att utforma systemet och dess styrning så att systemets funktion inte är enbart beroende av skolpersonalens styrning. Ett sätt att åstadkomma en driftsäker ventilation kan vara att skapa förutsättningar för en grundventilation som regleras automatiskt. Automatiskt styrda frånluftsöppningar kan innebära en mer pålitlig funktion hos ventilationssystemet. Alternativt bör rutiner fastställas och föras ut om man vill att brukarna aktivt skall styra.

Med andra ord, om målsättningen på en skola är att all styrning av ventilationssystemet, exempelvis öppning och stängning av komponenter skall göras av brukarna och dessa inte vill ha detta ansvar kan risken föreligga att styrningen inte sker på avsett sätt, komponenterna öppnas inte som planerat. Detta innebär en sämre funktion hos systemet och en risk för ett försämrat inneklimat.

Projektören bör beakta brukarnas intresse och benägenhet för aktivt deltagande och utifrån detta göra sin egen bedömning och utforma systemet efter det.

Beträffande instruktioner till brukarna bör även den personalomsättning som förekommer inom både skolan och bland driftpersonal beaktas. Överföring av information från projektörer till förvaltare är även viktig.

6 Exempel på uppförda skolbyggnader och några reflektioner kring utformningen

Några av de skolor som uppförts har besökts och presenteras här mycket kort. Utformningen av både byggnad och ventilationssystem skiljer sig åt mellan de olika skolbyggnaderna. Vid projekteringen har varje grupp haft egna specifika lösningar på utformningen. Funktionen hos de olika specifika utformningarna har inte analyserats i denna studie.



Figur 6.1 Risebergaskolan i Malmö. Tilluften passerar via jordrör samt en betongkulvert och förs in i rummen via väggplacerade don. Frånluften förs bort via takplacerade fönster. Vid högre utetemperaturer kan en hjälpfläkt sattas i drift i kulverten.



Figur 6.2 Östra Torn skolan i Lund. Uteluften tas in via markrör och tillförs klassrummen via don i golvnivå. Frånluften förs bort via takplacerade kanaler i vilka ett spjäll som styrs automatiskt är placerat.



Figur 6.3 Ängslättsskolan i Bunkeflo utanför Malmö. Uteluften passerar markrör och en betongkulvert innan tilluften tillförs via golvplacerade don. Tilluften till klassrummen placerade närmst markrörerna passerar endast en kort sträcka av kulverten. Frånluften förs bort från rummen via takplacerade fönster samt kanaler med spjäll.



Figur 6.4 *Vindspelet på Klostergården i Lund. Tilluften passerar en kulvert innan den förs in via golvplacerade don. Frånluften förs bort via högt placerade fönster i varje rum.*

Några iakttagelser och reflektioner

Skolorna har många kvalitéer. Lågemitterande och naturliga material har ofta varit en av målsättningarna. Denna rapport har som tidigare nämnts som fokus att studera ventilationssystemet och berör därför inte detta. En målsättning med studien är även att bidra till att en tillfredsställande inomhusmiljö skapas med hjälp av ventilationssystemet.

Vid besöken har olika iakttagelser gjorts och i det följande ges några exempel på utformning som möjligen är mindre lämplig under vissa förutsättningar. Författaren vill betona att följande exempel valts ut med syfte att bidra till att en tillfredsställande inomhusmiljö skapas genom att identifiera mindre lämpliga utformningar för att kunna undvika dessa. Detta skall inte ses som en helhetsbedömning av systemen.

Flera av faktorerna kan även förekomma i andra typer av ventilationssystem. Det bör även påpekas att de enskilda exemplens effekt på ventilationssystemets funktion har inte studerats och redovisade resonemang är gjorda utifrån en allmän reflektion.

Tilluft



Figur 6.5 Tilluften tillförs via golvplacerade don i klassrummet. Tilluften har relativt stora möjligheter att tillföras klassrummet i förhållande till nästa bild.



Figur 6.6 Här är möjligheterna mer begränsade för tilluften att tillföras klassrummet.



Figur 6.7 I detta klassrum där tygpåsar placerats framför tilluftsdonen reduceras även möjligheterna för tilluften att passera in i klassrummet.



Figur 6.8 I detta klassrum finns två tilluftsdon i golvnivå. Ett är placerat bakom en rullvagn. Det andra är placerat bakom skåpen som visas på nästa bild.



Figur 6.9 I detta klassrum finns två tilluftsdon i golvnivå. Ett av dem är placerat bakom skåpen.

Bilderna illustrerar ett problem som förekommer för flera typer av ventilationssystem även mekaniska. Det är naturligtvis inte lämpligt att placera föremål framför tilluftsdonen eftersom risken att luftflödet reduceras uppstår. Men eftersom drivkrafterna i ett självdragssystem är relativt låga och systemet är relativt känsligt för luftmotstånd är det om möjligt av ännu större vikt att donen i dess system inte blockeras.

Orsaken till att denna företeelse förekommer kan vara flera. Lärarna har inte informerats om hur ventilationssystemet fungerar och har därigenom inte upplysts om vikten av att hålla donen fria och att det skall förekomma en närzon framför ett golvplacerat tilluftsdon inom vilken man inte vistas. Tilluften kan upplevas ge drag orsakad av exempelvis en låg tilluftstemperatur i vissa fall i kombination med en hög hastighet. Föremål placeras därför framför donen och draget reduceras. Möblering framför donen kan även bero utrymmesbrist.

Anledning till att möblering sker i närzonen kan bero både på att känedom om denna inte erhållits eller att plastbrist kräver möblering av denna. Om orsaken är att tilluftstemperaturen är för låg trots att man inte vistas i närzonen bör detta lösas genom justering av ventilationssystemet. Utrymmesbrist bör lösas i samspel mellan teknikerna och verksamheten för att finna en lösning där både ventilationens funktion och utrymmesbehovet tillgodoses.

Frånluft



Figur 6.10 I detta klassrum förs frånluften bort via takplacerade fönster och kanaler i "schaktet" med blå fond vägg. Placeringen av schaktet reducerar risken för drag vid bänkarna.



Figur 6.11 Den manuella regleringen av frånluften sker via en panel placerad vid tavlan. När man står vid tavlan ser man inte in i schaktet och kan inte se vilket fönster eller kanal som öppnas eller öppningsgraden. Angivelse av respektive öppning på panelen hade möjligen underlättat den manuella styrningen.

Detta exempel kan illustrera att det är viktigt att funktionen hos systemet även beaktas under driftskedet. I de fall regleringen av frånluften är planerad att ske helt manuellt kan det finnas en risk att det förekommer perioder då ingen frånluft förs bort. Den styrstrategi som väljs under projekteringskedet bör ges de bästa förutsättningarna för att fungera tillfredsställande och att lärarna har de bästa möjligheterna till att uppnå detta.



Figur 6.12 Om frånluften i ett klassrum endast kan föras bort via de översta fönstren placerade mot ett väderstreck kan olämpliga driftsfall uppstå.

Om frånluften i ett klassrum endast kan föras bort via fönster som alla är placerade i ett väderstreck innebär detta vissa begränsningar. Med beaktande av att en fast öppnings riktning i förhållande till vindriktningen har betydelse för luftriktningen i en öppning vilket diskuterades i tidigare kapitel är möjligen denna utformning ej den mest optimala. Vid vissa vindriktningar kan luften få oönskad riktning, dvs när vinden ligger på mot fönstren kan självdragssystemets termiska drivkraft inte hålla emot och uteluften passerar in via frånluftöppningen istället. En bättre lösning kan vara att placera fasta öppningar i flera väderstreck. För att en tillfredsställande funktion skall erhållas krävs även att ”rätt” öppning öppnas för den aktuella vindriktningen vilket förutsätter att ytterligare faktorer uppfylls. Om regleringen sker automatiskt kan detta styras med hjälp av en vindgivare. Skall öppningen ske manuellt skall lärarna veta vilket fönster som är lämpligt att öppna och även genomföra detta.

En frånluftsanordning vilken är oberoende av vindriktningen är möjligen ännu gynnsammare. Denna utformning kräver inte samma höga nivå av aktiva deltagande av lärarna.



Figur 6.13 Här visar en elev hur frånluftsfönstren skall styras med hjälp av kontrollpanelen vid tavlan i detta klassrum.

Med bilden från ett klassrum där barnen har både kunskap och kontroll över självdregssystemet, vilket kan ge hopp för framtiden, avslutas detta kapitel.

Referenser

Arbetsmiljöverket. 2000. *AFS 2000:42. Arbetsplatsens utformning*. Ändringar införda tom 2003-07-18 Arbetsmiljöverket.

ASHRAE. 2005. *Fundamentals. Handbook*. Tullie Circle , N. E, Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE. 2001. *Fundamentals. Handbook*. Tullie Circle , N. E, Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE. 1997. *Fundamentals. Handbook*. Tullie Circle , N. E, Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Awbi H. B. 1991. *Ventilation of buildings*. UK: London, Chapman & Hall

Blomsterberg et al. 1998. *Moderna självdragsventilerade skolor*. Anslagsrapport A13:1997, Byggeforskningsrådet, Stockholm.

Heiselberg P. 2002. *Principles of Hybrid Ventilation*. Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University, Aalborg, Denmark

Hult M. 1998. *Skolor med ventilation där självdrag används*. Anslagsrapport A11:1997, Byggeforskningsrådet, Stockholm

Kurnitski J. 1996. *Natural ventilation with auxiliary fan*. Building Service, Lund Institute of Technology, Lund

Larsen T et al. 2003. Analysis and Design of Single-sided Natural Ventilation. pp 159-163. *Proc. Of ISHVAC 2003*, Beijing, China.

Nordquist B. 1998. *Vädring i skolor – ett komplement till normal ventilation?* TABK – 98/1014. Institutionen för byggnadskonstruktionslära, Lunds tekniska högskola, Lund

Sikander E, Ruud S., Blomsterberg Å. 1999. Underground supply ducts in passive stack ventilated schools, moisture and microbiological growth. *Proc. of the 5th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, vol. 1, pp 145-152*, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.

Svensson C. 1999. *Självdrag ett omdiskuterat fenomen*, Energi & Miljö, Stockholm, nr 2 s. 42-46

Enkät om brukarvanor

Enkät till skolpersonal om ventilation

Länna skola

Datum:

Namn:

Skolsal:

Antal elever i klassen:

.....

Var vänlig kryssa i de rutor som passar. Frågorna avser det klassrum som du är mest i.

Vädning med fönster i yttervägg

1 a. Hur ofta öppnar ni fönstren placerade i ytterväggen under lektionerna?

Vinter

Vår, höst

Sommar

(nov.-mars)

(april,sept.-okt.) (maj-aug.)

Alltid

Flera gånger varje lektion

1 gång varje lektion

Några gånger varje dag

1 gång varje dag

Någon gång i veckan

Sällan

Aldrig

1 b. Hur många fönster är öppna under lektionerna?

Antal fönster

....

....

....

2 a. Hur ofta öppnar ni fönstren placerade i ytterväggen under rasterna?

Vinter Vår, höst Sommar

Varje rast

Några raster varje dag

1 rast varje dag

Någon rast i veckan

Sällan

Aldrig

2 b. Hur många fönster är öppna under rasterna?

Antal fönster

3. Hur upplever du drag då fönstren är öppna?

Obesvärad Ganska obesvärad Acceptabelt Ganska besvärad Mycket besvärad
under vintern
under vår, höst
under sommaren

I klassrummen finns fönster/luckor som är placerade mycket högt upp vid/i taket. Dessa benämns takfönster.

4. Vad brukar du i första hand öppna, fönster placerade i yttervägg eller takfönster?

Fönster i yttervägg Takfönster Öppnar inget av det

Takfönster

5. Hur ofta är takfönstren öppna under lektionerna?

	Vinter	Vår, höst	Sommar
Alltid			
Flera gånger varje lektion			
1 gång varje lektion			
Några gånger varje dag			
1 gång varje dag			
Någon gång i veckan			
Sällan			
Aldrig			
Vet ej			

6. Hur ofta är takfönstren öppna under rasterna?

	Vinter	Vår, höst	Sommar
Varje rast			
Några raster varje dag			
1 rast varje dag			
Någon rast i veckan			
Sällan			
Aldrig			

7. Hur öppnas takfönstren?

Genom automatisk styrning	Manuellt (av lärare, elever)
Öppnas både automatiskt och manuellt	Vet ej

8. Vilket/vilka av takfönstren brukar öppnas? (kan besvaras med flera alternativ)

Ett takfönster	Flera takfönster samtidigt
Går ej att öppna, trasig	Vet ej

När takfönstren öppnas manuellt:

9. Vad är orsaken till att du öppnar takfönstren? (kan besvaras med flera alternativ)

Det är för instängd, begagnad luft	För att få in frisk luft
Det är för varmt	Fått instruktioner om det
Det är för fuktigt	Övrig ventilation är otillräcklig
Öppnar ej	Annan orsak:

10. Vad är orsaken till att du stänger takfönstren? (kan besvaras med flera alternativ)

Nått tillräckligt låg innetemperatur	För kall uteluft
Fått tillräcklig mängd ny oanvänd luft	Drag
Lektionen eller rasten slut	Buller utifrån
Fått instruktioner om det	För stark blåst
Regn	Annan orsak:

11. Vilka faktorer har hindrat dig från att öppna takfönstren även om du i vissa fall har velat öppna dem? (kan besvaras med flera alternativ)

För svårt att öppna fönstren	För kall uteluft
Går ej att öppna, trasiga	Drag
Behöver ej öppna, bra klimat, övrig ventilation tillräcklig	Buller utifrån
Otillräckliga instruktioner om hur man skall göra	För stark blåst
Tänker inte på att det behövs, tänker på undervisningen	Smutsig uteluft
Regn	Annan orsak:

12. Hur upplever du drag då takfönstren är öppna?

Obesvärad Ganska obesvärad Acceptabelt Ganska besvärad Mycket besvärad
under vintern
under vår, höst
under sommaren

Dörrar

13. Är innerdörrarna öppna eller stängda under lektionstid mellan klassrum och korridor/allrum?

Oftast stängda Oftast öppna Vet ej

14. Är innerdörrarna öppna eller stängda under lektionstid mellan klassrum och grupprum?

Oftast stängda Oftast öppna Vet ej

Allmänt

15. Hur vill du att ventilationen skall styras?

Helt automatiskt Automatiskt, med möjlighet att påverka, t ex vädring

Helt manuellt, genom att du själv reglerar allt Vet ej, har ingen åsikt

16. Hur bedömer du att ventilationssystemet fungerar?

Mycket bra Ganska bra Acceptabelt Ganska dåligt Mycket dåligt

17. Hur tycker du att rumstemperaturen i stort sett brukar vara i klassrummet?

För varmt Något varmt Lagom Något kallt För kallt
under vintern (nov.-mars)

under vår, höst (april, sept.-okt.)

under sommaren (maj-aug.)

