

Demo Låg-Exergihus



Sammanfattning

Demo Låg-Exergihuset har uppförts för att prova så kallade dubbelspaltskonstruktioner, som integreras i klimatskalet för att möjliggöra framledningstemperaturer som bara är ett fåtal grader över önskad rumstemperatur för uppvärmning respektive endast ett fåtal grader under önskad rumstemperatur för svalhållning av ett rum. Energi (LågExergi) inom dessa temperaturområden kan oftast fås till lägre kostnad och dessutom bidra till en högre inomhuskomfort (www.lowex.net). Den så kallade Dubbelspalten har tidigare provats i klimatkammare på KTH.

I Demo Låg-Exergihuset har Dubbelspaltskonstruktioner implementerats i olika delar av klimatskalet såsom yttertak, ytterväggar samt i olika fönsterkonstruktioner. Projektet har visat att Dubbelspaltskonstruktioner är svåra att realisera som ett platsbyggt element.

För att få önskade termisk prestanda är det viktigt att luftflödet kan ledas och kontrolleras på avsett sätt. Projektet har visat att dessa krav är svåra att uppfylla för ett platsbyggt objekt, speciellt med komponenter som befinner sig på prototypstadiet. Att anpassa olika komponenter tillsammans såsom exempelvis fläktar, värmeväxlare och strömningskontrollerade strypningar har varit svårt rent hantverksmässigt.

Trots svårigheterna med att under dessa omständigheter skapa täta cirkulationskanaler för luften i provobjekten har de förväntade positiva egenskaperna med lågexergi i princip kunnat verifieras.

Med förbättrade utförande på strömningskanalerna kommer en fortsatt systematisk utprovning kunna ske av DEMO-huset under alla årets driftsförhållande.

Innehållsförteckning

Innehållsförteckning	2
1. Bakgrund.....	3
2. Introduktion Demo Låg-Exergihus	4
3. Olika Dubbelspalts-konstruktioner	5
3.1 D-spaltsfönster	6
3.2 D-spaltstak	11
3.3 D-spaltsvägg.....	16
4 . Värmeväxlare & Fläktar och underhåll.....	17
5. Allmänna dimensioneringskriterier för D-spalt	18
6. Egenkonvektion i D-spalt.....	21
7. Kondens i D-spaltskonstruktioner	23
9. Fjärrvärmeföreningen syn på Lågexergihus.	24
10. Slutsatser och fortsättning.....	24
Deltagare i projektet	25
Referenser	25

1. Bakgrund

Det aktuella projektet har sin bakgrund i tidigare projekt med en mer teoretisk tyngdpunkt på KTH Bygghysik. Under tidigare projekt har dubbelspaltskonstruktioner utvärderats och provats i klimatkammare. Dubbelspaltskonstruktioner ger möjligheter att använda låga temperaturer för uppvärmning och höga temperaturer för komfortkyla vilket öppnar för både energieffektivare och komfortablare inomhusklimat. I det aktuella projektet var syftet att demonstrera och utprova olika typer dubbelspaltskonstruktioner i olika byggelement såsom tak, ytterväggar och fönster i ett 50 m² stort hus. Målet var att identifiera praktiska byggproblem och komplettera tidigare laboratoriummätningar i riktigt hus.

SBUF har varit huvudfinansiär i detta projekt och finansierat projektet med 635 000 SEK av projektets totala budget på 1800 000 SEK. Byggmaterialeleverantörer och utvecklingsföretag LOWTE har stått för den resterande budgeten i form av eget arbete och material.

Elitfönster och Hydrobuilding har tagit fram bågar och ramar till olika dubbelspaltsfönster.

Till dessa grundkonstruktioner har sedan fläktar och värmeväxlare integrerats för att bilda ett komplett byggelement. Fläktar har levererats från olika tillverkare och försäljare såsom Epecon och EBM. Värmeväxlare har utvecklats och tillverkats av Coiltech och Outokumpu i metall. Flera olika värmeväxlartyper har tagits fram och integrerats i olika dubbelspaltskonstruktioner. Företaget Pipelife har också försökt att ta fram en värmeväxlare i plast som rent teoretiskt kommer att erbjuda termiska fördelar jämfört med metall. Företag NAPS har levererat solceller som integrerats i dubbelspaltskonstruktioner för att visa på de synergier som kan uppnås med en dubbelspalt och så kallad solhybrider (solel + solvärme).

Skanska teknik har varit med och gett sin syn på olika väggkonstruktioner och hur man skulle kunna implementera dubbelspalter i icke – transparenta konstruktioner. Vidare så har Plannja levererat sina plåtprodukter till takvarianten på dubbelspaltskonstruktionen.

Företaget t.a.c. och Arlanda-VVS har bidraget med installation, styr och regler tekniken för ”LågExergihus”.

Institutionen för byggt teknik har tagit fram mätdataprogram och företaget Pictrol har varit behjälpligt med installationer av mätsensorer och program. Avsikten med mätningarna har varit att identifiera momentana prestanda som effekt (W/m²) och inte minst temperaturnivåer (Exergi=Energikvalitet). Dubbelspaltskonstruktionen innebär ingen energibesparing i vanlig mening utan möjliggör utnyttjandet av energi vid temperaturer kring + 20 C istället för temperaturer betydligt över önskad temperatur för varmhållning och betydligt under önskad temperatur för svalhållning. Detta i sin tur innebär att billig spillvärme eller värme från lågtemperatursolfångare och kyla från marken kan användas. Så länge som denna energi inte är gratis är det dock naturligtvis av intresse att veta energiförbrukningen även för dubbelspaltskonstruktioner. Energiförbrukningen för dubbelspaltskonstruktioner är dock beroende på isolertjocklek på samma sätt som konventionella system och därför skiljer sig inte själva energiförbrukningen från konventionella lösningar.

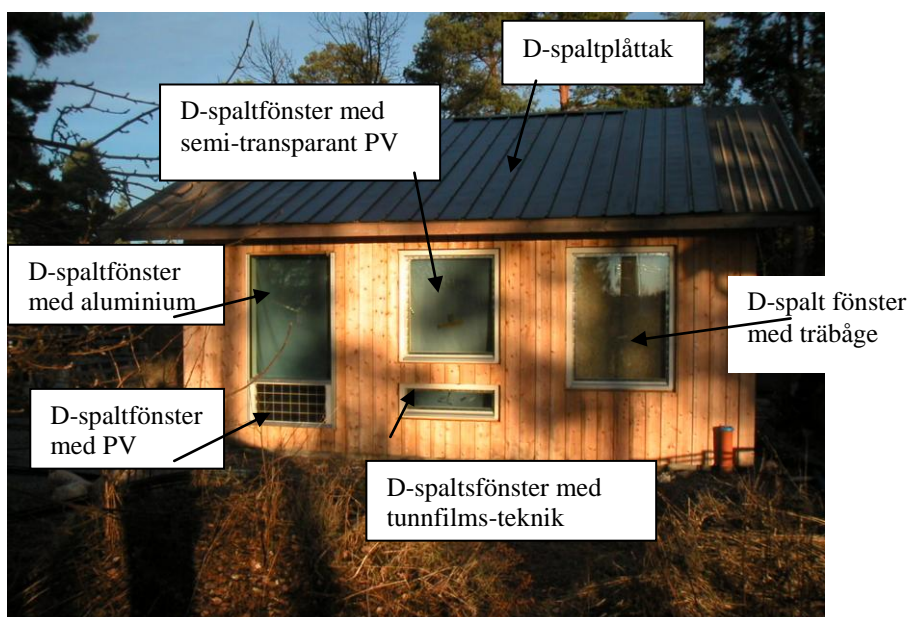
2. Introduktion Demo Låg-Exergihus

Demo Låg-Exergihuset har byggts för att i verkligheten visa det koncept som tidigare studerats teoretiskt och i laboratoriemiljö på KTH [Ref 1-3].

I Figur 1 visas stommen på Demo Låg-Exergihuset. Huset har uppförts för att prova och demonstrera olika typer av så kallade Låg-Exergikonstruktioner. Låg-Exergitekniken innebär en potential till energieffektivare, miljövänligare och högre inomhuskomfort i alla typer av byggnader. I det aktuella projektet har en så kallad Dubbelspaltskonstruktion (D-spalt) integreras i olika delar i klimatskalet för att möjliggöra framledningstemperaturer som bara är några grader över önskad rumstemperatur för uppvärmning respektive endast några grader under önskad rumstemperatur för svalhållning av ett rum.



Figur 1. Sydvästsidan på Demo Låg-Exergihus efter stomresningen



Figur 2. Sydvästsidan på Demo-huset efter integrering av D-spalts moduler.

I Figur 2 visas sydvästsidan på Demo-huset med olika D-spaltskonstruktioner integrerade

I Demo-huset finns det transparenta delar, dvs. fönster med D-spaltskonstruktioner uppförda med såväl träbåge som aluminium. Vidare finns det Solceller (PV) integrerat i två D-spaltskonstruktion och ett litet fönster är monterat med tunnfilm för solenergiabsorption.

3. Olika Dubbelspalts-konstruktioner

I det aktuella demonstrationshuset har 7 olika D-spaltskonstruktioner byggts, nämligen:

- 5 Fönsterelement
- 1 Takelement
- 1 Väggelement

Av de olika D-spaltskonstruktionerna intar de transparenta delarna, dvs. fönster en särställning bland de olika delarna av klimatskalet. Fönsterpartierna i klimatskalet är de delar som orsakar de största komfortproblemen och också de delar av klimatskalet som har störst transmissionsförluster. Ett vanligt fönster har cirka 5-10 gånger större värmeförluster än en vanlig vägg. Ett modernt välisolerat fönster har ett U-värde $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$ vilket innebär 5 gånger större värmeförluster jämfört med en icke-transparent vägg.

De moderna välisolerade fönstren sänker visserligen värmeförlusterna men ger en del andra problem. Det välisolerade fönstret innebär att det yttre glaset håller en betydligt lägre temperatur än det mindre välisolerade fönstret vilket kan ge kondens och frost på det yttre glaset. Kondens och frost på det yttre glaset kan förhindras med vissa typer av beläggningar men dessa beläggningar reducerar i sin tur ljusinsläppet.

Förutom att ett fönster innebär större värmeförluster under kalla perioder innebär också fönstret större värmelaster inne i en byggnad under den varma perioden än en icke-transparent del av klimatskalet. Ett modernt fönster med lågt U-värde får visserligen en reduktion av värmetransporter utifrån och in i byggnaden men solinstrålningen som är ca: 600 W är mycket svår att hindra. Vissa typer av beläggning på glaset absorberar solinstrålningen men medför då att glasets temperatur höjs varvid värmestrålning in mot byggnaden ändå sker och därmed förtar den absorberande beläggningens funktion. Den senaste tidens utveckling mot större fönsterytor har påtagligt visat att behovet av energi för komfortkyla ökar väsentligt i en byggnad med stora transparenta ytor.

Om man året runt kunde upprätthålla en temperatur på fönsters innerruta, som är den önskade inomhustemperaturen d.v.s. $20 \text{ }^\circ\text{C}$ skulle komfortneutrala glashus kunna realiseras. Att upprätthålla $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ när det är $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ utomhus skulle dock innebära en mycket stor energiförbrukning även om kravet på temperatur är låg (LågExergi). Det finns idag kommersiella glasprodukter som använder el för att upprätthålla en högre temperatur på innerrutan. Driftkostnaden (elförbrukningen) för dessa eluppvärmda fönster blir mycket hög och kan endast motiveras i situationer där kraven på komfort är mycket höga och/eller där genomsiktligheten är viktig d.v.s. ingen imma på fönstret kan tillåtas. Det uppvärmda fönstret

kan med andra ord ge ett varmt fönster med höga driftskostnader men det erbjuder ingen svalhållningsfunktion under den varma årstiden.

3.1 D-spaltsfönster

I Figur 3 illustreras ett så kallat D-spaltsfönster. Ett sådant skulle kunna att erbjuda transparenta klimatskal utan alla de nackdelar som nämnts i ovanstående kapitlet såsom:

- Kallras
- För varmt på sommaren
- Imma på utsidan vintertid
- Buller

För att kunna undvika dessa nackdelar behövs så kallad Lågexergi-energi, som kan fås billigt på många olika sätt överallt i världen såsom:

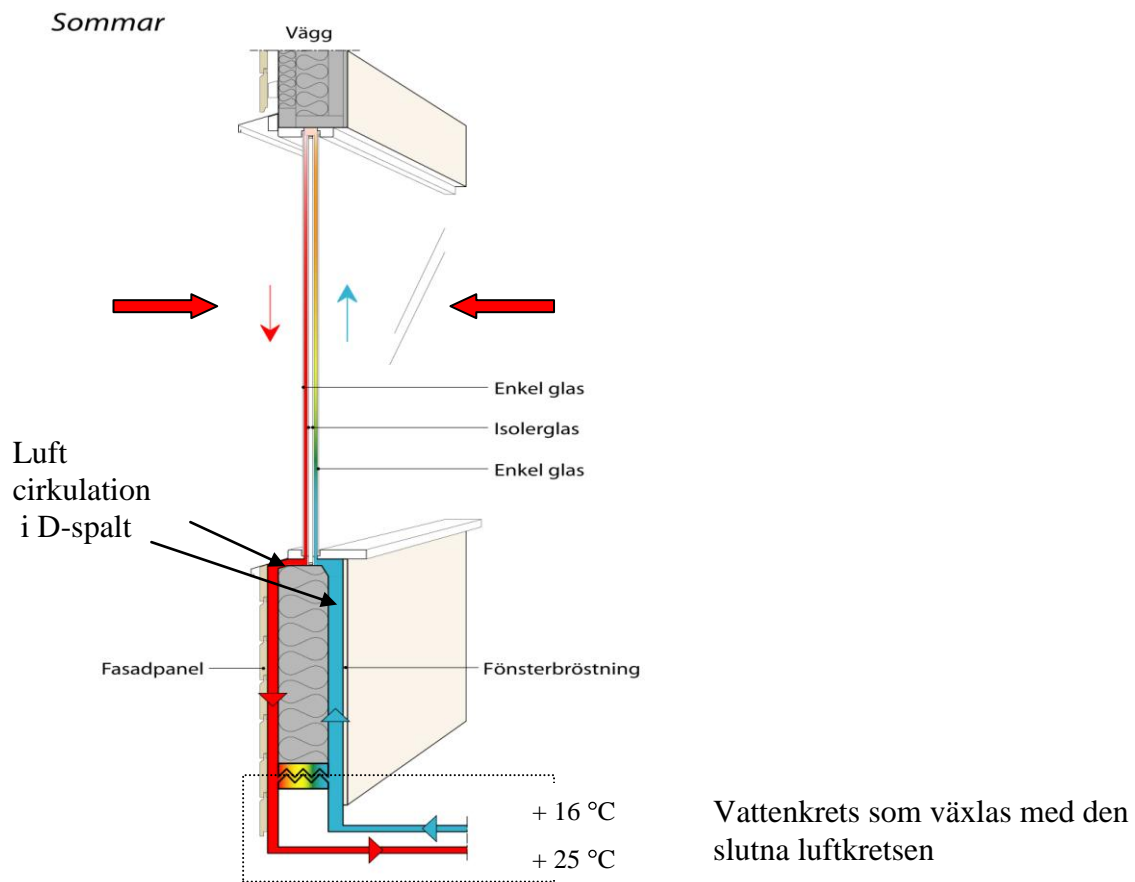
- Spillvärme, fjärrvärmereturen
- Säsongslagrad solvärme och vinterkyla (Energi lagrad i marken).
- Korttidslagrad solvärme och nattkyla (Vatten-ackumulator)

Spillvärme (Lågexergi-energi) finns det gott om i världen från industrier och byggnader. I de länder med fjärrvärme fjärrkyla) kan även returen i dessa system användas. Det mest intressanta är kanske möjligheten att använda värme och kyla som säsongslagras i marken. Det skulle kunna bli möjligt att med endast naturenergi (solenergi och vinterkyla) upprätthålla ett mycket behagligt inomhusklimat även i ett glashus på platser med inlandsklimat, dvs. mycket kalla vintrar och mycket varma somrar.

I de länder där man har ett stort kylbehov på dagarna hela året runt men har nätter som är ganska kalla kan D-spaltsfönstret använda vanlig värme- kylackumulatorer för korttids lagring i vattentank.

I Figur 3 visas cirkulationsflödet i ett D-spalts fönster under sommartid. Kallt vatten kommer från marken eller fjärrkyla och växlas i värmeväxlaren till den slutna luftkretsen. Värme går från rummet till innerspalten och därefter tillförs ytterligare värme i ytterspalten om temperaturer ute är tillräckligt hög. Detta innebär att D-spalten fungerar både som kylyta inåt i rummet och som solfångare på utsidan. Att fånga upp solen i ett fönster är dock mycket svårt. Den största delen av solenergin kommer vanligtvis att gå igenom fönstret och värma upp rummet. I detta projekt har man undersökt möjligheterna att öka absorptionen i fönstret genom att använda olika tunnfilmmaterial och därmed förbättra fönstret som solfångare. Under den aktuella projektiden blev inte provobjekten riktigt klara för testning under sommarhalvåret men koncept kommer att vidareutvecklas och provas. Resultaten från dessa prover kommer att redovisas SBUF kontinuerligt.

I Figur 4 illustreras värmetransporten i D-spaltsfönstret under vintern då man önskar varmhållning av rummet. För att få en värmeförsel till rummet måste fönstrets yttemperatur vara högre än rumstemperatur. För vanliga fönster är innerrutan betydligt under rumstemperatur när det är kallt ute. Exempelvis kan fönstrets yta inåt rummet ha en temperatur av ca: + 14 °C vid en utetemperatur på -20 °C [ref 3].

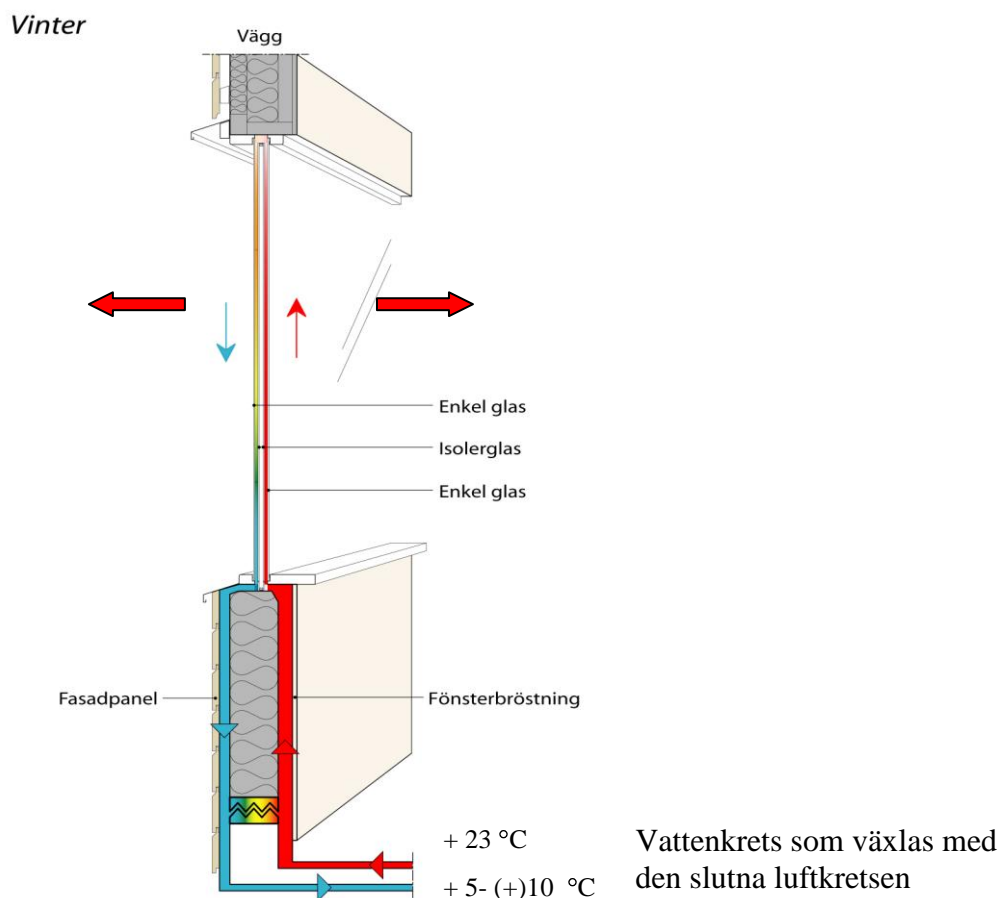


Figur 3. Värmetransporter i D-spaltfönster i somrardrift (svalhållningsdrift)

I tabell 1 visas mätresultat från en vinterdag då uttemperaturen var så hög som + 8.5 °C. Utan någon fläkt eller värmeförsel var yttemperaturen på rutan inåt rummet + 14.3 °C och rummets temperatur var + 17.5 °C. Med fläkten och värmeförsel så var framledningstemperaturen +22 °C men yttemperaturen höjdes endast till +15.5 °C. En förklaring till detta resultat finns att finna i det faktum att de platsbyggda prototyperna inte höll tätt i den bemärkelse att luftflödet verkligen gick upp i innerspalten och runt i ytterspalt. Luftflödet gjorde helt enkelt inte den nytta som var tänkt , dvs. höja temperaturen på glasytan inåt rummet i en större utsträckning än vad som skede. Under arbetets gång har det blivit alltmer klart att D-spalten måste tillverkas industriellt och levereras som prefabricerade byggelement.

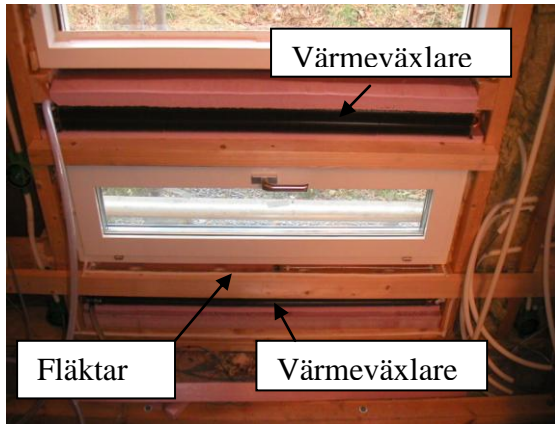
Tabell 1 Mätresultat D-spaltsfönster i vinterdrift

”NAPS” fönster, Utetemp +8.5 °C , Innetemp = + 17.5 °C				
	Temperatur	Temperatur	YtTemperatur	
	Inlopp Innerspalt	Utlopp Ytterspalt		Värmeeffekt
Utan fläkt	10	9	14.3	0
Med fläkt + värme	22	10	15.5	

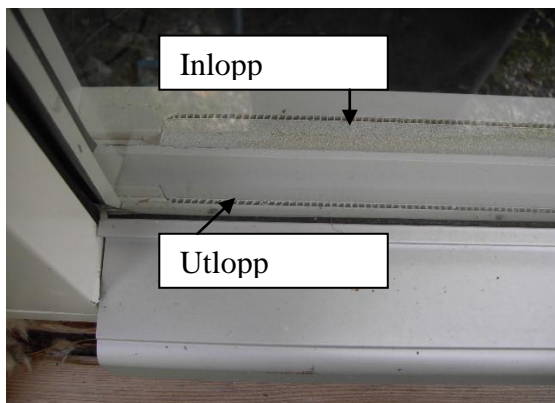


Figur 4. Värmetransporter i D-spaltsfönster i vinterdrift(varmhållningsdrift)

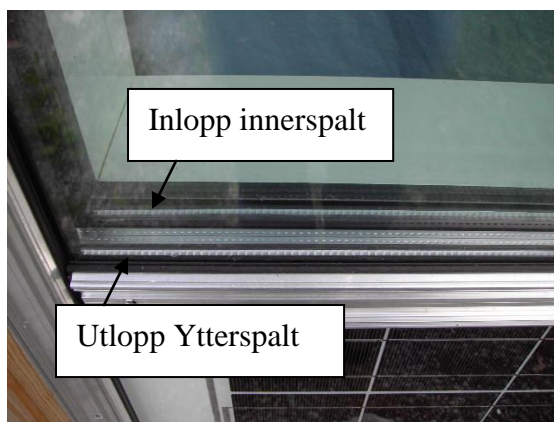
I figur 5 visas ett D-spaltsfönster med värmeväxlarens och fläktarnas placering längs med D-spaltens bredd. I figur 6 visas ett D-spalts fönster utfört med träbåge och innerspaltens inlopp respektive ytterspaltens utlopp. I figur 7 visas ett D-spaltsfönster utfört med aluminiumbåge och innerspaltens inlopp respektive ytterspaltens utlopp .



Figur 5. Illustration av värmeväxlar- och fläktplacering



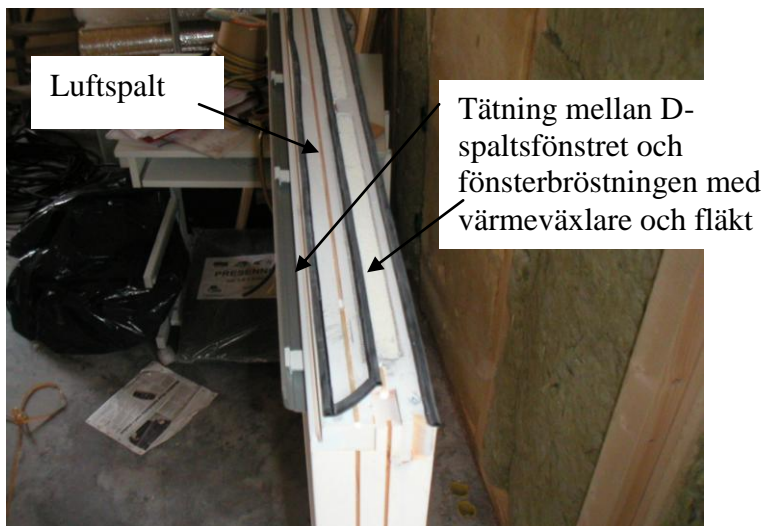
Figur 6. Illustration av In- och Utlopp D-spaltsfönster i träbåge.



Figur 7. Illustration av In- och Utlopp D-spaltsfönster i aluminiumbåge.

Under projektets gång stod det klart att det är mycket viktigt att få D-spaltens luftkanaler täta. För att D-spalten ska vara energieffektiv krävs att luften inte läcker ut ifrån spalten eller strömmar på ett okontrollerat sätt. Det fläktarbete som behövs för att överföra värme till och från spalten är teoretiskt mycket liten. Men om det finns läckage kommer det krävas större fläkteffekter för att uppnå de värmeövergångsprestanda som önskas och därmed förstörs den totala energieffektiviteten för D-spaltskonstruktionen.

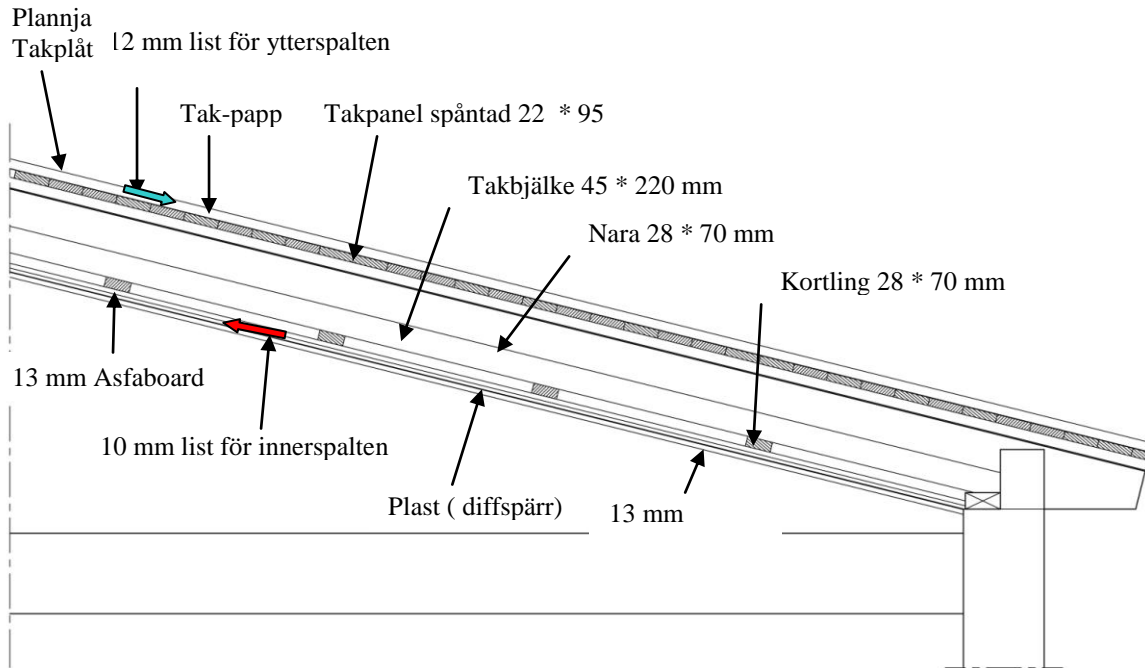
I figur 8 visas ett understycke på ett fönster och den tätning som skulle täta mellan Dubbelspaltskanalerna och värmeväxlaren och fläkten som är integrerade i fönsterbröstningen. Det var svårt att få detta ställe tätt. Den varma luften gick över till den kalla sidan vilket inte får hända. Att bygga en tät D-spaltskonstruktion är dock förmodligen inget problem bara man tar hänsyn till detta redan vid grundkonstruktionen och utför D-spaltselementen som prefabricerade byggelement.



Figur 8. Tätningslister mellan D-spaltsfönster och fönsterbröstningen

3.2 D-spaltstak

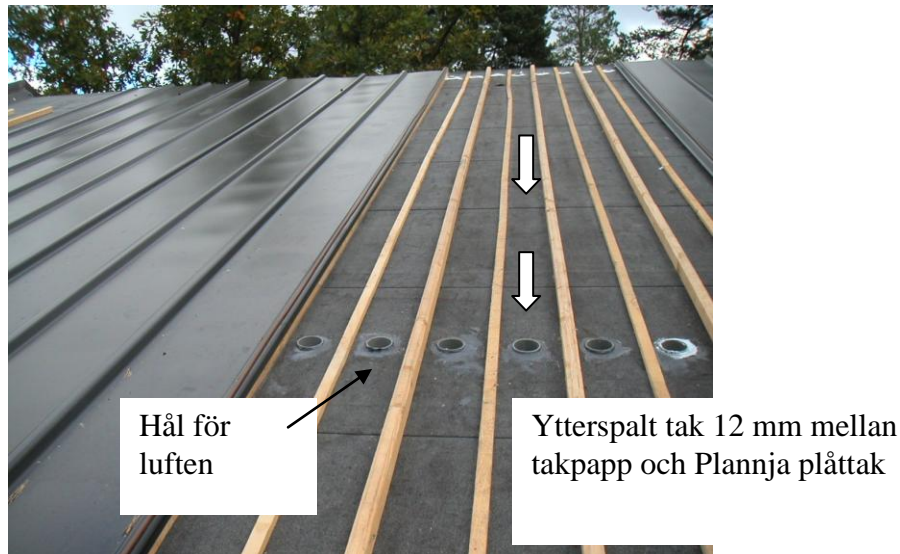
Taket är en yta som lämpar sig väl för D-spaltskonstruktioner. I figur 9 visas D-spaltskonstruktionen i ett tak. D-spaltskonstruktionen är uppbyggd med konventionella byggmaterial. Innerspalten är uppbyggd mellan en asfaboardskiva och diffusionstät plast på en masonitskiva enligt Figur 9 och 10.



Figur 9. D-spaltstak konstruktion



Figur 10. Innerspalt mellan asfaboard och masonitskiva och diffusionsspärr.



Figur 11. Ytterspalten mellan takpapp och plåttak

Ytterspalten bildas mellan takpappen och plåttak enligt Figur 9 och 11. Precis som för en vägg kommer D-spalten rent allmänt alltid att erbjuda möjligheter att utnyttja låga temperaturer (endast några grader över rumstemperatur) för varmhållning och höga temperaturer (endast några grader under rumstemperatur) för svalhållning.

De ytor av byggnadens klimatskal som huvudsakligen är riktade mot solen är dock mest intressanta att utföra med en D-spalt då dessa ytor innebär störst värmelast på byggnaden och därmed orsakar störst kylbehov samtidigt som dessa ytor är intressantast när det gäller att skörda solenergin för uppvärmning av tappvatten eller lagring i marken. När det gäller taket är det dock viktigt att poängtera att solinstrålningen är betydligt olika på södersidan respektive norrsidan. D-spaltstaket kommer inte att samla in mycket solenergi på norrsidan.

I tabell 2 visas temperaturen i D-spaltskonstruktionen integrerad i takelement enligt Figur 12. I detta fall är temperaturen låg inomhus, ca: + 12 °C vid start av uppvärmning. Temperaturen vid mätpunkterna T2, och T3 är densamma som inomhustemperaturen vid uppvärmningsstarten. Temperaturen vid T1 är ca: + 3 °C vid start av uppvärmning och en utetemperatur vid -5 °C. I den första mätningen tillförs en temperatur vid 21 °C vid inloppet till innerspalten med ett luftflöde på 25 l/s. Luftflödets temperatur i innerspalten sjunker 4 °C till +17 °C vilket innebär att värmeeffekten i takets insida är :

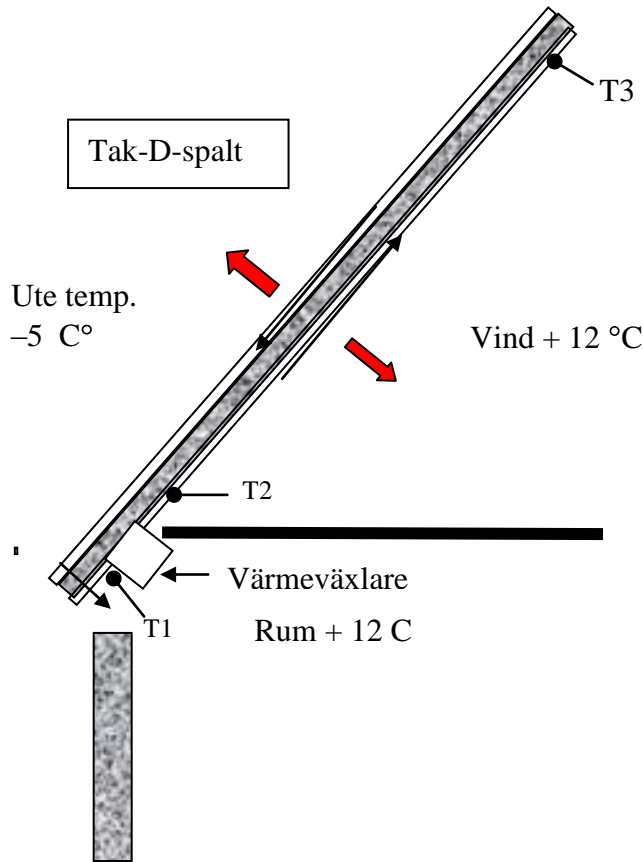
$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \phi_j = 25 \cdot 1,29 \cdot 4 = 129 \text{ W}$$

ϕ_j = Tempdifferensen mellan in- och utlopp

Denna effekt är inte hög jämfört med en konventionell radiator. Den tillförda effekten till D-spalten används huvudsakligen för att reducera eller helt eliminera rummets transmissionsförluster. Dessa är normalt i storleksordningen:

$P = U \cdot \Delta T = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ W/m}^2$. Där ΔT är temperaturskillnaden mellan inne och ute. Då D-spaltstaket i detta fall är 4 m², innebär detta en eliminering av rummets transmissionsförluster som annars skulle varit 20 W.

I den andra mätningen har tilloppstemperaturern (T2) höjts till + 24 C vilket resulterar i en temperatursänkning i innerspalten till +19 C. Detta i sin tur innebär en tillförd värmeeffekt till vinden på 160 W.



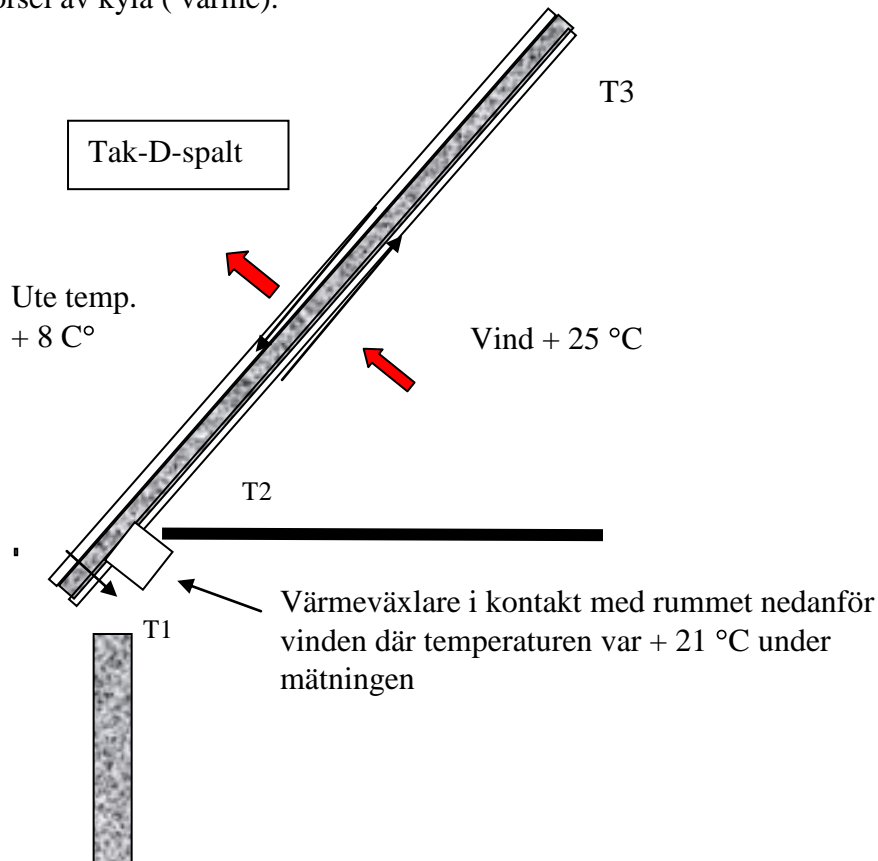
Figur 12. D-spaltstak vid vinterdrift

Tabell 2 Exempel på provning av D-spaltstak i vinterdrift

Tak element, Vol.flöde = 25/l/s med fläkt igång Utetemp -5 °C , Innetemp = 12 + °C				
	Temperatur			
	T2	T3	T1	Värmeeffekt
Ingen fläkt/värme	12	12	3	0
Fläkt + värme	21	17	3	129
	24	19	3.4	161

D-spalten används även för svalhållning. Detta är naturligtvis mest intressant på sommarhalvåret då utetemperaturerna ligger betydligt över +20 C. Behovet av komfortkyla ökar dock även i Sverige. Många kontor och köpcentra köper idag fjärrkyla även om utetemperaturen är så låg som +5 °C .

I Figur 13 och Tabell 3 visas några mätningar en höstdag då utetemperaturen var +8 °C. Genom kraftig solinstrålning genom fönster och de delar av taket som inte utgör provobjekt blev temperaturen på vinden denna höstdag +25 °C. D-spalten kan erbjuda svalhållningsfunktion utan tillförsel av någon extern kyla. Man ”flyttar” endast värmeöverskottet innanför byggnaden till utsidan av byggnaden utan att tillföra någon låg (kyla) temperatur till D-spalten, d.v.s. ingen kylenergi krävs över huvudtaget. Den enda energi för att få svalhållningseffekt är den eleffekt som behövs för fläkten. I Tabell 3 visas temperaturerna i Tak-D-spalts elementet helt inaktivt samt med fläkten gående men utan tillförsel av kyla (värme).



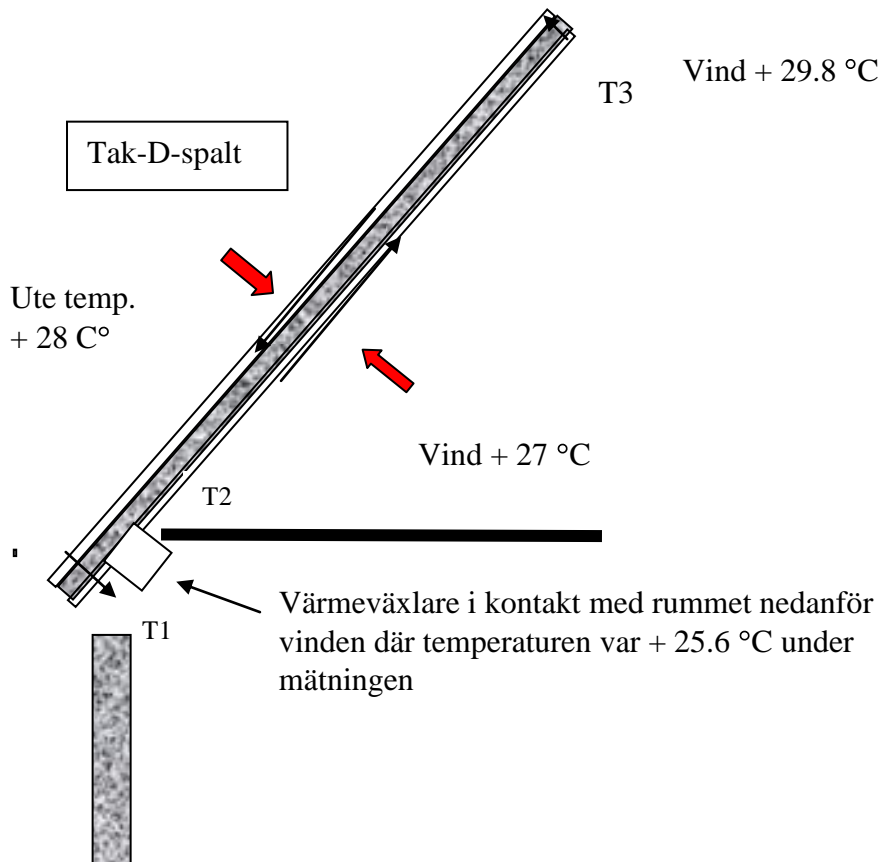
Figur 13 . D-spalten för svalhållning under vår-höst

Tabell 3 Exempel på provning av D-spaltstak i höstdrift

Tak element, Vol. flöde = 25 l/s med fläkt igång Ute temp + 8 °C, Innetemp = + 21 °C				
	Temperatur			
	T2	T3	T1	Kyleffekt
Utan fläkt	17	18	12	0
Med fläkt men ingen kylenergi	17	22	10	160 W

I Figur 14. och Tabell 4 och visas en mätning en varm sommardag då utetemperaturen var + 28 ° C. När det gäller infångning av solinstrålning så är intensiteten (Effekten) naturligtvis

betydligt större på södersidan än norrsidan. Med en vinkel på taket på 12.5 grader så är den infallande effekten från söder ca: 600 W/m² medans den instrålade effekten mot norr endast är en bråkdel av detta.



Figur 14 D-spalten för svalhållning och solenergiinfångning under sommaren

Tabell 4 Exempel på data för D-spaltstak i sommar drift

Tak element, Vol. flöde = 25 l/s med fläkt igång Ute temp +28 , Innetemp = + 25- (+)29 C				
	Temperatur			
	T2	T3	T1	Kyleffekt
Med fläkt och kylenergi	23	26	56	Insida 97 W Utsida 968 W
Solfångarprestanda				266 W/m ²

Temperaturen i innerspaltens inlopp var +23 °C , vilket är en hög temperatur för svalhållning jämfört med konventionella system såsom kylbafflar. Då den relativa fuktigheten var hög den dag som mätningen utfördes måste framledningstemperaturen ligga över daggpunkten för att undvika kondens, varför framledningstemperaturen valdes till 23 °C. Temperaturen i slutet på ytterspalten var +56 °C.

Detta innebär att D-spaltstaket en sådan varm dag kommer att absorbera en effekt av :

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot \phi_j = 25 \cdot 1,29 \cdot 33 = 1064 \text{ W}$$

Som gör att värmelasten minskar i rummet. I Tabell 4 visas de olika kyleffekter man kan definiera. Kyleffekten inne i rummet blir 97 W. Då D-spalten eliminerar transmissionsförlusterna också kommer dessa att minska med:

$$P = U \cdot \Delta T = 0,2 \cdot 40 = 8 \text{ W/m}^2 \text{ dvs.}$$

Med 4 m² D-spaltstak kommer värmelasten på grund av transmissionerna minska med 32 W. Det innebär att D-spaltstaket ger en minskning av kylbehovet med 97 + 32 = 129 W samtidigt som taket absorberar 1064 W solenergi med en temperatur (Exergi) på + 56 °C.

3.3 D-spaltsvägg

Aktuellt projekt innefattade också D-spalten i icke-transparent vägg. Väggen är uppbyggd precis som en vanlig yttervägg med ytterträpanel. Innerspalten skapades mellan asfaboardskiva och en Plyfaskiva med diffusionsspärr innanför Plyfaskivan. Proven i D-spaltsväggen kunde inte genomföras då luftspalten läckte för mycket varpå luften inte bidrog till värmetransporten i väggen. Läckage problemen i väggen var ännu större än i fönsterfallet. Erfarenheten under projektet var att D-spaltskonstruktionen inte är lämplig att platsbygga utan måste tillverkas industriellt och levereras som prefabricerade moduler.



Innerspalt –Vägg
10 mm mellan
Asfaboard och
diffusionspärr/Plyfa

Figur 15 Innerspalt i D-spalt i icke-transparent yttervägg.

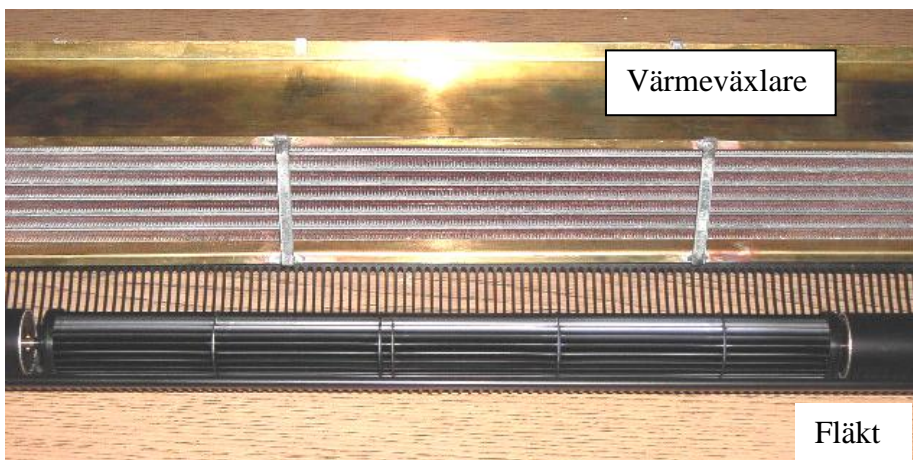
4 . Värmeväxlare & Fläktar och underhåll

I de aktuella D-spaltskonstruktioner är luft energibäraren och inte vatten. Orsaken till detta är naturligtvis att man vill undvika de problem som kan uppstå i klimatskalet vid vattenläckage. D-spaltskonstruktionerna har en värmeväxlare och en fläkt integrerad i konstruktionens ena ända. Vid diskussioner med fastighetsförvaltare [ref 4] så har dock farhågor rest beträffande den distribuerade lösningen med en separat värmeväxlare och fläkt vid varje D-spaltsenheten . Det är närmast problemen med service på ett stort antal komponenter som man vill undvika.

Vid stora system är det önskvärt med en centraliserad lösning med en stor central värmeväxlare och en fläkt då underhåll av dessa enheter då kan ske på ett eller ett fåtal ställen istället för till exempel ute i varje rum.

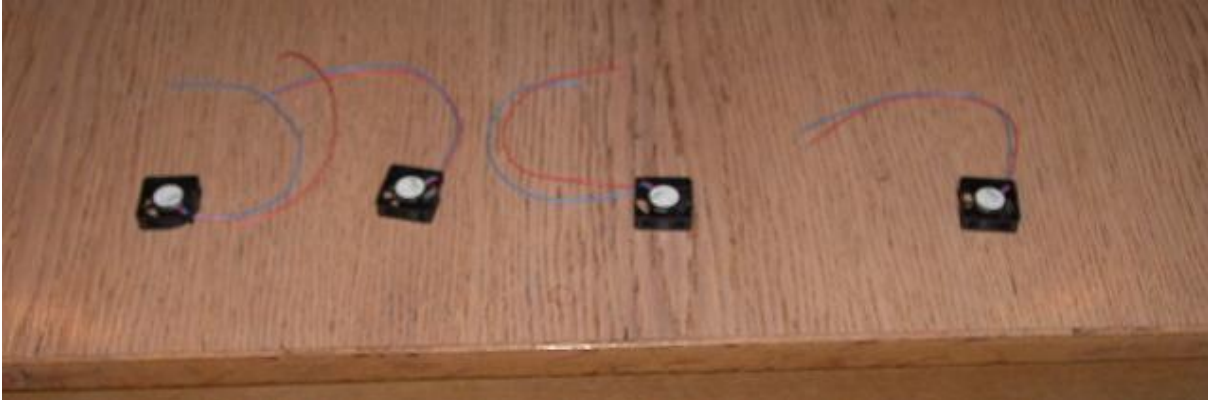
Detta önskemål är naturligt för större fastigheter men det finns en potential enligt tidigare och detta projekt att realisera kostnadseffektiva komponenter. I tidigare SBUF projekt (Ref 1-3) har sådana värmeväxlare studerats. En mycket effektiv värmeväxlare skulle kunna fås om man kunde tillverka så kallade motströmsvärmeväxlare i plast. I aktuellt projekt har företaget Pipelife deltagit för att utröna hur en sådan skulle kunna tillverkas. Hittills har det dock visat sig svårt att hitta en konstruktionslösning som är tät mellan vatten- och luftsidan då vattensidan ska kunna klara 3-6 bars övertryck enligt gällande VVS – standard. I slutet på aktuellt projekt har dock nya konstruktioner diskuterats som ska provas och utvärderas. Bland annat har företaget Coiltech och Outokumpu bidraget med att ta fram värmeväxlare i konventionella material och med konventionell tillverkningsteknik för gängse tvärsströmsvärmeväxlare. Dessa är sedan ihopkopplade i ett ”multipass” arrangemang . En sådan konstruktion kan komma mycket nära en renodlad motströmsvärmeväxlare när det gäller önskade prestanda. I Figur 16 visas en värmeväxlare byggd av Outokumpu med ovan nämnda teknik.

Figur 16 visar också en långsmal trumfläkt från Epecon som är mycket tyst. Livslängden är 50 000 timmar vilket innebär mer än 5 års drifttid om fläkten går hela tiden. I verkligheten går kanske fläkten bara hälften av all tid vilket skulle innebära 10 års livslängd. Denna fläkt är dessutom mycket lätt utbytbar om så skulle behövas.



Figur 16. Multipass ”Bilkylarteknik” och långsmal trumfläkt.

Den andra typen av fläktar som använts i testerna är fläktar av datortyp enligt Figur 17. 4 stycken av denna typ är fördelade längs med D-spalten.



Figur 17. Flera datorfläktar som distribueras längs D-spalten

5. Allmänna dimensioneringskriterier för D-spalt

I aktuellt Demohus har luft använts som energibärare i D-spalten då den svenska byggindustrin inte gärna vill ha vatten inbyggt i klimatskalet på grund av vattenskaderisken.

Luft är dock en dålig energibärare då den transporterade effekten är proportionell mot värmekapaciteten per volymenhet ($\rho \cdot Cp$) vilken är ca: 3500 gånger sämre än för vatten. När D-spalten fungerar som värmeavgivare till rummet under den kalla årstiden är den överförda effekten låg (ca. 10 W/m^2) och därmed orsakar inte den låga specifika värmekapaciteten ($\rho \cdot Cp$) någon större begränsning. Under sommaren då solen skiner på ytterspalten och vi önskar ”fånga” en så stor del av solens instrålning som möjligt, då kommer dock luftens dåliga ($\rho \cdot Cp$) vara en starkt begränsad fysikalisk faktor. För att kunna konstruera och driva D-spalten optimalt är det viktigt att vara medveten om de grundläggande fysikaliska mekanismerna som avgör hur energieffektiv D-spalten blir.

Det dimensionerande fallet är sommartid då det handlar om att absorbera och överföra solenergi så mycket som möjligt i den yttre spalten av D-spalten. Effekten sommartid som ska överföras till luftflödet i D-spalten's yttre spalt kan vara i storleksordningen $400\text{-}600 \text{ W/m}^2$ beroende på vilken del av klimatskalet, till exempel, södervägg eller tak med olika lutning. Vintertid handlar det inte om större effekter än $10\text{-}20 \text{ W/m}^2$ för såväl väggar som tak. För fönster kan det vid dessa förhållanden röra sig om $20\text{-}30 \text{ W/m}^2$.

Den insamlade effekten är proportionell mot flödet av luften i D-spalten och den temperaturhöjning som fås i D-spalten. Ju högre flöde desto högre effekt men också lägre temperatur (Kvalitet = Exergi) på den insamlade solenergin.

Förutom flödet så bestäms den överförda effekten av själva konstruktionen. En smal spalt innebär högre värmeövergång från/till luften mot D-spaltens material. En smal spalt innebär dock också större tryckförluster som i sin tur medför högre fläkteffekter och därmed också ökad elförbrukning (parasitförluster). Vidare bestäms den överförda effekten av materialet som ytterspalten är gjord av. I detta fall är utsidan av ytterspalten gjord av plåt vilken har en god värmeledning och därmed utgör en lämplig så kallad absorberyta.

Den överförda effekten till luftspalten bestäms med andra ord av konstruktionsparametrar såsom D-spaltens mått (höjden) och materialval, samt av driftsparametrar såsom flöde och solen intensitet. Ett stort flöde och en smal spalt ger högre överförd effekt men innebär samtidigt ökade parasitförluster i form av tryckförluster som innebär ökad elförbrukning för drift av fläkt. Dessa tryckförluster blir speciellt stora då vi använder luft som energibärare istället för vatten på grund av luftens låga ($\rho \cdot Cp$).

Vid dimensionering av D-spalten gäller det att optimera konstruktionen med avseende på konstruktionsparametrar såsom spaltens höjd samt driftsparametrar såsom exempelvis flödet. Man kan ringa in de intressanta parametrarkombinationer som ger ett lågt värde på den ”Relative fläkteffekten”, ξ , för att övervinna tryckfallet i D-spalten, normerat till den överförda värmeeffekten enligt nedan:

$$\xi = \frac{\text{Nödvändig- fläkteffekt}}{\text{Överförd- värmeeffekten}}$$

Det är önskvärt ur tryckförlustsynpunkt att låta luftflödet arbeta i det laminära området då tryckförlusterna i det laminära området är linjära med flödet medan tryckförlusterna är proportionella mot kvadraten i det turbulent området. Genom att utgå från att flödet är laminärt blir det lätt att göra en första uppskattning av förhållandet mellan parasitförlusterna (Tryckfallförlusterna) och den önskade överförda värmeeffekten från solen till luftspalten (Ytterspalten).

Värmeövergången från plåten till cirkulationsluften i den yttre spalten ges av värmeövergångskoefficienten α . Värmeövergångskoefficienten α , ökar med minskad spalthöjd enligt nedanstående ekvation.

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{2 \cdot s} = \frac{4,77 \cdot 0,023}{2 \cdot s}$$

där s är spaltens höjd, Nu är Nusselt talet och λ är luftens värmeledningstal. I det laminära området är Nu konstant och 4.77 för en spalt såsom i D-spalten med ensidig konvektiv värmeöverföring. I tabell 5 visas värmeövergångskoefficienten α för olika spalthöjder samt den temperaturdifferens som krävs mellan plåten och luftens bulk för att erhålla en värmeöverföring av 250 W/m².

Tabell 5 Värmeövergångskoefficienten α .

Spalthöjd [mm]	α [W/m ² K]	Temperatur differens Plåt –Cirkulationsluften
1	55	5
2	27	9
5	11	23
10	5	45
20	2,7	91

Som framgår av tabell 5 behövs det en stor temperaturdifferens (den så kallade drivande temperaturdifferens) mellan plåten och cirkulationsluften i spalten vid stora spalthöjder på grund av den då låga värmeövergångskoefficienter (α). Att upprätta en temperaturdifferens mellan plåten och luften på 90 °C är inte realistiskt då värmeförlusterna mot omgivningen blir stora. En balans mellan värmeövergången i spalten och förlusterna mot omgivningen behövs dock inte göras för att ringa in en lämplig konstruktion.

Genom att beräkna tryckförlusterna i spalten, dvs. fläktens elförbrukning och väga den mot värmeövergången i tabell 5 kan vi ringa in lämplig konstruktion.

Tryckförlusterna i D-spalten kan antas vara laminär, vilket ger en uppskattning av den minsta tänkbara tryckförlusten som kan uppstå. Om turbulent flöde uppstår blir tryckfallet betydligt högre. Med laminär tryckförlust kan "Relative fläkteffekten", ξ , tecknas enligt följande ekvation.

$$\xi = \frac{12 \cdot \mu}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{L^2 \cdot q_{SF}}{s^3 \cdot \phi_j^2} = \frac{519,2 \cdot L^2}{s^3 \cdot \phi_j^2}$$

Där q_{SF} är solfångarens absorberade effekt.

I tabell 6 redovisas kvoten ξ , i procent för konstruktionsparametern, spalthöjd (s i mm) och driftsparametern ϕ_j mellan in- och utlopp i D-spalten. Som framgår av tabellen så blir fläkteffekten absurd stor för en liten spalthöjd och en liten temperaturdifferens mellan in- och utlopp i D-spalten (= stort flöde).

De parameterkombinationer som är intressanta är markerade med ljusblå färg i Tabell 6.

Tabell 6

$\xi = \frac{\text{Nödvändig-fläkteffekt}}{\text{Överförd-värmeeffekten}} \text{ [\%]}$						
Spalthöjd s [mm]	ϕ_j (in-utlopp D-spalt)					
	4	8	12	16	20	40
1	3245,000	811,000	360.500	202.800	129.800	32,450
2	405,000	101.400	45.000	25.300	16.200	4.050
5	25,000	6.500	2.900	1.600	1.000	0.260
10	3,250	0.800	0.360	0.200	0.130	0.030
20	0.400	0.100	0,045	0.020	0.016	0,004

6. Egenkonvektion i D-spalt

Det dyker ofta upp frågor om egenkonvektion i D-spalten och hur den påverkar flödet i D-spalten utan fläkt. Det finns t.o.m. patent på D-spalter där egenkonvektionen är den enda drivande kraften för luftflödet (eller vatten).

Den drivande mekanismen på grund av egenkonvektion motverkar fläkten (pumpen) sommartid respektive hjälper till vintertid.

Under vintern är temperaturen högre i toppen på D-spaltens ytterspalt (som har den stora temperaturändringen) varefter den blir allt kallare i D-spaltens flödesriktning. Detta innebär att egenkonvektionen bidrar med minskad fläkteffekt under vintern. På sommaren då luften är kall i början och sedan blir alltmer varm i flödesriktningen sker det omvända, dvs. egenkonvektionen strävar mot det önskade luftflödet och orsakar högre fläkteffekt.

Man kan teckna det drivande trycket på grund av egenkonvektion som;

$$\Delta p_{sj} = H \cdot \rho_T \cdot \frac{\phi_j}{2} \cdot g$$

där :

H = höjdskillnaden på objektet (D-spalten)

ρ_T = Temperaturkoefficienten för fluidets densitet. (Luft , vatten etc.)

$\frac{\phi_j}{2}$ = medeltemperaturskillnaden mellan fluidet i D-spaltskonstruktionens ytter- och innerspalt

g = gravitationsaccelerationen 9,81 [m/s²]

Vidare är ;

ρ_T för vatten 0,15 [kg/m³,K]

ρ_T för luft 0.0044 [kg/m³,K]

Om man normerar Δp_{sj} till temperaturdifferensen ϕ_j fås

$$\frac{\Delta p_{sj}}{\phi_j} \text{ vatten} = 0,735 H \text{ och}$$

$$\frac{\Delta p_{sj}}{\phi_j} \text{ luft} = 0,0216 H$$

Man ser att det drivande trycket från egenkonvektionen för en given temperaturdifferens är större för vatten än för luft.

Om Δp_{sj} betraktas som ett mottryck vilket det blir om pumpningen görs mot självcirkulationen. fås en förlust-pumpeffekt som kan tecknas

$$P_{sj} = \Delta p_{sj} \cdot \frac{\dot{m}}{\rho}$$

om denna i sin tur normeras till den transporterade termiska effekten

$$P_{th} = \dot{m} \cdot \phi_j \cdot C_p$$

som är den effekt vi önskar så stor som möjligt fås en dimensionlös faktor som är;

$$\xi_{sj} = \frac{P_{sj}}{P_{th}} = \frac{1}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{\Delta p_{sj}}{\phi_j} = \frac{g}{2} \cdot \frac{\rho_T \cdot H}{\rho \cdot C_p}$$

Denna dimensionslösa faktor är ett mått på hur mycket självcirkulationen (egenkonvektionen) är i förhållande till den transporterade termiska effekten och man kan lätt se vilka parametrar som påverkar denna egenskap.

Man ser att det endast är fysikaliska parametrar såsom fluidets egenskaper och konstruktionsparametern H som påverkar hur stor del egenkonvektionen spelar roll ur effektivitetssynpunkt.

För vatten blir förlustfaktorn:

$$\xi_{sj} = \frac{1}{1000 \cdot 4190} \cdot 0,735 \cdot H = 175,4 \cdot 10^{-4} H$$

samt för luft

$$\xi_{sj} = \frac{1}{1,29 \cdot 1000} \cdot 0,0216 \cdot H = 16,7 \cdot 10^{-6} \cdot H$$

Då vi uteslutande antar att det är luft i D-spalten och vi antar ca: 1 meters höjd fås;

$$\xi_{sj} = 16,74 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 17 \text{ PPM}$$

dvs. väldigt liten förlustfaktor sommartid då egenkonvektionen motarbetar fläkten respektive väldigt liten hjälp till fläkten vintertid då egenkonvektionen hjälper till.

Det är intressant att konstatera att påverkan av egenkonvektionen inte beror på driftsparametrar såsom flöde och temperaturer vilket man kanske föräntades att tro, utan endast fluidets fysikaliska parametrar och höjden.

7. Kondens i D-spaltskonstruktioner

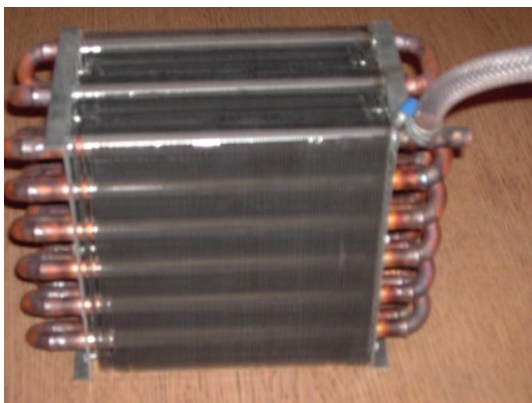
D-spaltskonstruktionen bör rent allmänt öka möjligheterna att undvika fuktproblem i en byggnad då temperaturerna ligger nära omkring önskad rumstemperatur. Vid komfortkyla används ovanligt höga temperaturer jämfört med konventionella kylsystem. Detta innebär att kondensproblemen bör minska. Det finns dock möjliga problem då varm och fuktig luft tränger in i D-spaltskonstruktionen och kommer till en kall punkt. I sommarfallet då fuktvandringen oftast sker ut ifrån och in är denna kalla punkt värmeväxlaren och därmed vet man exakt var kondens kommer att uppträda och kan därmed också dränera condensatet. Under vintertid är situationen den omvända, fuktvandring sker inne ifrån och ut. En bra diffusionsspärr ska förhindra detta. När det gäller D-spalten så bör denna vara prefabricerad och därmed bör det också vara goda möjligheter att få en god diffusionsspärr på D-spaltens insida. När det gäller fönster så är själva fönstret naturligtvis diffusionstät men det blir imma och fuktutfällning på ytterglaset om varmfuktig luft kommer in i D-spalten. Detta är dock detsamma som med dagens konventionella fönster och är inget nytt problem

8. Ventilationsluft och LågExergi energi

Tempering av ventilationsluft kan med fördel ske med LågExergi energi. Enligt ref 6 (www.lowex.net) är en lufttemperatur på ca: +18 °C tillsammans med omgivande strålningsytor (Väggar, tak, golv) på omkring +20 °C en idealisk omgivning ur komfortsynpunkt.

Att värma uteluft till ca: +18 °C med ett vattenflöde som har endast en temperatur på +20- (+)25 °C, dvs. LågExergi energi (billig värmeenergi) är fullt möjligt om man har en effektiv vatten/luft värmeväxlare. Denna värmeväxlare bör vara av typ motströmsvärmeväxlare precis som den värmeväxlare som integreras i D-spalten för temperering av luften i spalten.

Värmeväxlaren för D-spalten bör dock vara långsmal för att integreras snyggt i D-spaltskonstruktionen medan värmeväxlaren för temperering av ventilationsluften kan vara mer kubisk och passas in i en konventionella ventilationskanaler. Coiltech har tagit fram en prototyp på en sådan ”LågExergi” ventilations värmeväxlare enligt Figur 17 för detta projekt och för fortsatta prover och tester. Företaget Flaktwoods levererar liknande värmeväxlare för större system som kallas Econet.



Figur 17. Motströmsvärmeväxlare för ventilationsluften

9. Fjärrvärmeföreningen syn på Lågexergihus.

Det finns ett allmänt intresse från Fjärrvärmeföreningen [ref 5] att användarna ute på nätet kan använda sig av energi med lägre temperaturer än dagens praxis. Orsaken till detta är att det oftast finns möjligheter till rökgas kondensering vilket gör att man kan sälja ytterliggare energi ute i nätet utan att använda mera bränsle. En annan orsak är att en låg returtemperatur innebär mindre värmeförluster.

Det finns en rapport från Fjärrvärmeföreningen som beskriver hur en sänkning av temperaturerna i fjärrvärmenätet ger fördelar .

Det finns också ett program tillgängligt gratis från fjärrvärmeföreningen som visar hur mycket man kan tjäna på att sänka returtemperaturen.

10. Slutsatser och fortsättning

Den övergripande slutsatsen är att D-spaltskonstruktionen kan utnyttja LågExergienergi enligt tidigare studier och laboratorieprover men att den inte lämpar sig för platsbygge. Det är viktigt att det luftflöde som skapas med fläkten verkligen kommer att flöda över D-spaltens ytor och inte att luftflödet läcker ut i springor. Luftläckaget innebär energiförluster då detta resulterar i ökad fläkteffekt som inte kommer systemet tillgodo.

Det är således så att D-spalten är ett konstruktionselement som mer eller mindre måste vara industriellt prefabricerat element för att kunna göras med de toleranser som en garanterad täthet kräver.

Sedan aktuellt projekt startades har LOWTE AB tillsammans med flera underleverantörer inom VVS-branschen fått bidrag från Energimyndigheten för att utveckla en så kallad LågExergivärmepump. Ett sådant värmepumpskoncept baseras på LågExergihus som det som nu har uppförts.

LOWTE AB kommer att fortsätta att mäta, utveckla och demonstrera LågExergiteknik i Demohuset. Värmepumpstillverkaren IVT har ställt upp med en värmepump som kommer att köras tillsammans med D-spalten och andra LågExergikomponenter förutom de som nu finns installerade i DemoLågExergihuset. LOWTE AB kommer att fortlöpande rapportera till SBUF om de fortsatta resultaten.

Deltagare i projektet

I projekt har många företag deltagit och vi vill tacka alla för deras aktiva medverkan i det aktuella projektet och i fortsatta kommersiella samarbeten

- Elitfönster – D-spalts fönster
- Hydrobuildings –D-spaltsfönster
- Pilkington. Glas
- Epecon Fläktar och värmeväxlare
- Coiltech. Multipass värmeväxlare för D-spalt och ventilation
- Pipelife , Motströmsvärmeväxlare i plast
- SKANSKA Teknik- Information om olika väggkonstruktioner
- Outokumpu- Multipassvärmeväxlare för D-spalt
- Plannja- Plåttak för D-spalts tak
- T.a.c styr & regler
- Kanalplats- Kanalplats för luftspalten i D-spalten
- EBM Fläktar- Fläktar för D-spalten
- NAPS Solceller för integration i D-spaltskonstruktioner

Referenser

Ref 1. P Platell, D Schmidt, Gudni Jóhannesson , Att använda lågexergi-energi för byggnader
Etapp1 SBUF-dokument Nr. 9026 , BFR –dokument Nr.19980285

Ref 2. P Platell, D Schmidt, Gudni Jóhannesson , Att använda lågexergi-energi för byggnader
Etapp2 SBUF-dokument Nr. 0050 BFR –dokument Nr.19980285

Ref 3. P Platell, D Schmidt, Gudni Jóhannesson , Att använda lågexergi-energi för byggnader
Etapp 3 SBUF-dokument Nr. 1026, FORMAS –dokument Nr.20011012

Ref 4 Intervju med Jonas Gräslund om installation och underhåll av luftbehandlingssystem

Ref 5 Intervju med Mikael Gustavsson , Fjärrvärmeföreningen

Ref 6 Network of International Society for Low Exergy Systems in Buildings