

# RAPPORT

Christer Harrysson

## **Luftvärmesystem i nya små- hus — Inventering, problem- analys och systemlösningar**

**TräteknikCentrum**

INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Christer Harrysson, konsult

LUFTVÄRMESYSTEM I NYA SMÅHUS  
Inventering, problemanalys och systemlösningar

TräteknikCentrum Rapport P 8702009

Nyckelord

*lumber  
residential construction  
single family houses  
ventilation  
warm air systems*

Stockholm februari 1987

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FÖRORD	3
SAMMANFATTNING	4
1. INLEDNING	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte och uppläggning	8
2. PRINCIPIELL UPPBYGGNAD AV LUFTVÄRMESYSTEM	9
2.1 Ingående komponenter/nomenklatur	9
2.2 Reglerutrustning	11
3. KOMFORTFRÅGOR	14
3.1 Effektivitetsbegrepp	14
3.2 Parametrar för bestämning av det termiska inomhusklimatet	14
3.3 Riktad operativ temperatur	17
3.4 Kallras	18
3.5 Täthet och ventilation	19
3.6 Luftströmningsprinciper	21
4. ASPEKTER PÅ SYSTEMETS UTFORMNING	23
4.1 Inverkande faktorer	23
4.2 Luftens temperatur, hastighet och mängd	23
4.3 Donplacering	25
4.4 Kanalsystemets förläggning, täthet och värmeisolering	32
4.5 Arbetsutförandets och injusteringens noggrannhet	33
4.6 Energisparåtgärder inom ventilationsområdet	34
4.7 Ventilationsvärmväxlare eller frånluftsvärmepump	35
4.8 Säkerhetspåslag vid bestämning av dimensionerande effektuttag	39
4.9 Energibesparing - ökad produktionskostnad	39
5. DIMENSIONERINGSEXEMPEL VID OLIKA FÖRLÄGGNINGSLTERNATIV	42
6. SLUTORD	50
6.1 Sammanfattande synpunkter på utformning av luftvärmesystem	50
6.2 Uppmärksammade brister/angelägna FoU-projekt	52
7. REFERENSER	55

## FÖRORD

Rapporten utgör delredovisning av ett projekt inom området "Luftvärmesystem" och avser projektets första etapp. Denna syftar bl a till att genom ökade kunskaper säkrare kunna nå bra systemlösningar ur komfort-, energiförbruknings- och kostnadssynpunkt. Finansiering av projektet har skett med medel från TräteknikCentrums trähusgrupp.

Under projektets gång har jag haft kontakt med ett stort antal personer inom bygg- och trähusföretag samt inom företag som tillverkar ingående delar i luftvärmesystem. Värdefulla diskussioner har förts med John-Eric Ekstrand, Jan Gustén och Lennart Örberg. För maskinutskriften har Britt Wood svarat. Figurerna har ritats av Hans Linder.

Till samtliga som bidragit till detta arbetes genomförande vill jag framföra mitt hjärtliga tack.

Christer Harrysson

## SAMMANFATTNING

Nya småhus har sådana värmetekniska egenskaper att förutsättningarna för luftvärmesystem radikalt har förbättrats. Ett luftvärmesystem är känsligare än andra värme- och ventilations-system för yttre störningar och samverkan mellan mikroklimat, byggnad, installationer och brukare. Avgörande för dimensionering av luftvärmesystem är bl a principer för bestämning av dimensionerande effektuttag samt uppgifter om luftens hastighet och temperatur. Detta beror på att luftvärmesystem är relativt obeprövade i småhus och att kanalsystemet kräver relativt stort utrymme jämfört med traditionella värmesystem. Vid projektering av luftvärmesystem är andra betydelsefulla faktorer dimensionerande utetemperatur, energisparapparaters effekt- och energibesparing vid olika situationer, kallras-effekter, distributionsförluster, injusteringsmöjligheter och donplacering.

Luftvärmesystem kan sägas vara en typ av frånlufts-/tilllufts-system och är därför relativt känsliga för påverkan av vind och temperaturskillnader mellan ute och inne. En tät klimatskärm är därför den första förutsättningen för ett energisnålt småhus med luftvärmesystem. Kanalförläggningen bör i så hög grad som möjligt ske på klimatskärmens och tätskiktets varma sida. Systemets effektivitet är beroende av luftomsättnings storlek, till- och frånluftsdonens placering och utformning samt tillluftens övertemperatur, inte minst för att god ventilations-effektivitet och hög energieffektivitet skall erhållas.

Placeras till- och frånluftsdonen nära varandra och inblåsningen sker mot de termiska stigkrafterna riskeras kortslutning av luftströmmen, vilket innebär dåligt utnyttjande av den tillförda luften samt ökad energiåtgång. Inblåsning uppåt vid ytterväggar i golvnivå och frånluft vid tak i bakkant ger den bästa effektiviteten och stabiliteten varvid en god temperaturfördelning erhålls såvida inte luftomsättningen är alltför låg. Den bör uppgå till minst 1,5 oms/h. Ur ventilationseffektivitetssynpunkt är inblåsning vid tak mindre lämpligt. Bakkantsinblåsning ger lätt upphov till stora temperaturskillnader i

rummet. För att motverka temperaturskiktningar bör inblåsningstemperaturen normalt inte överstiga 30-35°C och aldrig + 50°C. Luftfördelningen och strömningsbilden i rummet är avhängig val och placering av don. Stora liksom små luftflöden kan orsaka drag. Kallras vid undertempererade ytor, t ex fönster, är ytterligare en faktor som kan orsaka kraftiga dragkänslor och försämra det termiska inomhusklimatet. Kallrasskydd är nödvändigt även då kraven enligt SBN 1980 är uppfyllda för klimatskärmens täthet och isolering. Erforderliga värmeeffekter för att motverka den nedåtgående luftströmmen är dock små.

Bristfällig injustering och olämplig luftfördelning mellan olika rum har orsakat komfortproblem och ökning av energiåtgången. Injusteringsarbetet måste noga förberedas redan på projekteringsstadiet. Bra arbetsutförande och hög kvalitet på ingående material och komponenter är tillsammans med erforderlig täthet hos byggnaden och lämplig donplacering nödvändiga förutsättningar för hög ventilationseffektivitet. Därigenom kan möjligheterna öka för att reducera den avsiktliga ventilationens storlek, vilket är en av de mest lönsamma och säkra energisparåtgärder som kan vidtas.

Med utgångspunkt från ett normalt småhus med direktverkande elradiatorer, elberedare och mekaniskt frånluftssystem uppgår merkostnaden till ca 14000-20000 kr för ett luftvärmesystem inklusive ventilationsvärmväxlare eller frånluftsvärmepump för såväl tappvarmvattenvärmning som byggnadsuppvärmning. Nämda typ av frånluftsvärmepump ger ca 3000-5000 kr högre merkostnad än ventilationsvärmväxlare men bedöms ändå ha högre lönsamhet genom att den även kan utnyttjas för tappvarmvattenvärmning. Systemlösningar med bakkantsinblåsning är ca 2000 kr billigare än alternativ för framkantsinblåsning. Luftvärmesystem enligt ovan företer en merkostnad av ca 2000-5000 kr gentemot ett småhus med vattenvärmesystem, elpanna och mekaniskt frånluftssystem. Alternativet direktverkande elradiatorer, elberedare och frånluft-/tilluftssystem med ventilationsvärmväxlare är ca 4000-10000 kr billigare än luftvärmesystem. Därtill skall läggas kostnaden 500-3000 kr för att minska otätheterna från 3 till 1 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad.

Luftvärmesystem kan vara intressanta med hänsyn till produktionskostnader och kombinationsmöjligheter med aktuella energisparapparater. Möjligheterna att med luftvärmesystem minska energiförbrukningen bl a genom högre temperatureffektivitet bör studeras. Beroende på förhöjda yttemperaturer kan jämfört med traditionella värmesystem förutsättningar finnas för att sänka lufttemperaturen, utan att den operativa temperaturen påverkas. Effekt- och energiuttaget varierar med systemets utformning.

Traditionella värmesystem såsom direktverkande elradiatorer och vattenradiatorer behöver närmare studeras och jämföras med luftvärmesystem med hänsyn till energieffektivitet och inverkan på inomhusklimatets komfortegenskaper. Dylika undersökningar är särskilt angelägna för systemlösningar med bak-kantsinblåsning vid vägg nära tak.

## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Sedan oljekrisen 1973 har FoU-verksamheten huvudsakligen inriktats på frågor rörande energiförbrukning för att först på senare tid ägnas åt effektuttag. Inomhusklimatet har därigenom kommit att bli den viktigaste parametern för de boende och indirekt även för den verkliga energiåtgången.

Vid projektering av småhus är ett stort antal energisparåtgärder, värme- och ventilationssystem aktuella. De totala produktionskostnaderna för hus, inklusive installationer, har kraftigt skjutit i höjden och ökat intresset för kostnadsbesparande åtgärder, se Harrysson (1985a). Nya småhus har sådana värmetekniska egenskaper att förutsättningarna för luftvärmesystem radikalt har förbättrats. Luftvärmesystem är i Sverige relativt obeprövade. De kan dock vara ett ur komfort- och kostnadssynpunkt intressant alternativ. Enligt Höjerdal m fl (1984) kan luftvärmesystem gentemot andra värme- och ventilationssystem ge fördelar såsom:

- lägre produktions- och underhållskostnader genom ett integrerat värme- och ventilationssystem
- minskade risker för fukt-, mögel- och rötproblem genom att stora luftmängder cirkulerar i huset och mellan dess olika delar
- möjligheter till ett bättre inomhusklimat genom att vid behov centralt filtrera, värma och eventuellt till viss del kyla tilluften
- allergiframkallande ämnen kan reduceras vid användning av elektrostatiskt filter
- ökade möjligheter att dragfritt tillföra uteluft
- ett ökat utnyttjande av gratisvärme och förflyttning av värmeöverskott från varmare till kallare delar av huset vilket kan medföra en jämnare temperaturfördelning mellan husets olika delar jämfört med traditionella värmesystem och stängda innerdörrar
- ökat utnyttjande av alternativa energikällor genom användning av lågtemperatursystem.



Bland nackdelar, som luftvärmesystem kan ge, märks:

- försämrad luftkvalitet vid återluftföring
- lägre energieffektivitet än traditionella värmesystem
- lägre komfort, särskilt vid bakkantsinblåsning
- ett fungerande system kräver ett mycket tätt hus
- kontinuerlig tillsyn och periodiskt underhåll erfordras
- större risker för övertryck inne och tillhörande fuktskador i klimatskärmen.

## 1.2 Syfte och uppläggning

Luftvärmesystem kan vara ett intressant alternativ till direktverkande elradiatorer och vattenvärmesystem med hänsyn till de framtida funktions- och myndighetskrav som kan ställas på flexibilitet, termiskt inomhusklimat, energihushållning m m. Trä- teknikCentrum har därför initierat ett projekt inom området bestående av två etapper, vilka kan beskrivas med nyckelorden:

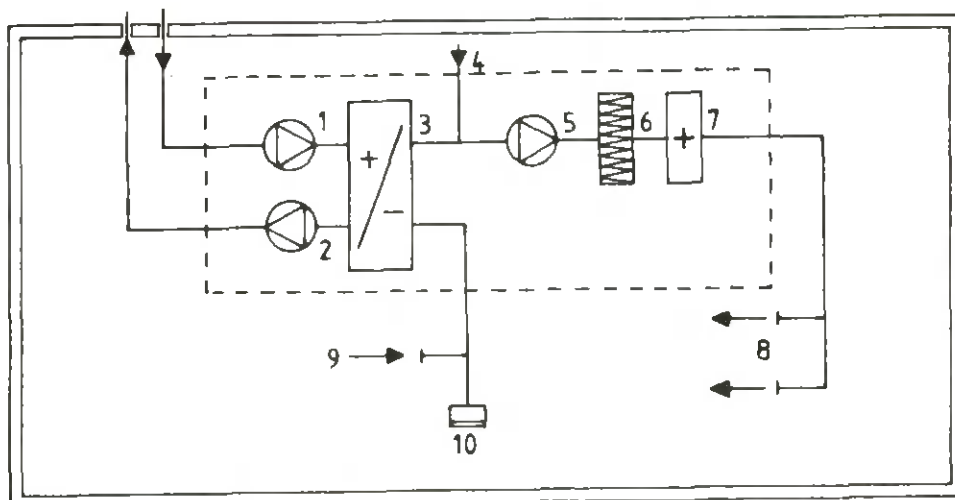
1. Inventering, problemanalys och systemlösningar
2. Energieffektivitet och inverkan på inomhusklimatets komfortegenskaper. Uppföljning och genomförande av experimentella undersökningar.

Denna rapport utgör redovisning av den första etappen som syftar till att ge ökade kunskaper om luftvärmesystems utformning med inriktning på att säkrare nå bra systemlösningar ur komfort-, energiförbruknings- och kostnadssynpunkt. Utgående från luftvärmesystems principiella uppbyggnad behandlas komfortfrågor, betydelsefulla faktorer vid systemutformning jämte myndighetskrav. Kvantitativa uppgifter ges för resultatet av olika energisparåtgärder inom ventilationsområdet. Uppgifter om energibesparing och ökad produktionskostnad lämnas för aktuella åtgärder och system. I ett dimensionerings-exempel redovisas och värderas olika förläggningsalternativ. Rapporten avslutas med sammanfattande synpunkter, uppmärksammade brister och angelägna FoU-projekt.

## 2. PRINCIPIELL UPPBYGGNAD AV LUFTVÄRMESYSTEM

### 2.1 Ingående komponenter/nomenklatur

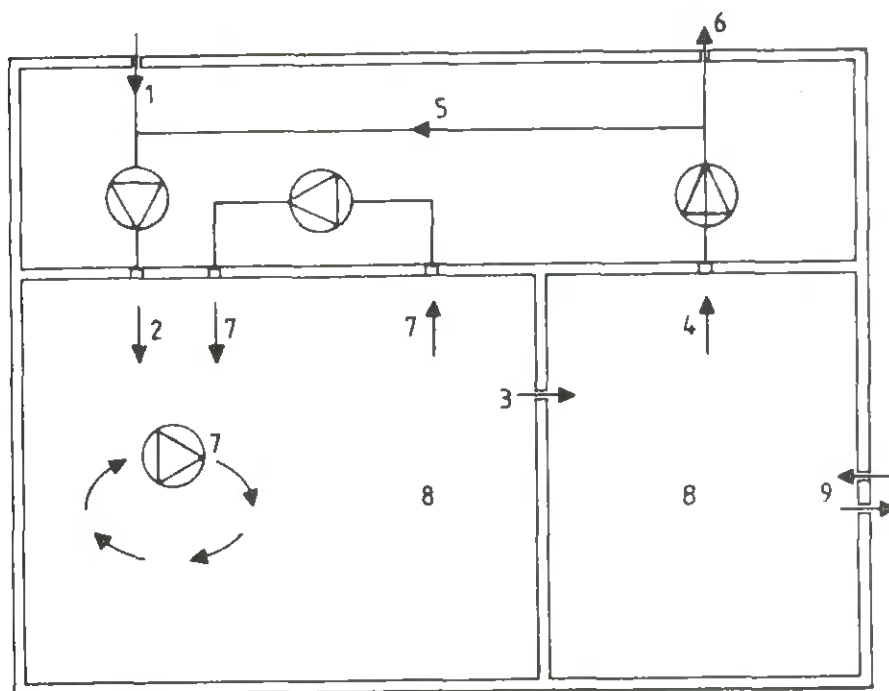
Luftvärmesystem kan sägas utgöra såväl ventilations- som värmesystem. Systemens uppbyggnad påverkar i hög grad inomhusklimatet. Luftvärmesystem är i princip sammansatta av, se Figur 1, utelufts- och frånluftsfläkt, värmeväxlare/värmepump för tillvaratagande av energin i avluften, återluftsfläkt, filter, värmebatterier, distributionskanaler samt tillluftsdon i rummen.



Figur 1. Systemschema för luftvärmesystem i en bostadsenhet. Källa: Höjerdal m fl (1984).

- 1 uteluftsfläkt alt. spjäll
- 2 frånluftsfläkt
- 3 värmeåtervinningsbatteri
- 4 återluftsintag
- 5 tilluftsfläkt
- 6 filter
- 7 värmebatteri
- 8 tilluftsdon
- 9 frånluftsdon
- 10 spiskåpa

En del begrepp och uttryck med anknytning till luftvärmesystem kan kräva en förklaring. Nomenklatur enligt Höjerdal m fl (1984) redovisas i Figur 2.



Figur 2. Ventilationssystem. Källa: Höjerdal m fl (1984)

1 uteluft	6 avluft
2 tilluft	7 cirkulationsluft
3 överluft	8 inneluft
4 frånluft	9 läckluft
5 återluft	

Eftersom tilluften även svarar för uppvärmningen fördelas tilluften till varje rum, även kök och ibland även bad och wc. Bad och wc värms ofta upp med direktverkande elradiatorer bl a beroende på osäkerhet om luftvärmesystems inverkan på inomhusklimatets komfortegenskaper. Dragproblem i våtutrymmen m m har noterats.

Luften blåses in genom tilluftsdon i golv, tak eller vägg. För att minska energiåtgången kan avluften från kök, bad och wc värmväxlas till den inkommande uteluften i en ventilationsvärmväxlare eller värmepump. Uteluftintaget är lämpligen placerat så att uteluften tas där den är som kallast sommartid och där den är som varmest vintertid, dvs vid norra fasaden sommartid och vid södra fasaden eller via vindsutrymmet vintertid. Frånluftsdon placeras i kök, bad och övriga våtutrymmen.

De filter som används för att rena uteluft och återluft är i de flesta fall av typ grundfilter, klass G80 eller G85 enligt SMS 2289. Dessa filter renar inte luften från allergiframkallande ämnen. Möjligheter för installation av filter med bättre

reningsgrad och gasreningsfilter finns vanligen. Värmebatteriet är avsett för vatten eller el. Kanaldragning med plåtkanaler eller andra material sker oftast i eller under golv- eller takbjälklag men även synligt montage förekommer. Det finns bjälklag med håligheter, inlagda eller ingjutna kanaler.

Återluft används för att öka det totala tilluftsflödet och därmed kunna hålla nere tilluftstemperaturen samt för att minimera uteluftsflödet ned till kravnivån, se Statens planverk (1980). Om inte en effektiv rening föreligger finns risk för att luftföroreningar i ett rum sprids till övriga. Överströmning av luft mot värmeaggregatets återluftsintag anordnas genom springor under dörrar eller med ljuddämpande/ljudavskärmande överluftsdon. Uteluftsflödet in i aggregatet styrs antingen av ett spjäll eller med en separat fläkt. Då uteluftsflödet styrs av ett spjäll används tilluftsfläkten för både uteluftsflödet och tilluftsflödet, se Figur 1.

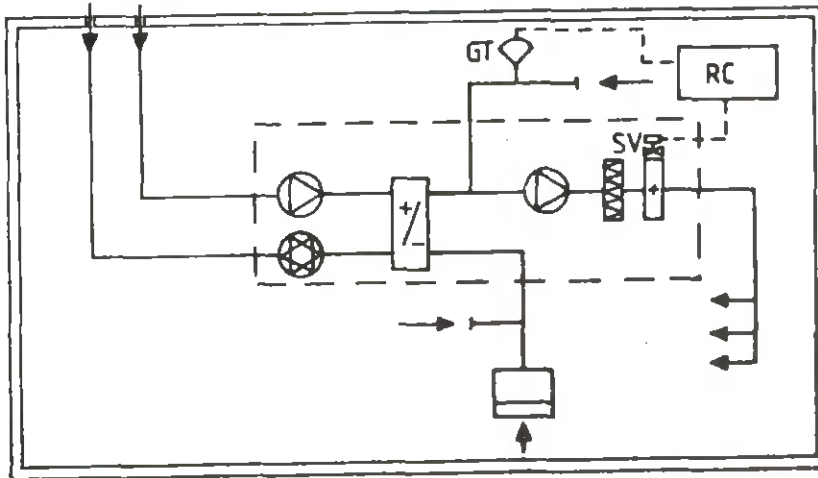
### Direkta och indirekta system

Ett s k direkt luftvärmesystem avger all värme till rummet via tilluften efter det att den lämnat tilluftsdonet. Då luften går i kanaler i tak eller golv och en viss del av värmen avges till byggnadskonstruktionen, för att sedan, i form av strålningsvärme, komma rummet till godo, är detta ett mellanting mellan direkt och indirekt luftvärmesystem. Ett indirekt system kännetecknas av att värme överförs genom att byggnadsdelarnas ytor har högre temperatur än rumsluften. Indirekta system, t ex varma golv, ställer ökade krav på täthet och att lufttemperaturen hålls nere för att begränsa värmeförlusterna genom transmission och ventilation. Indirekta system är svåra att reglera och injustera. Av bl a nämnda skäl och med hänsyn till transmissionsförlusternas storlek rekommenderas direkta system.

### 2.2 Reglerutrustning

Reglerutrustningen skall ge möjligheter till variabel värmeeffekt, god energiekonomi och ett högt gratisvärmeutnyttjande. Genom att nybyggda småhus har låg energiåtgång kan endast billiga reglerutrustningar motiveras ekonomiskt.

Luftmängden i nya småhus varieras oftast manuellt mellan några olika fasta lägen. Lufttemperaturen i cirkulationsluften styr vanligtvis tillförd värmeeffekt med en temperaturgivare, Figur 3. En del luftvärmesystem och reglerutrustningar styrs även av en utegivare. Denna är ur komfort- och energisynpunkt av mindre betydelse än den i cirkulationsluften placerade temperaturgivaren, men ger ändå vissa fördelar genom att hänsyn snabbare kan tas till förändringar i uteklimatet.



Figur 3. Reglersystem för småhus. Källa: Höjerdal m fl (1984)

Rumsvis reglering av värmeförseln för att i något utrymme ändra innetemperaturen sker så gott som uteslutande genom manuell ändring av luftflödet bl a beroende på att ekonomiska förutsättningar saknas för reglerutrustningar med rumsvis reglering.

För att spara energi rekommenderas ofta att sänka innetemperaturen nattetid eller då huset är obebott, t ex dagtid. Många gånger räcker det att höja och sänka temperaturen med hjälp av ett fast programmerbart styrur varvid värmeförseln till/från-regleras. Detta kan dock leda till ljudproblem. Bl a på grund av byggnadens värmekapacitet erhålls ett delvis okontrollerat uppvärmnings- och avsvlningsförlopp. Denna reglerprincip är med säkerhet ej energioptimal. Mikrodatorer med optimeringsmöjligheter håller på att introduceras på marknaden. Lönsamheten för dylika reglerutrustningar är dock låg i nya energisnåla småhus. En grads lägre innetemperatur hela dygnet motsvarar blott en energibesparing av ca 500 kWh/år. Tidsdifferen-

tierade eltaxor och frånluftsvärmepumpar är ytterligare faktorer som minskar den ekonomiska betydelsen av periodvisa temperatursänkningar, framförallt nattsänkning.

Bland luftvärmesystemens fördelar betonas ofta möjligheterna till ökat gratisvärmeutnyttjande genom värmetransport från husets solsida till dess skuggsida. Värmetransport av detta slag sker emellertid även vid andra typer av värmesystem försedda med rumstermostat, vid avstängd värmetillförsel och öppna innerdörrar. För luftvärmesystem, stängda innerdörrar i huset och en övertemperatur av  $5-10^{\circ}\text{C}$  i ena hushalvan kan till den andra förflyttas en värmeeffekt av  $75-200\text{ W}$  vid en luftomsättning av  $1\text{ oms/h}$ . Denna värmeeffekt är endast en marginell del av den värmeeffekt som kan förflyttas internt gentemot traditionella värmesystem och öppna innerdörrar.

Luftvärmesystem bör utformas så att rimliga variationer i värmeeffekt kan erhållas utan större olägenheter. I en del luftvärmesystem varierar såväl luftflödet som inblåsningstemperaturen med utetemperaturen. I andra system kan endast luftflödet varieras mellan två fasta lägen. Vilket luftflöde som skall vara inkopplat bestäms därvid av effektuttaget via värmesystemet. Hus med ovannämnda typer av reglerutrustningar uppvisar stora skillnader i termiskt inomhusklimat vid olika klimatsituationer ute. Det är t ex inte säkert att de största komfortproblemen inne uppstår vid låg utetemperatur.

### 3. KOMFORTFRÅGOR

#### 3.1 Effektivitetsbegrepp

Luftkvaliteten och det termiska inomhusklimatet påverkas av ett flertal faktorer. Olika luftvärmesystem fördelar luften olika inom småhuset. Hur fördelningen sker är för delvis oöretligt. Från såväl energi- som komfortsynpunkt är det väsentligt att luften når de utrymmen den är avsedd för och att den på ett så effektivt sätt som möjligt byter ut luften i byggnaden samt borttransporterar de föroreningar som finns. I dessa sammanhang kvantifieras olika systems egenskaper bl a med begreppen temperatur-, ventilations- och luftutbyteseffektivitet, se Sandberg (1982), Höjerdal m fl (1984) samt Jacobson & Lindgren (1985). Dessa begrepp definieras enligt nedan:

##### temperatureffektivitet

ett systems förmåga att till- eller bortföra värme i vistelsezonen och hur snabbt detta sker

##### ventilationseffektivitet

ett systems förmåga att bortföra föroreningar från vistelsezonen och hur snabbt detta sker

##### luftutbyteseffektivitet

ett mått på hur effektivt systemet utnyttjar den tillförda luften och hur snabbt denna byts ut

##### vistelsezon

del av utrymme inom vilket krav anges på luftens hastighet, temperatur, fuktighet och renhet. Vistelsezon begränsas av plan på visst avstånd från väggar och golv.

#### 3.2 Parametrar för bestämning av det termiska inomhusklimatet

Texten i detta avsnitt följer huvudsakligen Jacobson & Lindgren (1985).

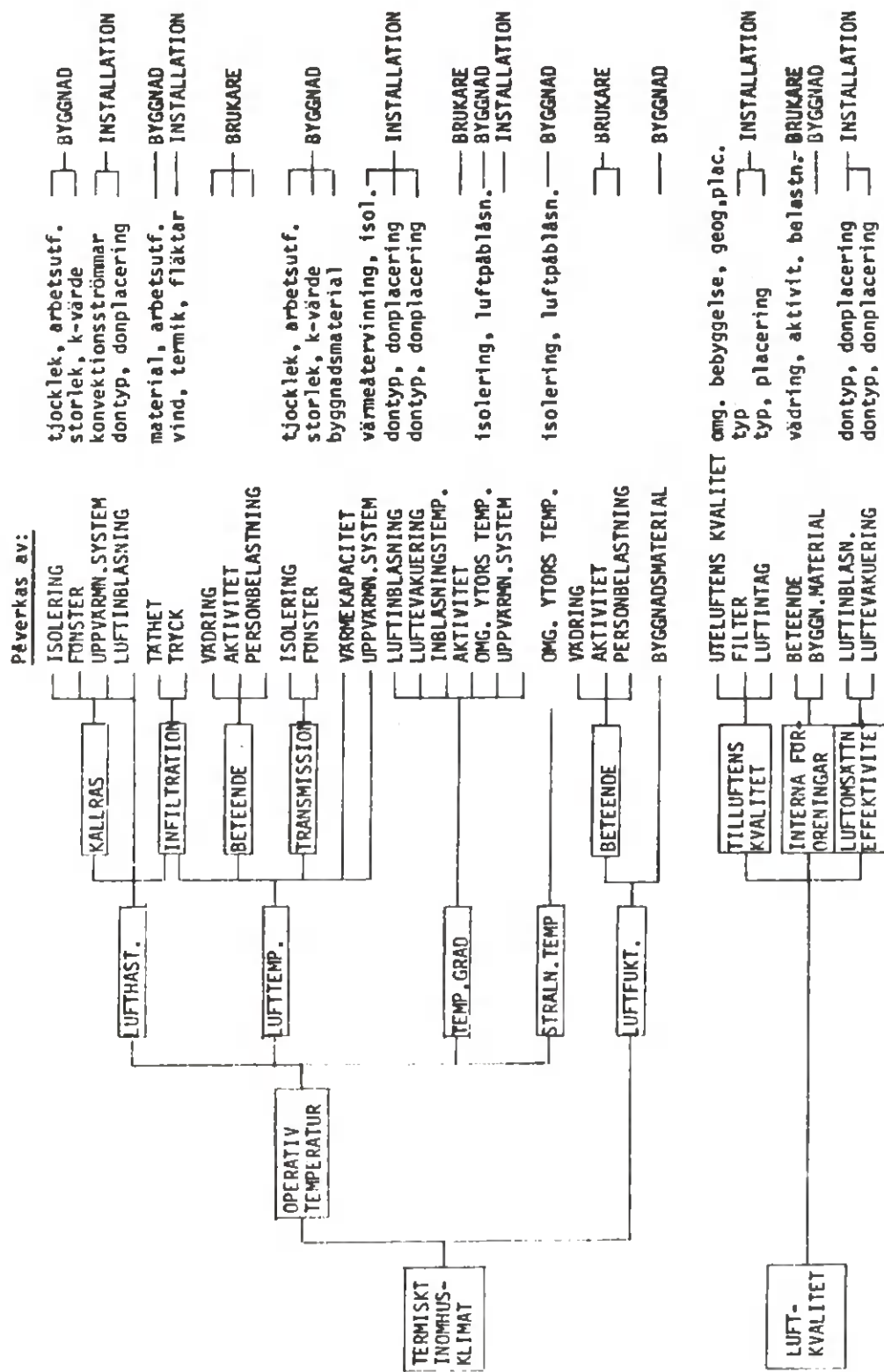
Det termiska inomhusklimatet karakteriseras av en kombination av olika parametrar såsom

- lufttemperatur
- luftrörelser
- strålningstemperatur
- temperaturgradient
- luftfuktighet.

Figur 4 innefattar en överblick av dessa parametrar och påverkande faktorer. I SBN 1980 kapitel 35, se Statens planverk (1980), uttrycks det allmänna kravet att en byggnad och dess installationer skall anordnas så att ett tillfredsställande termiskt inomhusklimat erhålls med hänsyn till byggnadens avsedda användning.

En förutsättning för att uppnå ett bra inomhusklimat är en låg oavsiktlig ventilation, dvs en tät klimatskärm. Den oavsiktliga ventilationen är en funktion av byggnadens täthet, systemlösningen samt av vind och utetemperatur. Lokala otätheter medför ofta dragkänslor och ökad energiåtgång.





Figur 4. Komfortparametrar. Källa: Höjerdal m fl (1984).

Luftfördelningen och strömningsbilden i rummet är avhängigt av val och placering av ventilationsdon i kombination med val av värmesystem. En god luftfördelning är ytterst väsentlig. För stora luftflöden kan orsaka drag. Detta kan även gälla för små luftflöden genom att luftstrålen faller ner i vistelsezonen. Temperatursvängningar i tilluften kan också ge drag, beroende på luftens instabilitet hos vissa systemlösningar. Kallras vid undertempererade ytor, t ex fönster, är ytterligare en faktor som kan orsaka kraftiga dragkänslor och väsentligt försämra det termiska inomhusklimatet.

### 3.3 Riktad operativ temperatur

Det termiska inomhusklimatet kvantifieras genom begreppet riktad operativ temperatur,  $\bar{t}_{op}$ , vilken beräknas enligt

$$\bar{t}_{op} = \frac{t_1 + \bar{t}_y}{2} \quad (^\circ\text{C}) \quad (3.1)$$

där  $t_1$  = lufttemperaturen i en viss kontrollpunkt ( $^\circ\text{C}$ )  
 $\bar{t}_y$  = riktad medelstrålningstemperatur i samma kontrollpunkt mot rummets begränsningsytor ( $^\circ\text{C}$ )

Den riktade operativa temperaturen bestäms av fyra parametrar, nämligen yttemperaturer, lufttemperatur, lufthastighet och strålningstemperatur. Lufttemperaturen är beroende av luftinfiltration, transmissions- och ventilationsförluster, värmekapacitet, val av värmesystem och brukarens beteende. Lufthastigheten är beroende av kallraseffekter, infiltration och luftinblåsning. Strålningstemperaturen är beroende av omgivande ytors temperatur.

Den riktade operativa temperaturen ger inte ensam ett entydigt mått på komforten. Även strålningsfältets asymmetri i en punkt är väsentlig för klimatupplevelsen. En avvikelse i riktad operativ temperatur på  $2^\circ\text{C}$  för olika riktningar i samma punkt vid en lufttemperatur av  $20^\circ\text{C}$  är tillräcklig för att människan skall uppleva otillfredsställande komfort. Den riktade operativa temperaturen är i första hand en beräknad storhet som är svår att mäta. Den kan dock registreras med s k globetermometer.

I bostäder godtas enligt SBN kapitel 35, se Statens planverk (1980), en lägsta riktad operativ temperatur av  $18^{\circ}\text{C}$  vid dimensionerande utetemperatur under förutsättning att lufthastigheten understiger  $0,2\text{ m/s}$ . Skillnaden i riktad operativ temperatur mellan olika punkter och riktningar i rummet får uppgå till högst  $5^{\circ}\text{C}$ . Även luftfuktigheten inverkar på det termiska inomhusklimatet men kan betraktas som försumbar i bostäder. Yttemperaturen på golv skall ligga inom intervallet  $16\text{--}27^{\circ}\text{C}$ . I bad- och duschrum gäller att den riktade operativa temperaturen skall vara minst  $20^{\circ}\text{C}$  och att yttemperaturen på golvet skall ligga inom intervallet  $18\text{--}27^{\circ}\text{C}$ .

För bostadshus och motsvarande behöver någon kontroll av den riktade operativa temperaturen inte ske om husets värmeisolering och lufttäthet uppfyller kraven enligt SBN 1980, kapitel 33, samt om värmeinstallationen är utförd på ett "traditionellt" sätt och dimensionerad enligt kapitel 35. För rum med stor fönsterarea bör dock beräkningar krävas. Luftvärmesystem, särskilt systemlösningar med bakkantsinblåsning, kan inte anses tillhöra gruppen traditionella värmesystem, utan bör dokumenteras med uppgifter om riktad operativ temperatur.

Installationerna bör utformas så att luftens medelhastighet i hela vistelsezonen är lägre än det uppställda dragkriteriet. Dragkänslan beror på lokal avkylning av en kroppsdel och är en funktion av lufttemperatur, strålningstemperatur och lufthastighet. Temperaturojämnheter i rummet och strålning från kalla ytor orsakar med andra ord också dragkänslor, som måste beaktas i samband med projekteringen. Hänsyn till inredning och möblering tas normalt inte i detta sammanhang.

### 3.4 Kallras

Vid ytor med lägre temperatur än den omgivande luftens uppträder en nedåtgående kall luftström, s k kallras. I gränsskiktet intill den kalla ytan antar luften en temperatur som nära överensstämmer med ytans. Eftersom luftens densitet ökar med sjunkande temperatur uppstår en nedåtgående kall luftström. Sådana kalla luftströmmar påverkar klimatförhållandena, inte bara i den kalla ytans närhet utan även en bit in i vistelsezonen. Kallrasen påverkas av en rad faktorer såsom:

- den kalla ytans temperatur
- den kalla ytans storlek, särskilt höjden
- till- och frånluftsdonens placering
- tilluftens temperatur
- rummets form och storlek
- typ av värmesystem
- hinder i luftströmmens väg, t ex fönsterbrädor
- otätheter i byggnaden.

Det enda sätt på vilket SBN 1980 tar hänsyn till kallraseffekter är genom kravet på högsta tillåten lufthastighet, 0,20 m/s, i vistelsezonen. Jacobsson & Lindgren (1985) har konstaterat att kallrasskydd är nödvändigt även då SBN 1980 följs vad gäller klimatskärmens tätning och isolering. Skyddet behövs även då värmebelastningen helt täcker rummets värmeförluster. Erforderliga värmeeffekter är dock små. Vid utetemperaturen  $-20^{\circ}\text{C}$ , 1 m höga treglasfönster och en infiltration motsvarande 0,1 m/s får man den nedåtgående luftströmmen att vända med en effekt motsvarande 40 W/m. För ytterligare studier av kallraseffekter, se Rydberg (1963).

### 3.5 Täthet och ventilation

#### Oavsiktlig ventilation

Småhus skall enligt SBN 1980 ha en högsta otäthet av 3 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad. Majoriteten av nyproducerade småhus har sannolikt otätheten ca 2,0-2,7 oms/h och några enstaka företag garanterar en otäthet av högst ca 1 oms/h, se Månsson (1984). Ett fungerande luftvärmesystem ställer krav på mindre otätheter hos byggnadens klimatskärm.

Otätheten 3 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad kan på basis av bl a mätningar av Lindquist (1976) anses motsvara en oavsiktlig ventilation av i medeltal normalt 0,1 oms/h vid normala klimathförhållanden och variationer mellan 0,05 och 0,15 oms/h. Otätheten 1 oms/h motsvarar en oavsiktlig ventilation av i medeltal normalt 0,05 oms/h med variationer mellan 0,0 och 0,1 oms/h.

### Avsiktlig ventilation

Vid projektering av luftflöden (avsiktlig ventilation) ställs enligt SBN 1980 krav på att husets totalventilation skall uppgå till  $0,35 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$  bostadsyta. Kravet motsvarar för vanligen förekommande småhus ca  $0,5 \text{ oms/h}$ . Luftströmning mellan rum får, när sådan förekommer, endast ske från mindre till mer förorenade rum. Det genom ventilationssystemet projekterade luftflödet erfordras för att undvika olägenheter bl a i form av fukt, lukt, radon och formaldehyd, se Harrysson (1985b). I denna referens återges olika faktorerers inverkan på ventilationsbehovet.

Vid en total ventilation, motsvarande normens krav på  $0,5 \text{ oms/h}$ , uppgår ventilationsförlusterna exklusive fläktens energi under uppvärmningsperioden till ca  $5000 \text{ kWh/år}$  för ett normalt småhus. Stora skillnader i luftväxling och energiåtgång förekommer även mellan "tekniskt identiskt utformade" småhus med injusterade ventilationssystem. Harrysson (1981) refererar till en studie av frånluftssystem i 25 "tekniskt identiskt utformade" småhus. I medeltal uppgick luftväxlingen till  $0,3 \text{ oms/h}$  med variationsbredden ca  $0,4 \text{ oms/h}$ . Variationerna betingas i första hand av kvalitetsskillnader i arbetsutförande.

För en senare byggd grupp med 5 "tekniskt identiskt utformade" småhus uppmättes skillnader i luftväxling på  $0,15 \text{ oms/h}$  kring ett medelvärde av ca  $0,2 \text{ oms/h}$ , se Bäckberg & Gustén (1978). Denna skillnad motsvarar en energiåtgång av ca  $1500 \text{ kWh/år}$ . Den avsevärt mindre skillnaden i luftväxling mellan olika hus för den sistnämnda husgruppen beror framförallt på faktorer som bättre arbetsutförande och noggrannare injustering av ventilationssystemet. Vidare har i den sistnämnda husgruppen ventilationskanalerna skarvar med gummiringstättning mot tejpade skarvar i den förstnämnda husgruppen. Fläktarna i den förra husgruppen arbetar också med högre totaltryck. I torrt byggda hus med injusterade frånluftssystem synes luftväxlingen  $0,3 \text{ oms/h}$  ge en tillräckligt hög komfort, se Harrysson (1981). En låg luftväxling kan resultera i kondens och i svårare fall mögelproblem.

## Differentierade krav på byggnadens otätheter beroende på värme- och ventilationssystemet

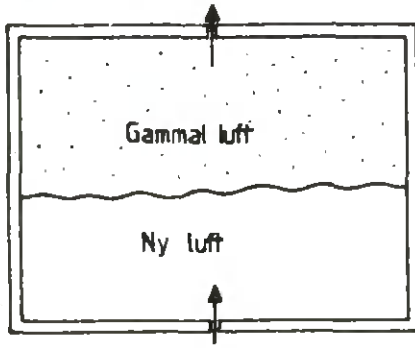
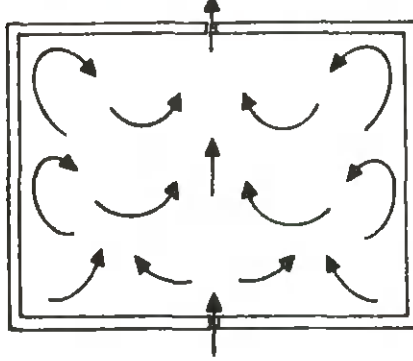
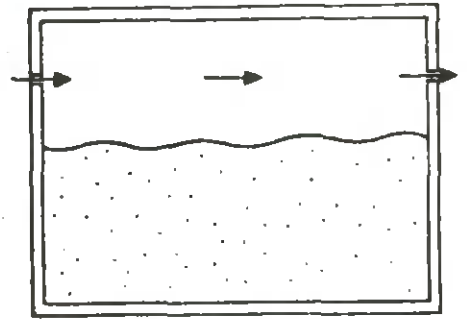
Planlösning, husform, våtutrymmenas och donens placering är faktorer av betydelse för luftkvaliteten i olika delar av huset. Det finns exempel på att det varit nödvändigt att göra kompletteringstätningar i hus med frånluftssystem för att luftflödet skall kunna styras tillfredsställande. Frånluftsventilerade hus måste således ha en viss högsta otäthetsgrad för att luftflödesfördelningen i huset skall bli acceptabel, se Harrysson (1985b).

Luftvärmesystem innefattar principiellt ett frånlufts-/tillluftssystem med vilket erhålls större säkerhet att få god ventilation jämfört med frånluftssystem, bl a under förutsättning att systemet är korrekt dimensionerat och injusterat samt att ventilationssystemet regelbundet får tillsyn och service. Emellertid ökar riskerna för övertryck. Hus med luftvärmesystem måste dock ha en mycket låg otäthetsgrad för att inte mängden oavsiktlig ventilation skall bli för stor. Det är därför rimligt att kräva att ett hus med luftvärmesystem har en otäthetsnivå som understiger 1 oms/h vid 50 Pa för att systemet skall bli energieffektivt. Medan man med frånlufts-/tillluftssystem sannolikt kan säkerställa god luftkvalitet även i relativt otäta hus är det från energisynpunkt viktigare att byggnaden är så lufttät som möjligt. Ju tätare huset är desto större möjligheter finns det att styra och injustera ventilationen mot ett önskat värde.

### 3.6 Luftströmningsprinciper

Luftkvaliteten bestäms bl a av det sätt på vilket den tillförda luften fördelas inom rummet. Beroende på donplacering och luftflöde kan luften fås att strömma på olika sätt i ett rum. Tre huvudströmningsprinciper kan särskiljas, nämligen:

- kolvströmning (förträngningsströmning)
- fullständig omblandning
- kortslutningsströmning.

KolvströmningFullständig omblandningKortslutningsströmning

Figur 5. Olika luftströmningsprinciper. Källa: Jacobson & Lindgren (1985).

Vid kolvströmning fungerar den tillförda luften som en kolv och skjuter ut föroreningar ur rummet. Denna strömningstyp är den effektivaste med avseende på att avlägsna föroreningar och tillföra värme till rummet. Vid praktiska tillämpningar kan dock aldrig fullständig kolvströmning åstadkommas. I praktiken är luftflöden tillförda mot de termiska stignakterna och långt från frånluftsdonet det bästa sättet att tillföra värme. Denna placering minimerar temperaturgradienten men kräver frånluftsdon vid golv. Strömningen äventyras vid öppna dörrar. Kolvströmning är den effektivaste strömningstypen för att uppnå bra luftkvalitet. Metoden fordrar dock alltför stora luftflöden för att kunna tillämpas vid ventilation av bostäder.

Vid fullständig omblandning fördelas den tillförda luften likformigt över hela rummet och samtidigt sker en fullständig spridning av föroreningarna i rummet. Detta är dock inte önskvärt i allmänhet men kan vanligtvis accepteras i bostäder. Fullständig omblandning är inte alltför svår att åstadkomma.

Kortslutningsströmning är den sämsta strömningstyp som kan uppträda. Härvid går stor del av tilluften genom rummet utan att passera vistelsezonen, vilket innebär såväl låg ventilations- som temperatureffektivitet.

## 4. ASPEKTER PÅ SYSTEMETS UTFORMNING

### 4.1 Inverkande faktorer

Med hänsyn till funktion, komfort och energiekonomi är bl a följande faktorer av betydelse vid utformning av luftvärme-system:

- luftens temperatur och hastighet
- donens placering och kvalitet
- kastlängd
- ljudnivå
- utseende
- material i kanaler
- kanalernas förläggning, täthet och värmeisolering
- säkerhetspåslag vid bestämning av dimensionerande effektuttag
- arbetsutförandets och injusterings noggrannhet.

Byggnaden, luftvärmesystemet och de boende måste i ökad utsträckning ses som en helhet. Ingående material, komponenter och delsystem måste väljas med hänsyn till de låga effekt- och energiuttag som är aktuella för nya småhus. I det följande behandlas några av de viktigaste faktorerna.

### 4.2 Luftens temperatur, hastighet och mängd

För att få så klana tilluftskanaler som möjligt skall både luft-hastigheten och inblåsningstemperaturen vara hög. Dessa krav ger dock bl a nackdelarna:

- Hög hastighet i kanalsystemet ger dels stora tryckfall över kanalsystemet, dels risk för ljudproblem. Stort tryckfall över kanalsystemet gör att anläggningen blir svår eller omöjlig att injustera. Omvänt medför litet tryckfall ett för vindpåverkan instabilt system samt ökade problem med igensättning och försmutsning.
- Hög temperatur medför att alternativa energikällor och t ex frånluftsvärmepumpar får minskad lönsamhet. Hög temperatur ökar dessutom riskerna för temperaturskiktningar.



Tilluftstemperaturen bör aldrig överstiga  $+50^{\circ}\text{C}$ . Högre temperaturer ger kraftiga temperaturskiktningar, vilket upplevs som obehagligt samtidigt som det innebär en ökad energiåtgång. Normalt bör inte tilluftstemperaturen överstiga  $30-35^{\circ}\text{C}$  i dagens luftvärmesystem.

Stort totalluftflöde innebär att omblandningen av rumsluften blir bättre varvid riskerna för temperaturskiktning minskar. Å andra sidan innebär stora luftflöden ökad risk för övertryck i huset samt risk för höga lufthastigheter i vistelsezonen eller med andra ord drag. Nämnade problem beror bl a på donens egenskaper. Donen måste ha stor sekundärluftinblandning.

För kanaler av plåt rekommenderas, med hänsyn till accepterade ljudnivåer, en lufthastighet i kanalerna av ca 3-4 m/s. För kanaler av plastmaterial rekommenderas en ca dubbelt så hög lufthastighet. Plaströr är ett bra alternativ till spirokanaler. Plaströren har fördelen att vara enkla att kapa och skarva. Brandkrav och beständighet måste dock särskilt beaktas. Flexibla kanaler bör endast användas i undantagsfall, bl a på grund av dålig hållfasthet och beständighet samt hög ljudalstring och höga tryckfall. I tabellerna 1 och 2 ges exempel på vilka luftmängder runda plåt- och plastkanaler kan transportera vid olika lufthastigheter.

Tabell 1. Transporterade luftmängder i plåtkanaler vid lufthastigheten 4 m/s.

Diameter mm	Luftmängd $\text{m}^3/\text{h}$
63	45
80	75
100	110
125	190
160	250
200	470
250	720
315	1080

Tabell 2. Transporterade luftmängder i plaströr vid luft-  
hastigheten 4,6 och 8 m/s.

Lufthastighet m/s	Dimension mm	Luftmängd m <sup>3</sup> /h
8	30	20
8	40	36
8	50	57
6	30	15
6	40	27
6	50	42
4	30	10
4	40	18
4	50	28

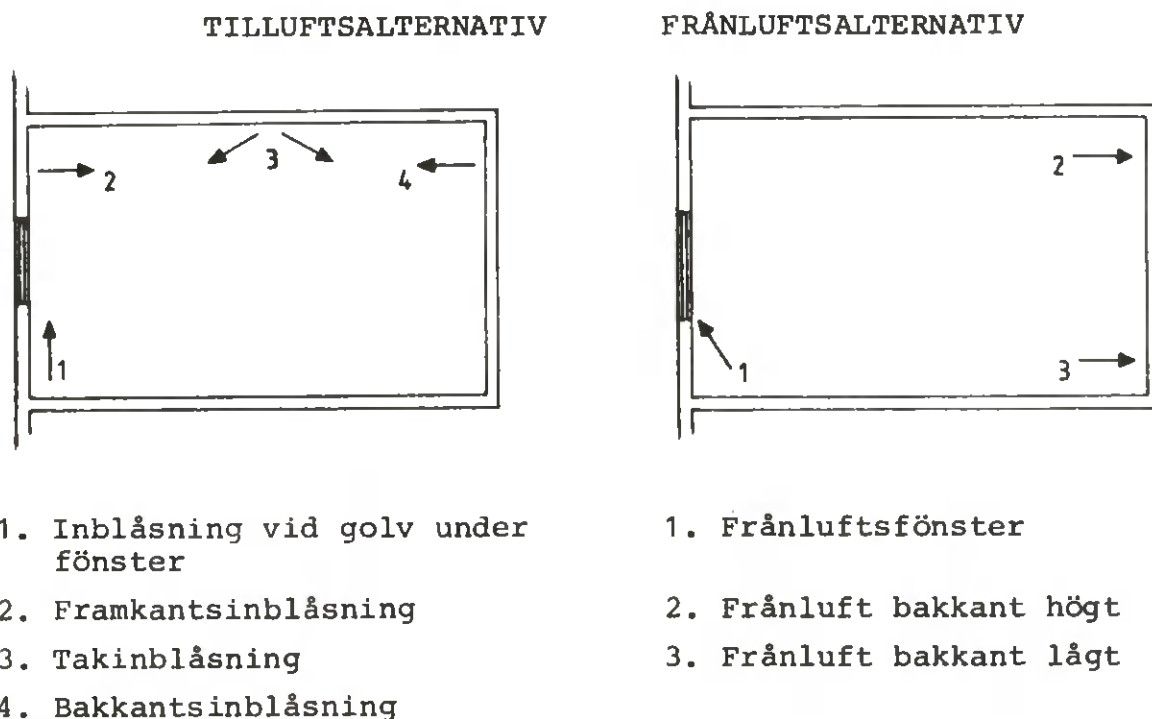
#### 4.3 Donplacering

Luftvärmesystemets funktion är till väsentlig del beroende av dontyp och donplacering samt projekterade luftflöden. Luften skall kunna till- och bortföras utan besvärande dragkänslor och ljudnivåer samt ge hög operativ temperatur, ventilations-, temperatur- och luftutbyteseffektivitet.

Luften bör tillföras i de delar av byggnaden eller rummet där de största värmeförlusterna uppträder. Tillsatsvärmeavgivningen bör delas på konvektion och strålning i samma proportion som värmeförlusterna. Direkt inblåsning i vistelsezonen kan medföra drag p g a stora luftflöden. Detta gäller speciellt då värmebehovet är litet och därmed inblåsningstemperaturen låg. Hög inblåsningstemperatur innebär risk för temperaturskiktningar.

Donplaceringen ger upphov till ett antal systemlösningar med inblåsning vid tak, vägg eller golv, Figur 6. Avgörande vid ett givet driftsfall för hur effektivt den tillförda luften utnyttjas är som tidigare nämnts vilken typ av luftströmning

som erhålls. Denna bestäms i stor utsträckning av till- och frånluftsdonens placering och utformning eller rättare sagt av riktningen och styrkerelationen mellan de krafter som uppträder, se vidare Höjerdal m fl (1984).

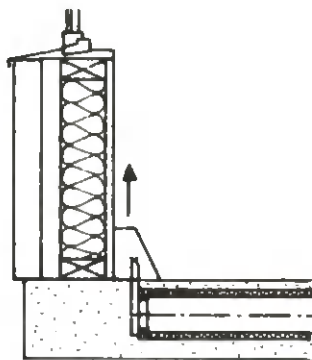


Figur 6. Alternativa placeringar av till- respektive frånluftsdon. Källa: Höjerdal m fl (1984).

I det följande diskuteras olika placeringar av till- och frånluftsdon, varefter de två ytterlighetsfallen inblåsning vid golv under fönster respektive bakkantsinblåsning vid vägg jämförs.

#### Inblåsning vid golv under fönster

Förutsättningar för en god ventilationseffektivitet erhålls om luften tillförs lågt i rummet (golvnivån) och inte blåses uppåt utan blandas in i vistelsezonen. Avgörande vid denna donplacering är i stället riskerna för drag.

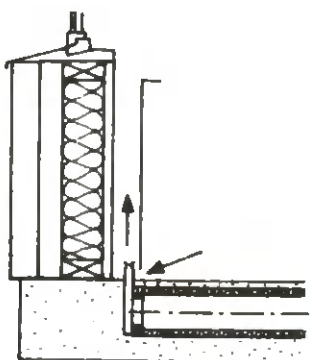


#### HÖGIMPULSDON, GOLVINBLÄSNING

Inblåsningen sker med hög hastighet, innebär risk för drag.

Högimpulsdon ger högre temperatur på fönstret än lågimpulsdon, typ galler i golv.

Ger en uttalad skillnad på riktad operativ temperatur vid olika flöden.

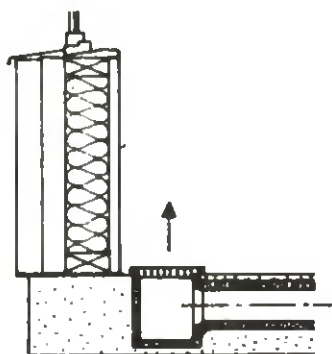


#### HÖGIMPULSDON, FÖNSTERINBLÄSNING

Skärm som bildar kanal upp till fönstret.

Golvspringa för medejektering av rumsluft.

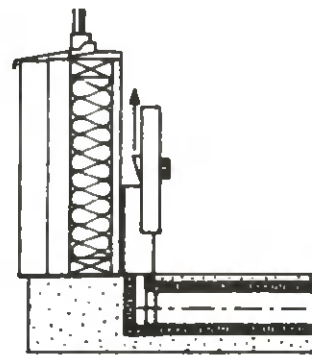
Ger liksom tilluftsradiatorn en varm yta som kompenserar kallstrålningen från fönstret.



#### GALLER I GOLV

Kan sättas igen av damm och smuts.

Möbler och annat kan placeras i luftströmmens väg varvid funktionen äventyras.



#### TILLUFTSRADIATOR

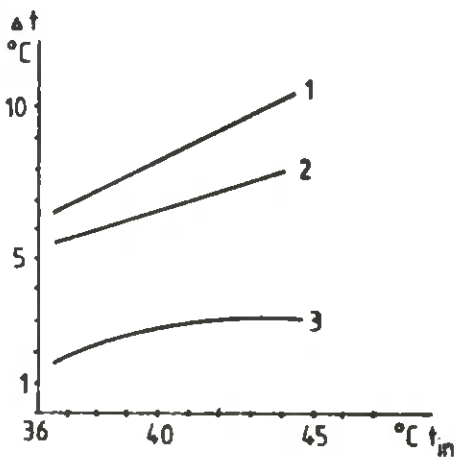
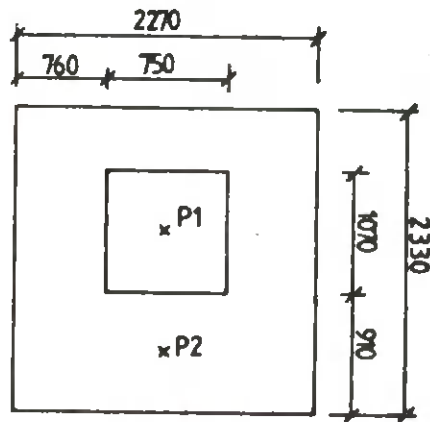
Kan förses med spjäll för manuell reglering.

Ger en varm yta som kompenserar kallstrålningen från fönstret.

Luft rörelsen är inte större än konvektionen från en vanlig radiator.

Donet är lättmonterat och lätt att rengöra men svårt att helt stänga med hjälp av tejp eller dylikt.

Figur 7. Några olika golvinblåsningssystem. Bilden är hämtad från Höjerdal m fl (1984).



#### HÖJNING AV TEMPERATUREN PÅ VÄGGEN MELLAN FÖNSTER OCH GOLV

Luftmängd 10 l/s

$$k_{\text{vägg}} = 0,13 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

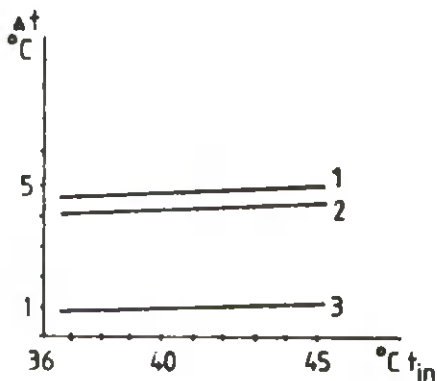
1 Högimpulsdon, fönsterinblåsning

2 Högimpulsdon, golvinblåsning

3 Galler i golv

$t_{in}$  = inblåsningstemp

$t_{ute} = -23,8^{\circ}\text{C}$



#### HÖJNING AV TEMPERATUREN PÅ FÖNSTRET

Luftmängd 10 l/s

$$k_{\text{fönster}} = 1,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

1 Högimpulsdon, fönsterinblåsning

2 Högimpulsdon, golvinblåsning

3 Galler i golv

$t_{ute} = -23,8^{\circ}\text{C}$

Figur 8. Fasadvägg med två mätpunkter belägna i ett plan 1 m från fasaden. Höjning av ytemperaturer vid olika inblåsningalternativ enligt Figur 7.

Bilden är hämtad från Höjerdal m fl (1984).

På 50-talet gjordes här i landet försök med små luftflöden, motsvarande en luftomsättning av ca 0,7 oms/h, och hög inblåsningstemperatur varvid goda resultat erhöles med inblåsning under fönster vid golv i riktning in mot rummet. Vid uppåtriktad inblåsning erhöles däremot dåliga resultat vid små luftflöden, se Höjerdal m fl (1984). I USA rekommenderas att man skall blåsa inåt rummet eller uppåt längs fasaden, gärna med många inblåsningstillfällen eller med spridande luftstrålar.

Vid inblåsning in mot rummet kan drag uppstå. Dragrisken är störst sommartid eftersom den inblåsta luften då är ouppvärmad. Experimentella undersökningar visar att temperaturfördelningen blir jämnast och risken för drag så gott som eliminerad då luftinblåsningen sker uppåt vid ytterväggarna. Detta gäller endast under förutsättning att luftströmmen inte störs av t ex en felplacerad fönsterbräda på vilken luften kan "studsa" ut i vistelsezonen.

Lindroth (1981) har testat tre olika don, Figur 7, med avseende på riktad operativ temperatur. Testet omfattade de tre först nämnda donen i figuren. Mätningarna har utförts i punkterna P1 och P2 1 m framför fasadväggen som framgår av Figur 8. Resultatet av mätningarna visar att inblåsning vid golv ger ett behagligt klimat vid fasadväggen. Differensen mellan högsta och lägsta värdet på den riktade operativa temperaturen är betydligt lägre än vid konventionell radiatoruppvärmning. Någon minskning av energiförbrukningen med anledning av detta erhålls inte ty temperaturhöjningen hos fönstret och väggen under fönstret kan inte kompensera strålningen från den varma radiatorytan.

Tilluftsradiatorn, Figur 7, ingick inte i de prover som utfördes av Lindroth (1981). Den bör emellertid ha stora möjligheter att kompensera temperaturstrålningen mot en kall fönsteryta bättre än de tre andra donen. I tilluftsradiatorn styrs nämligen luften runt alla ytor för att ge en jämn yttemperatur, så att en radiator effekt erhålls.

Ur installationssynpunkt bör tilluft vid ytterväggarna, t ex med kanaler i en golvränna, inte innebära några nämnvärda nackdelar. Vid energisnåla småhus och måttliga luftflöden blir kanaldimensionerna små varför ett system integrerat med övriga installationer är möjligt.

### Tilluft vid tak

Varmluftstillförsel vid tak är oftast en billigare systemlösning än tillförsel i golvnivå, bl a beroende på enklare montage och kortare kanaldragningar. Övertemperaturen bör maximeras till 8 à 10°C. Vid tillförsel nära taket måste luften tvingas ned i vistelsezonen vilket kan ske genom placering av frånluftsdonet eller överluftsdonet vid golv. Om även frånluftsdonet placeras högt föreligger risk för kortslutning, vilket kan uppträda vid öppna dörrar.

Inblåsning av varm luft vid taket ger alltid en varm takzon, vars storlek varierar med luftflödet och tilluftstemperaturen. Takets varmaste del bör vara belägen vid fasaden och bidra till att kompensera för strålningsförlusterna från fönstret. Temperaturen mellan möbler och yttervägg, t ex bokhylla eller soffgrupp nära fönster, kan vid takinblåsning ge komfortproblem.

Ur ventilationseffektivitetssynpunkt är inblåsning vid tak mindre lämpligt. Genom att taket värms kan det innebära en onödig sänkning av bjälklagets värmelagringsförmåga under vissa årstider. Taket är ofta nedsmutsat kring tilluftsdonet beroende på rumsluftsinblandningen. Nedsmutsningen sker snabbt inom två år efter det att anläggningen tagits i bruk.

Framkantsinblåsning vid tak ger en varm takzon vars yta och temperatur varierar med luftflödet. Fönstrets kallstrålning kompenseras delvis. Vid kort kastlängd i förhållande till rumsdjupet erhålls lätt stagnation i vistelsezonen. Kastlängden varierar med luftens temperatur och flöde.

### Bakkantsinblåsning vid vägg

Avståndet från donet på väggen till taket avgör om inblandning av rumsluft kan ske. Vid bakkantsinblåsning erhålls det bästa resultatet om luftstrålens kastlängd är samma som eller litet mindre än den fria rumslängden. Vid större kastlängd forceras kallraset från fönster och risk för drag uppstår. Med varierande cirkulationsluftflöden är det svårt att uppnå en fungerande varmluftsdistribution. Ventilationseffektiviteten försämras vid minskad omblandning. Normalt kräver bakkantsinblåsning att luften inblåses med hastigheten 5-6 m/s.

### Inblåsning vid golv under fönster eller bakkantsinblåsning vid vägg

Särskilda anvisningar behöver utarbetas för donens placering, i syfte att undvika "kortslutning" och för att uppnå en hög ventilationseffektivitet. Luftvärmesystem med inblåsning vid golv under fönster längs ytterväggar och frånluft vid tak i bakkant har i praktiken visat sig ge den bästa effektiviteten och stabiliteten. En god temperaturfördelning erhålls om luftomsättningen uppgår till minst ca 1,5 oms/h.

Svårigheterna att få ett bra inomhusklimat är betydligt större för bakkantsinblåsning vid vägg än inblåsning vid golv under fönster beroende på att riskerna för stora temperaturgradienter, drag och låg ventilationseffektivitet är högre för den förstnämnda systemlösningen. Därtill skall läggas att denna också ger ökad risk för kortslutningsströmning vid öppna innerdörrar. Bakkantsinblåsning ger lätt upphov till stora temperaturskillnader i rummet. Denna systemlösning har dock fördelen att produktionskostnaden kan reduceras.

Tillgängliga mätresultat från byggda provhus avser ofta mätningar av operativ temperatur och lufttemperatur i rumsmitt. Dessa "medelförhållanden" visar acceptabla värden vid en utetemperatur av ca  $+0^{\circ}\text{C}$  till  $-10^{\circ}\text{C}$ . Relevanta studier av komfortskillnader och asymmetrier i riktad operativ temperatur för olika delar av ett småhus har ej redovisats i litteraturen.



Med hänsyn till detta bör undersökningar initieras och genomföras i syfte att kvantifiera olika luftvärmesystems inverkan på inomhusklimatets komfortegenskaper, särskilt för systemlösningar med bakkantsinblåsning vid vägg nära tak. Fönstrets mörker-k-värde är i sammanhanget en betydelsefull faktor.

#### 4.4 Kanalsystemets förläggning, täthet och värmeisolering

Luftvärmesystemets basenhet bör placeras centralt men ändå i ett sekundärt utrymme för att erhålla en kort och enkel kanaldragning och minskade risker för besvärande ljudnivåer. Kanalförläggningen bör i så stor utsträckning som möjligt ske på den varma sidan av klimatskärmen. Rör- och kanaldragningar genom byggnadens tätskikt bör undvikas. Där genomföringar är oundvikliga måste ordentlig tätning ske med hjälp av plast- eller gummikragar som monteras på kanalen och tejpas eller limmas mot ångspärren.

Kanalsystemet skall göras tätt och ha minst täthetsklass A. Vid värmeåtervinning erfordras täthetsklass B. Då donen ej är försedda med mätuttag bör man se till att normenliga mätsträckor erhålls så att mätning och injusteringsenkelhet kan ske. En värmeinstallation skall förses med erforderliga strypanordningar, mätuttag och mätsträckor. Installationen förses med automatisk anordning för reglering av rumstemperaturen. Kanalerna måste vara lätta att rensa liksom donen. Ju lägre lufthastigheten är desto oftare måste rensningen ske. Donen måste vara så utformade att injusteringsenkelhet ej rubbas i samband med att de nedmonteras.

Långa kanaldragningar medför stora värmeförluster. Tilluftskanaler i uppvärmda utrymmen bör isoleras enligt nedan för att minimera okontrollerad värmeavgivning. Uppgifterna gäller för vattenvärmsystem, se Statens planverk (1983). Värmeavgivningen från rörledningar får enligt SBN 1980 maximalt uppgå till 30 % av rummets värmeeffektbehov om minst två väggar/tak vetter mot det fria. Den får dock alltid vara 75 W per rum. Rörledningarnas värmeavgivning skall således dras ifrån rummets värmeeffektbehov vid beräkning av radiatorernas kapacitet. I Statens planverk (1983) redovisas ett diagram för bestämning av värmeavgivningen från friliggande oisolerade rör. Vid

diametern 15 mm och temperaturskillnaden  $30^{\circ}\text{C}$  mellan röret och rummet är värmeavgivningen 18 W/m rör. För oisolerade rör i sockel uppskattas värmeavgivningen vara ca hälften så stor som för friliggande rör.

Godtagen isolering i ouppvärmade utrymmen i enbostadshus ges i Tabell 3. Vid förläggning i ouppvärt utrymme bör minst 150 mm isolering användas.

Tabell 3. Godtagen minsta isolertjocklek vid olika kanal-dimensioner.

Diameter mm	Isolertjocklek mm
0-100	50
100-315	60
315-	80
Rektangulära kanaler	80

Då bjälklaget används för varmluftsdistribution avges värme via golvet till rummet. Om inte bjälklaget under varmluftsströmmen har mycket god värmeisolering kan betydligt större värmeförluster förekomma än hos traditionella radiatorsystem. Problem kan också uppstå med värmeförsörjning av de från aggregatet längst bort belägna rummen. God täthet hos bjälklaget är också av stor betydelse för ett väl fungerande indirekt luftvärmesystem med bjälklaget som "distributionskanal".

#### 4.5 Arbetsutförandets och injusteringens noggrannhet

I luftvärmesystem med frånluftsvärmepump eller ventilationsvärmväxlare måste såväl tilluften som frånluften kunna styras att passera genom värmeåtervinningssystemet i tillräcklig utsträckning för att avsedd återvinning skall uppnås. Detta förutsätter att såväl byggnad som ventilationssystem är tätt. Ett otätt hus ger stor oavsiktlig ventilation, dvs ett stort ostyrt luftflöde som inte passerar återvinningsaggregatet, vilket innebär att det t ex kan erfordras högre verkningsgrad hos värmeåtervinningsaggregatet för att uppfylla ett bestämt lönsamhetskrav för den aktuella energisparåtgärden.

Brister i arbetsutförandet vid montering av isolering och tätningar samt vid injustering av luftvärmesystemet kan medföra att den beräknade energibesparingen många gånger helt eller delvis uteblir. Högre energiåtgång än beräknat orsakas många gånger av olämplig luftfördelning mellan olika rum. Injusteringsarbetet måste nog förberedas redan på projekteringsstadiet varvid prioritering av resurser bör ske i syfte att erhålla ett väl fungerande system. Jacobsson & Lindgren (1985) innehåller en beskrivning av några lämpliga injusteringsmetoder.

#### 4.6 Energisparåtgärder inom ventilationsområdet

Energibesparing genom åtgärder inom ventilationsområdet kan ske genom minskad luftväxling, tätare hus och/eller återvinning av värme ur frånluften. Värmeåtervinning kan ske med ventilationsvärmeväxlare eller frånluftsvärmepump.

Om avsedd energibesparing skall kunna nås för olika åtgärder inom ventilationsområdet måste dessa sättas i sitt totala sammanhang mikroklimat-byggnad-ventilationssystem (inklusive återvinning)-brukare. Det är en fördel om ventilationssystemen ger möjlighet att variera luftflöden och differentiering i skilda utrymmen då bland annat olika levnadsvanor och antalet boende starkt påverkar ventilationsbehovet, se Harrysson (1985b). Reglersystem som medger en behovsanpassning av luftflödenas storlek i olika utrymmen och vid olika tidpunkter kan medföra en sänkning av den avsiktliga ventilationen (avlufstflödet) i huset som helhet från 0,5 till 0,3 oms/h. Lägre avsiktlig ventilation (avlufst) i huset som helhet utan att ge avkall på luftkvalitetskraven genom bättre luftfördelning är från energisparsynpunkt en av de lönsammaste åtgärderna som kan vidtas. Med själva luftvärmesystemet kan energibesparing främst åstadkommas genom återvinning av energi ur frånluften.

En förstärkt ventilation kan vara nödvändig under en tid efter byggnadens färdigställande. Differentierade ventilationskrav bör införas beroende på olika byggnadsmaterial, hustyp (med

eller utan källare), markens radioaktivitet m m. I första hand är det de långvariga ventilationsflödena som bör begränsas. De luftflöden som forcerad ventilation erfordrar, t ex i samband med matlagning, är mindre intressanta ur energiförbrukningssynpunkt men väl då det gäller luftvärmesystemets utformning beträffande t ex kanaldimensioner.

Grundförutsättningen för energibesparing inom ventilationsområdet är att byggnaden i sig själv är välbyggd med små otätheter. Bra arbetsutförande och hög kvalitet på ingående material och komponenter är tillsammans med tillräcklig täthet hos byggnaden och lämplig donplacering nödvändiga förutsättningar för hög ventilationseffektivitet och ökar möjligheterna att reducera luftväxlingens storlek. Ett väl fungerande och injusterat ventilationssystem med hög ventilationseffektivitet skulle kunna medge lägre avsiktlig ventilation (avlucht) av huset som helhet och därmed ge ytterligare möjligheter till energibesparing jämfört med dagens praxis.

#### 4.7 Ventilationsvärmeväxlare eller frånluftsvärmepump

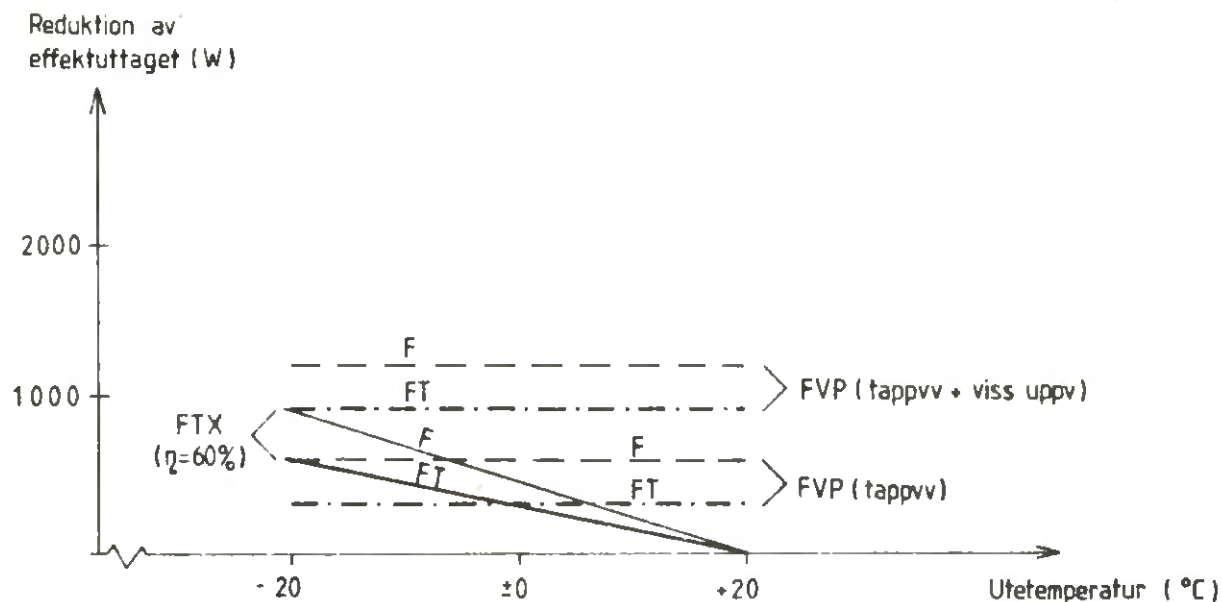
##### Typ av ventilationssystem/Värmemedium/Energibesparing

Ventilationsvärmeväxlare förutsätter frånlufts-/tilluftssystem och kan enbart användas för värmedistribution med luft som medium. Energibesparingen med ventilationsvärmeväxlare uppgår i praktiken till ca 1500 kWh/år för ett normalt småhus, se Svensson (1981, 1984) eller Ekstrand m fl (1980). En väsentlig ökning av energibesparingen med ventilationsvärmeväxlare kan ske först sedan byggnadens otätheter understiger 1 oms/h vid tryckskillnaden 50 Pa samt under förutsättning att arbetsutförande och injustering har hög noggrannhet. En undersökning av Svensson m fl (1985) anger energibesparingen för ventilationsvärmeväxlare till i medeltal 2400 kWh/år för 15 hus med otätheten 0,6 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad. En låg otäthetsnivå är också nödvändig för att avsedda luftflöden i tillräcklig utsträckning skall kunna nås i olika utrymmen samt för att man skall kunna garantera en acceptabel komfort. I luftvärmesystem bedöms därför ventilationsvärmeväxlare på basis av ovanstående uppgifter kunna ge en energibesparing av ca 1500-2400 kWh/år.

Frånluftsvärmepumpar kan användas i såväl frånlufts- som frånlufts-/tilluftssystem. Frånluftsvärmepumpar förekommer för enbart tappvarmvattenvärmning eller för tappvarmvattenvärmning och viss byggnadsuppvärmning. I det senare fallet kan vatten eller luft användas som medium i värmedistributionssystemet. Energibesparingen med frånluftsvärmepump för enbart tappvarmvattenvärmning anges av Svensson m fl (1985) till mellan 1500 och 3600 kWh/år. Frånluftsvärmepumpar för såväl tappvarmvattenvärmning som viss byggnadsuppvärmning anses av Harrysson (1985b) ligga mellan ca 4000 och 5000 kWh/år.

### Effektuttag

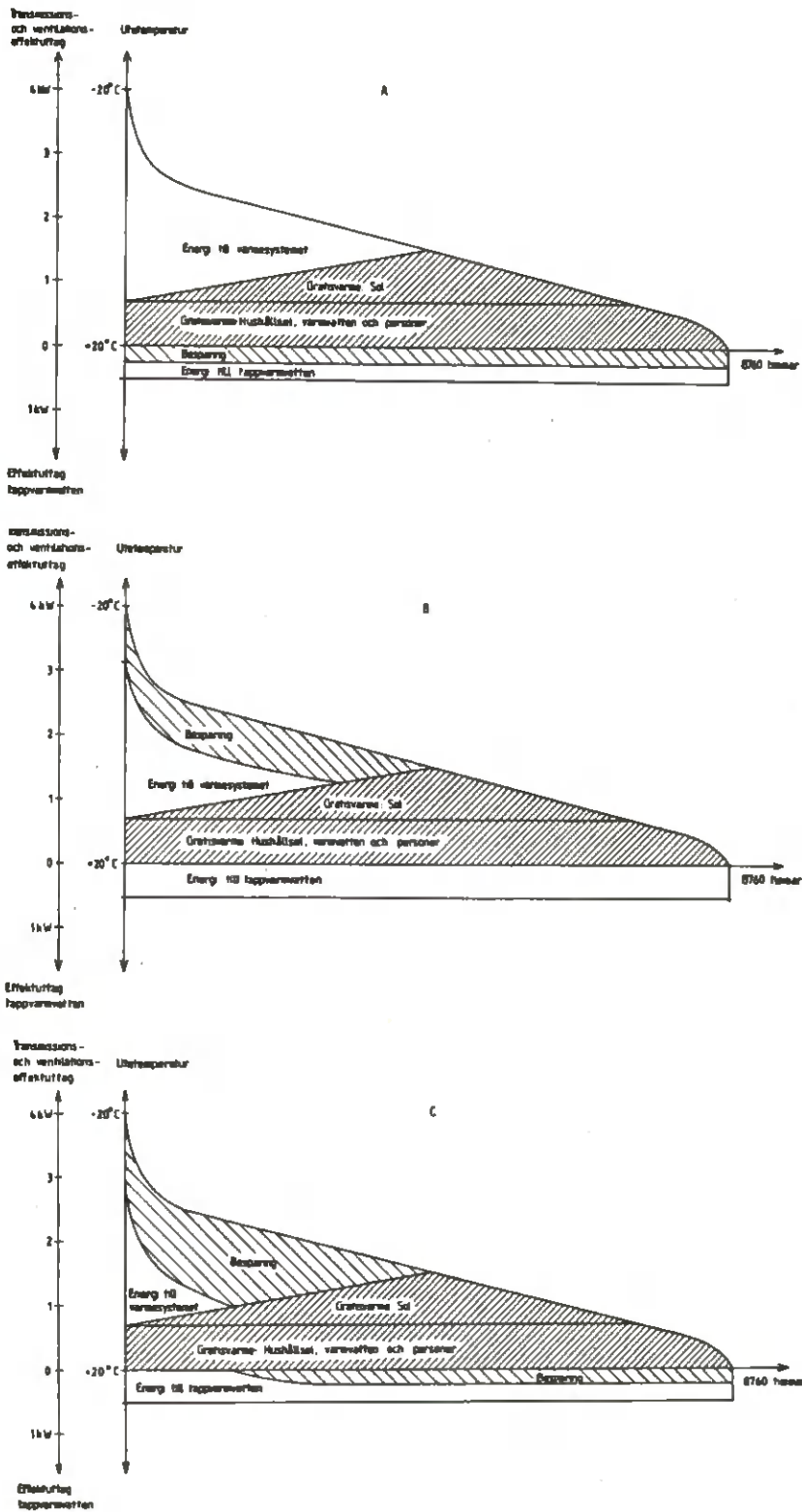
Med utgångspunkt från det av Harrysson (1985b) studerade småhuset med frånluftssystem (F-system) har ventilationseffektuttaget vid den avsiktliga ventilationen (avluften) 0,5 oms/h, utetemperaturen  $-20^{\circ}\text{C}$  och innetemperaturen  $+20^{\circ}\text{C}$  beräknats till 1557 W. Detta värde avtar rätlinjigt med ökande utetemperatur och blir noll vid utetemperaturen  $+20^{\circ}\text{C}$ , Figur 9. Gratisvärmets inverkan på effektuttaget har ej beaktats. Ej heller har hänsyn tagits till den energi som behöver tillföras för avfrostning vid låga utetemperaturer, dvs minusgrader. Om detta sker kommer de lutande räta linjerna att kröka av vid ca  $+0^{\circ}\text{C}$  och bli horisontella vid lägre utetemperaturer.



Figur 9. Reduktion av effektuttaget genom användning av ventilationsvärmväxlare eller frånluftsvärmepump jämfört med traditionellt F-system. Den oavsiktliga ventilationen har antagits vara 0,1 oms/h för frånlufts-/tilluftssystem (FT-system) och 0,0 oms/h för F-system. Bilden är hämtad från Harrysson (1985b).

För jämförelse med effektuttagets storlek vid olika utetemperatur har värden lagts in för frånlufts-/tilluftssystem med ventilationsvärmväxlare (FTX) samt för frånluftsvärmepump (FVP), med enbart tappvarmvattenvärmning respektive för såväl tappvarmvattenvärmning som viss byggnadsuppvärmning. Därvid har ventilationsvärmväxlarens temperaturverkningsgrad antagits vara 60 %. Frånluftsvärmepump för enbart tappvarmvattenvärmning antas ha avgiven effekt 900 W och tillförd effekt 300 W, medan motsvarande värden vid frånluftsvärmepump för såväl tappvarmvattenvärmning som viss byggnadsuppvärmning har valts till 2000 W respektive 800 W. Kravet på minsta luftmängd 120 m<sup>3</sup>/h genom ventilationssystemet är uppfyllt.

I Figur 10 jämförs principiellt de olika energisparapparaterna i varaktighetsdiagram representativt för det av Harrysson (1985b) studerade huset. Skillnader i oavsiktlig ventilation (0,1 oms/h) mellan frånlufts- och frånlufts-/tilluftssystem har ej beaktats för de olika fallen. Hänsyn har ej heller tagits till luftens fukthinnehåll.



Figur 10. Principiellt varaktighetsdiagram för det av Harrysson (1985b) studerade huset.

- Frånluftsvärmepump för enbart tappvarmvatten.
- Ventilationsvärmesväxlare.
- Frånluftsvärmepump för tappvarmvattenvärmning och viss byggnadsuppvärmning. Den beräknade energibesparingen har i första hand prioriterats för värmesystemet.

#### 4.8 Säkerhetspåslag vid bestämning av dimensionerande effektuttag

Tidigare har dimensionerande effektuttag bestämts enligt SBN 1980, se Statens planverk (1980). Denna metod har i ett flertal fall visat sig ge betydande överdimensionering, speciellt i välbyggda nya småhus. Därför har en modifierad metod införts, se Statens planverk (1983). Denna innebär bl a hänsynstagande till gratisvärme, varvid dimensionerande effektuttaget i vissa fall (under gynnsamma betingelser) kan reduceras med 30-40 % jämfört med SBN 1980.

Luftvärmesystem erfordrar relativt stort utrymme för distributionssystemet jämfört med traditionella värmesystem. En ökad användning av och förbättrad ekonomi för luftvärmesystem är därför starkt avhängig av en noggrann bestämning av dimensionerande effektuttag samt att detta sker med minsta möjliga säkerhetspåslag. Denna strävan motverkas bl a av att luftvärmesystem är relativt obeprövade. Luftvärmesystems kanaltvärnsnitt bestäms huvudsakligen av det dimensionerande effektuttaget samt av luftens temperatur och hastighet.

#### 4.9 Energibesparing - ökad produktionskostnad

Utgående från ett normalt småhus med otätheten 3 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad, direktverkande elradiatorer och mekaniskt frånluftssystem, ges nedan i Tabell 4 uppgifter om energibesparing och ökad produktionskostnad för några energisparåtgärder, värme- och ventilationssystem.

Frånluftsvärmepump för enbart tappvarmvattenvärmning ger en merkostnad av ca 7000-8000 kr medan merkostnaden för ett frånluftss-/tilluftssystem med ventilationsvärmväxlare uppgår till ca 10000 kr, se Harrysson (1985b). Luftvärmesystem (frånluftss-/tilluftssystem) i kombination med ventilationsvärmväxlare eller frånluftsvärmepump (för tappvarmvattenvärmning och viss byggnadsuppvärmning) ger en ökning av produktionskostnaden med ca 14000-20000 kr. Till de angivna ökningarna av produktionskostnaden skall adderas ca 500 till 3000 kr för minskade otätheter från 3 till 1 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad. Från-



luftsvärmepumpar i luftvärmesystem ger en ca 3000-5000 kr högre merkostnad än ventilationsvärmväxlare. Genom frånluftsvärmepumparnas längre utnyttjandetid under året och besparingsmöjlighet även för tappvarmvattnet har de ofta minst lika hög eller högre lönsamhet än ventilationsvärmväxlare. Bakkantsinblåsning vid vägg nära tak ger ett ca 2000 kr billigare distributionssystem än framkantsinblåsning vid golv under fönster.

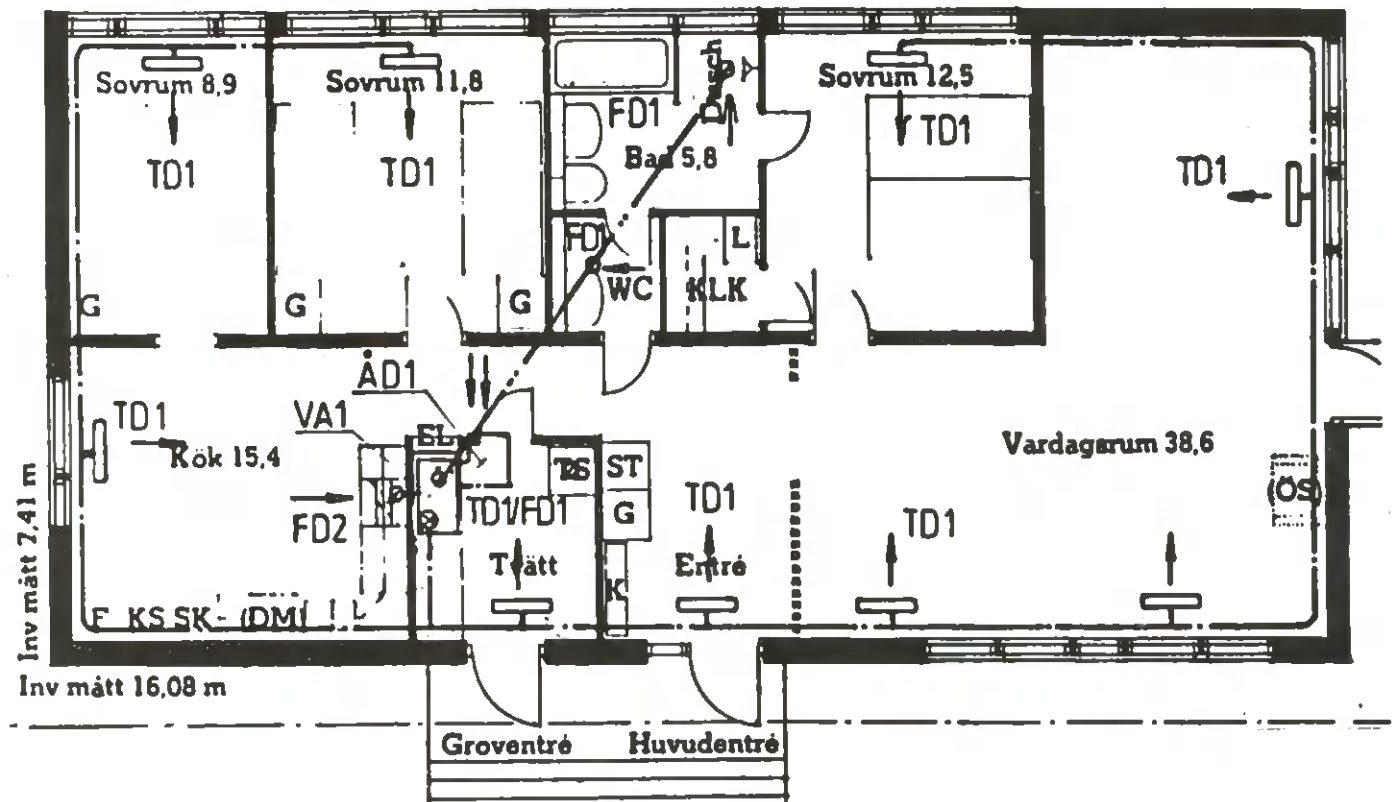
Luftvärmesystem medför en merkostnad av ca 2000-5000 kr gentemot ett vattenvärmesystem, elpanna och frånluftsventilation. Alternativet direktverkande elradiatorer, elberedare och frånluft-/tillluftsventilation med ventilationsvärmväxlare är ca 4000-10000 kr billigare än luftvärmesystem. Av ovanstående uppgifter om kostnader och energibesparing kan luftvärmesystem vara intressanta ur lönsamhetssynpunkt. Innan en övergång i större omfattning sker till produktion av nya småhus med luftvärmesystem bör luftvärmesystemens energieffektivitet och inverkan på inomhusklimatets komfortegenskaper närmare studeras.

Tabell 4. Energibesparing och ökad investeringskostnad för några åtgärder.

Åtgärd	Energibesparing kWh/år	Ökad investerings- kostnad kr
1. Frånlufts-/tilluftssystem med ventilationsvärme- växlare	1000-2000	10000
2. Vattenvärmesystem	-	12000-15000
3. Förbättrad täthet från otätheten 3 oms/h till 1 oms/h vid 50 Pa tryckskillnad	<1000	500-3000
4. Luftvärmesystem		
a. med ventilationsvärme- växlare	1000-2000	
a1. bakkantsinblåsning		14000
a2. framkantsinblåsning		16000
b. med frånluftsvärme- pump för tappvarm- vatten och viss bygg- nadsuppvärmning	4000-5000	
b1. bakkantsinblåsning		18000
b2. framkantsinblåsning		20000

## 5. DIMENSIONERINGSEXEMPEL VID OLIKA FÖRLÄGGNINGSSALTERNATIV

Exemplet avser det i Figur 11 visade småhuset med isolering enligt ELAKs godtagbara lösning. Med utgångspunkt från bestämning av dimensionerande effektuttag och de luftflöden som ges i Tabell 1 har de i Tabell 5 angivna luftmängderna och antalet plåtrör med diametern 63 respektive 80 mm bestämts.



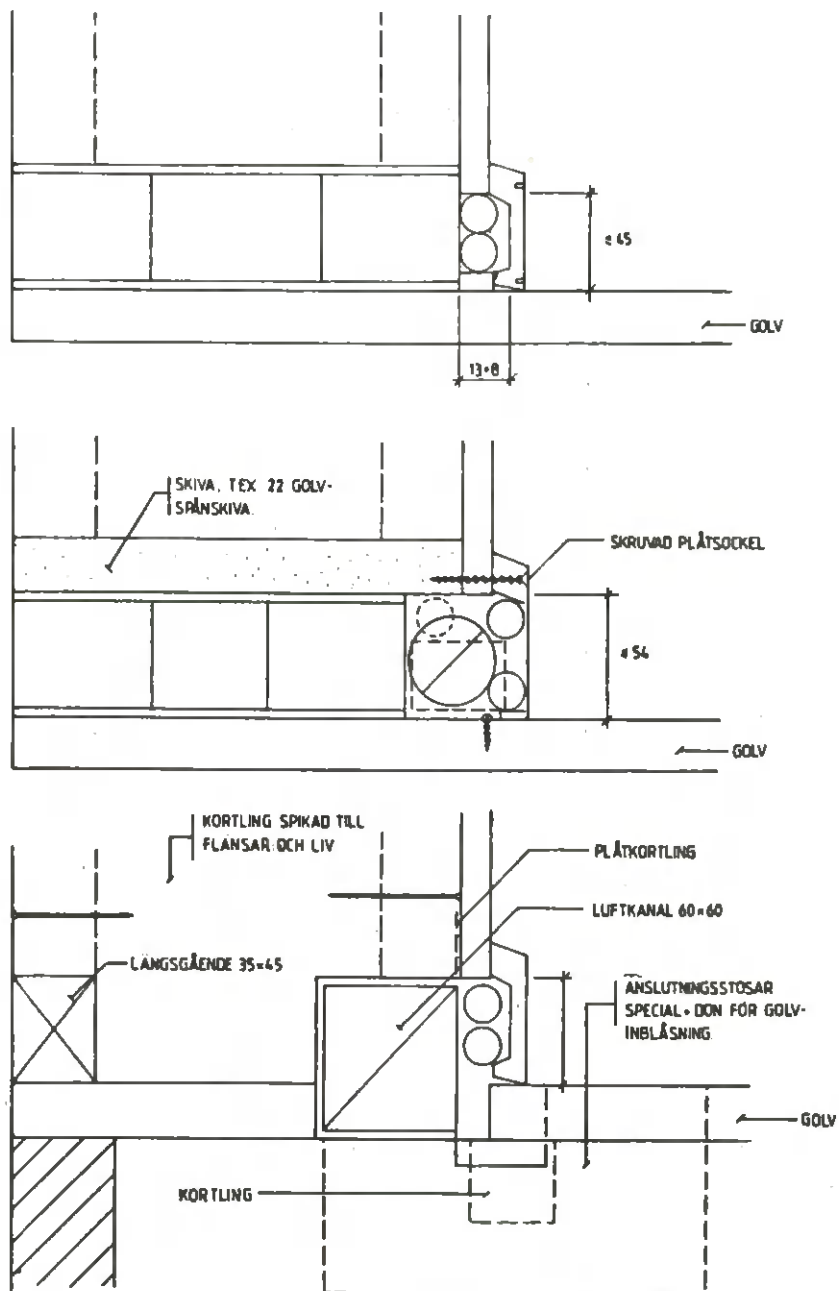
Figur 11. Bottenplan för det studerade enplanshuset. Luftvärmesystemet har huvudsakligen förlagts längs ytterväggarna som "ringmatning".

Tabell 5. Antal plåtrör och luftmängder i olika utrymmen av det studerade enplanshuset vid separat matning till varje rum.

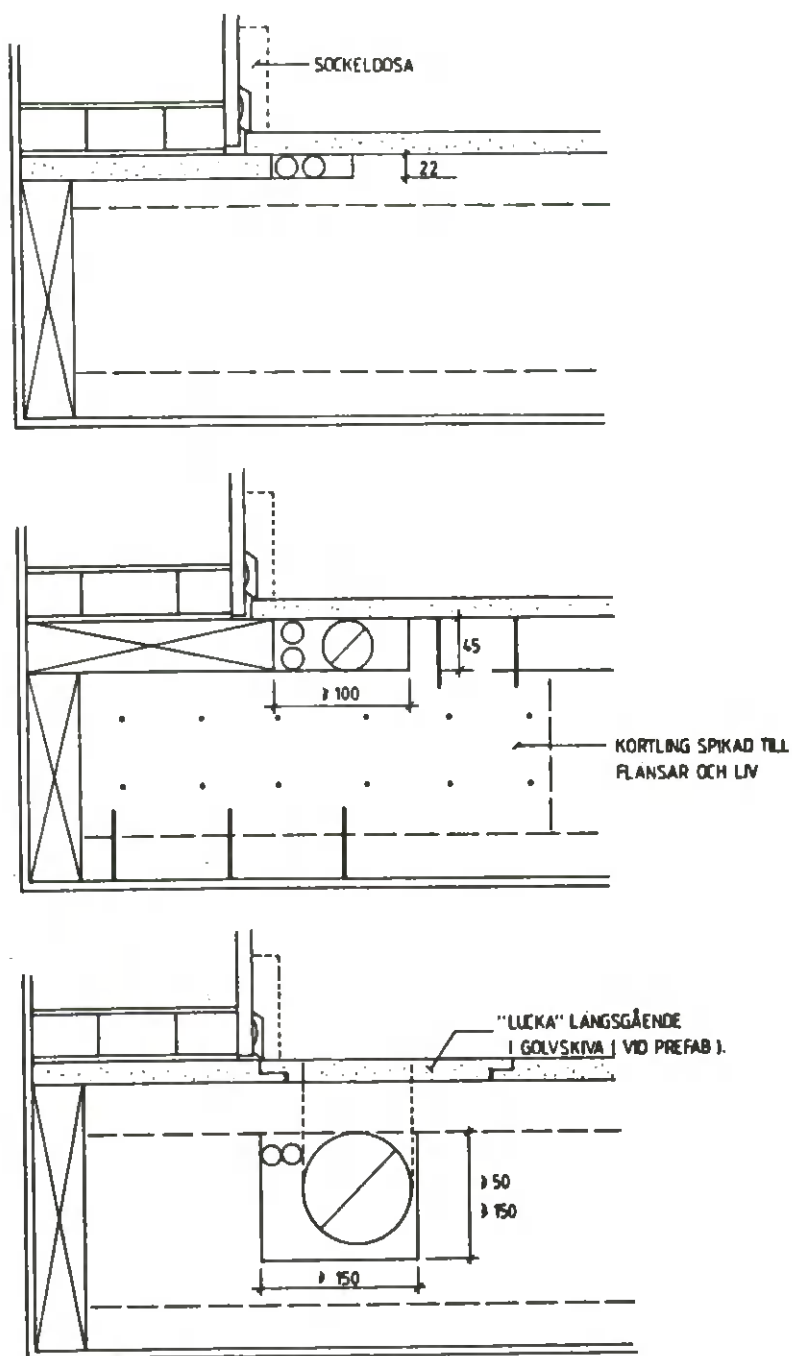
Utrymme	Luftmängd m <sup>3</sup> /h	Antal plåtrör st diameter mm	
		Ø 63	Ø 80
Sovrum	40	1	1
Vardagsrum	150	4	2
Entré	35	1	1
Tvätt	20	1	1
Kök	60	1	1

Betydelsen av att hålla nere kanalernas antal och dimensioner framgår av de i Figurerna 12-14 visade konstruktionslösningarna. Vid anslutningen golv-yttervägg är kanaler med diametern upp till ca 20 mm särskilt att föredra. Kanalerna kan då döljas bakom en traditionell sockellist. Med speciella arrangemang kan kanaler upp till en diameter av ca 45-50 mm lätt byggas in.

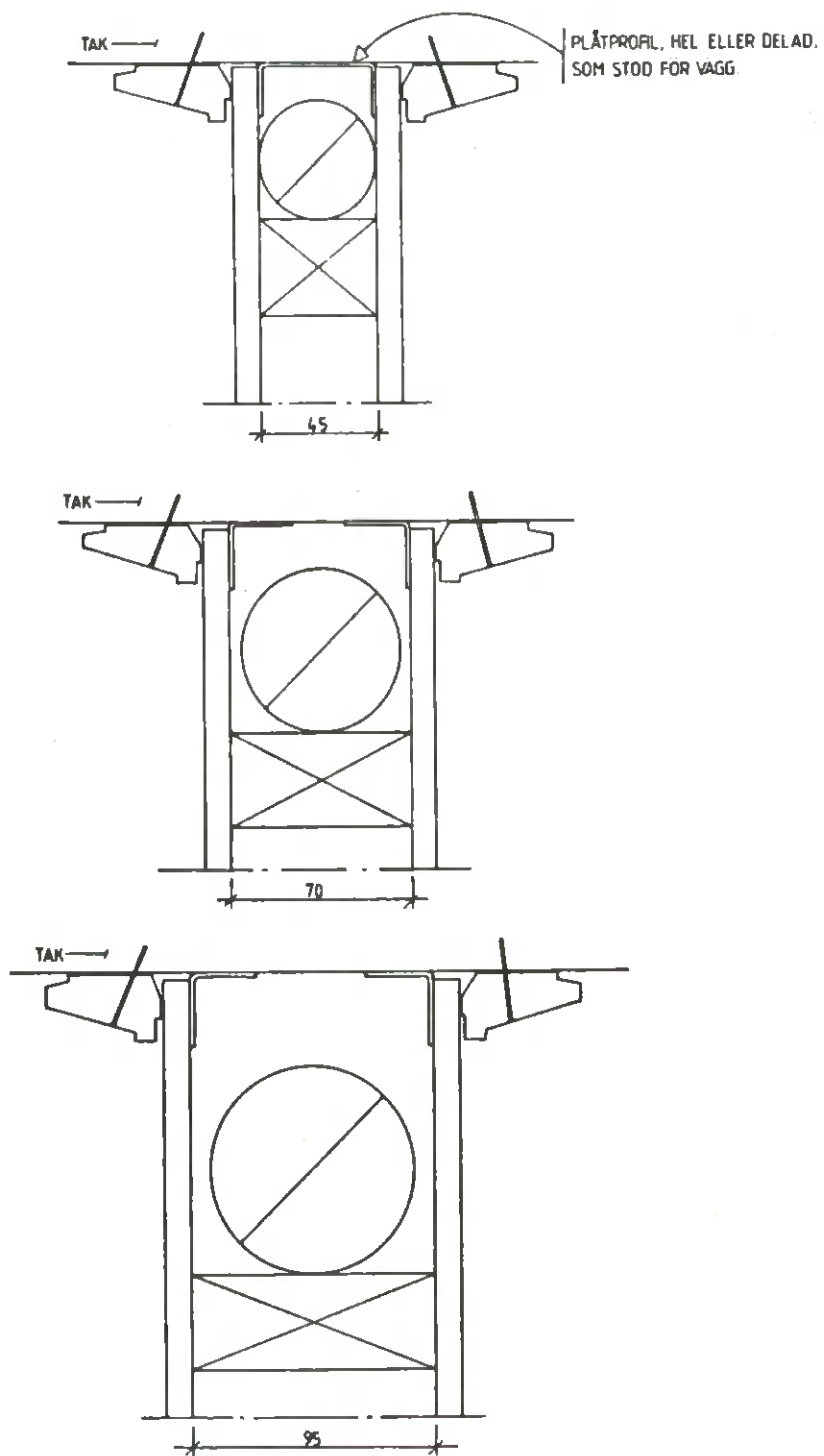
Förlagda i bjälklaget kan kanaler upp till en diameter av ca 22 mm förläggas dolt. Diametrar upp till ca 45 mm kan med lätthet användas ihop med lättbalkar. Inte heller plåtkanaler med en diameter av upp till ca 150 mm vållar några större problem vid förläggning i bjälklaget. Vid förläggning av kanaler i innerväggar är 45, 70 och 95 mm vanliga och lämpliga regeldimensioner.



Figur 12. Exempel på förläggning av luftvärmesystem i anslutning yttervägg-bottenbjälklag.



Figur 13. Exempel på förläggning av luftvärmesystem i bottenbjälklag.



Figur 14. Exempel på förläggning av luftvärmesystem i icke bärande innerväggars överkant.

Ett intressant alternativ till plåtkanaler är klena plaströr med diametern 30 mm. Som framgår av Tabellerna 2 och 5 skulle ett dylikt distributionssystem erfordra ca 20-25 plaströr för det studerade huset.

Tabell 6 omfattar jämförelser mellan olika förläggningssalternativ för luftvärmesystem. Varje alternativ har även studerats renodlat. Valet av förläggningssalternativ beror bl a på husform, planlösning, stomkonstruktion och förtillverkningsgrad. Den optimala lösningen kräver att hänsyn tas till samtliga installationer vid bestämning av förläggningssalternativ. Troligen är den optimala lösningen en kombination av de i Tabell 6 angivna renodlade förläggningssalternativen. Ytterligare förutsättningar för hustyp, bygg- och installationsystem, förtillverkningsgrad och produktionsmetod måste specificeras innan beslut om förläggningssalternativ fattas.

Enklast dras kanalerna synligt längs innerväggarna strax under innertaket, vilket ger en systemlösning med bakkantsinblåsning. Ett något mer sofistikerat system med framkantsinblåsning vid tak erhålls med en synlig inklädd kanal nära tak längs ytterväggar. Speciellt för 1½-planshus är kanalförläggning ovanpå mellanbjälklaget och utanför stödbensväggen ett enkelt och intressant alternativ. Detta leder till takinblåsning i botten våningen och golv- eller takinblåsning i övervåningen. Särskilt för platsbyggda hus torde kanaldragningar i bjälklagen bli enkla, varvid den vanliga isoleringen även kan användas för kanalernas isolering. Detta alternativ medger såväl tak- som golvinblåsning. Med vindsbjälklagsisolering enligt ELAKs godtagbara lösning eller bättre bör värmeavgivningen uppåt kraftigt kunna begränsas vid förläggning av kanaler i vindsbjälklaget. Beroende på virkesdimensionen hos fackverkets underram kan ev håltagningsproblem uppstå.

För att god energiekonomi och inomhusklimat med hög komfort ska erhållas måste verkliga luftflöden naturligtvis överensstämma med projekterade värden. Av dessa skäl är bjälklag och "inklädnader" de lämpligaste förläggningssalternativen. Varje don skall ha justeringsmöjligheter för att medge temperaturvariationer



mellan olika utrymmen. Detta önskemål leder till golvinblåsning. Flera faktorer talar således för kanaler i bjälklag, t ex i golvränna längs ytterväggar, och inblåsning av varmluft i golvnivå under fönster. Sannolikt är en kombination av utanpåliggande "huvudkanal" samt vägg- och golvrännor det optimala alternativet.

Tabell 6. För- och nackdelar vid olika renodlade förläggningssalternativ för luftvärmesystem

Förläggningssalternativ	Fördelar	Nackdelar
<b>LUFTVÄRMESYSTEM</b>		
A1 Golvinblåsning (främkant) ränna i <u>golv</u> (22,45 respektive 150 mm höjd)	Lätt att inreglera, hög komfort, temperaturskillnader mellan olika utrymmen enkelt att åstadkommas. Ingen extra isolering erfordras.	Problem vid våtutrymmen. Svårigheter vid prefab, bjälklägsselement. Svårt att reparera. Vissa möbleringsproblem. Problem vid parkettgolv, såvida inte tunna lammellbräder läggs ovanpå spånskiva. Vid max vertikalt mått 45 mm kan maximalt 20-25 m <sup>3</sup> /h transporteras med rund kanal och ca 45 m <sup>3</sup> vid kanaldimensionen 45x70 mm. Dessa små kanaler leder till specialutförande.
A2 Golvinblåsning (främkant) ränna i <u>vägg</u> ("under vägg")	Lätt att inreglera, hög komfort, temperaturskillnader mellan olika utrymmen enkelt att åstadkommas. God utbyttbarhet.	Viss ytterligare isolering erfordras. Vid t ex kanaldimension 60x60 mm kan ca 60 m <sup>3</sup> /h transporteras, vilket får betraktas som för liten luftmängd. Mindre intressant p g a utrymmesproblem med anslutning till den. Nivåproblem vid tröskel.
B1 Håkning i väggregels underkant		Svårigheter på grund av de utrymmen som erfordras vid kopplingar mellan huvudkanal och respektive don.
B2 Håkning i väggregels överkant		Svårigheter på grund av de utrymmen som erfordras vid kopplingar mellan huvudkanal och respektive don.
C Placering av värmluftskanal vid yttervägg nära tak. Inkludnad med skivmaterial.	Enkel utbytbar installation. Kanaldimensioner beror givetvis på husets värmetekniska prestanda. Bra alternativ för främkanalsinblåsning.	Risk för "kortslutning" mellan till- och frånluft. Ytterligare isolering erfordras. Svårt att inreglera. Svårt åstadkomma temperaturvariationer.
D Placering av värmluftskanal nära tak vid innervägg.	Bra alternativ för bakkanalsinblåsning. Liten risk för "kortslutning" om rätt köstlängd väljs på donen.	Risk för kortslutning mellan till- och frånluft. Ytterligare isolering erfordras. Större komfortproblem än C. Svårt att inreglera. Svårt åstadkomma temperaturskillnader mellan olika rum.
D1 Inuti innervägg (hjärtväggen)		Grövre innervägg än normalt kan krävas.
D2 På ens eller ömse sidor om innervägg. Inkludnad med skivmaterial.	Enkelt utbytbar	Utseendesspekter
E För 1 1/2-planshus, uten för stödbensväggen. Takinblåsning i bottenvåningen. Återluften bör tas från övervåningen.	Mycket enkel kanaldragning.	Passer endast en hustyp. Ytterligare isolering erfordras. Svårt åstadkomma temperaturvariationer.
E1 Golvinblåsning i övervåningen genom stödbensvägg. Väggränna i gavelspetsar.		Komfortskillnader mellan över- och bottenvåning uppstår om man inte justerar in systemet. Förmodligen kommer även efterjustering att erfordras.
E2 Takinblåsning med kanaler förlagda ovanpå det isolerade hembjälkläget.		Kräver isolerat hembjälklag. Det kan vara svårt att nå alla delar av övervåningen uten att dra kanaler i det isolerade sned-taket.
F Kanaler i bjälklägen. Takinblåsning i bottenvåningen (i 1/2-plans- och 1-planshus) Golvinblåsning i övervåningen. (detta alternativ kan enkelt varieras för golvinblåsning i bottenvåningen).	Kanaldragning av såväl parallellt som vinkelrätt mot balkarna blir enkel. Erforderlig håltagning av balkarna blir förhållandevis enkel. Tillräckligt stora kanaler med standardsystem kan utnyttjas. Vid platsbygge troligen ringa problem. Vid elementbygge med öppen undre eller övre yta ringa problem. Vid slutna element skarvar mellan element.	Ångspärren måste perforeras på ett flertal ställen. Svårigheter att isolera kring luftvärmesystemets kanaler. Korsningar med avloppsrör kan förekomma.

## 6. SLUTORD

### 6.1 Sammanfattande synpunkter på utformning av luftvärmesystem

Luftvärmesystemets uppgift är att upprätthålla ett gott inomhusklimat. Systemet är en typ av frånlufts-/tilluftssystem, som skall förse vistelsezonen med både värme och frisk uteluft. Denna dubbelfunktion innebär normalt att ett större luftflöde måste tillföras småhuset än vid ett konventionellt frånlufts-/tilluftssystem. I och med att tilluftsflödet är stort (ca 1-3 oms/h) är valet av typ, storlek och placering av såväl till-, från- som överluftsdon viktigt. Betydelsefulla faktorer är bl a luftflöde, tryckfall, temperatur, kastlängd, ljudnivå och utseende.

Ett luftvärmesystem är känsligare än andra värme- och ventilationssystem för yttre störningar och samverkan mellan mikroklimat, byggnad, installationer och brukare. Luftvärmesystemens känslighet för vind- och temperaturpåverkan avtar med minskade otätheter hos klimatskärmen. En tät klimatskärm är därför den första förutsättningen för ett väl fungerande luftvärmesystem i nya småhus, se Harrysson (1985b).

Det är angeläget att projekteringsarbetet utförs med hänsynstagande till alla faktorer som har betydelse för anläggningens utförande och goda funktion. För att inte äventyra byggnadens täthet och därmed möjlighet till en kontrollerad ventilation och uppvärmning bör rör- och kanalgenomföringar genom tätskiktet undvikas eller i alla fall begränsas, vilket kan ske med en genomtänkt och kvalificerad projektering.

I nya småhus bör relativt enkla luftvärmesystem kunna användas. Av särskild vikt är att ingående komponenter och delsystem är anpassade till de låga effekt- och energiuttag som är aktuella i nya småhus. Rumsvis reglering av värmemängder kan ske genom att variera luftens flöde och/eller temperatur. Med t ex ett elbatteri i tilluftsdonet skulle rumsvis reglering av tilluftstemperaturen kunna ske. Många idéer finns till mer sofistikerade reglerutrustningar, t ex spjäll med regulator som automa-

tiskt påverkar tilluftsflödet eller tilluftsradiatorn med elvärme som möjliggör individuell rumsreglering. Reglerutrustning som möjliggör variabel innetemperatur kan medge ökat värmekapacitets- och gratisvärmeutnyttjande. Med hänsyn till de låga effekt- och energiuttag som är aktuella i nya småhus kan endast billiga reglerutrustningar motiveras ur ekonomisk synpunkt.

Effektiviteten samt effekt- och energiuttaget varierar med luftvärmesystemets utformning. Med ett effektivt system menas ett system som så snabbt som möjligt bortför föroreningar och där temperaturskillnaden mellan tilluften och vistelsezonen är liten. Liten temperaturskillnad mellan tilluften och vistelsezonen innebär hög utnyttjandegrad av tillförd energi. Energisnåla system uppbyggs således inte enbart av energisnåla apparater och tekniska lösningar utan även av hur effektivt den tillförda luften utnyttjas.

Effektiviteten är beroende av luftomsättningens storlek, till- och frånluftsdonens placering samt tilluftens övertemperatur. Placeras till- och frånluftsdonen nära varandra och inblåsningen sker mot de termiska stigningarna riskeras kortslutning av luftströmmen, vilket innebär dåligt utnyttjande av den tillförda luften samt hög energiförbrukning.

Ett luftvärmesystem ställer stora krav på kanalernas täthet. Kanalerna bör i görligaste mån placeras på tätskiktets varma sida. De skall värmeisoleras även i uppvärmda utrymmen för att förhindra okontrollerad värmeavgivning och inte försvåra temperaturreglerng. Kanalerna skall vidare vara lättåtkomliga för att möjliggöra rensning osv. Vid stora luftomsättningar är det viktigt att överluftsdon från enskilda rum dimensioneras riktigt. En lämplig lösning, som dock ger högre produktionskostnad, är att leda frånluftskanaler från varje rum.

Ett luftvärmesystem fungerar i allmänhet så att endast en mindre del av cirkulationsluften byts ut mot uteluft. Genom att installera ett luftfilter av hög klass, ev elektrostatisk avskiljare, förhindras spridning av föroreningar (partiklar) via cirkulationsluften. För att kunna upprätthålla en hög luftkvalitet

erfordras att filtren underhålls genom byten och rengöring. Valet av deras placering med hänsyn därtill är betydelsefullt. Det bör härvid också tillses att det ej finns hål i eller läckage förbi filtret vilket kan nedsätta avskiljningsgraden. Vid elektrostatisk avskiljare skall det finnas möjlighet att kontrollera att spänningen är tillräcklig.

## 6.2 Uppmärksammade brister/Angelägna FoU-projekt

Många experimentbyggnadsprojekt har visat på höga energiförbrukningar för luftvärmesystem. Bl a anses detta bero på att vederbörlig hänsyn inte tagits till betydelsefulla faktorer såsom luftläckning, värmeisolering, värmekapacitet och planform, vilka påverkar energisystemets funktion. Även brister hos installationssystemen såsom otäta och dåligt isolerade kanaler, otäta genomföringar etc har bidragit till att öka energiförbrukningen. Under de båda senaste vintrarna 1984-1986 har en hel del klagomål inkommit på småhus med luftvärmesystem. Orsakerna därtill kan f n inte anses vara klarlagda, men troligt är att:

- klimatskärmen har större värmeavgivning än beräknat
- effektbrist uppstått bl a beroende på extremt låga utetemperaturer under relativt långa perioder
- avgiven effekt hos en del energisparapparater varit för låg
- kanalförlusterna varit större än beräknat beroende på dåligt arbetsutförande och förläggning av kanalerna till kalla utrymmen
- kallraseffekten vid glasytor underskattats för system med bakkantsinblåsning
- injustering av luftvärmesystemet varit bristfällig eller helt saknats
- olämplig donplacering resulterat i "kortslutningseffekter" mellan till- och frånluft
- innetemperaturen i vissa hus höjts som compensation för stora luftrörelser
- värmeförlusterna genom transmission och ventilation varit avsevärt större än beräknat hos "indirekta" system som utnyttjar bjälklaget för varmluftsdistribution.

Ett luftvärmesystem kan inte ensamt garantera ett gott inomhusklimat utan är endast en del i ett integrerat funktionssamband mellan mikroklimat, byggnad, installationer och brukare. Ofta hörs klagomål över brister hos luftvärmesystem. Det kan gälla drag, buller, energiförbrukning etc. Genom system med en hög temperatureffektivitet borde energiförbrukningen kunna sänkas. Jämfört med andra distributionssystem såsom radiatorer för direktverkande el och vattenvärme bör det finnas förutsättningar för att sänka lufttemperaturen i rummet utan att den operativa temperaturen påverkas.

Ingående komponenter, aggregat och hela system behöver utvecklas och anpassas för de låga effekt- och energiuttag som är aktuella i nya småhus. Enklare injusteringsmetoder behöver framtas. Systemlösningar som enkelt medger ett utnyttjande av alternativa energikällor, t ex solvärme, är angelägna utvecklingsprojekt. Förutom ren produktutveckling behöver experimentella undersökningar genomföras, bl a för att ge svar på frågan hur tätt ett hus måste vara för att luftvärmesystem skall ha en tillfredsställande funktion. Likaså bör närmare utredas hur ventilationseffektiviteten påverkas av luftens flöde och temperatur vid olika systemutformningar. Ytterligare kunskaper erfordras för optimal dimensionering av luftvärmesystem som använder t ex golvet eller taket för varmluftsdistribution, s k indirekta system.

Betydande utvecklingsarbeten erfordras innan en övergång till luftvärmesystem kan ske i större omfattning. Luftvärmesystem kan dock vara intressanta i nya småhus med hänsyn till produktionskostnad, energibesparing och komfort. Ventilations- och temperatureffektiviteten liksom effekt- och energiuttaget varierar med systemets utformning.

Luftvärmesystem är i Sverige relativt obeprövade och känsliga för olika störningar. Jämfört med traditionella värmedistributionssystem såsom direktverkande elradiatorer och vattenvärmesystem behöver luftvärmesystemens energieffektivitet och inverkan på inomhusklimatets komfortegenskaper närmare utredas. Detta gäller särskilt för systemlösningar med bakkantsinblås-

ning vid vägg nära tak. I detta sammanhang studeras även hur bra fönstrets mörker-k-värde bör vara för att nå acceptabel komfort med hänsyn till kallras och köldstrålning. Inte heller luftvärmesystemens funktion efter lång tid kan anses vara tillräckligt studerad.

Slutligen bör myndighetskraven i SBN 1980, kapitel 35, se Statens planverk (1980), närmare analyseras, bl a vad avser begreppet "riktad operativ temperatur" och dettas relevans för människors komfortupplevelser. Beräkningar enligt det i normen angivna förfarandet visar t ex att hus med normala fönsterstorlekar, vanliga treglasfönster samt ett lågtempererat radiatorsystem med maximala temperaturen  $+50^{\circ}\text{C}$  vid dimensionerande utetemperatur i Norrland inte uppfyller kraven på riktad operativ temperatur. Ytterligare argument för en översyn av gällande normer är att flera väsentligt olika kriterier föreligger för bedömning av inomhusklimatet.

## 7. REFERENSER

- Bäckberg, H & Gustén, J, 1978, Lågenergibyn i Perstorp. Kvarterscentral med kombinerat ytjordvärme- och solvärmesystem. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Arbetsrapport 1978:18, Göteborg.
- Ekstrand, J-E, m fl, 1980, Kunskapsbrist minskar energisparandet. Ventilation i småhus. Byggmästaren nr 5, 1980, Stockholm.
- Gustén, J, 1984, Drivkrafter för luftinfiltration. Vindtrycksfördelningar bestämda genom fullskalemätningar. Beräkningar av luftinfiltration. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Rapport 1984:4, Göteborg.
- Harrysson, C, 1981, Vattenburen värme för nya småhus dyrare än direktel. VVS nr 5, Stockholm.
- Harrysson, C, 1982, Energibesparande åtgärder inom ventilationsområdet. Träförädlingsbyrån, Rapport nr 125, Stockholm.
- Harrysson, C, 1985a, Kostnadsbesparing för småhus i trä. Produktionsmetoder och byggsystem. Statens råd för byggnadsforskning, Rapport R72:1985, Stockholm.
- Harrysson, C, 1985b, Energisparåtgärder för nya småhus - Optimering genom helhetssyn. Rapport nr 88, TräteknikCentrum, Stockholm.
- Höjerdal, P, m fl, 1984, Luftvärmesystem i bostäder - krav och rekommendationer. Statens råd för byggnadsforskning, Rapport R71:1984, Stockholm.
- Jacobson, S, & Lindgren, S, 1985, Värderingsmall för olika ventilationstekniska lösningar. Problemanalys och checklista. Statens råd för byggnadsforskning, Rapport R62:1985, Stockholm.
- Lindquist, T, 1976, Spårgasmätningar av Modulenthus. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Rapporterna 1976:8-10, Göteborg.
- Lindroth, J-Å, 1981, Operativ temperatur i bostadsrum med luftvärmesystem. CTH, Avd för installationsteknik, Examensarbete E 22:1981, Göteborg.



Månsson, I-G, 1984, Airtightness and wall construction in prefabricated Swedish single family houses. 5th AIC conference, Oct. 1-4, 1984, Reno, Nevada, USA. The implementation and effectiveness of air infiltration standards in building.

Rydberg, J, 1963, Kallras vid fönster, VVS nr 11, Stockholm.

Sandberg, M, m fl, 1982, Warm air systems part 1 and 2, Statens institut för byggnadsforskning. Meddelande M 82:22 och M 82:23, Gävle.

Statens planverk, 1980, Svensk Byggnorm (SBN 1980), Liber, Stockholm.

Statens planverk, 1983, Radiatordimensionering för småhus. Lågtemperatursystem, Dnr 3556/83. Stockholm.

Svensson, A, 1981, Värmeåtervinning ur ventilationsluft, Arvidstorp 20, Skellefteå. Statens institut för byggnadsforskning, Meddelande M81:23, 1981, Gävle.

Svensson, A, 1984, Värmeåtervinning ur ventilationsluft - några driftserfarenheter. Statens institut för byggnadsforskning, Meddelande M84:15, Gävle.

Svensson, A, m fl, 1985, Värmeåtervinning ur ventilationsluft. Kv Malstenen, Bomhus, Gävle. Statens institut för byggnadsforskning, Meddelande M85:10, Gävle.

Detta digitala dokument  
skapades med anslag från  
**Stiftelsen Nils och Dorthi  
Troëdssons forskningsfond**

**TräteknikCentrum**

INSTITUTET FÖR TRÄTEKNISK FORSKNING

Box 5609, 114 86 STOCKHOLM  
Besöksadress: Drottning Kristinas väg 67  
Telefon: 08-14 53 00  
Telex: 144 45 tratek s  
Telefax: 08-11 61 88  
Huvudenhet med kansli

Åsensvägen 9, 552 58 JÖNKÖPING  
Telefon: 036-12 60 41

Box 354, 931 24 SKELLEFTEÅ  
Besöksadress: Bockholmsvägen 18  
Telefon: 0910-881 40  
Telex: 650 31 expolar s  
Telefax: 0910-889 88