



Långtidsstudie av byggnader i trä i kallt klimat



Långtidsstudie av byggnader av trä i kallt klimat

Undersökning av den drygt 30 år gamla svenska
forskningsstationen i Antarktis

Dag Haugum
Lennart Elfgren



Energimyndighetens projektnummer: 47847-1

E2B2



Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

Långtidsstudie av byggnader av trä i kallt klimat är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av Luleå tekniska universitet och har genomförts i samverkan med Polarforskningssektariatet, NCC Sverige AB, Nåiden Bygg AB, Luleå tekniska universitet, Finnish Meteorological Institute och University of Oulu.

Projektet har undersökt hur träbyggnader i forskningsstationen Wasa i Antarktis påverkas av ett klimat med stora variationer i temperatur och stora vindlaster med drevsnö och stark kyla. Projektet har undersökt hur ett förändrat klimat påverkar olika konstruktionslösningar i trä och hur de förhåller sig till konstruktioner i andra material.

Stockholm, 31 december 2021

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



Sammanfattning

Trä är historiskt ett av våra vanligaste byggmaterial och ur klimatsynpunkt framhålls det ofta även som framtidens byggmaterial. Men hur står sig då dagens träbyggnadsteknik mot kommande klimatutmaningar? Vi kan förvänta oss tuffare väder i form av större temperaturfluktuationer, kraftigare vindar och intensivare nederbörd. Om vi inte förbereder oss på rätt sätt kan misstag kosta oss såväl pengar som andra resurser och inte minst människors hälsa. För att blicka in i framtiden kan vi undersöka byggnader som redan idag är utsatta för extremt väder. På så sätt kan vi förutse kommande problem och förhoppningsvis hitta metoder att förebygga och undvika dem.

I Antarktis byggdes ett svenskt trähus för drygt 30 år sedan utifrån erfarenheter från svenska fjällstugor. Byggnaden ingick i en svensk satsning på polarforskning och har tjänat som forskningsstation för åtskilliga Antarktisexpeditioner. Under sydsommaren 2019-2020 genomfördes en undersökning av hur träbyggnaden har klarat tre decennier i det hårda klimatet. Det visade sig att den i huvudsak klarat sig bra. Den har motstått vindstyrkor på 60 m/s. De kraftiga vindarna har dock fört med sig drivsnö som trängt in i minimala öppningar i konstruktionen. När snön sedan smält på grund av den kraftiga solstrålningen har vattnet orsakat smärre fuktskador och även vissa mögelangrepp. I några bärande ihåliga stålbalkar har omväxlande upptining och frysning lett till att materialet spruckit.

I isoleringen i väggarna har det bildats fukt trots att man kan uppfatta klimatet som torrt. Stationen används endast en kortare tid under året. Resten av tiden är byggnaden uppvärmd. Detta gör att väggarna inte torkar ut. Den kraftiga solstrålningen skapar vidare temperaturer på upp till 40 grader i väggarna. Detta leder till konvektion som försämrar isoleringsförmågan. Denna värme kan dock även utnyttjas för att minska energiförbrukningen när huset används genom att låta tilluften passera husets luftspalter.

Undersökningen visar på vikten av att konstruera en tät fasad där vindgenererad fukt i fast eller flytande form inte kan tränga in. Byggnader som står uppvärmda någon del av året löper vidare en hög risk för fukt i isolerande skikt i klimatskalet. När byggnaderna brukas kan uppvärmningskostnaderna minskas genom en kombination av värmeväxlare och tillförsel av extra värme via husets luftspalter

Sammanfattningsvis kan sägas att trä som byggmaterial har många positiva egenskaper och att den studerade träbyggnaden i huvudsak har fungerat bra under de 30 åren i Antarktis. Man måste dock se upp med och utforma byggnader av trä så att de kan utstå temperaturrelser och fuktvariationer utan risk för nedbrytning (mögel).

Nyckelord: träbyggnad, fukt, energieffektivitet, uttorkning, långtidseffekter, nedbrytning, mögel



Summary

Long-term study of wooden buildings in a cold climate

Timber/wood has historically been one of the most widely used building materials and is often presented as a material of the future given its potential for climate change mitigation. But how will current timber/wood building methods withstand coming climate challenges? In future we can expect a less favorable climate with more severe storms and more intense precipitation. Failure to properly prepare for these challenges may be costly in terms of money, resources, and – not least – people's health. To anticipate future problems, we can study buildings already exposed to extreme climates in order to identify potential weaknesses present today and find ways to overcome them.

A Swedish wooden house was built in Antarctica 30 years ago based on experience with Swedish mountain cabins. The house was part of a Swedish polar research campaign and has served as a base for many Antarctic expeditions over the years. During the Antarctic summer of 2019-2020, a study was conducted to determine how the building had survived three decades in the harsh climate, where wind speeds can reach 60 m/s. The building was in good condition, but heavy storms had forced snow into minimal openings in the structure. When the snow later melted due to intense sunshine, the resulting water caused minor moisture damage and some fungal invasion. Alternately freezing and thawing had also caused some load-carrying hollow steel columns to crack.

Moisture has condensed in the insulation of the walls even though the climate can be classified as dry. The station is only used for a short period each year and is unheated at other times, which prevents the walls from drying. Moreover, the intense sunshine in the summer raises the temperature in the walls to as much as 40 °C, causing convection that reduces the insulation's performance. However, when the house is in use, this heat can also reduce energy costs by letting warm air pass through the ventilation gaps in the house.

This investigation shows the importance of designing a tight façade that prevents wind-driven entry of snow and water. Additionally, it reveals a high risk that moisture will infiltrate into insulating layers of the climate protection envelope in buildings that are not heated for part of the year. In such buildings, heating costs can be reduced by using a heat exchanger in conjunction with heat from the ventilation gaps.

In summary, timber/wood is a building material with many positive properties and the studied house has functioned well during its 30 years in Antarctica. However, it should be noted that wooden houses ought to be designed to withstand temperature changes and variations in moisture levels without degradation or risk of mould infestation.

Key words: Wooden house, moisture, energy efficiency, drying, long time effects, degradation, mould.



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	BAKGRUND	7
1.2	SYFTE OCH MÅL	7
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	8
2	GENOMFÖRANDE	9
2.1	UTFORMNING AV BYGGNADEN	9
2.2	UPPFÖLJANDE MÄTNINGAR 2019-2020	10
2.3	ENERGI OCH ÖVRIG KLIMATPÅVERKAN	10
3	RESULTAT	11
3.1	MIKROKLIMAT I BYGGNADEN	11
3.2	VENTILATION OCH TÄTHET	12
3.3	DRIVSNÖ OCH PÅVERKAN AV VIND	13
4	DISKUSSION	14
5	SLUTSATSER	15
6	PUBLIKATIONSLISTA	17
	BILAGOR	18



1 Inledning och bakgrund

Trä som byggmaterial tillhör ur klimatsynpunkt de mest miljövänliga materialen. Medan virket i en konstruktion konserverar koldioxid, kan nya träd växa upp där virket avverkades och binda ytterligare koldioxid (Burström 2012). Som konstruktionsmaterial har trä både för- och nackdelar och frågan är om dagens träbyggnadsteknik klarar framtidens klimatutmaningar. För att ta reda på detta, har vi undersökt byggnader som redan idag är utsatta för extremt klimat.

1.1 Bakgrund

1984 anslöt sig Sverige till Antarktisfördraget med en tydlig ambition att bedriva "substantiell vetenskaplig forskning" (Karlqvist 2006). I praktiken innebar detta att man måste bygga en permanent forskningsstation i Antarktis. Resultatet blev den svensk-finska Antarktisexpeditionen 1988–1989 då man byggde den svenska forskningsstationen Wasa (Se figur 1 till 3) och den finska Aboa. Medan den finska stationen byggdes upp av containermoduler av plåt med isolering av extruderad polystyren, byggdes den svenska stationen delvis på erfarenheter från Svenska Turistföreningens fjällstugor. Valet av trä grundades bl. a. på en önskan att visa att svensk träbyggnadsteknik även fungerar i utmanande klimat. Under bygget installerades temperatur-, fukt- och lägesgivare. Under 1989, då stationen stod obemannad, registrerades klimatdata i byggnaden som sedan utvärderades (Haugum 1994).



Figur 1. Huvudbyggnaden på Wasastationen 2020.

1.2 Syfte och mål

Under december till januari 2019–2020 genomfördes en expedition som bl. a. hade till syfte att följa upp det första årets mätningar och att undersöka hur Wasastationen klarat det antarktiska klimatet under drygt 30 år. Den övergripande frågan är om dagens träbyggnadsteknik (Hagentoft & Sandin, 2017) klarar framtidens klimatutmaningar med mer extremväder. Syftet är att få en bild av hur Wasastationen har påverkats av det klimat som råder på denna del av den Antarktiska kontinenten.



Primärt är att undersöka om det går att upptäcka svagheter i konstruktionen som kan förorsaka problem på längre sikt. Exempelvis skador som kan uppkomma på grund av inträngande drivsnö och i förlängningen vad som händer när snön tinar och fryser igen. Finns risk för frostsprängning? Under 1989 registrerades relativt höga värden på fukt i framför allt isoleringen. Finns denna problematik kvar och hur påverkar den isolerförmågan? Vid höga fuktnivåer finns även risk för mikrobiell påväxt. Då stationen tidvis utsätts för stora vindtryck, är frågan hur detta påverkar konstruktionen och om man kan notera skillnader i förhållande till den förhärskande vindriktningen. Vidare om dessa iakttagelser går att överföra på motsvarande konstruktioner i Skandinavien och i slutänden hitta lösningar som bättre kan motstå klimatförändringar i framtiden. Stationen byggdes även utifrån en idé att testa ett sätt att spara energi i samband med uppvärmning av byggnaden. Vilket energitillskott ger denna lösning till husets uppvärmning?



Figur 2. Dronning Maud land med forskningsstationer och flygrutter. Källa: Antarctic Logistic Centre International ALCI South Africa. Wasa har koordinaterna S73°02'72" W13°25'40.

1.3 Omfattning och avgränsningar

Projektet går ut på att följa upp de mätningar i mikroklimatet som gjordes under 1989 genom att göra nya jämförande mätningar. Som komplettering gjordes besiktning av konstruktionen, bland annat med hjälp av IR-kamera och endoskop för att kartlägga värmeläckage och eventuell mikrobiell påväxt. I samband med detta gjordes även okulärbesiktning och dokumentation i syfte att få en bild av de påfrestningar som byggnaden utsatts för. Som jämförelse undersöktes den närliggande finska stationen Aboa som är byggd efter helt andra principer och med andra material. För att skapa ytterligare en referens, undersöktes två fjällstugor i den Skandinaviska fjällkedjan av samma generation som Wasa. Värt att notera är att Wasa är en forskningsstation som endast är bemannad en begränsad tid under året. Resterande tid står stationen ouppvärmd. De moderna byggnaderna kan även jämföras med den hundra år gamla träbyggnad som uppfördes av den första svenska antarktisexpeditionen 1901 (Almevik et al. 2021). En mer utförlig beskrivning ges i Haugum (2022).



2 Genomförande

Wasastationen är byggd på ett berg, en s.k. nunatak, med namnet Basen i bergskedjan Vestfjella i Dronning Maud land i Antarktis. Huvudbyggnaden är 117m² och är belägen 453 meter över havet och ca 110 km från öppet hav. Byggnaden är utformad som en sommarstation för att betjäna och härbärgera 12 personer, se figur 3. Samtidigt byggdes även ett generator-hus av tre sammanfogade stålcontainrar. Dessa inrymde två dieselgeneratorer, en verkstad och en vattenbehandlingsutrustning med tiningsaggregat. Wasa och den finska stationen Aboa utgör tillsammans Nordenskiöldsbasen.

De begränsningar som rådde vid tiden för bygget var flera. Bygget måste stå färdigt vid en viss tidpunkt, samtidigt som bygghandlarna måste vara fysiskt hanterbara. Som byggmetod valdes att prefabricera konstruktionselement med en maximal vikt av 450 kg. Detta val gjordes utifrån kriterierna att snabbt kunna montera huset på plats, samtidigt som komponenterna skulle kunna transporteras smidigt. En annan viktig fördel som man vinner med detta förfaringssätt är att tillverkningen av de olika hussektionerna sker under kontrollerade former, vilket kan liknas vid det industriella byggande som utvecklas i byggbranschen idag.

2.1 Utformning av byggnaden

Huset bärs upp av ett fackverk bestående av sammanfogade fyrkantprofiler av stål. Det medför att underdelen av huskroppen vilar cirka 1,5 meter över markytan. Denna lösning valdes för att förhindra drivbildning vid husets läside. Grundläggningen utgörs av att påsvetsade stålplattor på balkändarna, som vilar direkt på mark i grunda gropar. Fackverket vilar på nio stödpunkter mot mark (3x3).

Fackverkets överdel, bärlinan, utgörs av tre längsgående I-balkar av stål på vilka golvelementen placerades. Väggelementen ställdes sedan på golvelementen och fixerades i sidled med en väggregel som placerades på varje elementskarv. Samtliga fönster och dörrkarm var förmonterade från fabrik. Slutligen lyftes takelementen på plats och fixerades i väggelementen med metallband. På takelementen monterades takreglar med 1,5° lutning där sedan underlagstaket i form av plywoodskivor monterades. Valet av taklutning gjordes utifrån att man vill minska effekten av lyftkrafter i samband med hård vind. På underlagstaket spikades takpapp som även fixerades med en takfotsplåt. Skarvarna tätades med bitumenmassa. Isoleringen, som består av mineralull, har i väggelementen en tjocklek på 250 mm och i golv och tak 300 mm. I skarven mellan samtliga element finns en smalare "ficka" avskild från den övriga isoleringen med en tunn masonitskiva. Fickan är fylld med isolering som tilläts svälla vid montering och fylla ut skarven.

Utifrån erfarenheter från svenska fjällstugor byggdes husets fasad av plywoodskivor med påspikad lockpanel. På detta sätt minskades antalet skarvar i väggytan. Väggarna saknar en tät diffusionsspärr beroende på att temperaturgradienten i väggarna kan ändra riktning då byggnaden står ouppvärmad större delen av året. I stället lackades plywoodskivorna. Fjällstugorna saknar luftspalt i väggarna medan väggarna i Wasastationen försågs både med och utan luftspalt. Orsaken till detta var dels att undersöka eventuella skillnader i funktion mellan de två väggtyperna. Dels att man ville testa ett sätt att, med hjälp av solstrålningen, förvärma tilluften i huset via luftspalterna i väggar och tak. För att göra detta skapades en anslutning mellan vägg och tak där luften kunde flöda fritt. I nedre delen i väggarnas luftspalt installerades ett 600 mm djupt lager av mineralull som skulle tjäna som

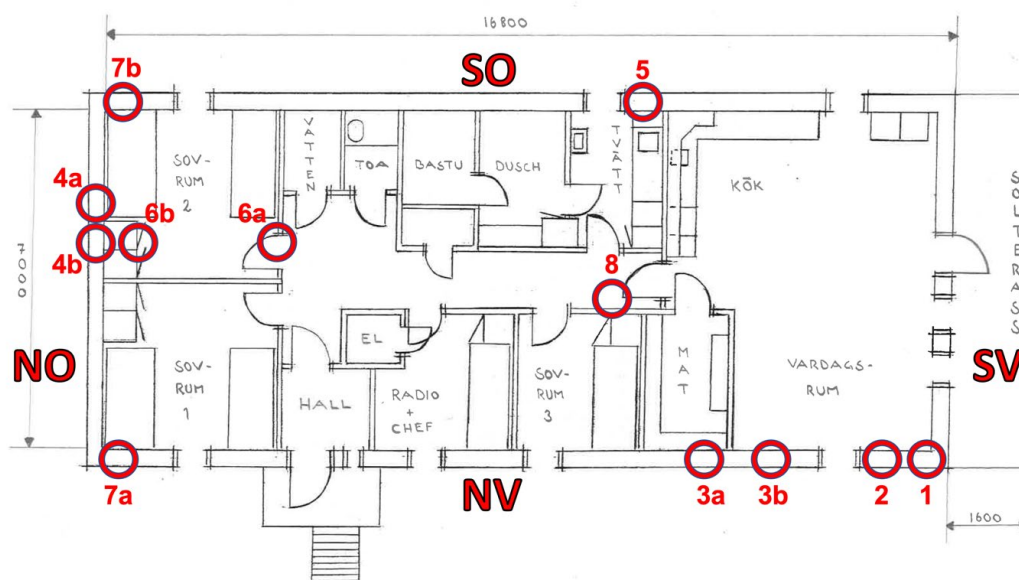


drivsnöfilter. Tilluften togs in via ett ventilationssystem med frånluftåtervinning (Rexonet RDBK) via luftspalten i taket. Se även figurerna B1-1 och B1-2 i bilaga 1.

I huset installerades 16 fukt- och 16 temperaturgivare samt 4 förflyttningsgivare över elementskarvar. Mätserien startades den 1 februari 1989 och pågick till januari 1990 (Haugum, 1994).

2.2 Uppföljande mätningar 2019-2020

Sammanlagt 22 fukt- och temperaturgivare placerades i klimatskalets isolering och luftspalter i väggar och tak. Givarna är av knappcellstyp med inbyggt minne. De monterades i specialgjorda behållare på VP-rör. En av givargrupperna består av tre givare som placeras på olika djup i isoleringen för att undersöka eventuell konvektion i djupled. Givargruppernas placering framgår av figur 3. För mer detaljerad beskrivning av givarkonfigurationen se Bilaga 1: Mätgivare – typer och placering.



Figur 3. Planskiss med fördelning av givargrupper i byggnaden.

2.3 Energi och övrig klimatpåverkan

Under expeditionen 1996–97 installerades ett nytt ventilationssystem med värmeåtervinningsaggregat av s.k. tvåkammartyp med två ackumulatorpaket för värmelagring (Termosave TS-200). Luftflödet regleras av ett spjäll som gör att luftströmmen alternerande växlar riktning varje minut genom de två ackumulatorpaketen och mynnar ut under huset. Härigenom frångick man konceptet att förvärma tilluften via luftspalterna i husets yttreväggar och tak. Under expeditionen 2019–20 gjordes en tillfällig inkoppling av inloppet till det gamla ventilationssystemet för att utröna om detta skulle tillföra extra värme till det nya systemet. Flöde och temperatur mättes vid olika tidpunkter.

Inspektion/dokumentation har gjorts med IR kamera, endoskop, anemometer och fuktkvotmätare.



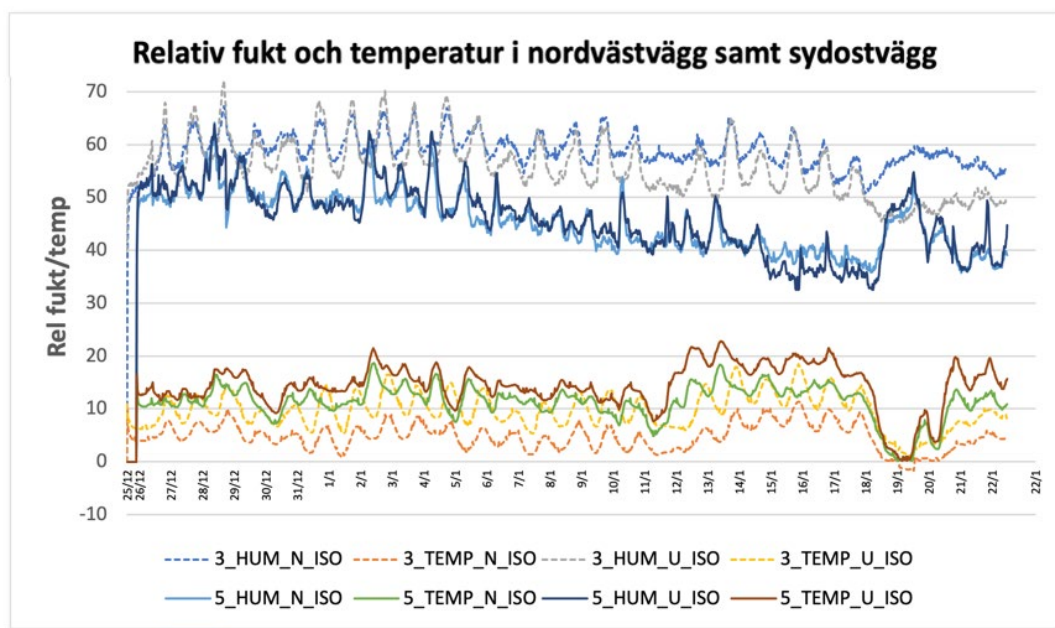
3 Resultat

3.1 Mikroklimat i byggnaden

Vid studie av de insamlade mätvärdena från februari t.o.m. december 1989, kunde man konstatera att det är främst solstrålningen som påverkar mikroklimatet i byggnaden. Under den antarktiska vintern händer inte så mycket, men redan i september kunde noteras att temperaturen i luftspalten steg till +15°C vid flera tillfällen. Utomhustemperaturen låg vid dessa tidpunkter på ca -20°C (Se bilaga 2).

När det gäller relativ fukt i isoleringen, låg luftens relativa fukthalt (RH) stabilt på runt 80 procent under vintern, men i och med solens återkomst startar den termiska aktiviteten på nytt och därmed fluktuationer i relativ fukt. Man kunde se att medelluftfuktigheten var som störst under sydvåren i oktober. De uppmätta värdena visar nivåer som vid flera tillfällen når upp till eller nära daggpunkten. Det är mycket troligt att fuktutfällning sker i partier med lägre temperatur även då RH inte når 100 procent i diagrammen, tex på skivor mot angränsande utrymmen. Fuktgivarna sitter i isoleringen mitt emellan de båda skivorna vilka angränsar till boendetrymmet respektive utemiljön. Man kan se en tendens att RH succesivt avtar ju närmare man kommer mot sydsommaren. Skillnaden mellan vägg med och vägg utan luftspalt är relativt liten, där den senare har något större variation i temperatur.

Det man också kan utläsa av diagrammen är att RH stiger med stigande temperatur. Detta kan förklaras med ökad termisk aktivitet och därmed konvektion genererat av solstrålningen. Detta märks speciellt tydligt för november månad. Man kan även utläsa att RH ligger signifikant högre i isoleringen, jämfört med de övriga mätpunkterna.



Figur 4. Relativ fukt (övre kurvor) och temperatur (undre kurvor) i Grupp 3 (NV, streckade) och 5 (SO, heldragna) under tiden 25/12 2019 till 22/1 2020.



Om man jämför de värden som uppmättes 1989 (Se bilaga 2: Klimatdiagram 1989) med de som uppmättes under säsongen 2019–20, kan konstateras fuktnivåerna fortfarande ligger relativt högt. Tyvärr finns inga värden för december – januari 1989–90. Men om man extrapolerar de grafer som finns för 1989 från februari till november, blir skillnaderna inte så stora mellan mätperioderna. Av detta kan man se att mikroklimatet i isoleringen inte förändrats under åren.

Om man sedan tittar på diagrammen i figur 4, återfinns man en sjunkande tendens av RH i väggarnas isolering. Man kan också se en skillnad i minskningen av RH mellan luftspalt som gränsar till ett uppvärmt utrymme (givare 5) och luftspalt angränsande till husets skafferi (3), som håller ca 15°C lägre temperatur. I isoleringen i anslutning till det kallare utrymmet sjunker RH signifikant mindre under mätperioden. I nedre delen av diagrammet kan vi se att temperaturen i isoleringen håller en genomgående lägre temperatur i väggen i anslutning till det kallare utrymmet (3). I den högra delen av diagrammet ser vi resultatet av en kraftig orkan. För ytterligare diagram, se bilaga 3: Klimatdiagram 2019–20.

3.2 Ventilation och täthet

I ett energiforskningsprojekt 1989–90 och 1991–92 (Thormark 1994) bytte man ut det från början installerade ventilationssystemet och frångick därmed idén med att låta tilluften förvärmas via husets luftspalter. Denna information hade inte kommunicerats till expeditionen 2019–20. Det medförde att vi lite improviserat kunde jämföra effekten av det gamla systemet med det nya. Det senare visade sig ha en betydligt lägre verkningsgrad än vad som utlovats av tillverkaren. Vid en inomhustemperatur på ca +21°C, höll luften i tilluftsdonen ca +14°C med en utomhustemperatur på 0°C eller strax därunder.

Frånluften passerar först värmeväxlarna i ackumulatorpaketet. Därifrån tas sedan tilluften som distribueras ut i husets olika delar. Detta innebär att det sker en viss fördröjning och utjämning när en ny källa kopplas in. Inkoppling gjordes den 14/1 kl 14:30. Vädret var mulet, men temperaturen i takets luftspalt visade +27°C. Utomhustemperatur 0°C enligt mätning från Aboa. Inomhustemperatur +21–22°C. På ca 1,5 timmar höjdes temperaturen i tilluftsdonet i sovrum 1 (Se bilaga 4: Värmetillskott från luftspalt.) från ca +14°C till ca +21°C. Luftflödet i slangen beräknades till ca 50m³/h, vilket motsvarar cirka 25 procent av den totala ventilationen i huset.

De byggelement som utgjorde Wasastationens klimatskal tillverkades under kontrollerade former i fabrik. Skarvarna mellan elementen visade sig dock vara en svaghet gällande uppkomsten av köldbryggor trots att man vidtagit åtgärder som nämnts ovan i Kap 2.1. Undersökning med IR kamera visade de förväntade resultaten. Temperaturmätningar gjordes bl. a. den 18/1 under pågående orkan. Speciellt nordostväggen var utsatt för stora temperaturvariationer mellan vägg och skarvar (Se bilaga 5: Köldbryggor i elementskarvar). I ett parti kunde t.o.m. noteras minusgrader på innerväggen. Dessa kan sannolikt delvis härledas till snöackumulation i den utanpåliggande luftspalten.

Motsvarande mätningar gjordes i Aboa och där konstaterades, med några undantag, ett mycket mindre inslag av köldbryggor. Detsamma gäller de besökta fjällstugorna i Sverige. Skillnaden är att Wasa är uppbyggd av elementskivor, vilket de andra byggnaderna inte är. Vid ankomsten till stationsområdet den 24/12 2019 visade inomhustemperaturen i Wasa på +11,4°C, medan den i Aboa visade +7°C.



3.3 Drivsnö och påverkan av vind

På grund av otätheter i den nordöstra gaveln tränger drivsnö in i skarven mellan takreglar och underlagstak. Via ett uppborrat inspektionshål i taket intill gaveln togs virkesprover som vid undersökning visade sig härbärgera stora mängder mögelsporer och blånadssvampar. Enligt RISE, som undersökte dessa prover, tydde resultaten på ganska omfattande fuktbelastning. Detta konfirmeras även av de mätningar av mikroklimatet som gjordes.

Även luftspalten i samma väggparti, som inte ingår i det ursprungliga ventilationssystemet, har utsatts för stor snöackumulation. Detta beror på att den övre delen av luftspalten lämnats öppen, endast täckt av en takfotsplåt som på grund av mellanrummen mellan lockbrädorna ger tillträde till drivsnö. I undre delen av luftspalten har, som tidigare nämnts, ett filter av mineralull placerats för att hindra att drivsnö tränger in. I stället hindrar den nu drivsnö att tränga ut. Först när snön tinar på grund av solstrålningen passerar smältvattnet ut genom isoleringen. Resultatet har blivit hög fuktbelastning i luftspalten med mögelpåväxt (vit- och svartmögel samt blånadssvamp) som kunde konstateras med hjälp av endoskop.

På grund av väggarnas konstruktion med hela plywoodskivor och därmed få skarvar kunde ingen påverkan av frostsprängning konstateras. Däremot har två av de nio bärande fyrkantprofilerna utsatts för upprepade frostsprängningar då drivsnö trängt in i bulthål. Godset har till slut gett vika och utmattningssprickor har uppkommit. Situationen är nu att profilen dräneras via dessa sprickor och därmed är risken för fortsatt frostsprängning mindre.

Vädret är tidvis mycket blåsigt och den förhärskande vindriktningen kommer från nordost. Den maximala vindstyrkan som uppmätts är 60m/s vid tre tillfällen under 2005. Skador i form av "stenskott" har i riklig form observerats i träpanelen samt solcellsinstallationen på nordvästväggen. Även andra installationer på anläggningen bär spår av kraftig påverkan av vindburna stenar.

Förslag till åtgärder ges i Haugum (2022) för att komma till rätta med de brister som uppdragats.



4 Diskussion

Mätningarna under expeditionen 2019–20 visade att den fuktnivå som uppmättes under 1989 inte förändrats nämnvärt. I stället noterades en hög termisk aktivitet med konvektion både i väggarnas djupled och höjled. Detta antas påverka väggens isolerande förmåga. Mätningarna visade också att när temperaturen steg, ökade också RH. Detta tyder på att kondenserad fukt frigörs vid temperaturstegring. Genom att jämföra resultat från mätningar 1989 och säsongen 2019–20 kan man se att fukt sannolikt buffrar under vintern för att under våren och solens inverkan frigöras i konstruktionen. RH kunde nå värden på 100 procent under främst oktober månad, för att sedan långsamt sjunka. Utifrån värden som uppmättes under 2019–20, kan man under den månad som mätningarna pågick se en tydligt sjunkande tendens av RH i isoleringen. Dock kan man se en skillnad mellan en vägg som angränsar till ett uppvärmt rum och en vägg som angränsar mot ett svalare. Den senare väggen uppvisar en tydligt långsammare uttorkning. Detta antyder att inomhusvärmen huvudsakligen driver uttorkning i isoleringen. I samband med höga RH värden, uppmättes tidvis temperaturer på +15–20°C inuti isoleringen. Övriga iakttagelser i byggnaden visade på mikrobiell påväxt på flera platser. Det finns alltså en risk att så sker även i isoleringen. Det har dock inte varit möjligt att ta prover för att verifiera detta. Dessa resultat är generellt tillämpbara på byggnader som periodvis står ouppvärmda som till exempel sommarstugor. Man kan i en framtid tänka sig att man i energisparande syfte kallställer vissa delar av en bostad. Frågan som uppkommer är vad som då händer med fuktbelastningen inuti väggarna.

Byggmetodiken i svenska fjällstugor, där ytterväggarna utgörs av hela plywoodskivor, verkar ha fungerat även i Antarktis. Genom att minska antalet skarvar i fasaden, minimeras risken för inträngande drivsnö. Några tendenser till frostsprängning kunde inte noteras. Annars bör risken för inträngande drivsnö tas på största allvar. Detta visar inte minst de skador på den bärande stålkonstruktion där inträngande drivsnö omväxlande tinat och frusit inuti fyrkantprofilerna av stål till dess materialbrott (utmattning) uppstått. Även inträngande drivsnö i takkonstruktionen har skapat fuktproblem med mikrobiell påväxt som följd. Man kan se en tydlig skillnad på fasaden beroende på väderstreck. Den största påverkansfaktorn är solstrålningen, men denna påverkar sannolikt inte funktionen under överskådlig tid.

Då det ursprungliga ventilationssystemet byttes ut 1996–97, gavs en möjlighet att jämföra principerna för två olika system där det nya byggde på ren värmeåtervinning av frånluft, medan det gamla bygger på att tillföra den överskottsvärme som genereras i husets luftspalter. Den provisoriska mätning som gjordes gav vid handen att tilluft från luftspalterna gav ett avsevärt temperaturtillskott till tilluften i huset och därmed var mer energieffektiv (utan att öka risken för mögel).

Wasa är uppbyggt av prefabricerade element. Här kan man se ett problem med köldbryggor i samtliga elementskarvar. De undersökta fjällstugorna är uppbyggda på liknande sätt men eftersom de är platsbyggda, saknar de skarvar mellan elementen och därmed motsvarande köldbryggor. Undantaget är anslutningar mot golv och tak. I Aboa, som är moduluppbyggd, upptäcktes mycket få köldbryggor, inte ens i de skarvar som sammanfogades på plats.

Av naturliga skäl är de gjorda undersökningarna begränsade i tid och till ett enskilt objekt. Ytterligare undersökningar bör göras för att verifiera här redovisade resultat.



5 Slutsatser

Det övergripande målet för projektet var att kartlägga de processer som påverkar en träbyggnad och vilka effekter de har när den utsätts för extrema påfrestningar från ett förändrat klimat. Wasastationen uppvisar problem med höga fukthalter i främst väggarnas isolering. Detta ger en sämre isoleringsförmåga och även risk för mikrobiell påväxt. Mätningar har visat att fukt buffrar i väggarna under vintern. En viktig faktor som gör att fuktnivåerna i isoleringen inte sjunker är att byggnaden står uppvärmd under ca 85 procent av året. Undersökningarna visar att uppvärmning av byggnaden bidrar till att uttorkning sker i väggar. Den fråga som bör undersökas vidare är hur man kan minska fuktbelastningen i en byggnad som är kallställd under en längre tid. Frågan kan vara aktuell för vanliga sommarstugor men även i en framtid där man vill spara energi genom att lämna vissa delar av en byggnad uppvärmd. Problem kan uppstå i täta konstruktioner i byggnader (eller byggnadsdelar) som periodvis står uppvärmda.

En annan erfarenhet är hur man kan förhindra att drivsnö tränger in i en byggnad. Fasaden på Wasa, är som svenska fjällstugor uppbyggd av plywoodskivor, vilket minskar antalet skarvar där drivsnö kan tränga in. Konceptet visade sig fungera bra och någon påverkan av frostsprängning kunde inte noteras. Däremot kunde konstateras att takreglarna inte sluter tätt mot angränsande takkonstruktioner, sannolikt beroende på fukt och temperaturrörelser i virket. Detta har fått som resultat att snö trängt in i konstruktionen med fukt- och mögelskador som följd. Även bärande stålkonstruktioner har utsatts för frostsprängning på grund av inträngande drivsnö. Vid höga vindlaster skapas tryckskillnader som gör att fukt i både fast och flytande form lättare kan tränga in i en byggnad. Det är alltså av stor vikt att förebygga uppkomsten av springor och mindre öppningar i byggnaders ytterskal. Detta är speciellt viktigt i en träbyggnad där materialet ändrar form på grund av fukt och temperatur.

Systemet att ta in och förvärma tilluften via luftspalter byttes ut efter några år då det installerades en värmeväxlare av mer traditionell typ. En provisorisk inkoppling av det ursprungliga systemet visade att tilluft via luftspalter gav ett avsevärt värmetillskott. Värmotillskottet varierar under dygnet. För att minska skillnaden skulle det vara intressant att undersöka olika sätt att lagra det värme-överskott som genereras i husets luftspalter där temperaturen kan nå upp till +40°C. Man bör i sammanhanget vara observant på risken för mögelpåväxt i luftspalterna. I det aktuella fallet har registrering av temperatur i kombination med RH inte uppvisat några kritiska värden. De uppkomna problemen i bland annat taket har andra orsaker, främst bortblåst takpapp. Att utnyttja en byggnads luftspalter för att generera tillskottsvärme kan vara ett alternativ till traditionella solfångare – kanske inte minst ur estetisk synpunkt.

De faktorer som påverkar ytskiktet på fasaden är vind och exponering mot sol. Stora skillnader kunde observeras i väggar med olika orientering, men detta var dock inget som påverkar klimatskalets funktion.

Projektet har funnit delar och konstruktionslösningar som är extra känsliga för klimatförändringar och extrema vädersituationer. För att rätt utnyttja trä som ett klimatsmart byggmaterial bör man beakta materialets benägenhet att ändra form vid olika fukthalter och säkerställa att man bibehåller en god täthet. Vidare måste man hantera risken för hög fuktbelastning. Detta har visat sig speciellt



känsligt för byggnader som temporärt står uppvärmda. Att bygga täta, oventilerade, konstruktioner kan vara ett problem för byggnader och byggnadsdelar som periodvis är uppvärmda.



6 Publikationslista

Haugum, Dag. (2019). *Långtidsstudie av byggnader i trä i kallt klimat*, Poster, Luleå tekniska universitet. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1366828/FULLTEXT01.pdf>.

Under januari 2022 kommer en utställning att visas vid Linköpings Universitet med material från projektet. En videofilm kommer härvid att berätta om projektet (ca 15 minuter). Dessutom kommer en kortare version av filmen att läggas upp på Youtube (ca 5 min). En sammanfattande artikel planeras även för tidskriften Bygg och Teknik.

Projektet dokumenteras närmare i en forskningsrapport från Luleå tekniska universitet, se Haugum (2022) i referenslistan nedan.

7 Referenser

Almevik, Gunnar; Avango, Dag; Contissa, Valeria; Fontana, Pablo; Lindström, Kati and Westin, Jonathan (2021). *Built cultural heritage in Antarctica. Remains and uses of the first Swedish South Polar expedition 1901–1903. Report from the expert and research expedition CHAQ2020*. National Heritage Board (Riksantikvarieämbetet), ISBN 978-91-7209-891-6 (PDF), 260 p.

Burström, Per Gunnar (2021). *Byggnadsmaterial – Tillverkning, egenskaper och användning*. Upplaga 4:1. Studentlitteratur

Hagtoft, Carl-Erik & Sandin, Kenneth (2017). *Byggnadsfysik – så fungerar hus*. Lund: Studentlitteratur

Haugum, Dag (1994). *Byggnadstekniska studier på forskningsstationen Wasa i Antarktis – Iakttagelser från mätningar 1989*. Tekniska högskolan i Luleå: Forskningsrapport TULEA 1994:19, 68 s. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:998471/FULLTEXT01.pdf>

Haugum, Dag (2022) *Långtidsstudier av byggnader i trä i kallt klimat. Undersökning av den drygt 30 år gamla svenska forskningsstationen Wasa i Antarktis*. Luleå tekniska universitet: Forskningsrapport (publiceras 2022)

Karlqvist, Anders (2006). *Svensk polarforskning, Ett utredningsuppdrag*, Vetenskapsrådet, Stockholm, 180 s.

Thormark, Catarina & Olsrud, Tomas (1994) *Wasa – forskningsstation i Antarktis, En analys av energibehov*. Lunds universitet: Rapport TABK-94/3025, 68 s.



Bilagor



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

*E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör.
Läs mer på www.E2B2.se.*



Bilaga 1: Mätgivare – typer och placering.

Grupp 1 enligt Fig 3. placerades i isoleringen i det väggparti som saknar luftspalt. Gruppen består av två givare (A, B enligt listan nedan) på olika höjd. Syftet med placering på olika höjd är att i första hand få en bild av eventuell konvektion. Placering nära hörnet är för att undersöka eventuell påverkan av köldbrygga.

Grupp 2 består av fem givare (C, D, E, F, G,) som sitter i det väggparti som saknar luftspalt. Varav tre sitter på samma plats, men på olika djup i isoleringen. Två av givarna motsvarar de som sitter i grupp 1, men lite längre från hörnet på huset. Syftet är bl.a. att få en jämförelse mellan de två grupperna. Det tre givare som sitter på samma plats, men på olika djup i isoleringen ska primärt kunna registrera eventuell konvektion i djupled i väggpartiet.

Grupp 3a består av två givare (H, I) som sitter på olika nivå på samma sätt som för grupp 1. Givarna sitter i isoleringen i det väggparti som har luftspalt. Placeringen i skafferiet gjordes främst av estetiska skäl, då håll måste borras i innerväggen för varje givare. Placeringen i skafferidelen gjorde att hålen i väggen kunde minimeras i de mer publika utrymmena. Nackdelen är att rumstemperaturen är betydligt lägre än i de övriga utrymmena i huset. Syftet med givarna är annars att få en jämförelse mellan väggpartier med och utan luftspalt.

Grupp 3b sitter i luftspalten och består av två givare (J, K) som sitter på olika höjd. Även här önskar vi kunna observera eventuell konvektion.

Grupp 4a består av en givare (L) placerad i isoleringen. Det primära syftet var att få en jämförelse mellan två väggpartier påverkade av solstrålningen. I detta fall grupp 3a.

Grupp 4b består av en givare (M) placerad i luftspalt och på samma sätt som för 4a få en jämförelse mellan två väggpartier. I detta fall grupp 3b.

Grupp 5 består av fyra givare (N, O, P, Q) varav två placerade i isoleringen på olika höjd och två i luftspalt likaledes på olika höjd. Det aktuella väggpartiet är den som påverkas minst av solstrålningen. Här är det primära syftet att få jämförelse med väggpartiet som exponeras mycket mot solen och då grupperna 3a och 3b. Varför denna grupp inte delats upp i a och b beror på att givarna är placerade i samma position i förhållande till väggens horisontella utbredning. Detta är inte fallet för grupp 3 och 4.

Grupp 6a består av en givare (R) som placerades i takets luftspalt en bit från takfot. Syftet var att få en uppfattning om temperaturen i denna del.

Grupp 6b är placerad intill husgaveln mot NO och består av en givare (S). Syftet var att fånga upp eventuell påverkan från husgaveln och då främst relativ fukt.

Grupp 7a är placerad i luftspalt intill det norra hörnet och består av en givare (T). Det primära syftet var att undersöka inverkan av bl.a. drivsnö i taksektionen. Värdena kan bl.a. jämföras med erhållna värden för grupp 3b.

Grupp 7 b är placerad på motsvarande sätt som för 7a, men då intill det östra hörnet på byggnaden. Här kan jämförelse istället göras med givarna i luftspalt i grupp 5. Gruppen består av en givare (U).

Grupp 8 består av en givare (V) och är placerad intill en innervägg i korridoren i huset. Syftet är främst att registrera allmän inomhustemperatur och fuktnivå.

Nedan följer en kortfattad sammanställning över samtliga givare och dess placering (se även Fig 3.). I sammanställningen benämns givarna i bokstavsordning (versaler) och gruppstillhörighet inom parentes.

Sammanställning av givare och deras placering

A (1): 1_TEMP/HUM_U_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 250 mm från SV-vägg och 2250 mm från golv (innermått).

B (1): 1_TEMP/HUM_N_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 250 mm från SV-vägg och 150 mm från golv (innermått).

C (2): 2_TEMP/HUM_U_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 1120 mm från SV-vägg och 2250 mm från golv (innermått).

D (2): 2_TEMP/HUM_GRAD0_ISO placering 0 mm in i isolering från innervägg. 1120 mm från SV-vägg och 1400 mm från golv (innermått).

E (2): 2_TEMP/HUM_GRAD12_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 1120 mm från SV-vägg och 1400 mm från golv (innermått).

F (2): 2_TEMP/HUM_GRAD24_ISO placering 250 mm in i isolering från innervägg (mot ytterskivan). 1120 mm från SV-vägg och 1400 mm från golv (innermått).

G (2): 2_TEMP/HUM_N_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 1120 mm från SV-vägg och 150 mm från golv (innermått).

H (3a): 3_TEMP/HUM_U_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 400 mm från vägg mot SV och 2300 mm från golv (innermått).

I (3a): 3_TEMP/HUM_N_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 440 mm från vägg mot SV och 350 mm från golv (innermått).

J (3b): 3_TEMP/HUM_U_LS placering i luftspalt 700 mm från fönster mot SV och 3000 mm ovan underkant luftspalt.

K (3b): 3_TEMP/HUM_N_LS placering i luftspalt 700 mm från fönster mot SV och 700 mm ovan underkant luftspalt.

L (4a): 4_TEMP/HUM_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 2100 mm från vägg mot SO och 1250 mm från golv (innermått).

M (4b): 4_TEMP/HUM_LS placering i luftspalt 3200 mm från hörn mot SV vägg och 1200 mm ovan underkant luftspalt.

N (5): 5_TEMP/HUM_U_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 400 mm från vägg mot SV och 2250 mm från golv (innermått).

O (5): 5_TEMP/HUM_N_ISO placering 125 mm in i isolering från innervägg. 400 mm från vägg mot SV och 350 mm från golv (innermått).

P (5): 5_TEMP/HUM_U_LS placering i luftspalt 600 mm från fönster mot NO och 3000 mm ovan underkant luftspalt.

Q (5): 5_TEMP/HUM_N_LS placering i luftspalt 600 mm från fönster mot NO och 700 mm ovan underkant luftspalt.

R (6a): 6_TEMP/HUM_TAKMITT_LS placering i luftspalt 2800 mm från SV vägg och 4450 mm från NO vägg.

S (6b): 6_TEMP/HUM_TAKNO_LS placering i luftspalt 3350 mm från SV vägg och 250 mm från NO vägg.

T (7a): 7_TEMP/HUM_VAGGNV_LS placering i luftspalt 900 mm från hörn mot NO vägg och 1200 mm ovan underkant luftspalt.

U (7b): 7_TEMP/HUM_VAGGSO_LS placering i luftspalt 700 mm från hörn mot NO vägg och 1200 mm ovan underkant luftspalt.

V (8): 8_TEMP/HUM_INNE placering i korridor 900 mm från golv (innermått).

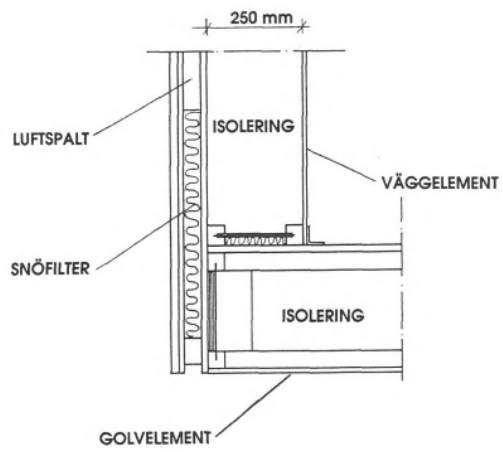


Fig. B1-1. Tvärsnitt av nedre delen av luftspaltförsedd väggsektion

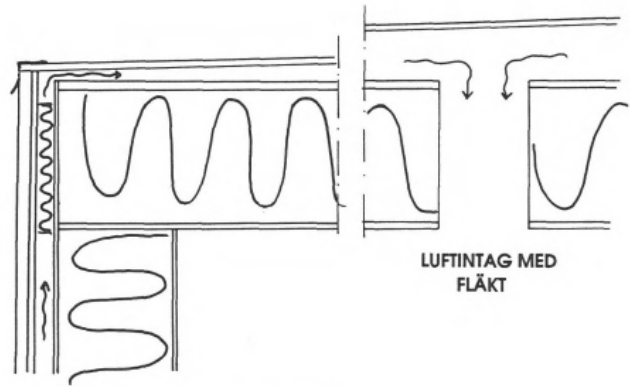
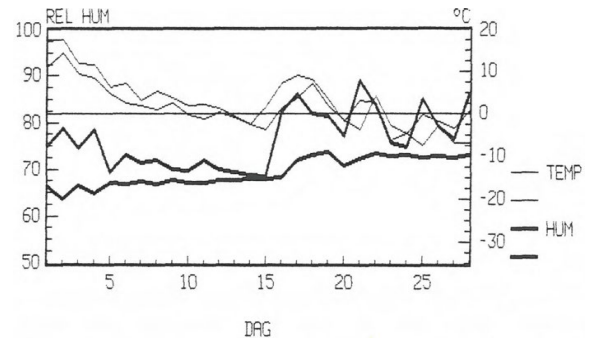
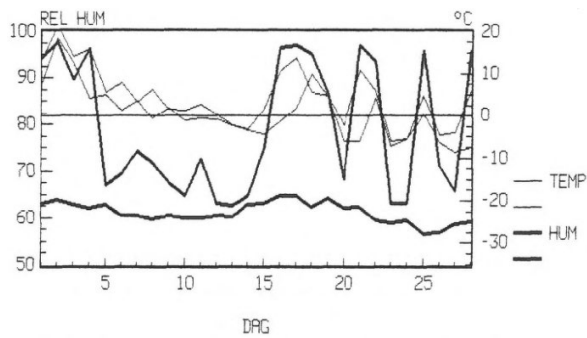
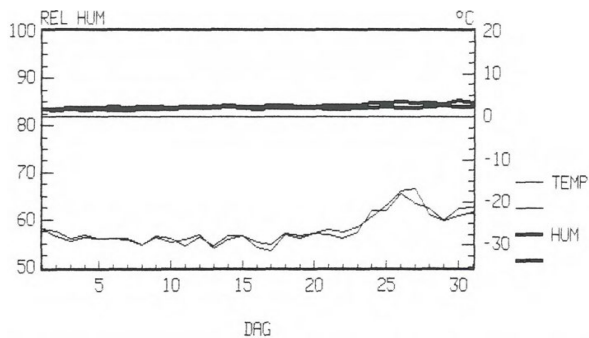
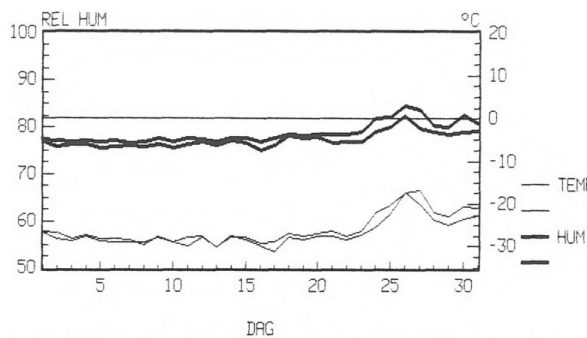


Fig. B1-2. Principskiss av friskluftsventilation i tak

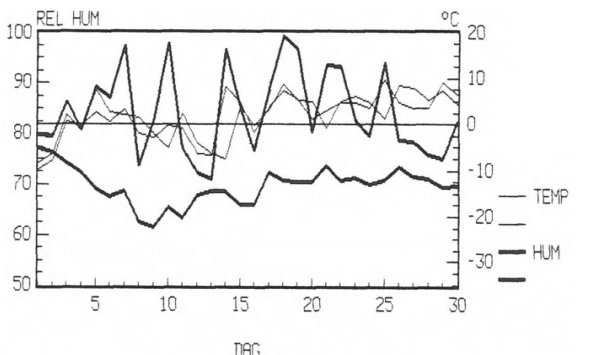
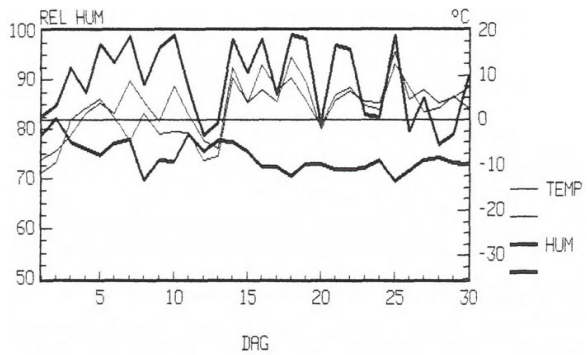
Bilaga 2: Klimatdiagram 1989



Max och min relativ fukt samt temperatur februari 1989 i isolering. Nordvästvägg utan luftspalt till vänster och med luftspalt till höger.

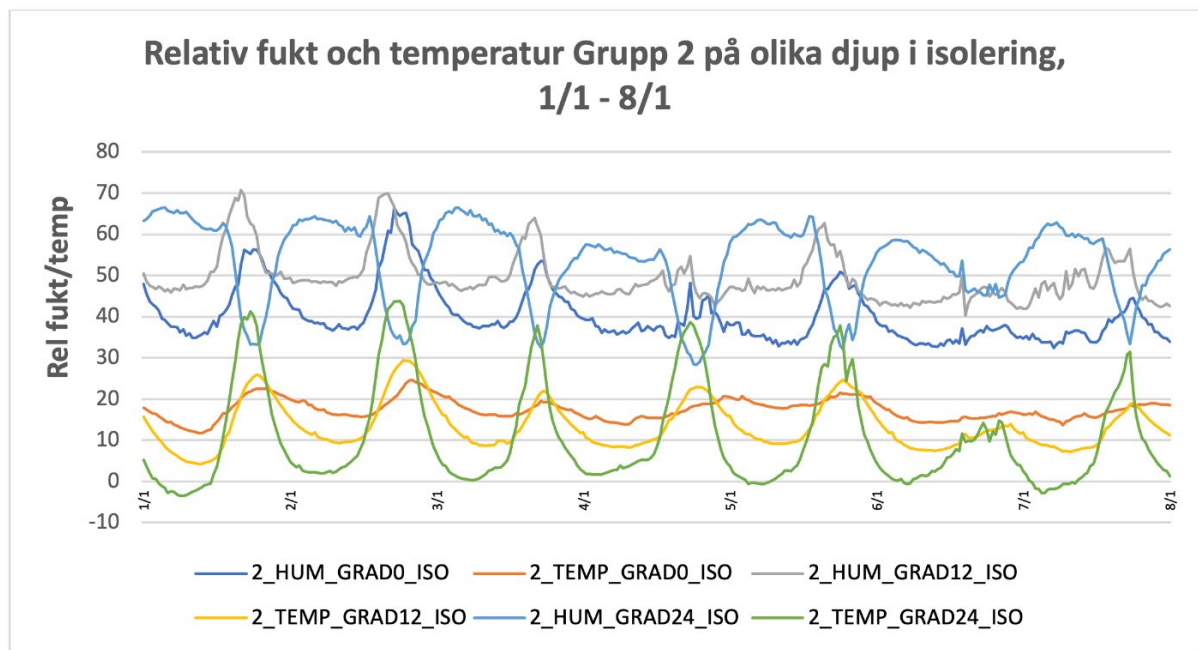


Max och min relativ fukt samt temperatur augusti 1989 i isolering. Nordvästvägg utan luftspalt till vänster och med luftspalt till höger.

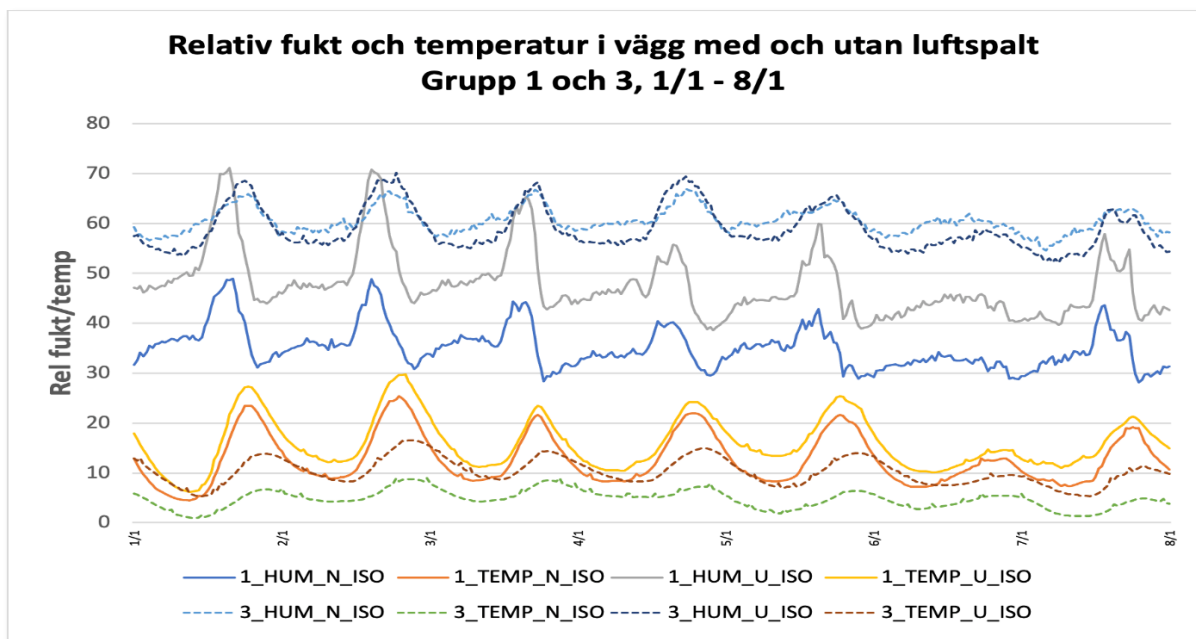


Max och min relativ fukt samt temperatur november 1989 i isolering. Nordvästvägg utan luftspalt till vänster och med luftspalt till höger.

Bilaga 3: Klimatdiagram 2019-20



I diagrammet ovan jämförs relativ fukt och temperatur på olika djup i isoleringen i vägg utan luftspalt. Datointervallet har valts för en vecka för att lättare kunna läsa av diagrammet. Isoleringens tjocklek är 250 mm och givarna är placerade strax innanför innerväggen (GRAD0), mitt i isoleringen på 125 mm djup (GRAD12) och strax innanför ytterväggen (GRAD24). Man ser att GRAD24 uppvisar störst variation i temperatur, vilket är förväntat. Man ser även att den relativa fukthalten sjunker när temperaturen ökar, vilket också är förväntat. Däremot ser man inte samma förhållande längre in i isoleringen och mot innerväggen, där den relativa fukthalten istället stiger även när temperaturen i dessa partier ökar.



Diagrammet ovan visar skillnaden i termisk påverkan mellan ett väggparti med och utan luftspalt. Temperaturvariationerna är mindre i isoleringen i väggen med luftspalt. Detsamma gäller variationen i relativ fukt. Temperaturen är lägre i väggen med luftspalt. En orsak kan vara att givarna sitter i anslutning till skafferiet, vilket håller en lägre inomhustemperatur än huset i övrigt. Man kan notera att RH ökar med stigande temperatur, även om uppgången är förskjuten.

Bilaga 4: Värmetillskott från luftspalt

Följande värden uppmättes i NO sovrummet den 14/1:

Temp tilluft i rum kl 14:30 +13,5-14,5°C

Temp tilluft i rum kl 15:00 +15,2-17,4°C

Temp tilluft i rum kl 15:15 +18,8°C
(maxvärde)

Temp tilluft i rum kl 15:50 +20,4-21,2°C

Följande temperaturer uppmättes i spiroslangen:

2020-01-14 kl 17:30 +25,5°C (mulet)

Utetemp. -1,3°C

2020-01-14 kl 18:45: +23°C (mulet) Utetemp.
-1,3°C

2020-01-14 kl 19:45: +20,8°C (mulet)

Utetemp. -1,1°C

2020-01-14 kl 22:15: +16,5°C (mulet)

Utetemp. -1,7°C

2020-01-15, kl 10:30: +19,6°C (sol) Utetemp.
-4,1°C

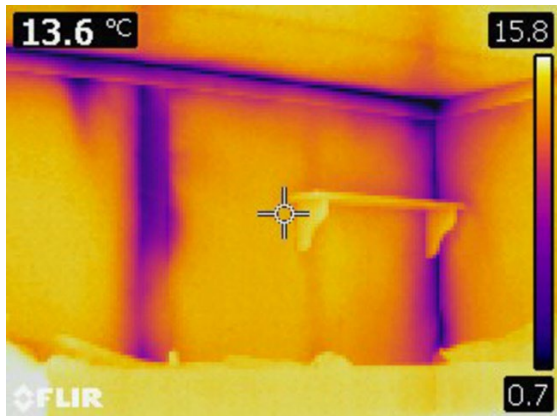
2020-01-15, kl 13:15: +26,5°C (sol) Utetemp.
-2,3°C

2020-01-15, kl 14:15: +28,5°C (sol) Utetemp.
-2,1°C

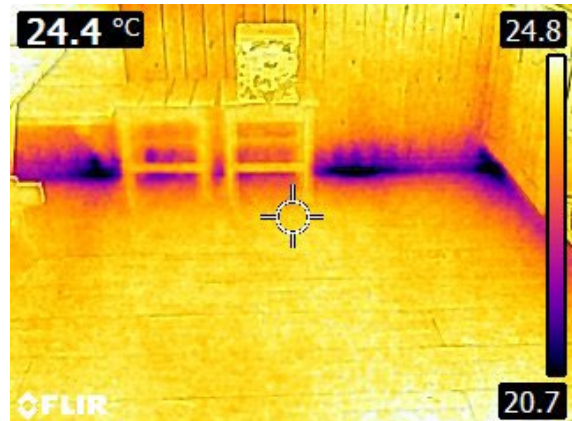
2020-01-15, kl 16:00: +29,5°C (sol) Utetemp.
-1,2°C

2020-01-18 kl 11:30; +7°C; (storm/orkan)
Utetemp. -6,0°C

Bilaga 5: Köldbryggor i elementskarvar

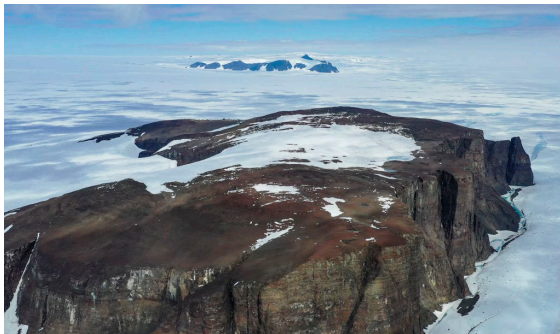


Figur B5-1 Tydliga köldbryggor i elementskarvar i nordostväggen på Wasa.



Figur B5-2 Köldbryggor i fjällstugan i Pieskehaure kan endast noteras i golvsocklarna men inte i väggarna

Bilaga 6: Referensbilder



Figur B6-1. Basen från nordost. Stationsområdet på utlöparen uppe till vänster i bild.



Figur B6-2. Tillverkning av väggelement med luftspalt. Tätning mot drivsnö syns nederst till höger i bild



Figur B6-3. Skadad takpapp efter första vintersäsongen 1989.



Figur B6-4. Skador på nordostvägg genererade av små-sten vid vindstyrkor på 60 m/s.



Figur B6-5. Istappar från smältande drivsnö i vägg.



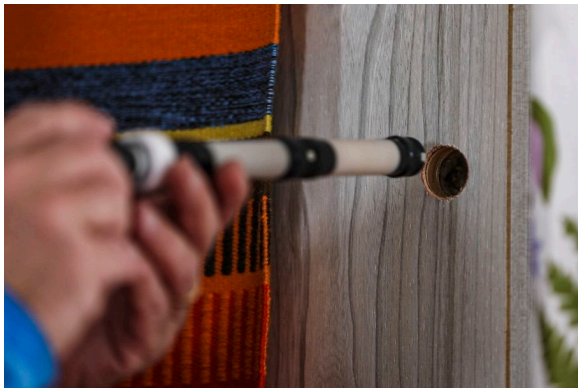
Figur B6-6. Spricka i bärande stålprofil som uppkommit av att drivsnö omväxlande tinat och frusit.



Figur B6-7. Sannolik mikrobiell påväxt på regler i luftspalt i nordostväggen.



Figur B6-8. Spår av fuktgenomträngning på takpanel i innertaket.



Figur B6-9. Placering av tredelad givare för registrering av eventuell konvektion i vägg.



Figur B6-10. Tillfällig inkoppling av ursprungligt ventilationssystem.