



UPPSALA
UNIVERSITET

Examensarbete 15 hp
Juni 2020

Parallelltak med mekanisk ventilation

En jämförelse mellan mekanisk och naturlig
ventilation

Mathilda Nöjd
Emma Petersson

Parallelltak med mekanisk ventilation

En jämförelse mellan mekanisk och naturlig ventilation

Mathilda Nöjd

Emma Petersson

Högskoleingenjörsprogrammet

Byggteknik

Institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik, Byggteknik och byggd miljö, Uppsala Universitet.

Denna rapport är framställt vid institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik, Byggt teknik och byggd miljö på Uppsala Universitet, 2020.

Tryckt vid Polacksbackens Repo, Uppsala Universitet

Typsnitt: Times New Roman

Copyright © Mathilda Nöjd och Emma Petersson

Institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik, Byggt teknik och byggd miljö, Uppsala Universitet.



UPPSALA
UNIVERSITET

Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten

Besöksadress:
Ängströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Parallel roof with mechanical ventilation

Mathilda Nöjd and Emma Petersson

To build and conserve the moisture proof roof constructions is a central problem in the building industry. Outdoor ventilated roof constructions is considered to be a riskful construction that can be burdened with moist damages. It is problematic to build parallel roof with low energy consumption that are resistant to moist. New demands of energy efficient buildings has contributed to an increased amount of insulation in roof constructions. Well insulated roof constructions in combinations with moist and cold winters is the main cause to the current moisture problematic in Sweden.

High relative humidity in air gap and high moisture in materials increases the risk for mold growth. The winter is a critical period of time due to outside air containing high amount of moisture that can be harmful for roof constructions that are ventilated by outside air. Organic materials like wood is sustained a risk for mold growth by a relative humidity of 75%. Duration and a favorable temperature are also required for mold growth to take place. Parallel roofing usually consists of wood materials that can be attacked by mold at favorable conditions. Tongue and groove and battens have a position close to the outer layers in a parallel roofing that contributes to them being exposed to mold growth that should be especially consider.

There is a large need for technical solutions to be able to handle the current moist problems in Swedish constructions. Mechanical ventilation is one of the technical solutions that is controlled by sensors that regulates the ventilations in roof constructions air gap. The mechanical ventilation is controlled by sensors and fans. Sensors measure and compares the current temperature and vapour content of the outside air and the air in the air gap. At appropriate conditions the ventilation activates and at inappropriate conditions the ventilation is limited.

This report is focused on comparing outdoor ventilated parallel roofing to mechanical ventilated parallel roofing. This report studies an existing building outside Norrtälje with parallel roofing. This system is equipped with sensors that logs the temperatures, relative humidity and moisture on the tongue and groove and battens in the air gaps in both the part of the roof that is mechanically ventilated and outdoor ventilated. The collected data have been analyzed in a risk analysis and a mold analysis. The risk analysis compares data from 2 or more measuring points to be able to analyze the difference in result. The mold analysis consists of a simulation in the program: WUFI Bio and delivers an index of calculated mold growth per year.

This study indicates that roof constructions with outdoor ventilation runs a big risk of mold growth during the winter season. The mechanically ventilated roof construction shows a trend that reduces the risk of mold growth in all orientations and in the ridge. The measuring points with southern orientations shows a trend that, of a mechanically ventilated roof, will reduces mold growth in a higher degree compared to the other orientations. Even though the reduced effect of mold growth in mechanically ventilated roof constructions the results indicates a result where mold growths on tongue and groove and battens. Although the risk is not as extensive as in naturally ventilated roofs.

Handledare: Sven-Olof Mundt-Petersen, Johan Tannfors
Ämnesgranskare: Galyna Venzhego
Examinator: Petra Pertoft
ISRN UTH-INGUTB-EX-20*/00-SE

Sammanfattning

Att bygga och bibehålla fuktsäkra takkonstruktioner är ett centralt problem inom byggbranschen. Utomhusventilerade takkonstruktioner anses vara en riskkonstruktion som kan drabbas av fuktskador. Det är problematiskt att bygga parallelltak med låg energiförbrukning som är beständigt mot fukt. Nya krav på energieffektiviseringar har bidragit till ökade mängder isolering i takkonstruktioner. Välisolerade takkonstruktioner i kombination med fuktiga och kalla vintrar är den huvudsakliga orsaken till den rådande fuktproblematiken som finns i Sverige.

Hög relativ fuktighet i luftspalten och hög fuktkvot i materialet ökar risken för mikrobiell påväxt. Vinterhalvåret är en kritisk period eftersom utomhusluften innehåller hög mängd fukt som kan vara skadlig för takkonstruktioner som utomhusventileras. Organiska material som trävirke löper risk för mikrobiell påväxt vid en relativ fuktighet på 75 %. Det krävs även varaktighet och en gynnsam temperatur för att mikrobiell påväxt ska kunna uppstå. Parallelltak består vanligtvis av trämaterial som kan angripas av mögel vid gynnsamma förutsättningar. Råspont och läkt har en position långt ut i parallelltaket som bidrar till att de löper stor risk för mögelpåväxt och bör särskilt beaktas.

Det finns stort behov av tekniska lösningar för att kunna lösa den rådande fuktproblematiken i svenska bostäder. Mekanisk ventilation är en teknisk lösning som styr och reglerar ventilationen i takkonstruktionens luftspalt. Den mekaniska ventilationen styrs av sensorer och fläktar. Sensorerna jämför temperatur och ånghalt i utomhusklimatet med klimatet i luftspalten. Vid goda klimatförhållanden tillåts ventilation i luftspalten och vid sämre förhållanden begränsas ventilationen. Syftet med den mekaniska ventilationen är att parallelltaket endast ventileras när det leder till uttorkning.

Rapporten har fokus på att jämför utomhusventilerat parallelltak (naturlig ventilation) med mekanisk ventilation. Rapporten studerar en befintlig byggnad med parallelltak belägen utanför Norrtälje. Parallelltaket är utrustat med loggrar som mäter relativ fuktighet, temperatur och fuktkvot i råspont eller läkt i luftspalter med naturlig och mekanisk ventilation. Mätdata har analyserats i en riskanalys och en mögelanalys. Riskanalysen jämför mätdata från två eller flera mätpunkter för att kunna analysera skillnader i resultatet. Mögelanalysen består av simuleringar i programmet WUFI Bio och anger ett fiktivt mögelindex för beräknad påväxt i millimeter per år.

Studien indikerar att luftspalter med naturlig ventilation löper stor risk för mögelpåväxt under vinterhalvåret. Den mekaniska ventilationen uppvisar en trend som reducerar risken för mögelpåväxt i samtliga väderstreck, inklusive taknock. Mätpunkter med mekaniska ventilation orienterad mot söder och väster uppvisar en trend som procentuellt reducerar mögelpåväxten i högre grad jämfört med resterande väderstreck. Trots den reducerande effekten med mekanisk ventilation indikerar resultatet att det finns risk för mögelpåväxt även på råspont och läkt i luftspalter med mekanisk ventilation. Däremot är risken inte lika omfattande.

Förord

Det här examensarbetet genomfördes våren 2020 via Institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik, Byggteknik och byggd miljö på Uppsala Universitet. Arbetet har genomförts med målet att bidra till ökad kunskap om mekanisk ventilation.

Vi vill tacka våra handledare Sven-Olof Mundt-Petersen och Johan Tannfors för all hjälp och kunskap inom området. Även tack till personalen på Polygon och Ak konsult för givande samtal under arbetets gång. Samt ett stort tack till vår ämnesgranskare Galyna Venzhego för ditt engagemang.

Uppsala, juni 2020

Mathilda Nöjd

Emma Petersson

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	2
1.3 Avgränsningar	2
1.4 Felkällor	3
2. Metod.....	4
3. Teori	6
3.1 Fukt i luft och material.....	6
3.1.1 Variation i densitet	9
3.1.2 Mögel och mikrobiell påväxt	10
3.2 Takkonstruktion.....	12
3.2.1 Parallelltak och kallvind	13
3.2.2 Takriktning och takvinklar.....	14
3.2.3 Ventilationsflöden i luftspalten.....	15
3.2.4 Isolertjocklek.....	16
3.3 Riskanalys	16
3.4 Mögelmodell, WUFI Bio	20
4. Beskrivning av konstruktionen	22
4.1 Studerad byggnad	22
4.2 Mätpunkter och mätinstrument.....	26
4.3 Mekanisk och naturlig ventilation	27
4.4 Fläktar och sensorer	28
4.4.1 Position av mätinstrument (logger).....	30
4.4.2 Luftspalter och luftomsättning	31
5. Referensmätning – Mekanisk ventilation.....	33
5.1 Jämförelse - Mekanisk ventilation, Skeppet	33
5.1.1 Resultat av riskanalys - Mekanisk ventilation, Skeppet.....	35
5.1.2 Resultat av mögelmodell - Mekanisk ventilation, Skeppet	40
5.1.3 Övergripande resultat - Mekanisk ventilation, Skeppet	42
5.1.4 Analys och diskussion - Mekanisk ventilation, skeppet.....	44
5.1.5 Slutsats - Mekanisk ventilation Skeppet.....	47
5.2 Jämförelse - Mekanisk ventilation Tarmen.....	47
5.2.1 Resultat av riskanalys - Mekanisk ventilation, Tarmen	49
5.2.2 Resultat av mögelmodell - Mekanisk ventilation, Tarmen.....	52

5.2.3 övergripande resultat - Mekanisk ventilation, Tarmen.....	54
5.2.4 Analys och diskussion - Mekanisk ventilation, Tarmen	55
5.2.5 Slutsats av mätpunkt - Mekanisk ventilation, Tarmen	57
6. Naturlig ventilation	58
6.1 Jämförelse - Naturlig ventilation 10A, 10B, 10C och 13A, 13B, 13C	58
6.1.1 Resultat av riskanalys - Naturlig ventilation.....	60
6.1.2 Resultat av mögelmodell - Naturlig ventilation.....	61
6.1.3 Övergripande resultat - Naturlig ventilation.....	62
6.1.4 Analys och diskussion - Naturlig ventilation.....	64
6.1.5 Slutsats av mätpunkt - Naturlig ventilation	65
7. Parameterstudie - Mekanisk och naturlig ventilation, Skeppet	66
7.1 Jämförelse av mekanisk (9A) och naturlig ventilation (10A)	67
7.1.1 Resultat av riskanalys - mätpunkt 9A(mekanisk) - 10A(naturlig)	68
7.1.2 Resultat av mögelmodell - mätpunkt: 9A(mekanisk) - 10A(naturlig)	73
7.1.3 Övergripande resultat - mätpunkt: 9A(mekanisk) - 10A(naturlig)	74
7.1.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 9A(mekanisk) - 10A(naturlig).....	75
7.1.5 Slutsats av mätpunkt: 9A (mekanisk) - 10A (naturlig)	76
7.2 Jämförelse av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig).....	76
7.2.1 Resultat av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)	77
7.2.2 Resultat av mätpunkt - Mögelanalys 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)	82
7.2.3 Övergripande resultat - Mögelanalys 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)	83
7.2.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)	84
7.2.5 Slutsats av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig).....	85
7.3 Jämförelse av mätpunkt: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig).....	85
7.3.1 Resultat av mätpunkt: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)	86
7.3.2 Resultat av mögelanalys - mätpunkt 9C (mekanisk) - 10C (naturlig).....	90
7.3.3 Resultat av fuktkvotsberäkning.....	91
7.3.4 Övergripande resultat: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)	92
7.3.5 Analys och diskussion av mätpunkt: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)	93
7.3.6 Slutsats av mätpunkt: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig).....	94
8. Parameterstudie - Mekanisk och naturlig ventilation i Tarmen.....	95
8.1 Jämförelse av mätpunkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)	96
8.1.1 Resultat av riskanalys - mätpunkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)	97
8.1.2 Resultat av mögelanalys - mätpunkt 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)	101
8.1.3 Övergripande resultat - mätpunkt 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)	102

8.1.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)	103
8.1.5 Slutsats av mätpunkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)	104
8.2 Jämförelse av mätpunkt: 13B (naturlig) - 14B (mekanisk).....	104
8.2.1 Resultat av mätpunkt: 13B (naturlig) - 10B (mekanisk)	104
8.2.2 Resultat av mätpunkt - Mögelanalys 13B (naturlig) - 14B (mekanisk)	109
8.2.3 Övergripande resultat - Mögelanalys 13B (naturlig) - 14B (mekanisk).....	110
8.2.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 13B (naturlig) - 14B (mekanisk)	111
8.2.5 Slutsats av mätpunkt: 13B (naturlig) - 14B (mekanisk).....	112
8.3 Jämförelse av mätpunkt: 13C (naturlig) - 14C(mekanisk).....	112
8.3.1 Resultat av mätpunkt: 13C (naturlig) - 14C (mekanisk)	112
8.3.2 Resultat av mögelanalys - mätpunkt 13C (naturlig) - 14C (mekanisk).....	117
8.3.3 Övergripande resultat - mätpunkt 13C (naturlig) - 14C (mekanisk).....	118
8.3.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 13C (naturlig) - 14C (mekanisk)	119
8.3.5 Slutsats av mätpunkt: 13C (naturlig) - 14C (mekanisk).....	120
9. Sammanfattande analys och diskussion	121
10. Slutsatser.....	128
11. Referenser	129
Litteraturförteckning	129
Bilaga 1.....	131
Bilaga 2.....	132
Bilaga 3.....	134
Bilaga 4.....	136
Bilaga 5.....	138
Bilaga 6.....	140
Bilaga 7.....	141

1. Inledning

I denna rapport undersöks effekten av mekanisk ventilation i parallelltak. Rapporten inleds med en redogörelse för bakgrunden till studien, och därefter presenteras syfte, avgränsningar och felkällor.

1.1 Bakgrund

Fuktskador i parallelltak är ett vanligt förekommande problem i bostadshus. Generellt har parallelltaket öppna luftspalter som löper längs med yttertakskonstruktionen. Genom den öppna luftspalten ventileras takkonstruktionen med utomhusluften. Utomhusventilerade takkonstruktioner beskrivs i rapporten som naturligt ventilerade. Syftet med den naturliga ventilationen är att fukt ska ventileras ut ur konstruktionen. Däremot uppstår det problematik med naturlig ventilation under framförallt vinterhalvåret när utomhusluften innehåller större mängd fukt. Den fuktiga utomhusluften som ventileras in kan skapa förutsättningar för mikrobiell påväxt och i värsta fall fällas ut inne i takkonstruktionen och skapa fuktskador.

Boverket (2018) har på uppdrag av regeringen utvärderat och kartlagt byggskador inom byggsektorn. Kartläggningen omfattade nybyggnation och renoveringar. Kartläggningen visar att fuktskador representerar en dominerande del av byggskador. Orsaken till fuktskadorna beror till stor del på otätheter i klimatskalet samt brister i kunskap och resurser inom byggsektorn. En del av rapporten beskriver en utbredd fuktproblematik på vindar. Fuktskador kan uppkomma under alla delar av byggprocessen och bidrar till att fuktproblematiken i klimatskalet är komplext.

Syftet med den mekaniska ventilationen är att parallelltaket endast ventileras när det leder till uttorkning. Mekanisk ventilation utnyttjar hydrodynamisk avfuktning genom att analysera temperatur och ånghalt i utomhusklimatet respektive klimatet i takets luftspalt. Vid goda klimatförhållanden i utomhusluften ventileras takkonstruktionen med utomhusluften genom mekaniska fläktar. Således sker ingen ventilation i takkonstruktion vid ogynnsamma klimatförhållanden.

Nya krav på energieffektiviseringar har bidragit till att befintliga vindar tilläggsisolerats och nyproducerade bostadshus är mer välisolerade. Detta innebär att vinden på kallvindar och luftspalten i parallelltak blir kallare. Lägre temperatur gör att den relativa fuktigheten ökar om ånghalten är konstant. Hög relativ fuktighet ökar risken för fuktskador och mikrobiell påväxt. Således löper takkonstruktioner i hus som byggts de senaste 20 åren större risk för fuktrelaterade skador än tidigare. Däremot finns det indikationer på att mekanisk ventilation skulle kunna reducera denna skadebild.

Parallelltak och kallvindar är två vanligt förekommande takkonstruktioner. Det finns tidigare studier på parallelltak och kallvindar som indikerar att dessa konstruktioner har en liknande fuktproblematik (Mundt-Petersen, 2016). Rapporten behandlar endast parallelltak, men eftersom det finns studier som stödjer ett samband mellan dessa två modeller kan resultatet även vara aktuellt för kallvind.

Takkonstruktioner består vanligtvis av trämaterial. Trä är ett naturligt och förnyelsebart material som i många sammanhang lyfts fram som miljövänligt och koldioxidneutralt baserat på Sveriges resurseffektiva skogsbruk med hög återplanteringsgrad. Däremot löper trä risk för mikrobiell påväxt om det finns gynnsamma förutsättningar. Näringstillgång, gynnsam temperatur samt goda fuktförhållanden under en tillräcklig lång exponeringstid krävs för mikrobiell påväxt. Mikrobiell påväxt måste undvikas eftersom den ger skador på byggnadsverket och bedöms kunna vara skadligt för människors hälsa (Hagentoft & Sandin, 2017).

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att studera skillnaden mellan naturlig och mekanisk ventilation i ett parallelltak. Målet är att utvärdera om och i så fall hur stor risken för mikrobiell påväxt är, och om denna kan reduceras med hjälp av mekanisk ventilation.

1.3 Avgränsningar

Undersökningen är gjord på ett enbostadshus beläget på Rådmansö i Norrtälje kommun. Studien begränsas till att jämföra mekanisk och naturlig ventilation i parallelltak med ett förhållandevis litet kallvindsutrymme i taknocken.

En parameterstudie utförs med jämförelse av mätpunkter i luftspalter med olika förutsättningar i ett parallelltak. Studien baseras på mätningar som utförs under perioden september 2018 till februari 2020. Mätpunkterna är placerade i takets luftspalter i läkt eller råspont. Undersökningen begränsas till att jämföra relativ fuktighet, temperatur, fuktkvot och ånghalt. Simuleringar i WUFI Bio kommer även att tillämpas för att jämföra och utvärdera risk för mögelpåväxt.

1.4 Felkällor

Byggfukt är ett vanligt förekommande problem i produktionsskedet som kan medföra felkällor i studien. Studien har inte tagit hänsyn till om det förekommer byggfukt i byggnaden. Det finns möjlighet att byggfukt förekommer, men kan inte urskiljas i mätningen och resultatet.

Avbrott i den mekaniska ventilationen medför felkällor i uppmätt relativ fuktighet, temperatur och fuktkvot. Fläktarna som tillhör den mekaniska ventilationen har varit avstängd vid fåtal tillfällen som redovisas senare i rapporten och kan resultera i ett avvikande resultat. Ett strömbavbrott uppstod under mätperioden som bidrar till att den mekaniska ventilationen varit avstängd under en längre period.

Temperaturkorrigering av fuktkvotsmätning med resistiv mätmetod är inte utförd i studien. Träets resistans beror av fuktkvot, temperatur och densitet. Resistiv mätmetod används i fuktkvotsmätare för en ökad mätnoggrannhet.

I den studerade byggnaden finns en skorsten som är i bruk. Effekten av skorsten bidrar till ett tillfälligt varmare klimat i luftspalten. Luftspalten vid skorstenen behandlas inte i rapporten, dock kan värmen som skorstenen avger påverkar närliggande luftspalter.

Rapportens resultat kopplas till ett okänt luftflöde i luftspalterna. Luftflöde är en viktig aspekt för att kontrollera att den mekaniska ventilationen fungerar, dock behandlas det inte i rapporten. Luftomsättning och lufthastighet beräknas inte i det ventilerade utrymmet på grund av avancerade beräkningar och tidsbegränsning.

2. Metod

Arbetet påbörjades med en litteraturstudie av tidigare studier med fokus på framförallt parallelltak, kallvindar samt konstruktioner med naturlig ventilation och mekanisk ventilation. Tidigare finns det ett fåtal teoretiska studier på mekanisk ventilation. Litteratursökningen omfattar vetenskapliga artiklar, avhandlingar och examensarbeten men redovisas inte i rapporten.

Studien är en fallstudie som är uppställd som en kvantitativ parameterstudie, där mätresultatet från olika mätpunkter med olika förhållanden i ett befintligt parallelltak jämförs. Mätningarna är utförda i taket på en befintlig bebodd villa belägen utanför Norrtälje. Luftspalterna i takkonstruktionen är medvetet byggda med olika förutsättningar i olika delar av byggnaden. Faktorer som varierar i olika delar av parallelltaket är ventilation, isolering, taklutning och väderstreck/orientering. Ventilationen varierar mellan naturlig och mekanisk.

Mätsensorerna utgörs av loggrar som är monterade på råspont eller läkt och ansluter till luftspalten i parallelltaket. En logger innehåller mätsensorer som mäter relativ fuktighet, temperatur och fuktkvot. Loggrar har placerats i olika väderstreck för att studera potentiella skillnader i klimatförhållanden i luftspalter och risk för mikrobiell påväxt. Mätpunkter orienterade mot ett väderstreck har en logger monterad i läkt, en meter över takfoten. Mätpunkter i taknock har en logger monterad mot råsponten.

Råspont och läkt är av granvirke och är den del av parallelltaket som generellt löper störst risk för fuktskador. Mätningarna har utförts under november 2018 till februari 2020 och mäter frekvent varje timme under angiven period. Mätpunkterna har monterats i samtliga spalter och kartlägger alla variationer av förutsättningar och parametrar som presenterades i tidigare stycke. Tillgängliga mätpunkterna i takkonstruktionen utgör fler punkter än vad rapporten behandlar och analyserar.

Det finns begränsningar hos alla mätmetoder som skapar mätosäkerhet. För att minska mätosäkerheten har en referensmätning i ett tidigt skede utförts i studien. Uppvisar en eller flera mätpunkter stora variationer i referensmätningen gentemot varandra finns det sannolikt mätosäkerheter i resultatet.

Referensmätningen innebär att två eller flera mätpunkter med liknande förutsättningar jämförs med varandra i en riskanalys och mögelmodell. Riskanalysen jämför mätresultat i angivna mätpunkter utifrån relativa fuktigheten, temperaturen, ånghalt och fuktkvot. När den aktuella relativa fuktigheten överstiger den kritiska nivån för relativ fuktighet finns risk för mikrobiell

påväxt. Den beskrivna modellen visualiserar även varaktigheten som konstruktionen exponeras för en kritisk nivå av relativ fuktighet. Ytterligare bedömning och analys på mögelpåväxt studeras med en mögelmodell i simuleringsprogrammet WUFI Bio. Mögelmodell från simuleringsprogrammet ger ett fiktivt mögelindex som anges i millimeter per år.

Efter referensmätningen påbörjades parameterstudien som jämför skillnader mellan endast två mätpunkter som representerar mekanisk och naturlig ventilation. Parameterstudien visar variationer och skillnader i studerade mätpunkter under angiven tidsperiod. Parameterstudien innehåller även en riskanalys och en mögelmodell likt referensmätningen.

3. Teori

I följande avsnitt behandlas det teoretiska ramverket för fuktteori, ingående beskrivning av mikrobiell påväxt. Vidare beskrivs takkonstruktionens uppbyggnad med fokus på parallelltak samt hur olika förutsättningar som takvinklar och isolertjocklek påverkar byggnaden utifrån ett fukttekniskt perspektiv. Därefter presenteras uppbyggnaden av riskanalysen och mögelmodellen som representerar resultatet i rapporten.

3.1 Fukt i luft och material

Boverkets byggregler, BBR, är en regelsamling som styr vilka förutsättningar som gäller för uppförande av nya byggnader. BBR innehåller bland annat regler och riktlinjer att förhålla sig till för att bygga fuktsäkra byggnader. Reglerna specificeras i kapitel 6 som behandlar hygien, hälsa och miljö, och berör hur byggnader ska utformas utifrån att inte orsaka skador för människors hälsa och byggnadens livslängd. Avsnitt 6:5 behandlar fukt och tar upp syftet att skapa fuktsäkerhet inom byggnation (Boverket, 2019). Nedanför redovisas relevanta föreskrifter.

Boverkets byggregler 6:51 Allmänt

”Byggnader ska utformas så att fukt inte orsakar skador, lukt eller Mikrobiell växt som kan påverka hygien eller hälsa”. (BFS 2014:3). (Boverket, 2019)

Boverkets byggregler 6:52 Högsta tillåtna fukttillstånd

”Högsta tillåtna fukttillstånd är den övre gräns där fukt inte kan förväntas orsaka skador som påverkar hygien eller hälsa.

Vid bestämning av högsta tillåtna fukttillstånd ska kritiska fukttillstånd användas varvid hänsyn ska tas till osäkerhet i beräkningsmodell, ingångsparametrar eller mätmetoder.

För material och produkter där mögel och bakterier kan växa ska man använda kritiska fukttillstånd som är väl undersökta och dokumenterade. Vid bestämning av kritiska fukttillstånd ska hänsyn tas till eventuell nedsmutsning av materialet eller produkten. Om det kritiska fukttillståndet inte är väl undersökt och dokumenterat ska en relativ fuktighet (RF) på 75 % användas som kritiskt fukttillstånd”. (BFS 2014:3). (Boverket, 2019)

Boverkets byggregler 6:53 Fuktsäkerhet

”Fukttillståndet i en byggnadsdel ska inte överskrida de högsta tillåtna fukttillstånden för de material och produkter som ingår i byggnadsdelen. Detta gäller inte om det saknar betydelse för hygien och hälsa. Fukttillståndet ska bestämmas utifrån de fuktbelastningar som kan förväntas påverka byggnaden under ogynnsamma förutsättningar”. (BFS 2014:3). (Boverket, 2019)

Enligt BBR kapitel 6.5 om Fukt ges föreskrifter och råd om hur fuktrelaterade skador ska begränsas. Den allmänna föreskriften 6.51 behandlar att fuktsäkerhetsprojektering bör användas för att säkerställa att fuktrelaterade skador inte uppstår. Detta innefattar åtgärder såväl under projekteringsskedet, bygg- och produktionsskedet som under förvaltningsskedet. Föreskrift 6.52 behandlar kontroll av kritiska fukttillstånd, hur de bestäms och används som en gräns för att förhindra påväxt av mögel och skada. Föreskrift 6.53 syftar till att tillämpa högsta tillåtna fukttillstånd som kan påverka byggnadsmaterial och byggnader negativt för att säkerställa ett fuktsäkert byggande (Boverket, 2019).

Nilsson (2009) nämner i sin rapport att vissa tolkat att det inte går att bygga i trä utefter kraven från föreskrifterna 6.52 och 6.53, eftersom klimatet i Sverige generellt har en relativ fuktighet som överskrider 75 % i utomhusluften. Detta tyder i sin tur på att fuktproblematiken är komplex när det kommer till träkonstruktioner.

Fuktrelaterade problem uppstår vanligtvis vid produktionsskedet samt under förvaltningsskedet. Fukt finns både i luft och i material i olika former och kan påverka byggnadsmaterial negativt. All luft innehåller vattenånga där mängden ånga, tillika mängden fukt, varierar under året. I normala fall finns det alltid en viss mängd fukt i luften. Mängden fukt som kan bindas i luften beror huvudsakligen av temperaturen. Vid lägre temperaturer tappar luften förmågan att hålla samma mängd fukt som vid högre temperaturer. Den relativa fuktigheten beskriver förhållandet mellan torr och mättad luft, se ekvation (3.1). Vid 100 % relativ fuktighet når luften sin mättnadsånghalt. Stiger ånghalten över mättnadsånghalten faller fukt ut och det uppstår kondens (Hagentoft & Sandin, 2017).

$$\text{Relativ fuktighet (\%)} \quad RF = \frac{v}{v_s} = \frac{\text{Ånghalt } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Mättnadsånghalt } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (3.1)$$

Den relativa fuktigheten är som högst under vinterhalvåret och ånghalten är som högst under sommarhalvåret. Uppmärksamma att detta förhållande påvisar att luften har större förmåga att binda en större mängd fukt under sommaren jämfört med vintern. Under vinterhalvåret är den relativa fuktigheten högre, såväl risken för uppkomst av mögelpåväxt jämfört med sommarhalvåret. Beroende på utomhustemperatur är vinterhalvåret generellt sett den mest kritiska perioden under året. Kondensation uppstår då vattenånga går till vätskefas, vilket sker på ytor och i luft (Hagentoft & Sandin, 2017). I tak sker detta ofta på träbaserade material som råspont och läkt vid luftspalten i en takkonstruktion. Om råsponten och läkten är kallare än omgivande luft kan fuktig luft fällas ut på dessa delar.

Då material omges av fuktig luft diffunderar/vandrar vattenånga in i materialets porer. Mängden fukt som lagras i ett material kallas fukthalt. Fukthalten beskriver vatteninnehållet per kubikmeter material i enheten kilogram. Denna vattenmängd kan också beskrivas genom fuktkvot som är en dimensionslös benämning på mängden fukt i ett material, se ekvation (3.2) (Hagentoft & Sandin, 2017).

$$\text{Fuktkvot (\%)} \quad u = \frac{m_w}{m} = \frac{\text{Massa förångningsbart vatten (kg)}}{\text{Det torra materialets massa (kg)}} \quad (3.2)$$

Det är vanligt förekommande att mäta vatteninnehåll i trä med hjälp av fuktkvot. Vid beräkningar kan det dock vara aktuellt att ange fukthalten. Fukthalten beskriver förhållandet mellan fuktkvot och densiteten, se ekvation (3.3).

$$\text{Fukthalt} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad w = u \cdot \rho = \text{fuktkvot (\%)} \cdot \text{densitet} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (3.3)$$

Vatten kan lagras i byggnadsmaterial i olika nivåer. Fast bundet vatten finns som en kemisk komponent i materialen och bidrar till materialets struktur. Fast bundet vatten orsakar inte fuktvandring eller fuktskador på material. Fysikaliskt bundet vatten förekommer i hålrum och porer i material och kan lämna vid höga temperaturer. Hygroskopisk fukt avser fukt som lagras vid kontakt med fuktig luft. Mängden hygroskopisk fukt som materialet kan lagra varierar på materialets struktur och egenskaper. Fuktkvoten eller fukthalten beskriver mängden hygroskopisk fukt i materialet. När material exponeras av fuktig luft kan det uppstå fuktvandring som bidrar till högre fuktkvot i materialet. Fukttransport kan ske i ångfas och vätskefas. Diffusion är en fuktvandring som sker av vattenånga. Ångtransporten sker från ett område med högre ånghalt till ett område med lägre ånghalt. Diffusion kan förekomma och uppstå när ånghalten är högre inne jämfört med ute (Hagentoft & Sandin, 2017).

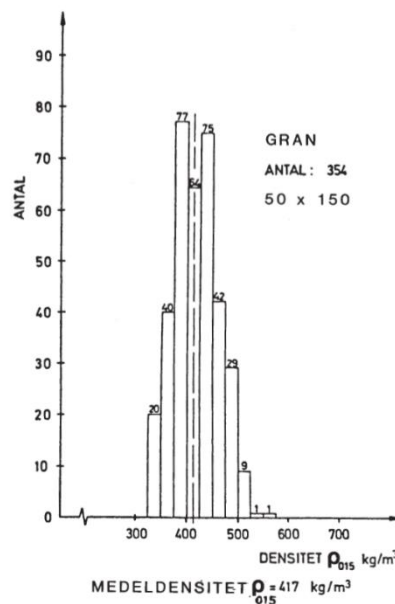
Vattenånga kan även förflyttas genom fuktkonvektion vilket uppstår när strömmande luft transporterar vattenångan. Fuktkonvektion kan ske vid ventilation när luft förs in och ut ur byggnaden. Därför är det viktigt att kontrollera att konvention ventilerar bort fukt (Hagentoft & Sandin, 2017). Vidare är det viktigt att säkerställa att undertryck råder i byggnaden så att eventuell fuktkonvektion genom potentiella otätheter inte uppstår, d.v.s. att varm fuktig luft genom konvektion tillåts läcka ut genom springor och orsaka en skada.

Fukttillskott är det tillskottet som bildas av brukarna i en bostad, exempelvis disk, tvätt, matlagning, avdunstning från växter, svett och andning. Fukttillskott är en fuktbelastning av byggnadens användare. Fukttillskottet bidrar till förhöjt fukttillstånd i inomhusluften vilket i

sin tur ger upphov till diffusion från inneluften i en byggnad. Fukttillskott är skillnaden i ånghalt mellan ånghalten inomhus och utomhus (Hagentoft & Sandin, 2017).

3.1.1 Variation i densitet

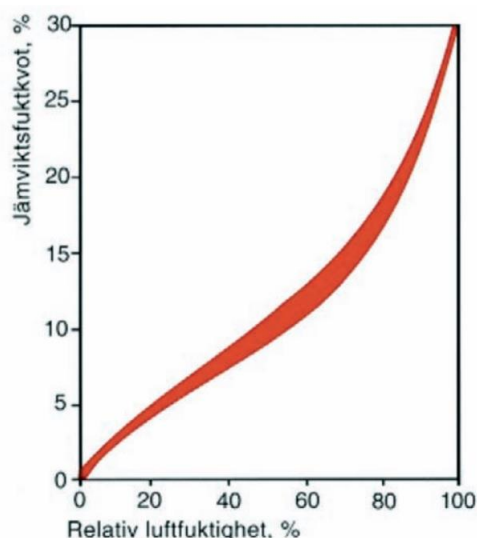
Densiteten i trävirke kan variera i hög grad. Hög densitet torkar långsammare i förhållande till låg densitet. Stockens yttre del kallas för periferi, splint eller ved, och har generellt lägre densitet jämfört med stockens inre del som kallas mörgen eller kärnan, se Figur 3.1. Även roten har generellt en högre densitet än resterande del av virket. Ytterligare faktorer som påverkar densiteten är trädslag, beståndstäthet och vart i torken virket varit placerad under torkningsprocessen på sågverket. Generellt varierar fuktkvoten i virket med $\pm 20\%$ och utgör en fuktkvotsgradient (Esping, et al., 2005).



Figur 3.1. Visar variationer i densitet hos granvirke (Esping, et al., 2005).

Fuktkvoten varierar med omgivningens temperatur och relativa fuktighet. Virket kommer sträva efter en jämviktsfuktkvot utifrån den omgivande relativa fuktigheten. Temperaturen påverkar inte fuktkvoten direkt. Däremot påverkar temperaturen den relativa fuktigheten som indirekt inverkar på fuktkvoten. Ett tunt trästycke uppnår jämvikt med omgivningen snabbt i jämförelse med ett tjockt stycke virke. Virkets strävan att uppnå jämvikt kommer innebära att fuktkvoten kommer variera i förhållande till sin omgivning. Uppfuktning av virket kommer uppstå när dess relativa fuktighet är lägre i förhållande till omgivande relativ fuktighet, likväl som virket kommer att torka när dess relativa fuktighet är högre i förhållande till omgivande

relativ fuktighet. När virket torkar kommer fuktkvoten att följa den övre delen av kurvan i Figur 3.2, respektive nedre delen av kurvan när virket fuktas upp (Esping, et al., 2005).



Figur 3.2. Visar förhållandet mellan jämviktsfuktkvoten vid 20 grader och olika RF för granvirke. (Esping, et al., 2005)

Brander (2012) beskriver en tumregel för förhållandet mellan temperatur och relativ fuktighet och sambandet för hur temperaturändring påverkar den relativa fuktigheten i luften. När temperaturen går upp går den relativa fuktigheten ner. Tumregeln beskriver att en grad påverkar den relativa fuktigheten med 5 %. Små variationer i temperaturen påverkar den relativa fuktigheten i hög grad.

3.1.2 Mögel och mikrobiell påväxt

Bakterier och svampar finns naturligt i vår omgivning och kan angripa byggmaterial vid gynnsamma förhållanden. Faktorer som påverkar mikrobiell påväxt är näringstillgång, temperatur, materialets fukttillstånd samt varaktigheten med gynnsamma förhållanden. Bakterier och svampar är mest aktiva vid en temperatur mellan 20 och 30 grader. Temperatur utanför spannet bidrar till en lägre aktivitet hos organismerna (Hagentoft & Sandin, 2017).

Tidsaspekten, tillika varaktigheten med gynnsamma förutsättningar för att påväxt ska kunna ske, är en grundläggande faktor för att mikrobiell påväxt ska kunna ske. Tillväxt hos organismerna uppstår i olika faser beroende av tidsaspekten. Trots gynnsamma förhållanden för mögelpåväxt kan organismerna ligga i latensperioder innan påväxt sker. Korta perioder av gynnsamma förhållanden ger inte alltid upphov till mögelpåväxt eftersom mögelsporerna kan befinna sig i latens. Däremot finns det ingen vedertagen beskrivning hur lång en latensperiod

sträcker sig och kan även variera. Således komplext att förutse omfattningen av mikrobiell påväxt. (Nilsson, 2009)

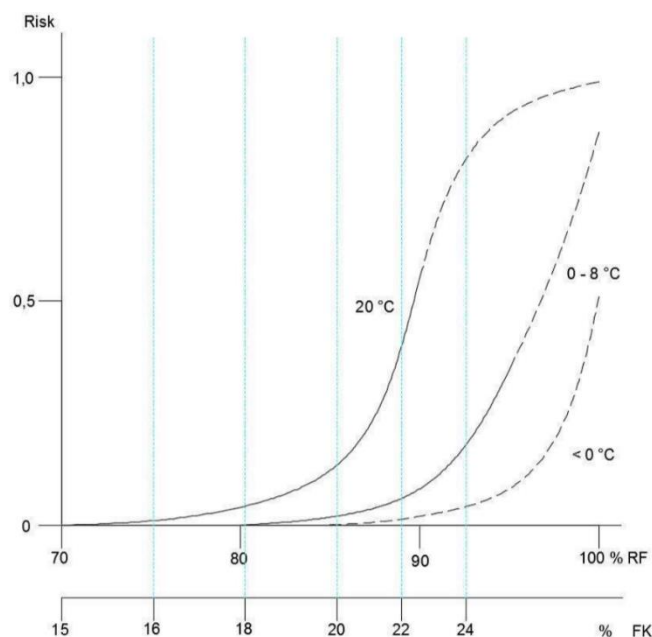
Mögel växer på ytan på virket och påverkas framförallt av den relativa fuktigheten på virkesytan och ytfuktkvoten. Eftersom mögel endast växer på virkets yta skadas inte träets celler. Det är möjligt att avlägsna mögel från ett virkesstycke och fortfarande erhålla ett funktionsdugligt virke (Nilsson, 2009).

Omfattningen på mögelpåväxten ökar med varaktigheten av gynnsamma och konstanta fuktförhållanden. Tabell 3.1 visar risk för uppkomst av mögel vid olika värden på fuktkvot och relativ fuktighet. Risken för mögel beskrivs öka vid höga nivåer av fuktkvot och relativ fuktighet. Störst risk för mögelpåväxt löper virke med en ytfuktkvot över 20 % samt en virkesyta med omgivande klimat som överstiger en relativ fuktighet på 85 % (Nevander & Elmarsson, 2006).

Tabell 3.1. Visar risken för mögel i träkonstruktioner vid olika RF och FK (Nevander & Elmarsson, 2006).

Risk	Fuktkvot/relativ fuktighet	Ingen	Liten	Stor
Mögel	Fuktkvot (%)	15 %	15-20 %	20 %
Mögel	Relativ fuktighet (%)	70 %	70-85 %	85 %

Figur 3.3 visar förhållandet mellan fuktkvot, relativ fuktighet samt temperatur. Återigen kan en hög relativ fuktighet och fuktkvot belysas som riskfyllt. Figur 3.3 indikerar även att en temperatur kring 20 grader är optimalt för mögelpåväxt, såväl att en temperatur under spannet minskar aktiviteten hos organismerna (Nevander & Elmarsson, 2006).



Figur 3.3. Visar risk för mikrobiell påväxt vid olika fuktillstånd för träkonstruktioner (Nevander & Elmarsson, 2006).

Olsson (2011) redovisar i sin rapport risken för mikrobiell påväxt på syllar som utsatts för regnvatten under en kortare period. Olsson beskriver att träkonstruktioner som utsätts för regnvatten och vattenuppsugning under ett till tre dygn löper risk för mikrobiell påväxt. Studien indikerar att ytor på virket med begränsad uttorkning hade en större mögelpåväxt jämfört med ytor med snabbare uttorkning. Däremot löper virke med kortvarig vattenuppsugning där det finns möjlighet till uttorkning samma dag liten risk för mögelpåväxt. Resultatet indikerar även att uttorkningstiden från att virket utsätts för vattenbelastning till att den relativa fuktigheten når ett värde på 80-85% är tre till sex veckor. Olssons studie är intressant i aktuell rapport eftersom uppfuktning i takkonstruktionen kan bidra till en långvarig hög relativ fuktighet som har orsakats av vattenbelastning.

3.2 Takkonstruktion

Yttertaketets uppgift är att vara en del av det skyddande klimatskalet. Vidare skall taket vara en del av den bärande och isolerande konstruktionen. Yttertaket ska skydda mot nederbörd i form av regn och snö som kan orsaka fuktrelaterade skador. Täta konstruktioner kan orsaka begränsningar för diffusion och konvektionsströmmar. En naturligt ventilerad takkonstruktion har öppna luftspalter där drivkraften för spalternas ventilation skapas av termik och framförallt tryckskillnader över klimatskalet på grund av vind. Generellt har luftspalten öppningar i takfot och ibland även i taknock. Vid flacka tak eller pulpettak kan ventilationen uppnås av endast

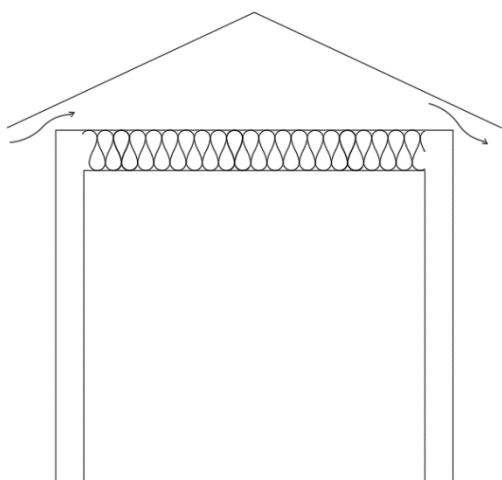
öppning vid takfoten medan vid branta tak eller sadeltak kan öppning i både takfot och taknock behövas för att uppnå tillräcklig ventilation i luftspalten. Luftspaltens syfte är att ventilerar ut vattenånga och byggfukt. Mekanisk ventilation som även benämns som styrd ventilation utnyttjar utomhusförhållandet och drivs av fläktar som ventilerar luftspalten endast om uteluften är torrare. Nederbörd i form av regn och snö, byggfukt som lagrats i material under byggprocessen, läckage, diffusion och konvektion samt otäta yttertak eller ventilationsöppningar är faktorer som kan orsaka fuktskador i takkonstruktionen (Arfvidsson, et al., 2017).

3.2.1 Parallelltak och kallvind

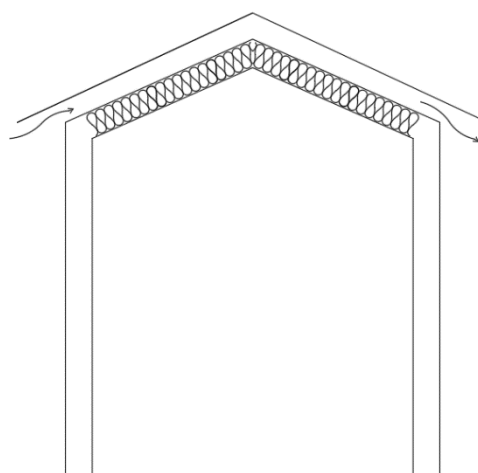
Parallelltak är en konstruktion där takets ytteryta och inneryta är parallella. Luftspalten i ett parallelltak löper längst med takets lutning. Den bärande konstruktionen har samma lutning som yttersidan på taket. Parallelltak är en konstruktion som vanligtvis byggs i trä. Luftspalten bör vara cirka 50 millimeter för att erhålla en gynnsam ventilation i ett parallelltak (Arfvidsson, et al., 2017).

Kallvind är en vanlig takkonstruktion av trä. Kallvind utgör utrymmet mellan de isolerade vindsbjälklaget och yttertaket. Kallvindar kan vara ventilerade eller oventilerade. Vid naturlig ventilerade kallvindar ventileras hela utrymmet genom öppen takfot, gavelventiler och/eller genom taknock. Ett tätt isolerat vindsbjälklag bidrar till att klimatet på kallvinden speglar utomhusklimatet (Arfvidsson, et al., 2017).

Skillnaden mellan parallelltak och kallvind är utformningen av det ventilerade utrymmet. Kallvinden utgör ett större ventilerat utrymme och samma temperatur och ånghalt uppstår i hela utrymmet (Arfvidsson, et al., 2017). Trots skillnader i konstruktionernas utformning påvisas ett samband mellan parallelltak och kallvind genom dess liknande fuktförhållanden och ventilation (Mundt-Petersen, 2016). Figur 3.4 och 3.5 illustrerar skillnaden i uppbyggnaden av kallvind och parallelltak.



Figur 3.4. Visar en kallvind

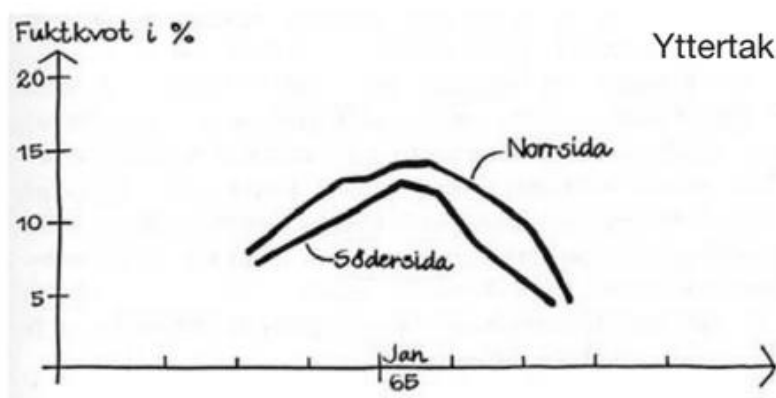


Figur 3.5. Visar ett parallelltak

3.2.2 Takriktning och takvinklar

Takets orientering har betydelse ur ett fukttekniskt perspektiv. Den nordliga orienteringen på takkonstruktioner utsätts för minst solljus. Det begränsade solljuset bidrar till att den nordliga delen av konstruktion generellt är den kallaste. Lägre temperatur bidrar till högre relativ fuktighet som föranleder att den relativa fuktigheten normalt sett är högre i tak orienterade mot norr. Bebyggelse och vegetation kan såväl orsaka skuggning på takkonstruktionen och bidra till kallare klimat i takkonstruktionen (Mundt-Petersen, 2016).

Esping (2005) beskriver takriktningens inverkan på fuktkvoten i konstruktionen. Fuktkvoten kommer variera utifrån klimatet, läget i Sverige samt läget i konstruktionen. Figur 3.6 visar variation i fuktkvot beroende på läget i konstruktionen. Nordlig orientering av yttertaket uppvisar högre fuktkvot i jämförelse med orientering mot söder.



Figur 3.6. Visar variationer i fuktkvoten på yttertaket på södersida respektive norrsida under januari (Esping, et al., 2005).

Takvinkeln utgör vinkeln mellan yttertaket och horisontalplanet. Vinkeln kan variera utifrån takkonstruktioner. Takmaterial skapar förutsättningar för vilka vinklar som är gynnsamma för det enskilda materialet. Flacka och branta tak begränsar valmöjligheten av takmaterial (Boverket, 2018). Taklutningen är en faktor som påverkar hur mycket solstrålning som träffar taket, såväl mängden strålning som lämnar taket under klara nätter. Variation i taklutningar bidrar till olika förutsättningar för strålning som direkt påverkar temperaturen i konstruktionen (Mundt-Petersen, 2016).

3.2.3 Ventilationsflöden i luftspalten

Ventilationsflödet i luftspalten på ett parallelltak varierar under dygnet. Vindriktning och vindhastighet är den primära källan till tryckskillnader över luftspalten som i sin tur ger upphov till ett naturligt ventilationsflöde. Takvinkel och luftspaltens utformning är ytterligare faktorer som kan påverka ventilationsflödet i luftspalten (Mundt-Petersen, 2016).

Mundt-Petersen (2016) beskriver att flödet bör vara erforderligt högt för att kunna ventileras ut fukt i konstruktionen. Lågt flöde i luftspalten kan orsaka fuktskador om fukttillskottet som tränger sig in i konstruktionen inte ventileras ut. Fukttillskott är en fuktbelastning av byggnadens användare vid exempelvis matlagning och tvätt. Däremot bör även ett högt luftflöde beaktas med försiktighet eftersom detta kan orsaka nedkylning av takkonstruktionen och ge upphov till fuktskador på grund av kondensbildning.

Nilsson (2009) belyser betydelsen av måttlig ventilation på kallvind och parallelltak. Han nämner även att mekanisk ventilation kan vara ett möjligt alternativ för att skapa bättre förhållanden på vindsutrymmen och takkonstruktioner med ursprunglig naturlig ventilation. Den mekaniska ventilationen reglerar ventilationsflödet i luftspalten. Vid gynnsamma

klimatförhållanden tillåts ett ventilationsflöde i luftspalten, däremot avstannar ventilationsflödet vid ogynnsamma klimatförhållanden.

3.2.4 Isolertjocklek

Nilsson (2009) beskriver problematiken med uteluftsventilerade tak och vindar. Stor mängd isolering i bjälklaget eller i takkonstruktionen påverkar konstruktionens beständighet mot fukt. Skillnaden i temperatur i konstruktionen kan orsaka att fuktig luft fälls ut på kallare delar av konstruktionen. Ökad mängd isolering bidrar till att yttertaket exponeras för ett kallare och fuktigare klimat eftersom värmeförlusten minskar i yttertaket. Fuktproblematiken som grundar sig i ökad isolermängd bidrar till att BBRs krav på fuktsäkerhet kan vara svåra att uppfylla. Samma fuktproblematik kan inte spåras tillbaka till äldre vindar och takkonstruktioner. I synnerhet på grund av mindre mängd isolering.

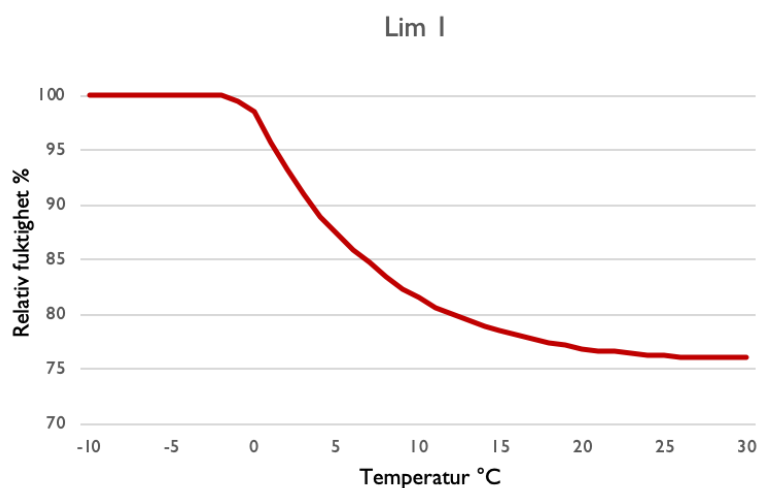
Mundt-Petersen (2016) beskriver hur fuktförhållandet varierar med isolertjockleken. Isolertjocklek i takkonstruktionen kan variera och skapa olika förutsättningar till mögelpåväxt. Resultatet från Mundt-Petersens studie indikerar att risken för mögelpåväxt ökar med isolertjocklek, dock är sambandet inte linjärt. Resultatet indikerar framförallt en försämring av fuktförhållande vid en ökning av isolering från 200 millimeter till 400 millimeter, därefter blir ökningen av isolertjocklek av mindre betydelse ur ett fukttekniskt perspektiv. Mundt-Petersens studie är intressant eftersom parallelltaket som analyserats i aktuell rapport varierar i mängd isolering.

3.3 Riskanalys

Risk för mögelpåväxt är vanligt förekommande i konstruktioner av trävirke. Mikrobiell påväxt påverkas av ogynnsamma förhållanden av fukt och temperatur, som är faktorer som varierar under dygnet och året. Generellt för modeller som uppmärksammar mögelpåväxt är att förutse när mögelpåväxt uppstår vid ett känt klimat, som påverkas av kunskap om relativ fuktighet och temperatur med ursprung från mätningar eller beräkningar.

Riskanalys syftar till en omfattande beskrivning av fukttekniska variationer av valda mätpunkter under önskad tidsperiod. Genom att studera resultaten från modellen finns det möjlighet att se vilka faktorer som påverkar risken för mögelpåväxt. Det kvantitativa resultatet beskriver risken för mögelpåväxt, som utifrån tidsaxeln ger uppfattning om varaktigheten. Varaktighet är en faktor med stor betydelse för att beskriva förloppet om hur risken för mögelpåväxt fortskrider eller avtar (Mundt-Petersen, 2016).

Den kritiska gränsen för relativ fuktighet i riskanalysen beskriver när påväxt är möjlig och styrs av en temperaturberoende variabel nivå, se Bilaga 1 för uppbyggnad den variabla nivån. Nivån bygger på LIM 1 som är den temperaturberoende lägsta relativa fuktighet när ingen mögelpåväxt förväntas uppstå, se Figur 3.7 (Sedlbauer, 2001). Den kritiska nivån som illustreras i modellen förhåller sig till Boverkets föreskrift 6.52 - *Högsta tillåtna fukttillstånd*. En gräns på 75 % relativ fuktighet som bör tillämpas för kritiska fukttillstånd (Boverket, 2019).



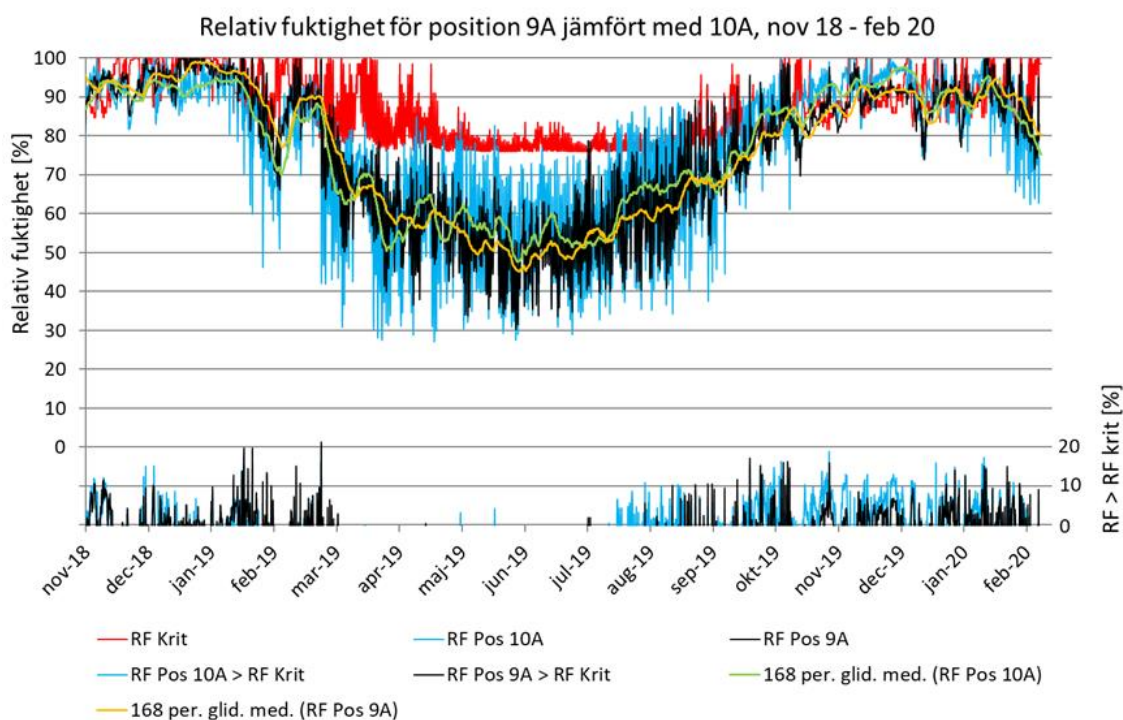
Figur 3.7 Visar den kritiska relativa fuktigheten vid varierande temperatur, baserad på (Sedlbauer, 2001).

För att utvärdera risken för mögelpåväxt i studien används en riskanalys för att visualisera och bedöma om och när mögelpåväxt i konstruktionen förväntas uppstå. Analysen tar hänsyn till att jämföra en eller flera mätpunkter, samt att utvärdera risk för mikrobiell påväxt genom Folos diagram (Mundt-Petersen, 2015). Mätdata för relativ fuktighet, temperatur och fuktkvot har registrerats varje timme under mätperioden. Analysen presenterar tre diagram, första diagrammet belyser risk för mögelpåväxt över tid, se Figur 3.8. Andra diagrammet jämför temperatur, se Figur 3.9 samt tredje diagrammet illustrerar fuktkvot och ånghalt, se Figur 3.10.

Loggrar har registrerat mätdata under varje timme i cirka 16 månader. På grund av den stora mängden mätdata har ett antal diagram tillämpats rullande medelvärden som representerar trendlinjer. Mätresultatet varierar i hög grad mellan timmar och dygn och är i ursprungligt format otydliga. Trendlinjerna fyller en funktion som underlättar avläsning och analys. Rapporten behandlar två trendlinjer med olika tidsintervall som representerar 72 timmar (tre dygn) och 168 timmar (sju dygn). Referensmätningen behandlar en stor mängd mätpunkter i varje diagram och kan inte presenteras på samma sätt som parameterstudien som endast behandlar två mätpunkter. Trendlinjer på 72 timmar redovisas självständigt i diagrammen och tillämpas i referensmätningen. Syftet med referensmätningen och vald trendlinje är att uppmärksamma skilda variationer. Trendlinjer på 168 timmar redovisas i kombination med det

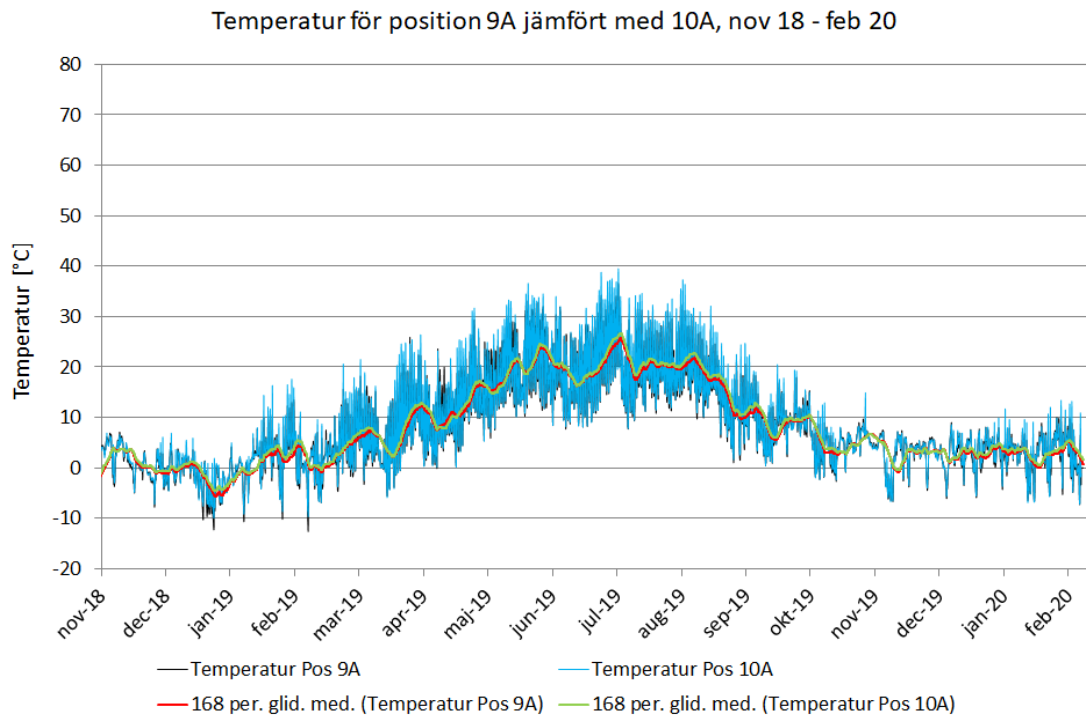
ursprungliga mätresultatet i parameterstudien. Syftet med parameterstudien och vald trendlinje är att uppmärksamma variationer i två mätpunkter.

Figur 3.8 visar ett exempel från riskanalysen. Figuren illustrerar hur relativ fuktighet varierar för angivna mätpunkter under tidsperioden. "RF Pos 9A" och "RF Pos 10A" beskriver den aktuella relativa fuktigheten för varje timme för position 9A och 10A under angiven tidsperiod och illustreras i diagrammets överkant. "RF Krit" illustrerar den kritiska gränsen för relativ fuktighet och illustreras med en röd linje. Den kritiska gränsen för den relativa fuktigheten beskriver när risk för mögelpåväxt är möjlig. "RF Pos 9A > RF Krit" och "RF Pos 10A > RF Krit" beskriver när den relativa fuktigheten för position 9A och 10A överskrider den kritiska gränsen för relativ fuktighet. När den kritiska gränsen överskrids uppmärksammas det i underkant i diagrammet, se Figur 3.8. "168 per. glid. med. (RF Pos 9A)" och "168 per. glid. med. (RF Pos 10A)" illustrerar ett rullande medelvärde för relativ fuktighet på 168 timmar som representerar sju dagar. Trendlinjens funktion i riskanalysen förenklar avläsningen i diagrammet.



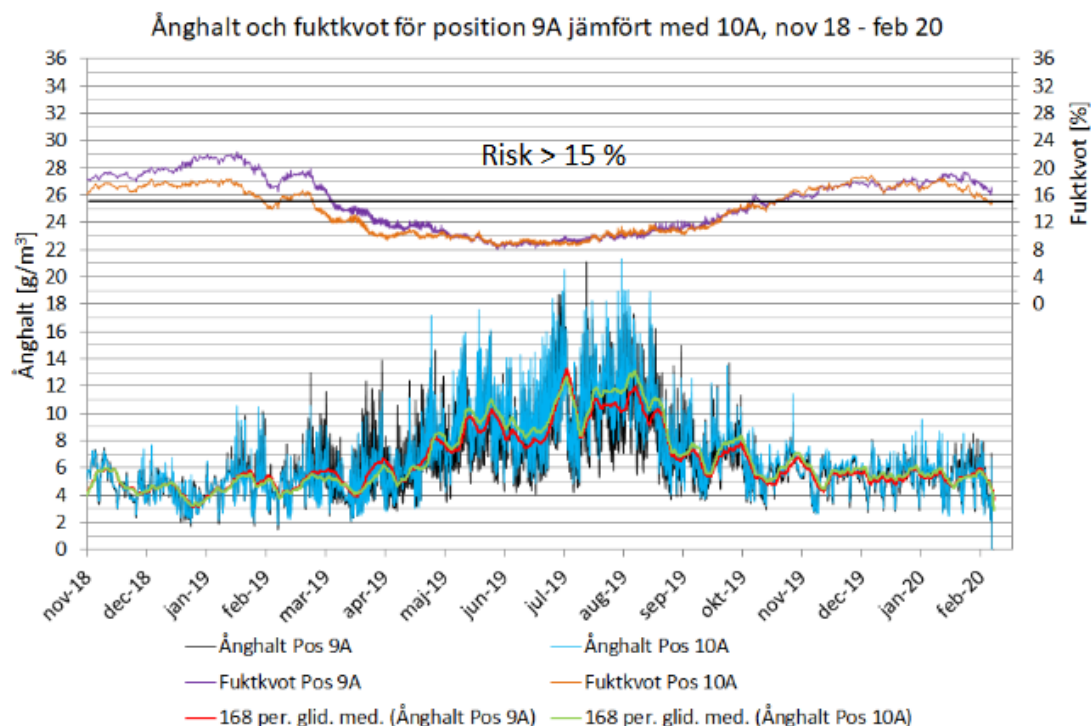
Figur 3.8. Visar RF position 9A (svart överkant) och RF position 10A (blå överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 9A RF Krit (svart underkant) och 10A RF Krit (blå underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 9A)(gul) och 168 per. glid. med. (RF position 10A)(grön), beskriver ett rullande medelvärde för den relativa fuktigheten på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 3.9 visar ett exempel från riskanalysen. Figuren illustrerar variationer i temperaturen under tidsperiod för angivna mätpunkter. ”Temperatur Pos 9A” och ”Temperatur Pos 10A” illustrerar respektive mätpunkts temperatur under varje timme. Dessutom har en trendlinje tillämpats och illustrerar ett rullande medelvärde för position 9A och 10A med beskrivningen “168 per.glid.med. (Temperatur Pos 9A)” och “168 per.glid.med. (Temperatur Pos 9A). Det rullande medelvärdet illustrerar 168 timmar och representerar sju dagar.



Figur 3.9. Temperatur position 9A (svart) och temperatur position 10A (blå) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 9A)(röd) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 10A)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 3.10 visar ett exempel från riskanalysen. Figuren illustrerar förhållandet mellan fuktkvot och ånghalt under mätperioden för de angivna mätpunkterna. “Fuktkvot Pos 10A” och “Fuktkvot Pos 9A” beskriver resultatet av fuktkvot för mätpunkt 10A och 9A. När fuktkvoten överskrider den kritiska fuktkvoten på 15 % finns det risk för mögelpåväxt. Ånghalten i respektive mätpunkt representeras med en trendlinje med ett rullande medelvärde på 168 timmar, “168 per. glid. med. (Ånghalt Pos 10A)” och “168 per. glid. med. (Ånghalt Pos 9A)” beskriver det rullande medelvärdet av ånghalt för mätpunkt 10A och 9A.



Figur 3.10. Fuktkvot position 9A (lila) och fuktkvot position 10A (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. Ånghalt position 9A (svart) och ånghalt position 10A (blå) visar ånghalt i luftspalt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Ånghalt position 9A) (röd) och 168 per. glid. med. (Ånghalt position 10A) (grön) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 168 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

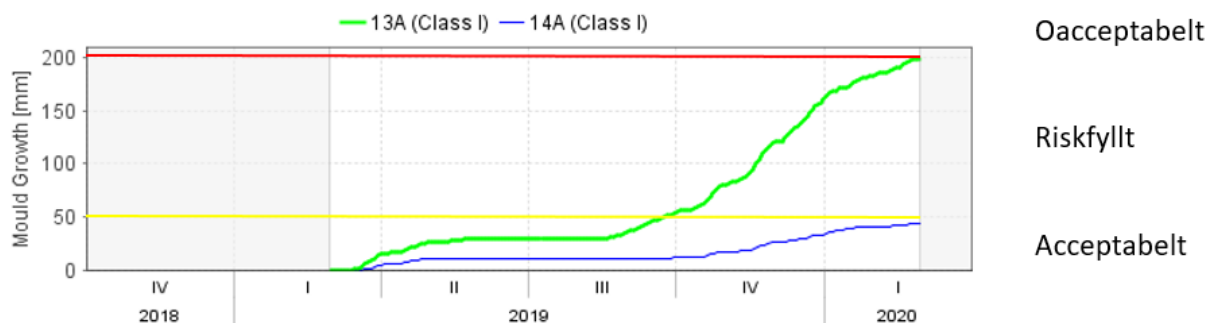
3.4 Mögelmodell, WUFI Bio

Takkonstruktioner är en riskkonstruktion på grund av hög risk för mikrobiell påväxt. WUFI Bio är ett simuleringsprogram som beräknar ett mögelindex i konstruktionsdelar. Simuleringen beaktar temperatur, relativa fuktighet och varaktighet. Dessutom tar programmet hänsyn till hur mottaglig materialet är för mögelpåväxt. Simuleringen jämför uppmätta förhållanden i omgivningen med tillväxtförhållanden som krävs för att mögelpåväxt ska kunna uppstå. Notera att WUFI Bio beräknar risken för mögelpåväxt och inte den faktiska tillväxten. Mögelmodellen bygger på en förenklad bild av verkligheten, det vill säga modellen förutsätter att vissa antaganden är uppfyllda, uppfylls inte antaganden i praktiken så blir resultatet från modellen missvisande. Programmet är specialiserat på mögelarter som ofta förekommer i byggnadsmaterial (WUFI, u.d.).

WUFI Bio bygger på teorin att en mögelspor har en viss potential att ta upp vatten från sin omgivning. När mögelsporerna överskrider det kritiska vatteninnehållet antas mögelpåväxt fortskrida. Om det kritiska vatteninnehållet överstiger den kritiska nivån kommer simuleringen illustrera påväxt av mögel. Däremot om det endast sker sporadisk och under en kortare period behöver påväxt inte nödvändigt ske i den verkliga konstruktionen. För mer detaljerad beskrivning av mjukvaran se referens (Hopfe & McLeod, 2015)

WUFI Bio redovisar ett fiktivt mögelindex i millimeter påväxt under ett år. Mjukvaran anger gränsvärden för hur många millimeter påväxt som är acceptabelt, riskfyllt samt oacceptabelt. Påväxt under 50 millimeter per år anses vara acceptabelt. Påväxt mellan 50-200 millimeter per år anses riskfyllt. Nivåer över 200 millimeter per år anses oacceptabelt. (WUFI, u.d.), se Figur 3.11.

Figur 3.11 illustrerar ett exempel från mögelmodellen. Diagrammet visar förhållandet mellan mät punkt 14A (mekanisk ventilation) och 13A (naturlig ventilation). X-axeln representerar tid och y-axeln representerar mögelpåväxten i millimeter. Resultatet beskriver antalet millimeter påväxt under ett år för angivna mätpunkter. Den blå kurvan som representerar 14A (mekanisk) har en beräknad påväxt på ca 45 millimeter per år som anses vara acceptabelt. Mät punkt 13A (naturlig ventilation) har en påväxt på 200 millimeter per år som anses vara oacceptabelt. Det bör även noteras att det finns mätdata för cirka 16 månader, men WUFI Bio beräknar ett mögelindex för endast ett år. Vald mätperiod är februari 2019 till februari 2020. Däremot är det möjligt att flytta tidsramen till en annan startpunkt under mätperioden.



Figur 3.11. Visar mögeltillväxt för position 13A (grön) och mögeltillväxt för position 14A (blå) i millimeter per år.

Aktuell studie har tillämpat WUFI Bio för ett fiktivt mätresultat av förväntad mögelpåväxt i parallelltaket. Simuleringen är intressant för olika positioner i konstruktionen och är ett verktyg för samtliga analyser i studien.

4. Beskrivning av konstruktionen

I denna del av rapporten beskrivs byggnaden och dess studerade parallelltak. Vidare beskrivs mätpunkter, loggrar och dess placering, ytterligare variationer samt förutsättningar för ventilation i de studerade spalterna.

4.1 Studerad byggnad

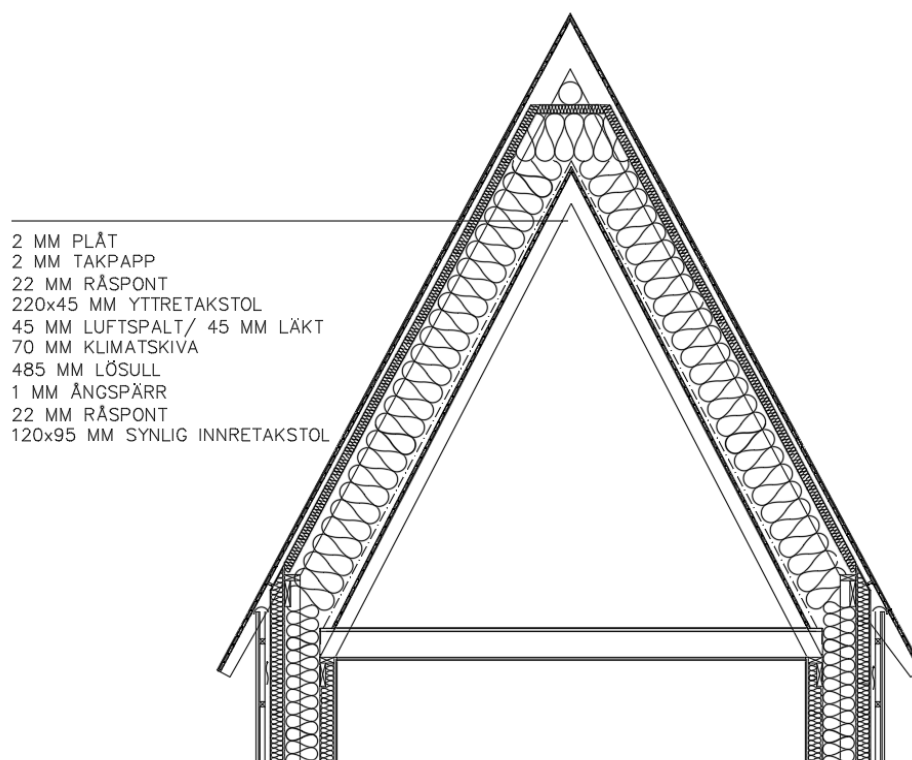
Bostadshuset är ett suterränghus med tre våningar. Takkonstruktionens uppbyggnad innefattar två sadeltak som möts vinkelrätt. Ett av sadeltaken utgör den större delen av taket som är genomgående från husets västra sida till husets östra sida och benämns ”Skeppet”. Sadeltaket i vinkel mot ”Skeppet” utgör en mindre del av taket som är placerad i nordlig riktning och benämns ”Tarmen”. Taket innefattar även tre torn i byggnadens sydvästra, sydöstra och nordvästra riktning. Dessa kommer inte behandlas i aktuell rapport. Tornet i nordvästlig riktning är en tillbyggnad som inte finns med i angivna stomritningar.

”Skeppet” innefattar ett brant tak med en taklutning på 62 grader och en isolertjocklek med lösull på 485 mm samt en klimatskiva på 70 mm. ”Tarmens” taklutning är 45 grader och har en isolertjocklek på 380 mm lösull samt 70 mm klimatskiva, se Tabell 4.1.

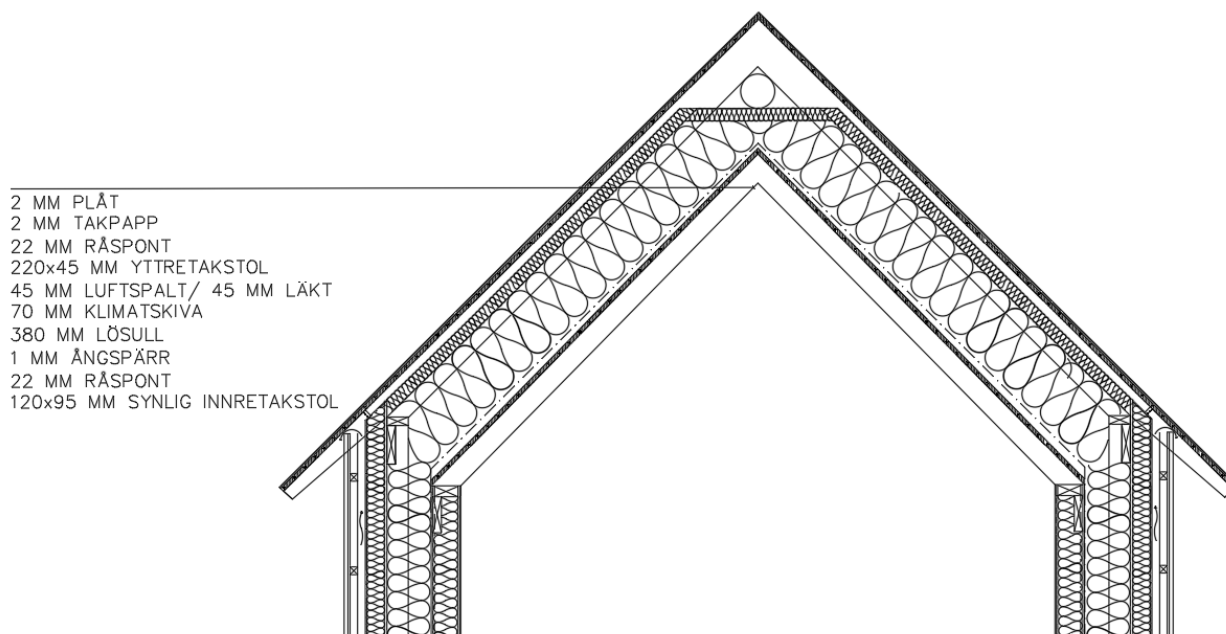
Tabell 4.1 Beskriver luftspalternas taklutning och isolertjocklek.

Tak	Spalt nummer	Lutning (grader)	Isolering (mm)
Skeppet	1-12	62	485+70
Tarmen	13-17	45	380+70

Taken är av utformningen parallelltak och har en inre och yttre takstol av trä. Takets uppbyggnad utifrån och in är av plåt, takpapp, råspont (gran), yttertakstol parallellt med luftspalt och läkt, klimatskiva, lösull, ångspärr, råspont och synlig innertakstol, se detaljritning för uppbyggnad av taken i Figur 4.1 och 4.2. Figur 4.3 visar parallelltaket under montering av råspont och ångspärr. Figur 4.3 illustrerar även den yttre och inre takstolen. Utrymmet mellan takstolarna utgör lösull idag.



Figur 4.1. Visar detaljritning för parallelltak Skeppet med taklutning 62 grader och isolertjocklek 485 mm.



Figur 4.2. Visar detaljritning för parallelltak Tarmen med taklutning 45 grader och isolertjocklek 380 mm.



Figur 4.3. Visar utrymmet mellan takstolarna i Skeppet innan utrymmet fylldes med lösull.

Figur 4.4 visar det studerade objektet i söderläge. Figuren visar “Skeppet” som har en taklutning på 62 grader och med en isolertjocklek på 485 mm. Figuren visar även två torn, men dessa behandlas inte i rapporten.



Figur 4.4. Visar det studerade objektet i söderläge mot Skeppet.

Figur 4.5 visar det studerade objektet i östlig riktning och visar både “Skeppet” och “Tarmen”. “Tarmen” har en taklutning på 45 grader och en isolertjocklek på 380 mm som går vinkelrätt mot “Skeppet”.



Figur 4.5. Visar det studerade objektet i östlig riktning. Skeppet är det brantare taket i figuren. Taket som går vinkelrätt från Skeppet är Tarmen.

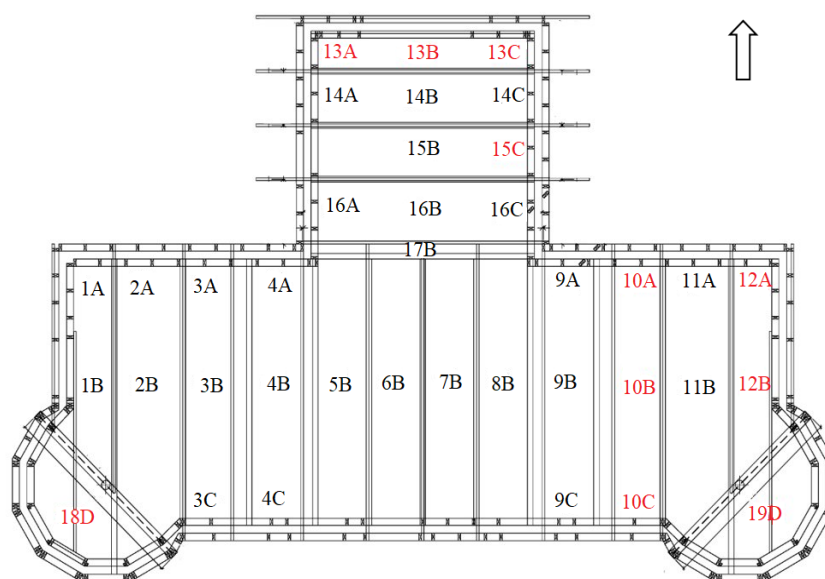
Figur 4.6 visar det studerade objektet i västlig riktning. Notera att samtliga torn på byggnaden går att urskilja i Figur 4.6, men kommer inte behandlas i rapporten.



Figur 4.6. Visar det studerade objektet i västlig riktning. Det brantare taket i figuren är Skeppet.

4.2 Mätpunkter och mätinstrument

Val av mätinstrument såväl placering av mätpunkter var valda innan påbörjad studie. Ett urval av tillgängliga mätpunkter har utförts under studien för att begränsa omfattning av studien. Figur 4.7 redovisar alla tillhandahållna mätpunkter. Notera att dessa utgör fler punkter än vad rapporten behandlar och analyserar. Parallelltaket är uppbyggt med en mängd luftspalter, se Figur 4.7. Luftspalt nummer 1 till 12 utgör delen som benämns “Skeppet” och luftspalt nummer 13 till 17 utgör delen som benämns “Tarmen”.



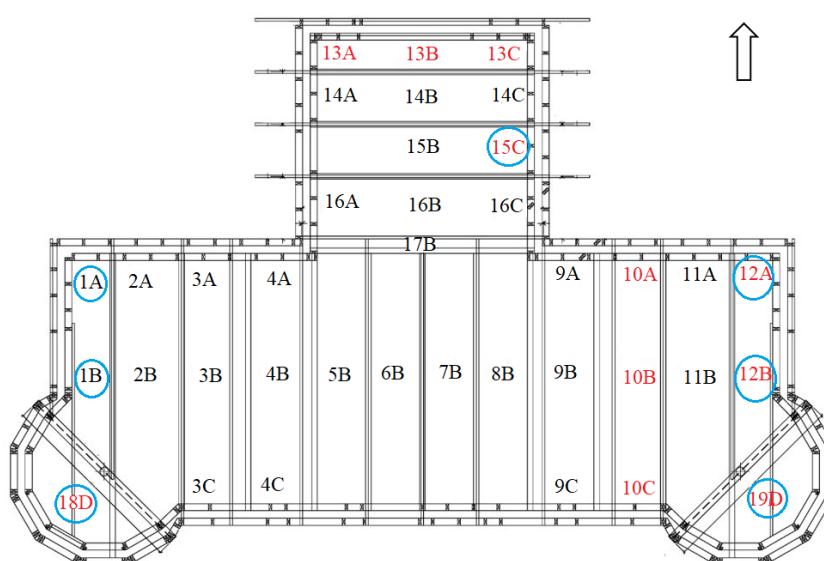
Figur 4.7. Visar samtliga luftspalter och mätpunkter i befintlig byggnad. Den mekaniska ventilationen är markerad med svarta siffror. Den naturliga ventilationen är markerad med röda siffror.

Monterade mätinstrument utgörs av loggrar som mäter temperatur, relativ fuktighet och fuktkvot. För mer information om mätinstrumenten se referens (GE sensing, 2006). Det bör beaktas att det finns begränsningar hos alla mätmetoder som skapar en mätosäkerhet. Omfattningen av mätosäkerheten beror på mätinstrumentet och handhavande (Esping, et al., 2005). Mätosäkerheten är en viktig aspekt i avseendet och bör beaktas. Genom att utföra en referensmätning i ett tidigt skede kan stora osäkerheter i mätresultat uteslutas alternativt att samtliga mätresultat har samma relativa fel i förhållande till varandra. Referensmätningen innebär att flera mätpunkter med liknande förutsättningar jämförs med varandra. Finns det stora variationer i mätresultatet hos en eller flera mätpunkter i resultatet bör detta beaktas. Uppvisar en eller flera mätpunkter stora variationer gentemot varandra finns det med stor sannolikhet mätosäkerheter i resultatet.

4.3 Mekanisk och naturlig ventilation

Undersökningen behandlar mekanisk ventilation med stängd takfot och naturlig ventilation med öppen takfot. Mekanisk ventilation utnyttjar hygrodyamisk avfuktning. Fullt mekanisk ventilation har helt slutna luftspalter och ventileras av utomhusluften endast vid gynnsamma väderförhållanden. Ventilationen regleras av sensor och fläkt. Luftspalten ventileras genom att utnyttja självdrag under hela året skapad av tryckförhållanden genom vind och termiska drivkrafter.

Rapporten behandlar ”fullt” mekanisk och ”fullt” naturlig ventilation. Däremot finns det ytterligare variationer i taket som inte behandlas i rapporten. Dessa utgör ”begränsad” mekanisk ventilation och ”begränsad” naturlig ventilation. ”Begränsad” mekanisk ventilation innebär att luftspalten ventileras med mekanisk ventilation, men har en öppen luftspalt som även tillåter naturlig ventilation, se Figur 4.8 och luftspalt 1. ”Begränsad” naturlig ventilation har en öppen takfot och en stängd takfot, således blir den naturliga ventilationen begränsad, se Figur 4.8 och luftspalt 12, 15, 18 och 19. Begränsad ventilation kommer inte behandlas vidare i rapporten. Däremot är det av intresse vart dessa mätpunkter är belägna.



Figur 4.8. Visar samtliga luftspalter och mätpunkter i befintlig byggnad. Blå markeringar visar begränsad ventilation. Röda siffror med blå markeringar representerar begränsad naturlig ventilation. Blå markeringar med svarta siffror representerar begränsad mekanisk ventilation.

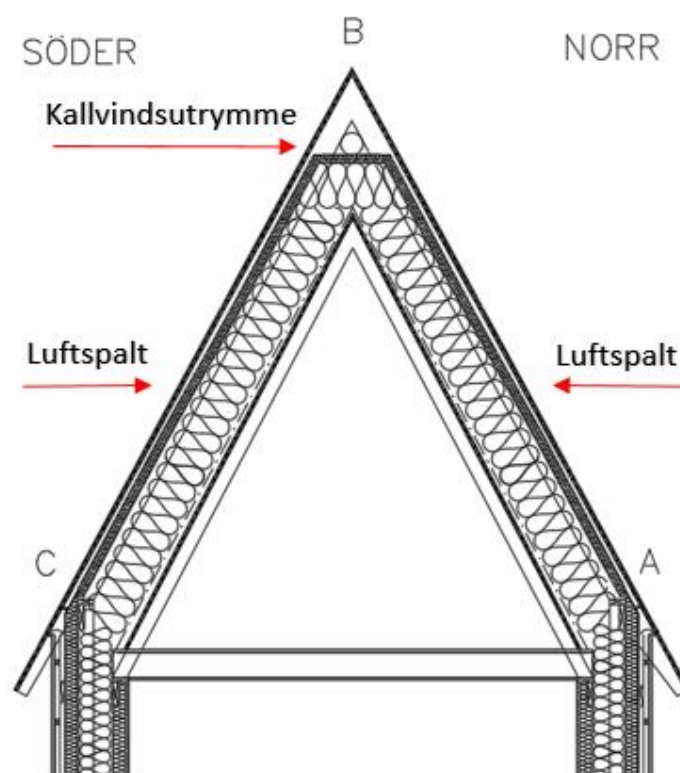
4.4 Fläktar och sensorer

Det studerade objektet är delvis mekaniskt och styrs av fläktar och sensorer. Ventilationen utnyttjar hygrodyrisk avfuktning genom att begränsa ventilationen i takkonstruktionen. Hygrodyrisk avfuktning utnyttjar luftströmmarna under torra perioder för att ventileras och torka ut fukt från konstruktionen. Systemet är modulärt och kan utökas med flera fläktar eller värmekablar vid behov. Fläktarna har en maximal effekt på 610 W och kapacitet på $350 \text{ m}^3/\text{h}$. För mer information om fläktar och sensorer se referens (Trygghetsvakten, u.d.).

Fläktarnas sensorer är monterade dels i luftspalt nummer 11 och 16 i parallelltaket och dels utomhus. Sensorerna mäter temperatur och ånghalten i takets luftspalt och i utomhusluften. Förhållandet mellan parametrarna reglerar den mekaniska ventilationen huruvida den är på eller avstängd. Luftspalter som regleras av mekanisk ventilation har en sluten takfot och taknock. Perforerade spirorör löper inne i kallvindsutrymmet längs med taknocken med utlopp för mekanisk ventilationen i respektive luftspalt mellan takstolarna, se Figur 4.9 och 4.10. I luftspalter med naturlig ventilation är spiroröret slutet utan perforering. Figur 4.11 beskriver var spiroröret är perforerat, d.v.s. mekanisk ventilation. Dessa är markerade med luftspaltens numrering.

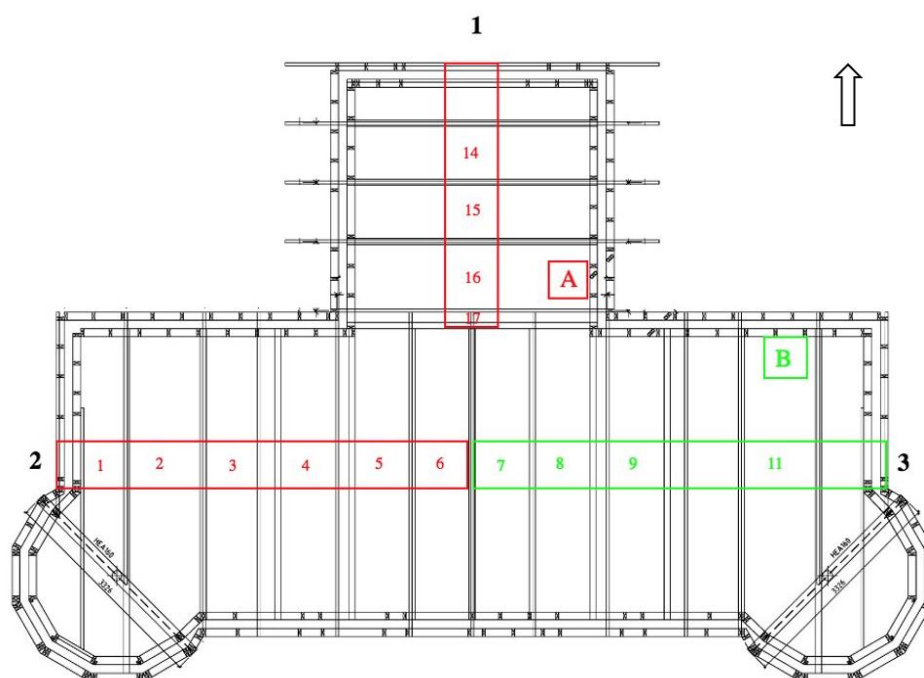


Figur 4.9. Visar det perforerade spirorör som löper inne i kallvindsutrymmet längs mednocken med utlopp för mekanisk ventilationen i respektive luftspalt mellan takstolarna.



Figur 4.10. Visar luftspalter och kallvindsutrymme i "Skeppet".

Den befintliga byggnaden är utrustad med tre fläktar och två sensorer, se Figur 4.11. Sensorerna är monterade på östra respektive norra sidan av parallelltaket och utgör referenspunkter. Sensor "A" reglerar två av bostadens fläktar, således norra (1) och västra (2). Sensor "B" reglerar bostadens östra (3) fläkt. Notera att det är klimatet vid sensor "A" respektive sensor "B" som definierar klimatet i resterande konstruktion. På samma sätt är det endast utomhusklimatet vid anslutande sensorer som mäter det rådande utomhusklimat. Klimatet i takkonstruktionen kan variera beroende på väderstreck, taklutning och isolertjocklek. Således finns det en viss osäkerhet mellan utomhusklimatet respektive klimatet i respektive luftspalt på resterande delar av parallelltaket som inte utgör referenspunkter.



Figur 4.11. Visar fläktar och sensorer i det befintliga parallelltaket. Sensor A i riktning mot öster (röd) styr fläkt 1 och 2 (röd). Sensor B i riktning mot norr (grön) styr fläkt 3 (grön).

Fläktarna har av produktionstekniska och andra oförutsedda orsaker varit avstängda vid enstaka tillfällen. Kända perioder som fläktarna varit avstängda eller sannolikt varit avstängda är:

- 3 – 10 januari 2019 (strömavbrott, garanterat avstängda)
- 7 – 13 februari 2019 (eventuellt avstängd)
- 28 oktober – 3 november 2019 (delvis avstängda)
- 13 – 19 januari 2020 (sannolikt avstängda)

Brukarbeteende kan ha orsakat att fläktarna helt eller delvis varit avstängda under ytterligare perioder. Avstängd ventilation skapar en viss osäkerhet i resultatet.

4.4.1 Position av mätinstrument (logger)

Respektive logger har innan påbörjad studie samlat data i läkt och råspont i luftspalten och omgivande klimat under en tidsperiod på cirka 16 månader. Mätpunkter orienterade mot ett väderstreck har en logger monterad i läkt, en meter över takfoten, se Figur 4.12. Mätpunkter i taknock har en logger monterade mot råsponten, se Figur 4.13.



Figur 4.12. Exempel på mätpunkt i läkt en meter över takfot orienterad mot söder.



Figur 4.13. Exempel på mätpunkt i råspont i taknock.

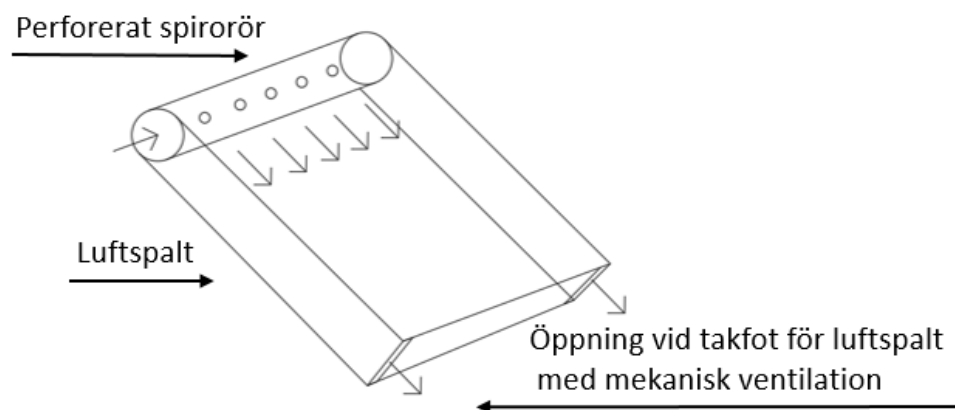
4.4.2 Luftspalter och luftomsättning

Luftspalterna i det studerade objektet ventileras delvis mekaniskt. Fläktarna styr ventilationen och luftflödet i takkonstruktionen. Syftet med ventilationen är att ventileras ut fukt från konstruktionen. Ett lågt luftflöde skulle kunna innebära att fuktig luft stannar kvar i konstruktionen, istället för att ventileras ut ur konstruktionen. Luftflödet är följaktligen en viktig aspekt som påverkar resultatet av den mekaniska ventilationen i studien.

Det bör noteras att det finns osäkerheter i volym av det ventilerade utrymmet, dessutom är takkonstruktionen inte ett helt stängt system eftersom det finns ett visst luftläckage genom intilliggande luftspalter och mycket små öppningar vid luftspaltens takfot. Luftflödet i luftspalterna kontrolleras inte av någon mätsensor. Således är det komplext att prognosera luftomsättningens påverkan i luftspaltera med mekanisk ventilation. Den aktuella rapporten kan inte konstatera att den mekaniska ventilationen fungerar likt förväntat eftersom det krävs mätningar av lufthastigheten i olika punkter i luftspalten. Såväl innebär beräkningar av luftflödet avancerade och omfattande beräkningar som inte har genomförts på grund av tidsbegränsningar.

Sammanfattningsvis är luftflödet en viktig aspekt som påverkar resultatet i aktuell studie. Luftflödet har avgränsats eftersom det inte saknas mätdata från luftomsättningen och på grund av tidsbegränsningar. Aktuellt resultat utgår ifrån okänt luftflöde och bör beaktas i resultatet.

Figur 4.14 visar en förenklad bild av det perforerade spiroröret och dess utlopp till luftspalter med mekanisk ventilation. Notera att figuren illustrerar en svår geometri som gör beräkningar av luftomsättningen komplex.



Figur 4.14. Visar en förenklad bild av luftflödets rörelse i luftspalter med mekanisk ventilation.

5. Referensmätning – Mekanisk ventilation

Referensmätning genomförs på mätpunkter med liknande förutsättningar som inte bör skilja sig mycket. Mätningen genomförs för att utesluta osäkerhet inför vidare parameterstudie. Aktuell referensmätning kommer först behandla mekanisk ventilation i “Skeppet” och vidare mekanisk ventilation i “Tarmen”, se Tabell 5.1. Mätpunkterna som jämförs i referensmätningen är framförallt utvalda på grund av väderstreck. Alla mätpunkter kommer inte behandlas i referensmätningen. Mätpunkterna med mekanisk ventilation som inte behandlas i referensmätningar kommer inte tas upp i vidare parameterstudie.

Tabell 5.1. Schema över kommande referensmätningar.

Referensmätning	Mätposition A	Mätposition B	Mätposition C
Mekanisk ventilation, Skeppet	3A, 4A, 9A, 11A	3B, 4B, 9B, 11B	3C, 4C, 9C
Mekanisk ventilation, Tarmen	14A, 16A	14B, 15B, 16B, 17B	14C, 16C

Alla mätningar utförs under perioden november 2018 till februari 2020. Trendlinjer tillämpas för temperatur och ånghalt i kommande diagram i referensmätningen. Trendlinjen representerar ett rullande medelvärde på 72 timmar, som motsvarar tre dagar. Riskanalys och mögelmodell från WUFI Bio kommer presenteras i analysen samt kompletterande diagram med relevans, övriga diagram presenteras i bilagor.

5.1 Jämförelse - Mekanisk ventilation, Skeppet

Samtliga mätpunkter i aktuellt kapitel är placerade i delen som benämns “Skeppet” och styrs av mekanisk ventilation och har samma isolertjocklek och samma taklutning. Mätpunkterna 3A, 4A, 9A och 11A har likvärdiga förutsättningar förutom skild fläkt och sensor. Alla fyra mätpunkter sitter cirka en meter över den stängda takfoten i nordlig riktning, se Tabell 5.2 och Figur 5.1.

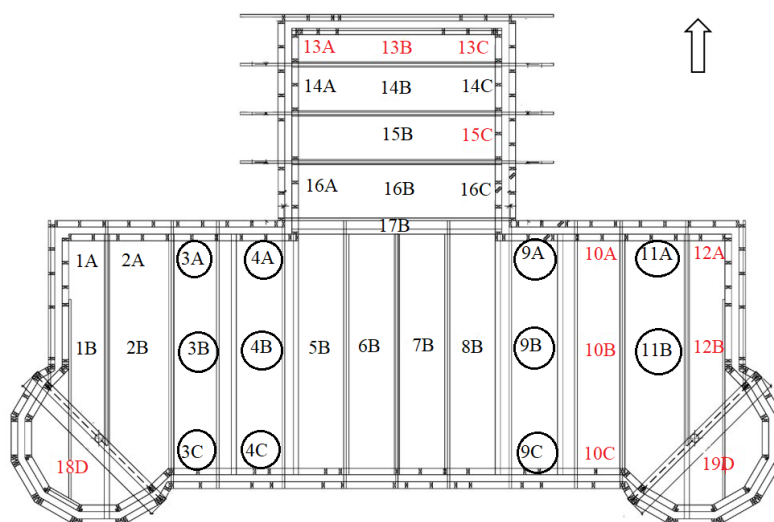
Mätpunkterna 3B, 4B, 9B och 11B har likvärdiga förutsättningar förutom anslutning till samma sensor och fläk. Alla fyra mätpunkter är placerade i taknock, se Tabell 5.2 och Figur 5.1.

Mätpunkterna 3C, 4C och 9C har likvärdiga förutsättningar förutom anslutning till samma sensor och fläkt. De tre mätpunkterna sitter cirka en meter över den stängda takfoten i sydlig

riktning, se Tabell 5.2 och Figur 5.1. Det är goda förutsättningar för referensmätning i samtliga mätningar.

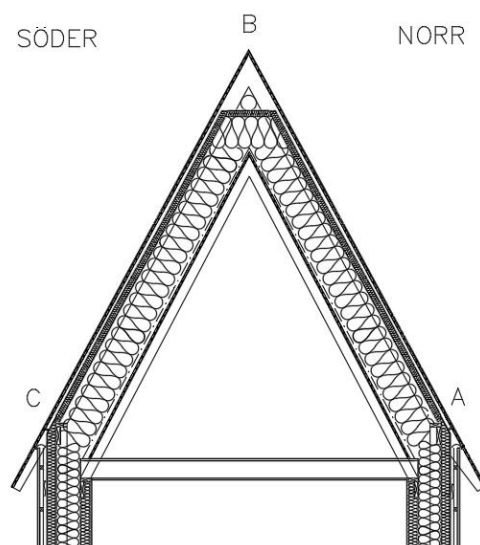
Tabell 5.2. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

Mätpunkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
3A 4A 9A 11A	Mekanisk ventilation Taklutning: 62 grader Isolertjocklek: 485 mm Position: Norr	Fläkt Sensor
3B 4B 9B 11B	Mekanisk ventilation Taklutning: 62 grader Isolertjocklek: 485 mm Position: Taknock	Fläkt Sensor
3C 4C 9C	Mekanisk ventilation Taklutning: 62 grader Isolertjocklek: 485 mm Position: Söder	Fläkt Sensor



Figur 5.1a. Visar mätpunkter i aktuell referensmätning i skeppet. Samtliga mätpunkter utgör mekanisk ventilation.

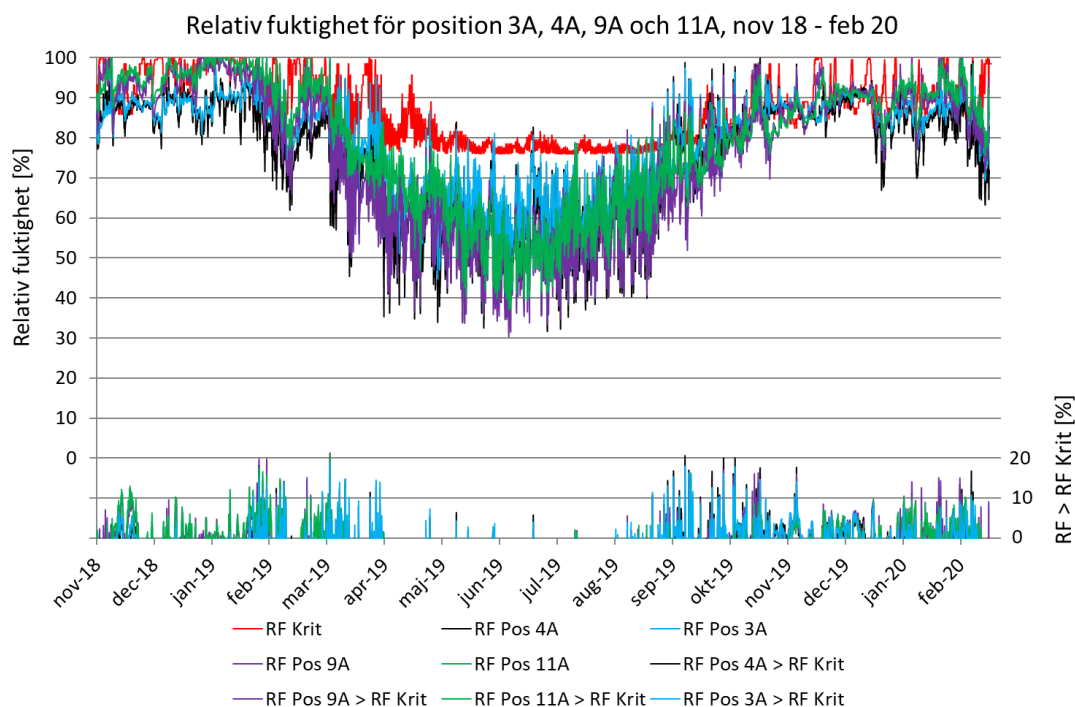
Figur 5.1b visar tvärsnittet för parallellttaket belägen i “Skeppet”. Position “C” representerar söder, “B” representerar taknock och “A” representerar norr.



Figur 5.1b. Visar positionerna och orientering för mätpunkterna i Skeppet med taklutning på 62 grader och isolertjocklek på 485 mm.

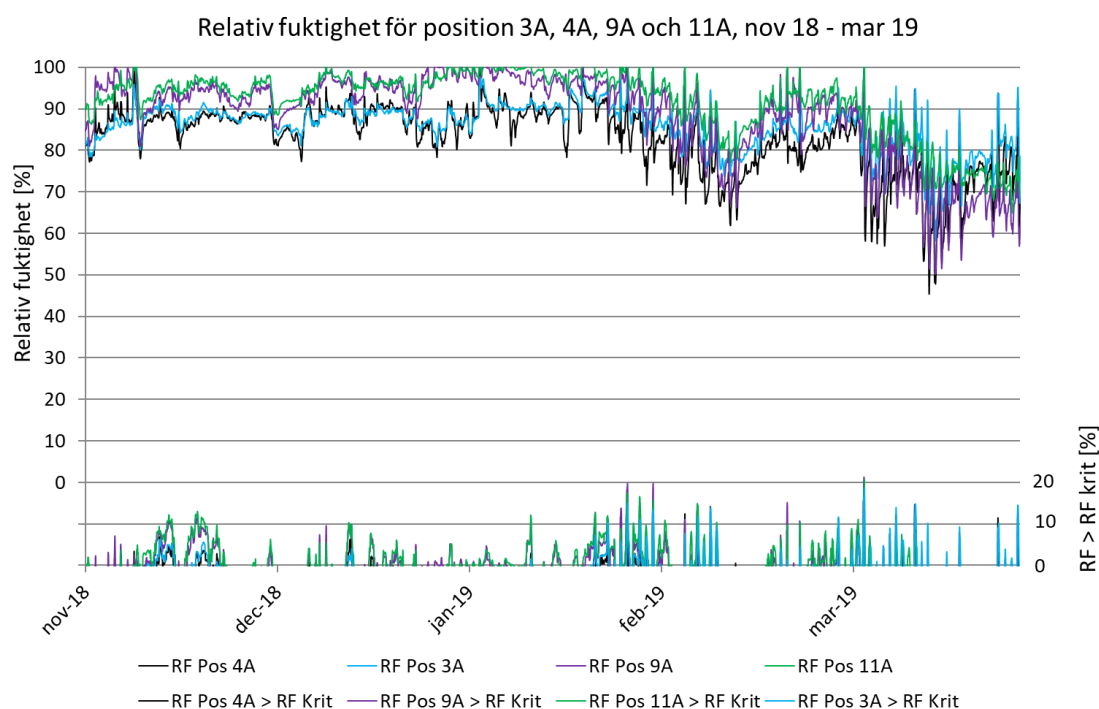
5.1.1 Resultat av riskanalys - Mekanisk ventilation, Skeppet

Figur 5.2a illustrerar variationer av den relativ fuktighet mellan november 2018 till februari 2020 för fyra mätpunkter med mekanisk ventilation. Samtliga mätpunkter sitter i luftspalten i nordlig orientering. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



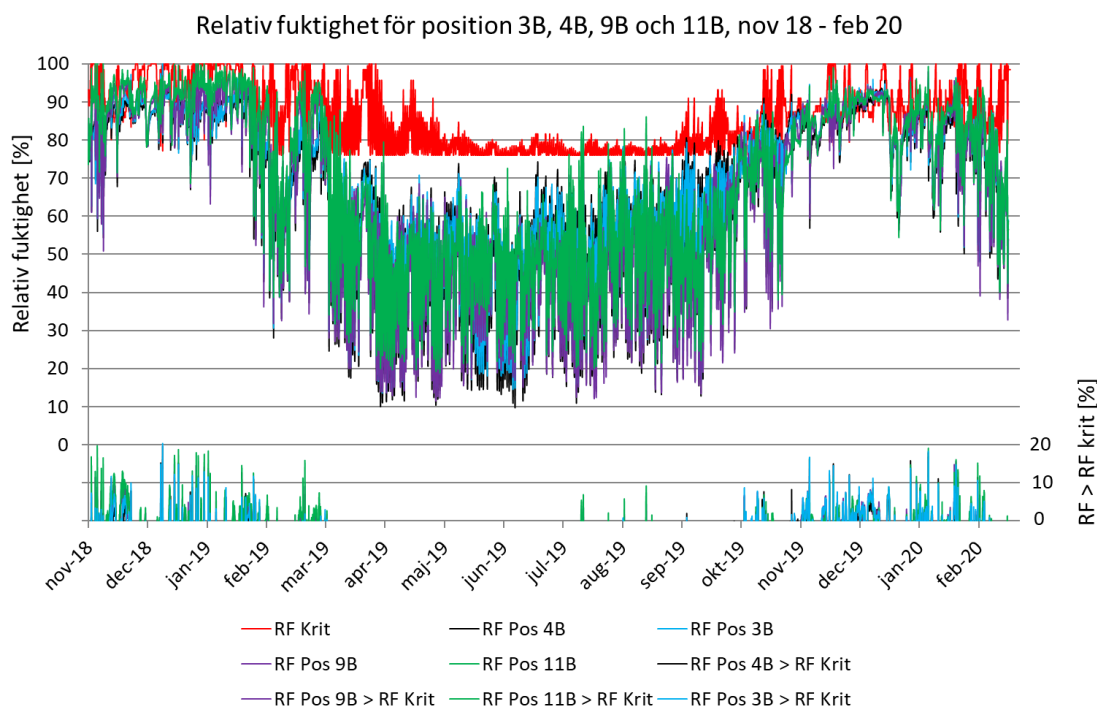
Figur 5.2a. Visar RF position 3A (blå överkant), RF position 4A (svart överkant), RF position 9A (lila överkant) och RF position 11A (grön överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 3A RF Krit (blå underkant), 4A RF Krit (svart underkant), 9A RF Krit (lila underkant) och RF position 11A RF Krit (grön underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

Figur 5.2b illustrerar variationer i den relativa fuktigheten för mätpunkterna 3A, 4A, 9A och 11A under mätperioden november 2018 till mars 2019. Samtliga mätpunkter sitter i luftspalten i nordlig orientering. Den relativa fuktigheten samt den kritiska relativa fuktigheten presenteras för den angivna perioden. Notera att Figur 5.2b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 5.2a men under en kortare tidsperiod.



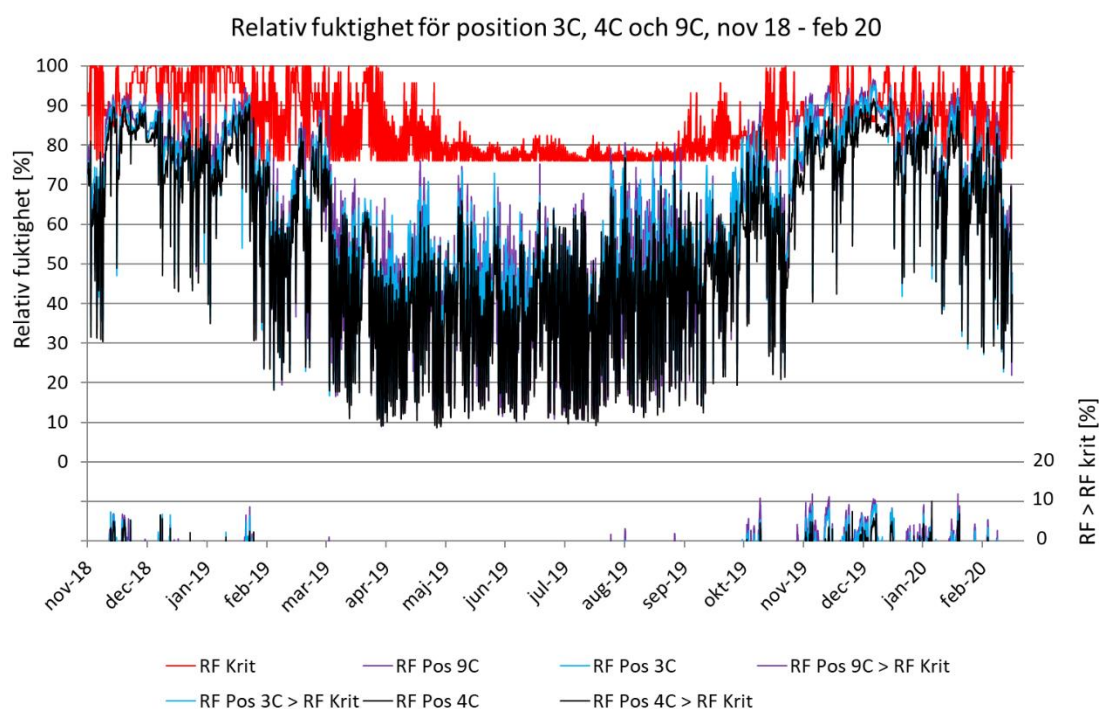
Figur 5.2b. Visar RF position 3A (blå överkant), RF position 4A (svart överkant), RF position 9A (lila överkant) och RF position 11A (grön överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 3A RF Krit (blå underkant), 4A RF Krit (svart underkant), 9A RF Krit (lila underkant) och RF position 11A RF Krit (grön underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

Figur 5.3 illustrerar variationer i den relativa fuktigheten mellan november 2018 till februari 2020 för fyra mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i taknock. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



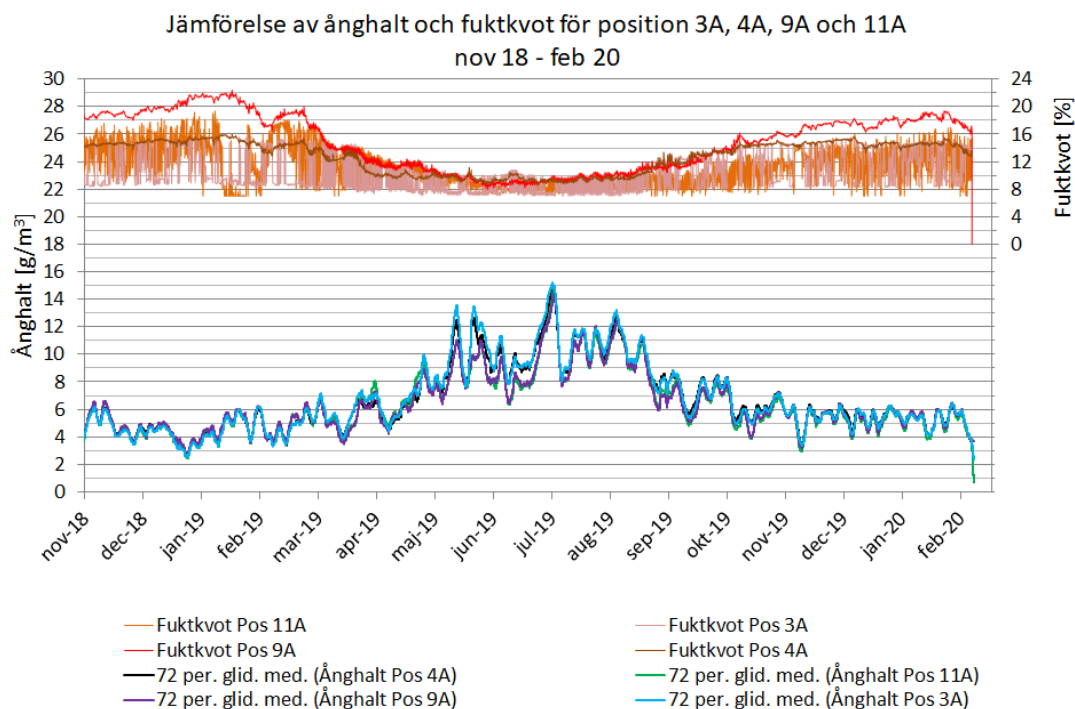
Figur 5.3. Visar RF position 3B (blå överkant), RF position 4B (svart överkant), RF position 9B (lila överkant) och RF position 11B (grön överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 3B RF Krit (blå underkant), 4B RF Krit (svart underkant), 9B RF Krit (lila underkant) och RF position 11B RF Krit (grön underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

Figur 5.4 illustrerar variationen i den relativa fuktigheten mellan november 2018 till februari 2020 för tre mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i sydlig riktning. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



Figur 5.4. Visar RF position 3C (blå överkant), RF position 4C (svart överkant) och RF position 9C (lila överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 3C RF Krit (blå underkant), 4C RF Krit (svart underkant) och 9C RF Krit (lila underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

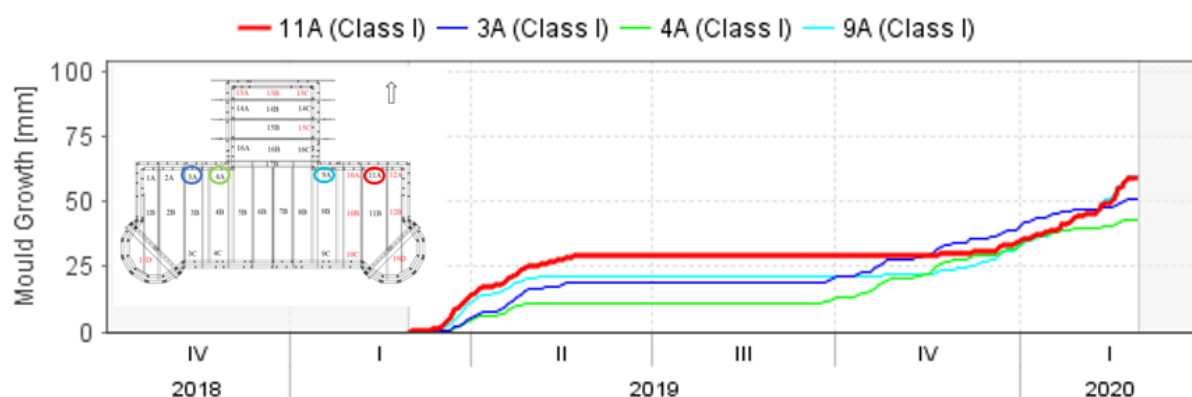
Figur 5.5 illustrerar variationen i fuktkvot och ånghalt under mätperioden november 2018 till februari 2020 för fyra mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i nordlig riktning. Ånghalten i diagrammet presenteras med en trendlinje med ett rullande medelvärde på 72 timmar.



Figur 5.5. Fuktkvot position 3A (rosa), fuktkvot position 4A (brun), fuktkvot position 9A (röd) och fuktkvot position 11A (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 3A)(blå), 72 per. glid. med. (Ånghalt position 4A)(svart), 72 per. glid. med. (Ånghalt position 9A)(lila) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 11A) (grön) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

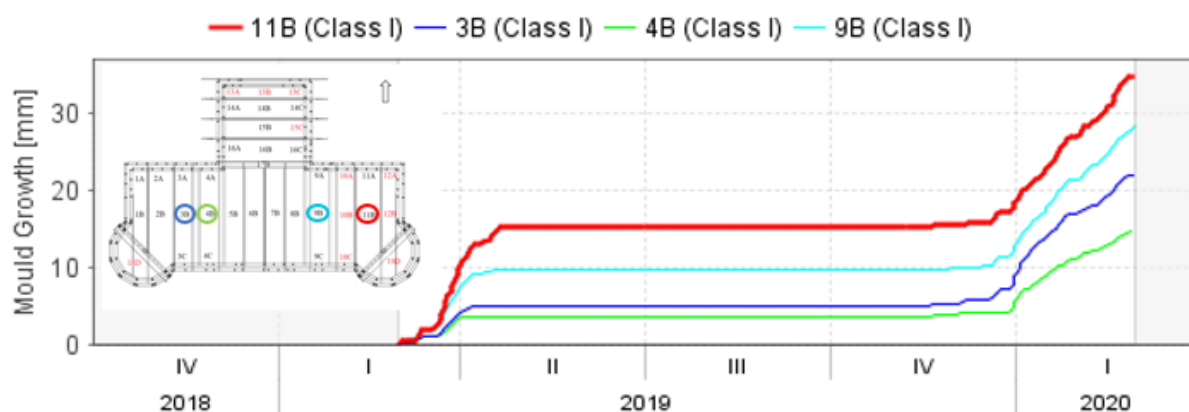
5.1.2 Resultat av mögelmodell - Mekanisk ventilation, Skeppet

Figur 5.6 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för fyra mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i nordlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



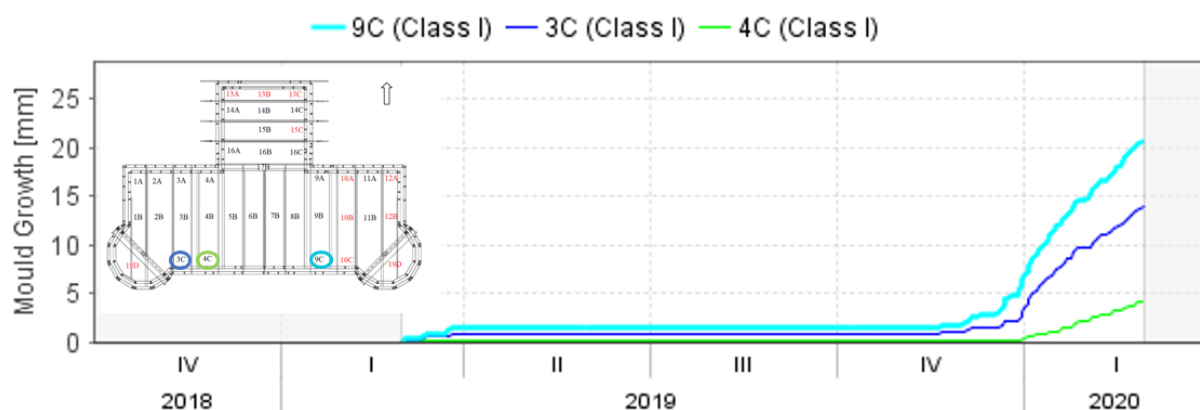
Figur 5.6. Visar mögeltillväxt för position 3A (blå), mögeltillväxt för position 4A (grön), mögeltillväxt för position 9A (turkos) och mögeltillväxt för position 11A (röd) i millimeter per år.

Figur 5.7 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för fyra mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i taknock. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



Figur 5.7. Visar mögeltillväxt för position 3B (blå), mögeltillväxt för position 4B (grön), mögeltillväxt för position 9B (turkos) och mögeltillväxt för position 11B (röd) i millimeter per år.

Figur 5.8 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för tre mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i sydlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



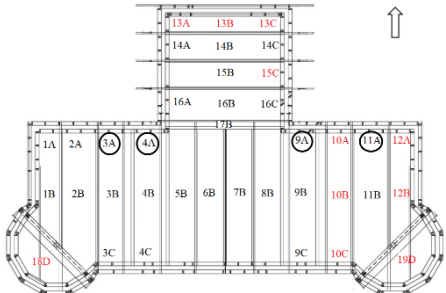
Figur 5.8. Visar mögeltillväxt för position 3C (blå), mögeltillväxt för position 4C (grön) och mögeltillväxt för position 9C (turkos) i millimeter per år.

5.1.3 Övergripande resultat - Mekanisk ventilation, Skeppet

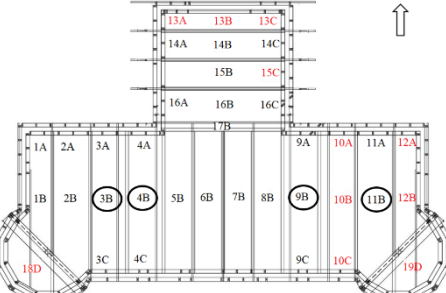
Tabell 5.3, 5.4 och 5.5 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderats utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 5.3, 5.4 och 5.5 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

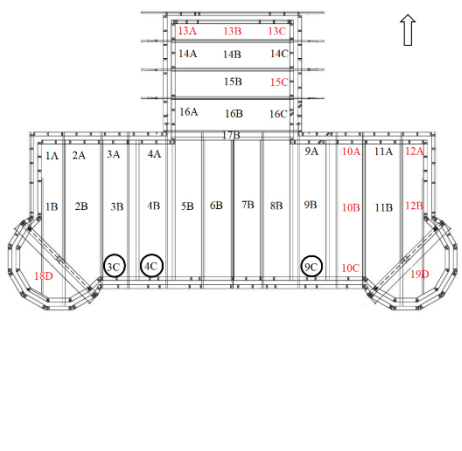
Tabell 5.3. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i norr.

	Mätpunkter (Norr)	Riskanalys		Mögelmodell
		RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
	3A (mekanisk)	7 av 16 månader	0 av 16 månader	50 mm/år
	4A (mekanisk)	6 av 16 månader	0 av 16 månader	40 mm/år
	9A (mekanisk)	11 av 16 månader	8 av 16 månader	60 mm/år
	11A (mekanisk)	10 av 16 månader	2 av 16 månader	60 mm/år

Tabell 5.4 Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i taknock.

	Mätpunkter (Taknock)	Riskanalys		Mögelmodell
		RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
	3B (mekanisk)	6 av 16 månader	0 av 16 månader	20 mm/år
	4B (mekanisk)	5 av 16 månader	0 av 16 månader	15 mm/år
	9B (mekanisk)	6 av 16 månader	0 av 16 månader	25 mm/år
	11B (mekanisk)	8 av 16 månader	1 av 16 månader	35 mm/år

Tabell 5.5. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i söder.

	Mätpunkter (Söder)	Riskanalys		Mögelmodell
		RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
	3C (mekanisk)	3 av 16 månader	0 av 16 månader	15 mm/år
	4C (mekanisk)	2 av 16 månader	0 av 16 månader	5 mm/år
	9C (mekanisk)	4 av 16 månader	0 av 16 månader	20 mm/år

5.1.4 Analys och diskussion - Mekanisk ventilation, skeppet

Figur 5.2a, 5.3 och 5.4 illustrerar variationen i den relativa fuktigheten under mätperioden november 2018 till februari 2020. Relativa fuktigheten för samtliga mätningar beter sig förhållandevis likvärdigt för de angivna positionerna "A" i nordlig riktning, "B" i taknock och "C" i sydlig riktning. Kurvorna illustrerar att resultaten följer varandra och inga extrema skillnader påvisas bortsett från två kortare perioder.

Under vinterhalvåret överskrider samtliga mätpunkter den kritiska relativa fuktigheten, samt med lång varaktighet, se Figur 5.2a, 5.3 och 5.4. Däremot finns det skillnader i hur hög grad den kritiska nivån överskrids för de olika mätningarna som representerar olika positioner och väderstreck "A, B och C". Mätpunkterna 3A, 4A, 9A och 11A i nordlig riktning överskrider den kritiska nivån för relativ fuktighet i högre grad jämfört med mätpunkterna 3C, 4C och 9C i sydlig riktning, se Figur 5.2.a och 5.4. Figur 5.4 indikerar att mätpunkterna i söderläge löper lägre risk för mögelpåväxt jämfört med nordlig riktning under den kritiska perioden. Mätpunkterna 3B, 4B, 9B och 11B i taknock överskrider såväl den kritiska relativa fuktigheten, däremot med lägre grad och med kortare varaktighet jämfört med mätpunkter i nordlig riktning, se Figur 5.3.

Figur 5.2a, 5.3 och 5.4 visar att den relativa fuktigheten generellt är lägre under sommarhalvåret. Den kritiska relativa fuktigheten överskrids vid fåtal tillfällen under sommarhalvåret i samtliga väderstreck och med kort varaktighet, således låg risk för mögelpåväxt. Däremot har mätpunkterna i den nordliga riktningen en kortare riskfri period som sträcker sig från april till juli 2019 jämfört med sydlig riktning som sträcker sig från februari till september 2019.

Figur 5.2b illustrerar variationer i den relativa fuktigheten för mätpunkter i nordlig riktning under november 2018 till mars 2019. Figuren illustrerar markanta skillnader mellan mätpunkterna 9A och 11A jämfört med 3A och 4A. Mätpunkterna 3A och 4A överskrider den kritiska relativa fuktigheten med lägre grad än resterande mätpunkter. Kurvorna för relativ fuktighet för mätpunkt 3A och 4A följs åt i en lägre nivå jämfört med mätpunkt 9A och 11A som följs åt i en högre nivå. Mätpunkterna för 9A och 11A är kopplade till fläkt "B" medan 3A och 4A tillhör fläkt "A" som styr den mekaniska ventilationen. Anledningen till skilda variationer i den relativa fuktigheten i olika luftspalter kan bero på att fläktarna inte har ventilerat samtidigt. Resultatet tyder på att luftspalter som regleras av sensor "A" (monterad i östlig riktning) löper lägre risk för påväxt jämfört med luftspalter som regleras av sensor "B" (monterad i nordlig riktning).

Under oktober 2019 är förhållandet omvänt för den relativa fuktigheten i mätpunkt 3A, 4A, 9A och 11A, se Figur 5.2a. Den relativa fuktigheten för mätpunkt 9A och 11A sammanfaller på en lägre nivå medan mätpunkt 3A och 4A sammanfaller på en högre nivå. Mätpunkter som är kopplade till samma fläkt sammanfaller även i omvänt förhållande och tyder på att fläktarna återigen inte ventileras samtidigt på grund av sensors position.

Figur 5.5 illustrerar fuktkvot och ånghalt för mätpunkterna 3A, 4A, 9A och 11A i nordlig riktning under tidsperioden november 2018 till februari 2020. Fuktkvoten för position 3A och 11A utmärkte sig i undersökningen och skiljer sig från resterande värden för fuktkvot. Mätvärdena för fuktkvoten för 3A och 11A visar ett fluktuerande beteende, variationen antas bero på felmontering eller felmätning av mätinstrumentet. Det går inte att utesluta att resultaten beror på felmätning av loggrarna, inte heller att fuktkvoten i dessa mätpunkter är avvikande i verklig konstruktion.

Figur 5.5 illustrerar även fuktkvotens varierande värden för mätpunkterna i nordlig riktning. Fuktkvoten för mätpunkt 9A har en hög fuktkvot med ett högsta värde över 20 % som indikerar på stor risk för mögelpåväxt enligt Tabell 3.1. Mätpunkt 11A når en fuktkvot på över 15 % som medför en liten risk för mögelpåväxt enligt Tabell 3.1. Resterande mätresultat av fuktkvot i nordlig riktning medför ingen risk för mögelpåväxt. Figur 5.5 illustrerar variationer i ånghalt för mätpunkter i position "A" i nordlig riktning och samtliga mätpunkter har en likvärdig variation under hela mätperioden.

Figur 5.6 illustrerar resultatet av mögelpåväxt från mögelmodellen för mätpunkter med mekanisk ventilation i position "A" i nordlig riktning under februari 2019 till februari 2020. Mätpunkterna 3A, 9A och 11A överskrider 50 millimeter per år och når en riskfylld nivå enligt WUFI Bios gränsvärden. Mätpunkt 4A håller sig under 50 millimeter per år och bedöms nå en acceptabel nivå för mögelpåväxt.

Figur 5.7 illustrerar resultatet av mögelpåväxt från mögelmodellen för mätpunkterna i taknock från februari 2019 till februari 2020. Mätpunkterna 9B och 11B överskrider 50 millimeter per år och når en riskfylld nivå enligt WUFI Bios gränsvärden. Mätpunkterna 9B och 11B är kopplade till samma sensor och fläkt och kan inte vara en anledning till mätpunkternas skilda beteende. Resterande mätpunkter bedöms nå en acceptabel nivå av mögelpåväxt.

Figur 5.8 illustrerar resultatet av mögelpåväxt från mögelmodellen för mätpunkter med mekanisk ventilation i position ”C” i sydlig riktning från februari 2019 till februari 2020. Samtliga mätpunkterna ligger under gränsvärden som anses vara riskfylld nivå enligt WUFI Bio, dock påvisar 9C det högsta värdet som kan orsakas av tillhörande fläkt.

Tabell 5.3, 5.4 och 5.5 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar marginella skillnader mellan antal kritiska månader mellan dem angivna mätpunkterna i respektive väderstreck. Däremot indikerar mätresultatet att luftspalt nummer 4 har något färre månader av kritiskt tillstånd och har även lägst mögelindex jämfört med resterande luftspalter.

Bilaga 2 illustrerar variationer i temperatur för samtliga mätpunkterna i positionerna ”A” i nordlig riktning, ”B” i taknock och ”C” i sydlig riktning för mekanisk ventilation i takdelen ”Skeppet”. Temperaturen i luftspalterna medför inga anmärkningsvärda skillnader och presenteras därför inte i resultatet ovan. Mätningarna beter sig likvärdigt och kurvorna följer varandra för de angivna mätpunkterna under hela mätperioden. Temperaturen för mätpunkterna i position ”A” i nordlig riktning varierar mellan en något lägre temperatur jämfört med mätpunkterna i position ”B” i taknock och ”C” i sydlig riktning. Temperaturen i luftspalten är högre på sommaren och lägre på vintern som förväntat, se Bilaga 2.

Bilaga 3 illustrerar variationer i fuktkvot för samtliga mätpunkter i positionerna ”B” i taknock och ”C” i sydlig riktning. Mät punkt 11B i taknock har en fuktkvot på över 15 % som medför liten risk för mögelpåväxt enligt Tabell 3.1. Fuktkvoten för resterande mätpunkter tyder inte på risk för mögelpåväxt, se Bilaga 3. Mät punkt 3C påvisar samma fluktuerande beteende som 3A och 11A enligt Figur 5.5 och antas bero på felmätning av mätinstrument. Högre fuktkvoter uppmättes under vinterhalvåret och lägre värden under sommaren. Under sommarhalvåret illustrerar fuktkvoten i position ”B” i taknock och ”C” i sydlig riktning en rak linje som beror på att fuktkvotsgivaren inte mäter lägre värden. Den raka linjen illustrerar cirka 7 % eller lägre värden och kan i mätningen anses som att materialet närmar sig uttorkning.

Bilaga 3 illustrerar även variationer i ånghalten för mätpunkterna i position ”B” i taknock och ”C” i sydlig riktning för mekanisk ventilation i takdelen ”Skeppet”. Samtliga mätpunkter har en likvärdig variation i ånghalt under hela mätperioden. En trendlinje med ett rullande medelvärde på 72 timmar har tillämpats för förenklad avläsning av ånghalten i mätningen.

5.1.5 Slutsats - Mekanisk ventilation Skeppet

Resultatet indikerar att norrläge löper störst risk för mögelpåväxt och söderläge löper lägst risk. Mät punkt 9A och 11A överskrider den acceptabla gränsen minimalt i WUFI Bio och skiljer sig från resterande mätpunkterna i riskanalysen och simuleringen i WUFI Bio som antas bero på tillhörande fläkt. Eftersom den mekaniska ventilationen är kopplad till två olika fläktar och sensorer kan resultatet skilja.

Det fluktuerande beteendet hos fuktkvoten för mät punkt 3A, 3C och 11A kan inte uteslutas bero på mätinstrumentet. Fuktkvoten i 9A har högre värden än resterande mätpunkter vilket medför stor risk för mögelpåväxt.

5.2 Jämförelse - Mekanisk ventilation Tarmen

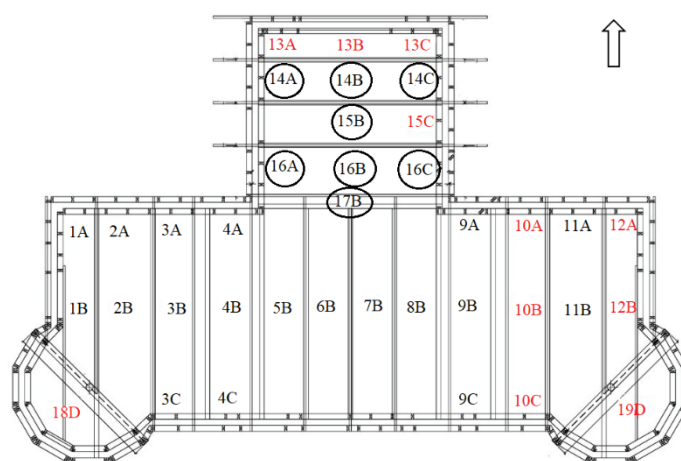
Samtliga mätpunkter är placerade i delen som benämns "Tarmen" och styrs av mekanisk ventilation med samma isolertjocklek och taklutning. Samtliga mätpunkter är kopplade till samma fläkt och sensor "A" (monterad i östlig riktning) som styr den mekaniska ventilationen i "Tarmen". Mätpunkterna 14A och 16A har samma förutsättningar med stängd takfot i västlig riktning, mätpunkterna är placerade cirka en meter över takfoten, se Tabell 5.6 och Figur 5.9.

Mätpunkterna 14B, 15B, 16B och 17B har samma förutsättningar och alla fyra mätpunkter är placerade i taknock, se Tabell 5.6 och Figur 5.9.

Mätpunkterna 14C och 16C har samma förutsättningar med stängd takfot i östlig riktning, mätpunkterna är placerade cirka en meter över takfoten, se Tabell 5.6 och Figur 5.9. Det är goda förutsättningar för referensmätning i de utvalda mätpunkterna.

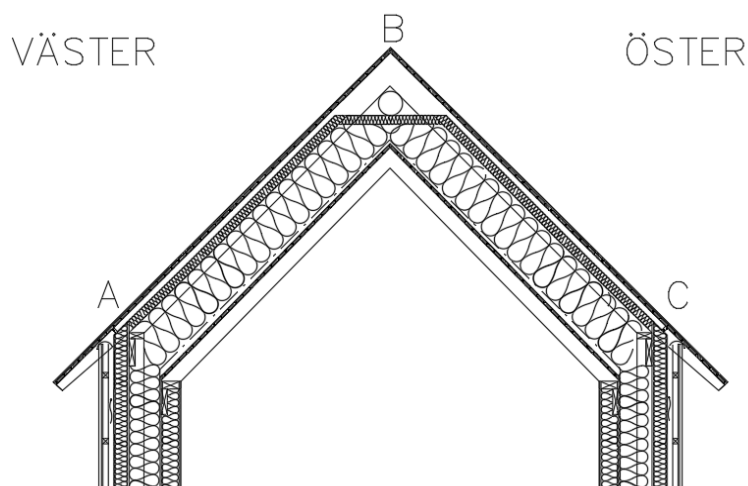
Tabell 5.6. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

Mätpunkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
14A 16A	Mekanisk ventilation Taklutning: 45 grader Isolertjocklek: 380 mm Position: Väster Fläkt Sensor	
14B 15B 16B 17B	Mekanisk ventilation Taklutning: 45 grader Isolertjocklek: 380 mm Position: Taknock Fläkt Sensor	
14C 16C	Mekanisk ventilation Taklutning: 45 grader Isolertjocklek: 380 mm Position: Öster Fläkt Sensor	



Figur 5.9a. Visar mätpunkter i aktuell referensmätning i tarmen. Samtliga mätpunkter utgör mekanisk ventilation.

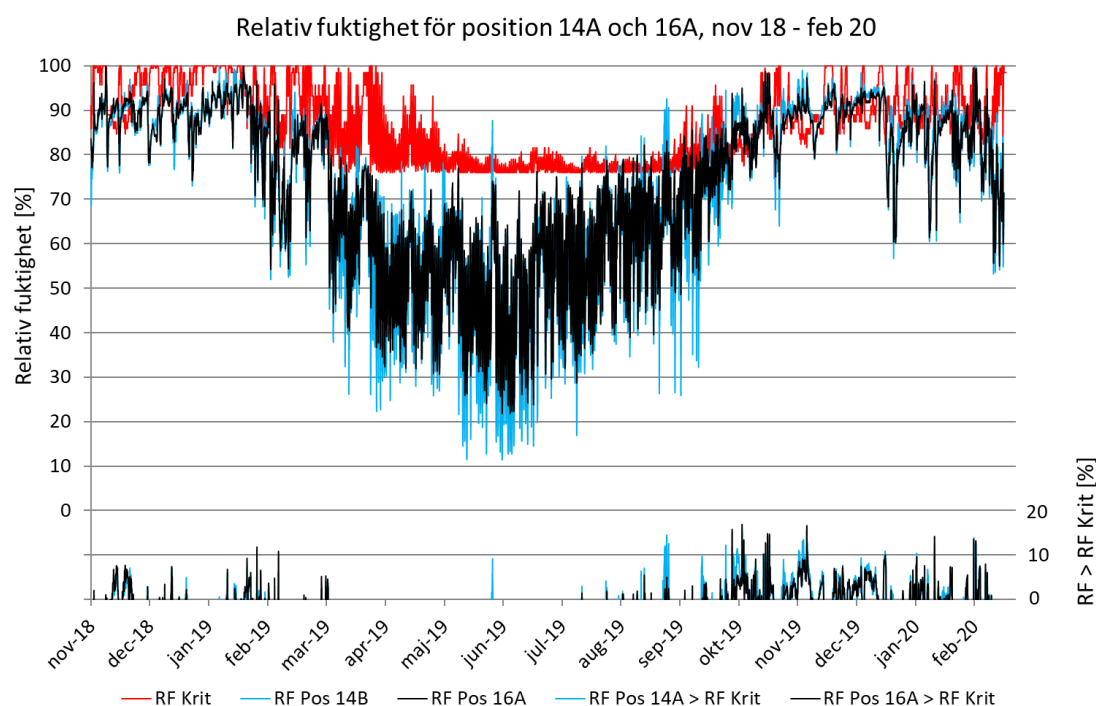
Figur 5.9b Visar tvärsnittet för parallellttaket belägen i "Tarmen". Position "A" representerar väster, "B" representerar taknock och "C" representerar öster.



Figur 5.9b. Visar positionerna och orientering för mätpunkterna i Tarmen med taklutning på 45 grader och isolertjocklek 380 mm.

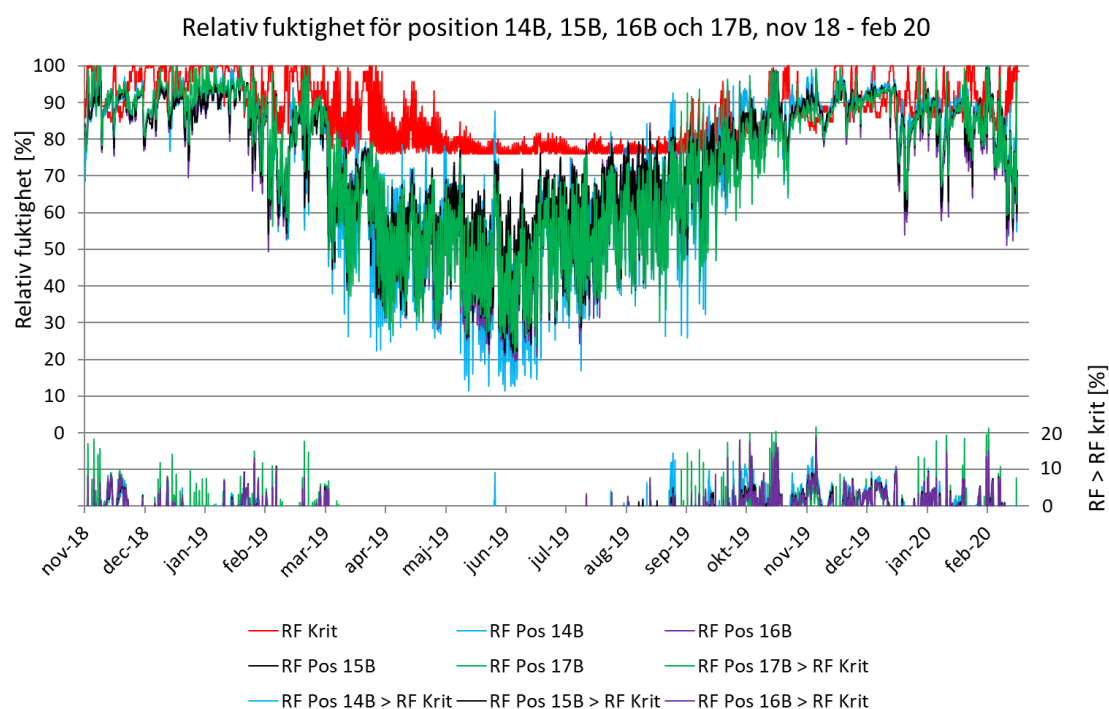
5.2.1 Resultat av riskanalys - Mekanisk ventilation, Tarmen

Figur 5.10 illustrerar variationer i relativ fuktighet mellan november 2018 till februari 2020 för två mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i västlig riktning. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



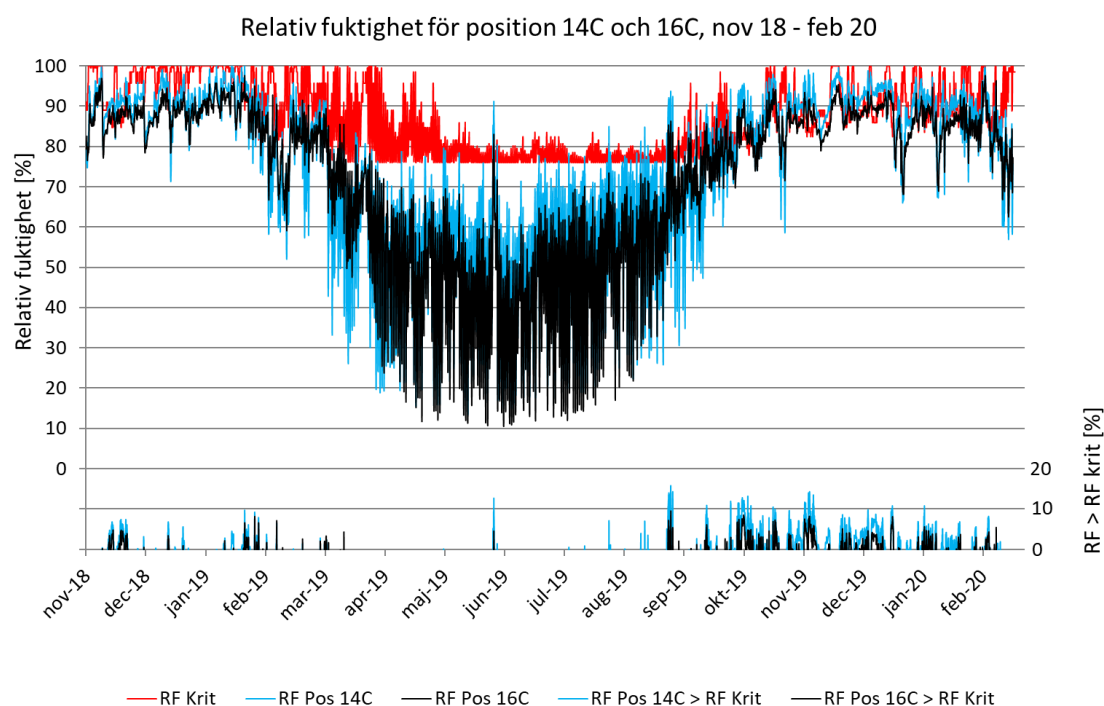
Figur 5.10. RF position 14A (blå överkant) och RF position 16A (svart överkant) visar RF i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 14A RF Krit (blå underkant) och RF position 16A RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten

Figur 5.11 illustrerar variationer i relativ fuktighet mellan november 2018 till februari 2020 för fyra mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i taknock. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



Figur 5.11. Visar RF position 15B (blå överkant), RF position 15B (svart överkant), RF position 16B (lila överkant) och RF position 17B (grön överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 14B RF Krit (blå underkant), 15B RF Krit (svart underkant), 16B RF Krit (lila underkant) och RF position 17A RF Krit (grön underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

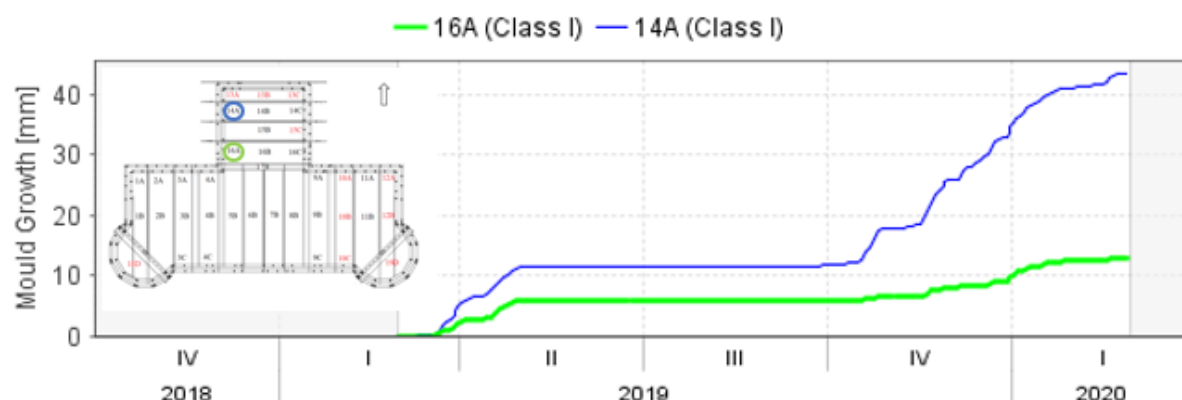
Figur 5.12 illustrerar variationer i den relativ fuktighet mellan november 2018 till februari 2020 för två mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i östlig riktning. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



Figur 5.12. Visar RF position 14C (blå överkant) och RF position 16C (svart överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 14C RF Krit (blå underkant) och 16C RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mät punkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

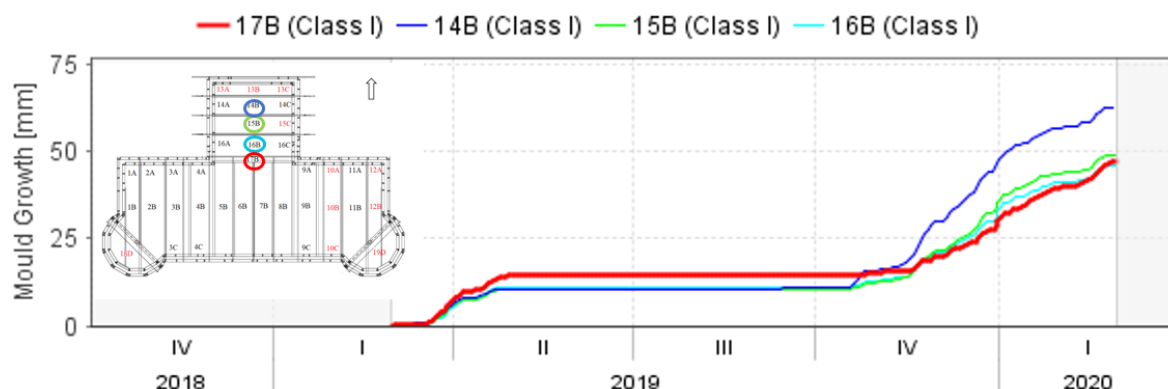
5.2.2 Resultat av mögelmodell - Mekanisk ventilation, Tarmen

Figur 5.13 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för två mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i västlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



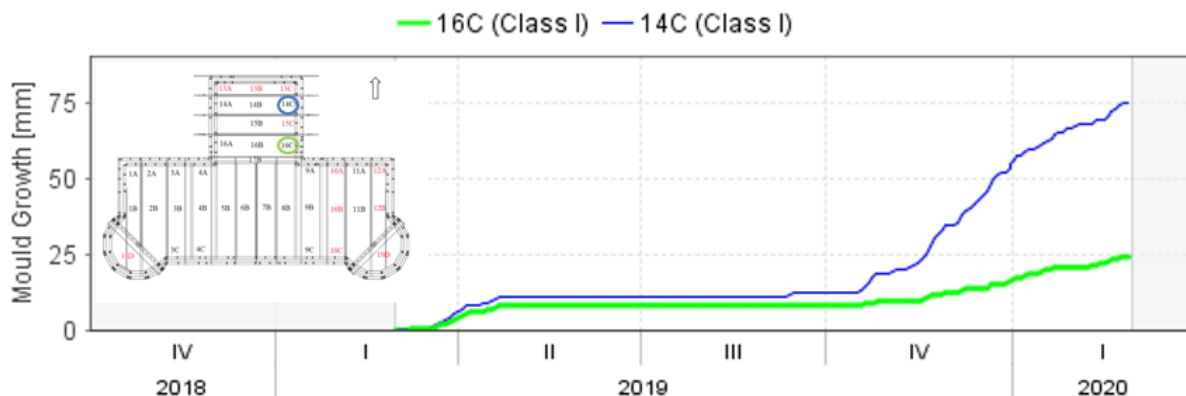
Figur 5.13. Visar mögeltillväxt för position 14A (blå) och mögeltillväxt för position 16A (grön) i millimeter per år.

Figur 5.14 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för fyra mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i taknock. Grafen visar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



Figur 5.14. Visar mögeltillväxt för position 14B (blå), mögeltillväxt för position 15B (grön), mögeltillväxt för position 16B (turkos) och mögeltillväxt för position 17B (röd) i millimeter per år.

Figur 5.15 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för två mätpunkter med mekanisk ventilation som är positionerade i östlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



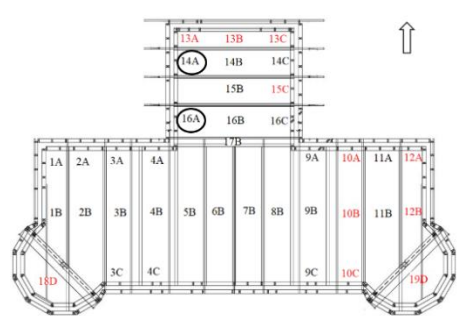
Figur 5.15. Visar mögeltillväxt för position 14C (blå) och mögeltillväxt för position 16C (grön) i millimeter per år.

5.2.3 övergripande resultat - Mekanisk ventilation, Tarmen

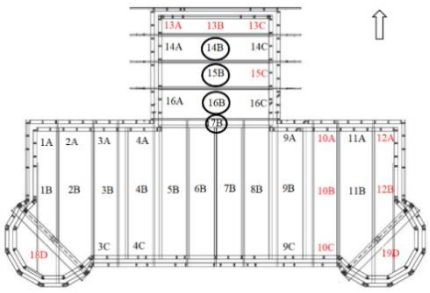
Tabell 5.7, 5.8 och 5.9 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderat utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 5.7, 5.8 och 5.9 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

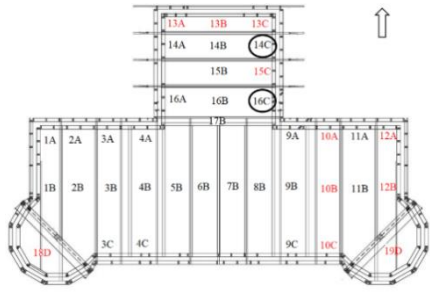
Tabell 5.7. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i väster.

	Mätpunkter (Väster)	Riskanalys		Mögelmodell
		$RF > RF_{Krit}$	$FK > FK_{Krit}$	WUFI Bio
14A (mekanisk)	14A	8 av 16 månader	1 av 16 månader	45 mm/år
16A (mekanisk)	16A	7 av 16 månader	1 av 16 månader	15 mm/år

Tabell 5.8. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i taknock.

	Mätpunkter (Taknock)	Riskanalys		Mögelmodell
		RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
	14B (mekanisk)	9 av 16 månader	1 av 16 månader	60 mm/år
	15B (mekanisk)	7 av 16 månader	1 av 16 månader	50 mm/år
	16B (mekanisk)	7 av 16 månader	2 av 16 månader	50 mm/år
	17B (mekanisk)	10 av 16 månader	3 av 16 månader	50 mm/år

Tabell 5.9. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i öster.

	Mätpunkter (Öster)	Riskanalys		Mögelmodell
		RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
	14C (mekanisk)	8 av 16 månader	0 av 16 månader	75 mm/år
	16C (mekanisk)	7 av 16 månader	1 av 16 månader	20 mm/år

5.2.4 Analys och diskussion - Mekanisk ventilation, Tarmen

Figur 5.10, 5.11 och 5.12 illustrerar variationer i den relativa fuktigheten för olika mätpunkter under mätperioden november 2018 till februari 2020. Den relativa fuktigheten för de samtliga mätpunkterna i “A” i västlig riktning, “B” i taknock och “C” i östlig riktning visar likvärdiga resultat. Förutom att mätpunkt 14C kontinuerligt ligger högre än mätpunkt 16C, se Figur 5.12. Resterande mätpunkter följer varandra förhållandevis väl och variationen av den relativa fuktigheten är likvärdig under mätperioden.

Under vinterhalvåret överskrider samtliga mätpunkter den kritisk relativa fuktigheten samt med lång varaktighet, se Figur 5.10, 5.11 och 5.12. Däremot finns det skillnader i hur hög grad den kritiska nivån överskrids för de olika positionerna och väderstreck "A, B och C". Mätpunkterna 14A och 16A som representerar västlig riktning har liknade variationer av den relativ fuktigheten som mätpunkterna 14C och 16C som representerar östlig riktning, se Figur 5.10 och 5.12. Mätpunkterna i position "B" överskrider den kritiska relativa fuktigheten i högre grad och med längre varaktighet jämfört med position "A" och "C", se Figur 5.11. Detta tyder på att förhållandet i nord är mer riskfyllt än förhållandet till östlig och västlig riktning.

Figur 5.10, 5.11 och 5.12 illustrerar att den relativa fuktigheten generellt är lägre på sommarhalvåret. Den kritiska relativa fuktigheten överskrids vid ett fåtal tillfällen med kort varaktighet. Vilket tyder på att det inte föreligger risk för mögelpåväxt från mars till juli 2019. Sommarhalvåret är inte en kritisk period och "toppar" i diagrammet utan längre varaktighet löper inte risk för mögelpåväxt i konstruktionen.

Figur 5.13 illustrerar resultatet av mögelpåväxt från mögelmodellen för mätpunkterna med mekanisk ventilation i position "A" i västlig riktning under februari 2019 till februari 2020. Mätpunkterna 14A och 16A visar relativt olika resultat av mögeltillväxt under ett år trots de likvärdiga förutsättningarna. Enligt simuleringen når mätpunkt 14A över 45 millimeter per år och 16A cirka 15 millimeter per år. Båda mätpunkterna håller sig på en acceptabel nivå enligt WUFI Bios gränsvärden eftersom de inte överskrider 50 millimeter per år.

Figur 5.14 illustrerar resultatet av mögelpåväxt från mögelmodellen för mätpunkter med mekanisk ventilation för mätpunkter i taknocken från februari 2019 till februari 2020. Alla mätpunkter håller sig på en acceptabel nivå förutom mätpunkt 14B som når en mögelpåväxt på cirka 60 millimeter per år. Utifrån resultatet från mögelmodellen för mätpunkterna i "B" har kurvorna likvärdigt beteende och alla har eller närmar sig en riskfylld nivå enligt WUFI Bios gränsvärden.

Figur 5.15 illustrerar resultat av mögelpåväxt från mögelmodellen för mätpunkter med mekanisk ventilation i position "C" i västlig riktning från februari 2019 till februari 2020. Mätpunkten 16C har ett mögelindex på en acceptabel nivå under ett år, däremot når mätpunkt 14C upp till en nivå av 75 millimeter under ett år och bedöms riskfyllt enligt WUFI Bios gränsvärden.

Tabell 5.7, 5.8 och 5.9 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar marginella skillnader mellan antal kritiska månader mellan dem angivna mätpunkterna i respektive väderstreck. Antalet kritiska månader är högst godtyckligt och bidrar

till att det inte finns någon signifikant skillnad mellan angivna mätpunkter i respektive väderstreck.

Bilaga 4 illustrerar variationer i temperaturen för samtliga mätpunkterna i "A" med östlig riktning, "B" i taknock och "C" med västlig riktning för mekanisk ventilation i takdelen "Tarmen". Temperaturen i luftspalterna medför inga anmärkningsvärda skillnader och presenteras därför inte i resultatet ovan. Samtliga mätpunkter beter sig likvärdigt och kurvorna följer varandra under hela mätperioden. Rullande medelvärde på 72 timmar har tillämpats som tydliggör avläsningen för beteendet av temperaturen. Temperaturen i luftspalten är högre på sommaren och lägre på vintern som förväntat, se Bilaga 4.

Bilaga 5 illustrerar variationer i fuktkvot och ånghalt för samtliga mätpunkter i positionerna "A" i östlig riktning, "B" i taknock och "C" i västlig riktning för mekanisk ventilation i "Tarmen". Mätpunkterna 16B och 17B i taknock och har en fuktkvot på över 15 % som medför liten risk för mögelpåväxt enligt Tabell 3.1. Fuktkvoten för resterande mätpunkter tyder inte på risk för mögelpåväxt. Högre fuktkvoter uppmättes under vinterhalvåret och lägre värden under sommaren. Under sommarhalvåret illustrerar fuktkvoten i position "C" i östlig riktning en rak linje som beror på att fuktkvotsgivaren inte mäter lägre värden. Den raka linjen illustrerar 7 % eller lägre värden och kan i mätningen anses som att materialet närmar sig uttorkning. Bilaga 5 illustrerar även att mätpunkter 14B och 16A påvisar ett fluktuerande beteende som antas bero på felmätning av mätinstrument.

Bilaga 5 illustrerar variationer i ånghalten för mätpunkterna i position "A" i västlig riktning, "B" i taknock och "C" i östlig riktning för mekanisk ventilation i "Tarmen". Samtliga mätpunkter har likvärdiga variationer i ånghalt under hela mätperioden. En trendlinje med ett rullande medelvärde på 72 timmar har tillämpats för förenklad avläsning av ånghalten i mätningen.

5.2.5 Slutsats av mätpunkt - Mekanisk ventilation, Tarmen

Störst risk för mögelpåväxt uppstår främst i luftspalt 14 som skiljer sig signifikant från resterande mätpunkter och uppvisas i både riskanalys och simuleringen i WUFI Bio. Trots likheter i luftspalt 14 och 16 påvisas stora skillnader i resultatet, vilket skulle kunna tyder på någon form av felmontering av mätinstrument, men som inte går att belysa i nuläget. Eftersom alla luftspalter i aktuell mätning styrs av mekanisk ventilation från samma fläkt kan felkällor av denna karaktär uteslutas.

Riskanalysen och mögelmodellen indikerar att väderstreck i öst och väst ger likvärdiga resultat, däremot påvisar mätpunkter i taknock högre risk för mögelpåväxt, däremot med undantag i luftspalt nummer 14.

6. Naturlig ventilation

I jämförelsen mellan mätpunkter med naturlig ventilation behandlas både “Skeppet” och “Tarmen”. Först jämförs tre mätpunkter i “Skeppet”, vidare jämförs tre mätpunkter i “Tarmen”. Luftspalterna i mätningarna har naturlig ventilation med öppen takfot i båda ändar.

Aktuellt kapitel behandlar endast två luftspalter med naturlig ventilation. Det saknas naturligt ventilerade luftspalter med liknande förutsättningar som medför att det inte går att jämföra två likvärdiga mätpunkter likt referensmätningen. Istället jämförs mätpunkter i samma luftspalt, men som är orienterade i olika väderstreck. Jämförelsen har goda förutsättningar att utvärdera de väderstreck som har högre risk för mikrobiell påväxt.

6.1 Jämförelse - Naturlig ventilation 10A, 10B, 10C och 13A, 13B, 13C

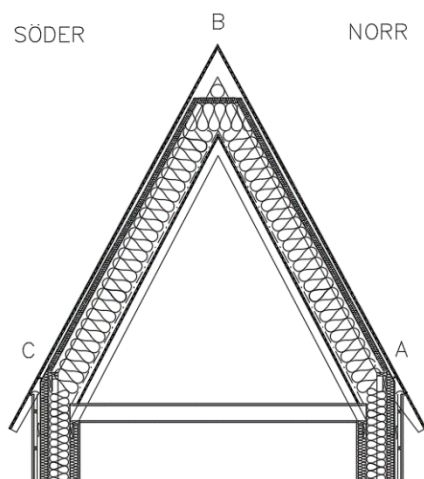
Mätpunkterna 10A, 10B och 10C tillhör “Skeppet” och har likvärdiga förutsättningar med samma taklutning på 62 grader och isolertjocklek på 485 mm. Det som skiljer mätpunkterna åt är mätpunkternas position. Position “A” är placerad en meter över takfot i nordlig riktning, “B” är placerad i taknock och “C” är placerad en meter över takfot i sydlig riktning, se Tabell 6.1 samt Figur 6.1a och 6.1c.

Mätpunkterna 13A, 13B och 13C tillhör “Tarmen” och har likvärdiga förutsättningar med samma taklutning på 45 grader, samma isolertjocklek på 380 millimeter. Det som skiljer mätpunkterna åt är att placeringen i position “A” är en meter över takfot i östlig riktning, “B” i taknock och “C” en meter över takfot i västlig riktning. Mätpunkter i “Tarmen” har luftspalter orienterad mot väst och öst, se Tabell 6.1 samt Figur 6.1b och 6.1c.

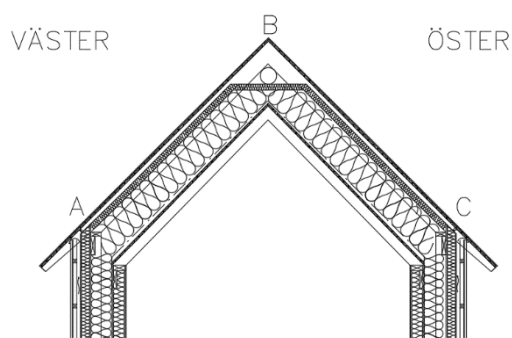
Tabell 6.1. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

Mätpunkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
10A 10B 10C	Naturlig ventilation Taklutning: 62 grader Isolertjocklek: 485 mm	Position: Norr/taknock/Syd
13A 13B 13C	Naturlig ventilation Taklutning: 45 grader Isolertjocklek: 380 mm	Position: Väst/taknock/Öst

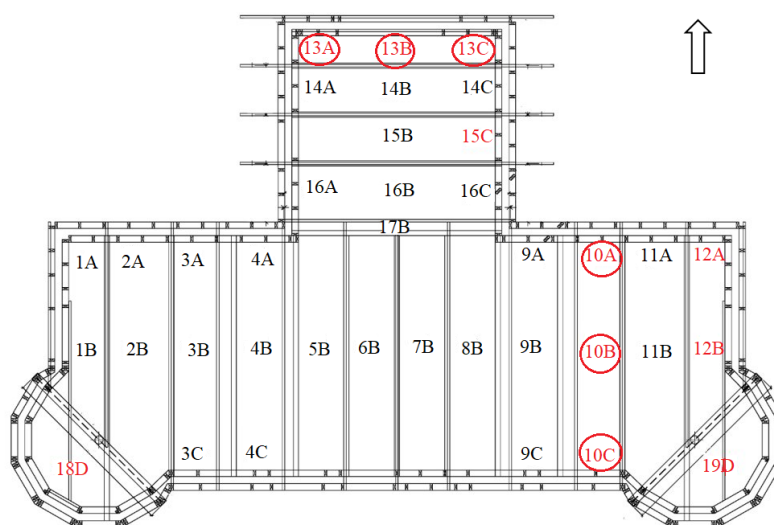
Figur 6.1a visar tvärsnittet för parallelltaket belägen i “Skeppet”. Position “A” representerar norr, “B” representerar taknock och “C” representerar söder. Figur 6.1b visar tvärsnittet för parallelltaket belägen i “Tarmen”. Position “A” representerar väster, “B” representerar taknock och “C” representerar öster.



Figur 6.1a. Visar taklutning med 62 grader i Skeppet



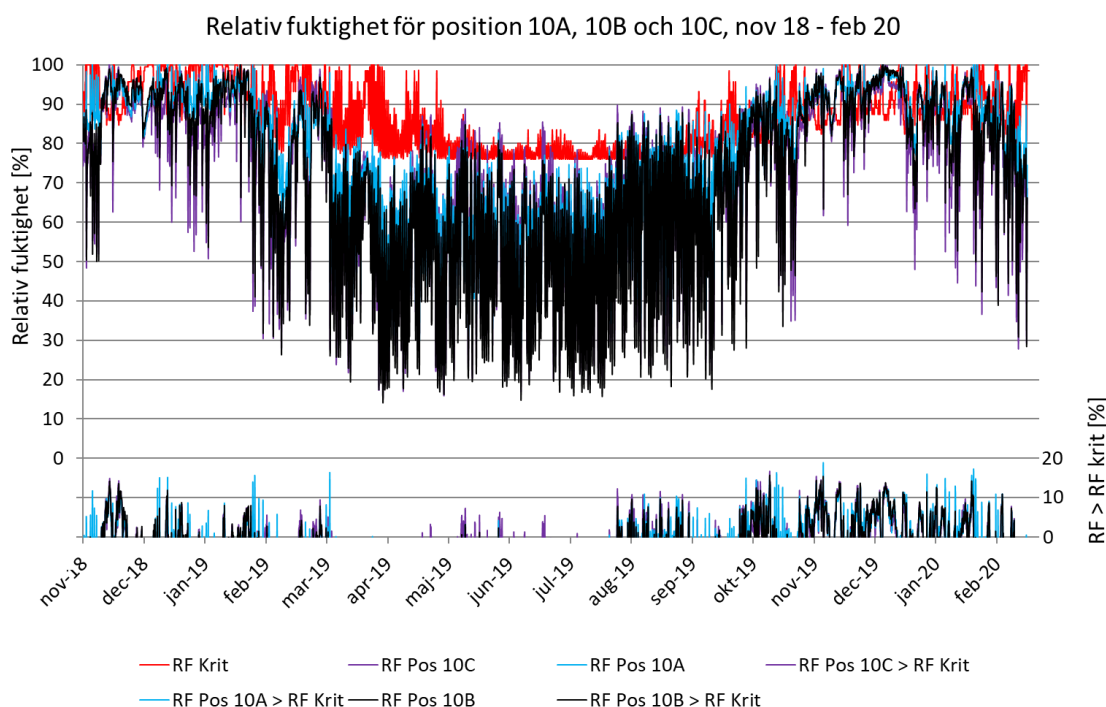
Figur 6.1b. Visar taklutning med 45 grader i Tarmen



Figur 6.1c. Visar mätpunkter i aktuell jämförelse i skeppet och tarmen. Samtliga mätpunkter utgör naturlig ventilation.

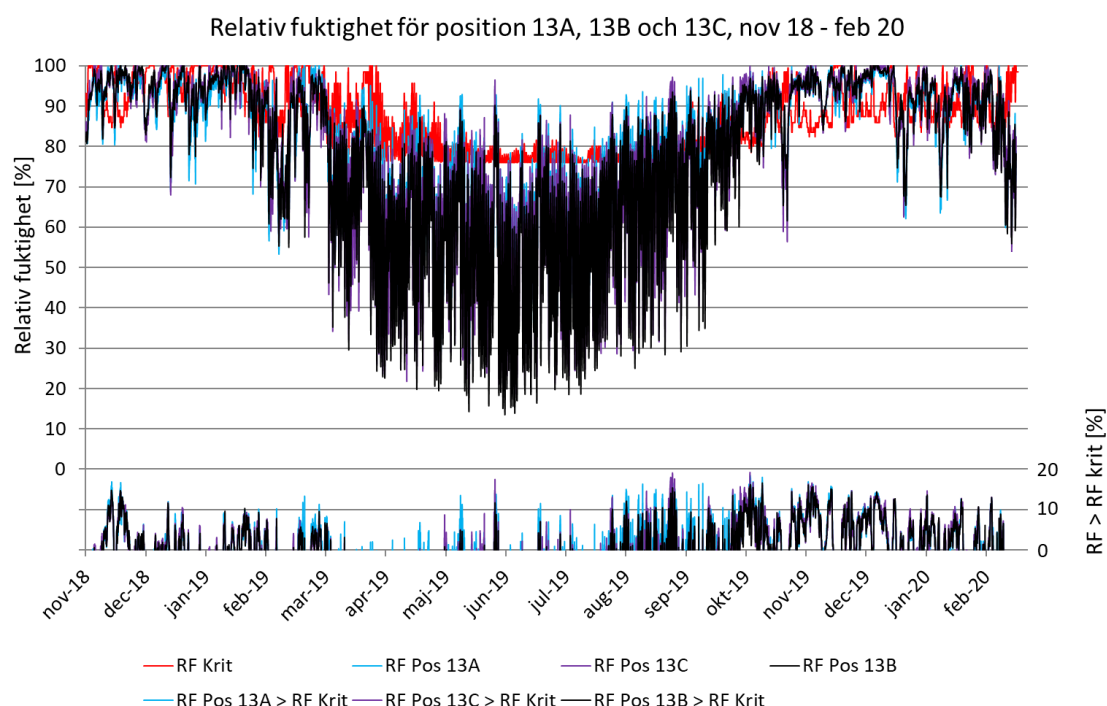
6.1.1 Resultat av riskanalys - Naturlig ventilation

Figur 6.2 illustrerar variationer i den relativa fuktigheten mellan november 2018 till februari 2020 för tre mätpunkter med naturlig ventilation i luftspalt nummer 10 i "Skeppet". Mätposition "A" är placerad i norr, "B" är placerad i taknock och "C" är placerad i söder. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



Figur 6.2. Visar RF position 10A (blå överkant), RF position 10B (svart överkant) och RF position 10C (lila överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 10A RF Krit (blå underkant), 10B RF Krit (svart underkant) och 10C RF Krit (lila underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

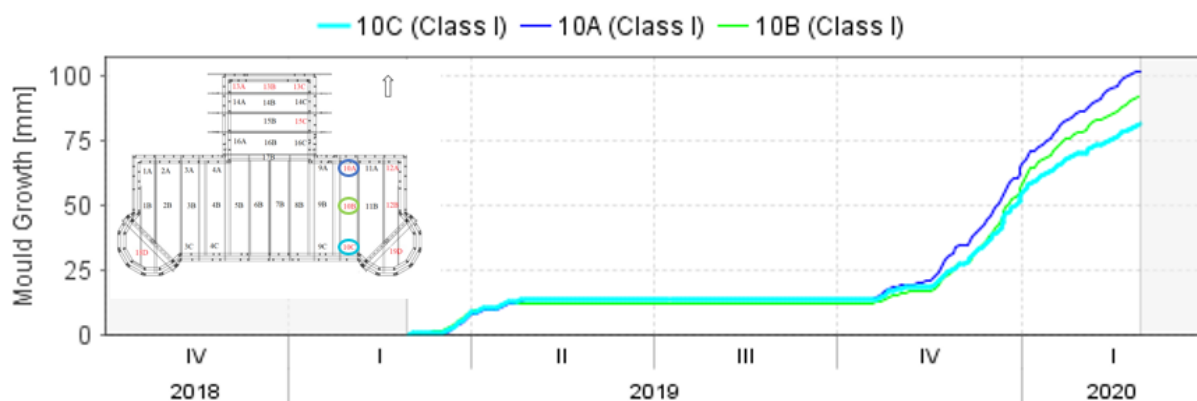
Figur 6.3 illustrerar variationer i den relativa fuktigheten mellan november 2018 till februari 2020 för tre mätpunkter med naturlig ventilation i luftspalt nummer 13 i "Tarmen". Mätpositionerna "A" är placerad i väst, "B" är placerad i taknock och "C" är placerad i öst. Figuren illustrerar även av vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för den angivna perioden.



Figur 6.3. Visar RF position 13A (blå överkant), RF position 13B (svart överkant) och RF position 13C (lila överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 13A RF Krit (blå underkant), 13B RF Krit (svart underkant) och 13C RF Krit (lila underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

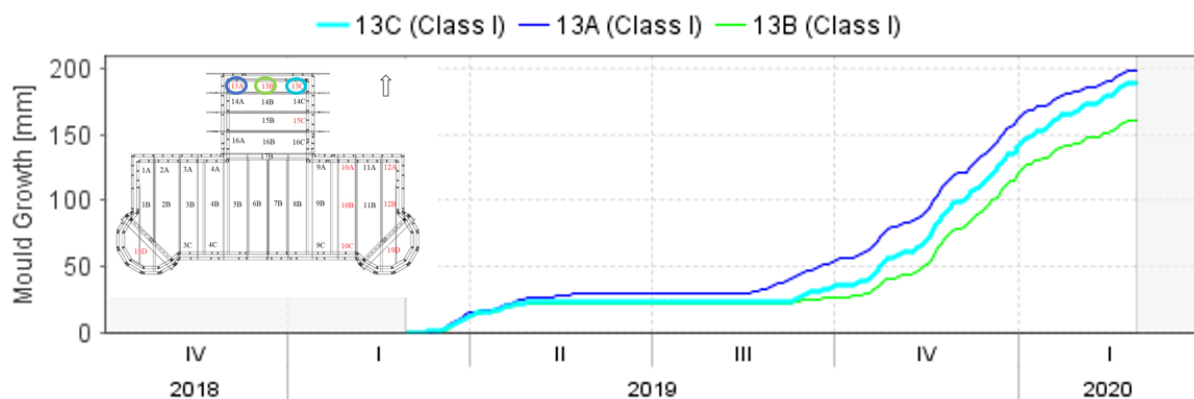
6.1.2 Resultat av mögelmodell - Naturlig ventilation

Figur 6.4 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för tre mätpunkter med naturlig ventilation i luftspalt nummer 10 i Skeppet. Mätpositionerna "A" är placerad i norr, "B" är placerad i taknock och "C" är placerad i söder. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



Figur 6.4. Visar mögeltillväxt för position 10A (blå), mögeltillväxt för position 10B (grön) och mögeltillväxt för position 10C (turkos) i millimeter för varje kvartal under ett år.

Figur 6.5 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för tre mätpunkter med naturlig ventilation i luftspalt nummer 13 i "Tarmen". Mätpositionerna "A" är placerad i väst, "B" är placerad i taknock och "C" är placerad i öst. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



Figur 6.5. Visar mögeltillväxt för position 13A (blå), mögeltillväxt för position 13B (grön) och mögeltillväxt för position 13C (turkos) i millimeter för varje kvartal under ett år.

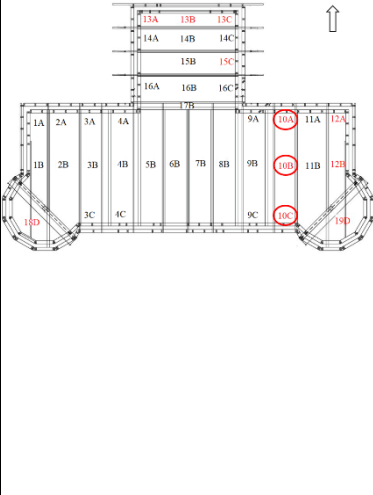
6.1.3 Övergripande resultat - Naturlig ventilation

Tabell 6.2 och 6.3 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{\text{Krit}}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{\text{Krit}}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderats utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara

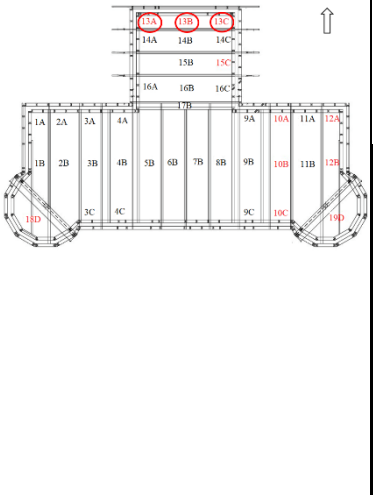
kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 6.2 och 6.3 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

Tabell 6.2. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i luftspalt nummer 10 i respektive väderstreck.

	Mätpunkter	Väderstreck	Riskanalys		Mögelmodell
			RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
	10A (naturlig)	Norr	8 av 16 månader	6 av 16 månader	100 mm/år
	10B (naturlig)	Taknock	8 av 16 månader	2 av 16 månader	90 mm/år
	10C (naturlig)	Söder	8 av 16 månader	3 av 16 månader	80 mm/år

Tabell 6.3. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter i luftspalt nummer 13 i respektive väderstreck.

	Mätpunkter	Väderstreck	Riskanalys		Mögelmodell
			RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
	13A (naturlig)	Väster	13 av 16 månader	6 av 16 månader	200 mm/år
	13B (naturlig)	Taknock	11 av 16 månader	5 av 16 månader	160 mm/år
	13C (naturlig)	Öster	11 av 16 månader	7 av 16 månader	190 mm/år

6.1.4 Analys och diskussion - Naturlig ventilation

Figur 6.2 illustrerar variationer i den relativa fuktigheten i tre olika mätpunkter för naturlig ventilation i luftspalt nummer 10 i "Skeppet" under november 2018 till februari 2020. Mätpositionerna "A" är placerad i nordlig riktning, "B" är placerad i taknock, "C" är placerad i sydlig riktning. Den relativa fuktigheten har liknande variationer i samtliga mätpunkter i luftspalt 10. Samtliga mätpunkter påvisar en hög relativ fuktighet under majoriteten av mätperioden. Den relativa fuktigheten överskrider i hög grad och med lång varaktighet under vinterhalvåret, som är faktorer som ökar risken för mögelpåväxt. Under mars till juli 2019 överskrider den relativa fuktigheten vid ett fåtal tillfällen och med kort varaktighet, således föreligger ingen risk för mögelpåväxt under angiven tidsperiod.

Figur 6.3 illustrerar variationer i den relativa fuktigheten i tre olika mätpunkter för naturlig ventilation i luftspalt nummer 13 i "Tarmen" under mätperioden november 2018 till februari 2020. Mätposition "A" är placerad i västlig riktning, "B" är placerad i taknock, "C" är placerad i östlig riktning. Mät punkt 13A placerad i västlig riktning uppvisar något mer kritiskt resultat jämfört med resterande väderstreck i luftspalten. Samtliga mätpunkter påvisar en hög relativ fuktighet under majoriteten av mätperioden. Den kritisk relativ fuktighet överskrider med hög grad och med lång varaktighet under vinterhalvåret. Under mars till juli 2019 överskrider den relativa fuktigheten vid ett antal tillfällen i samtliga mätpunkter och med en relativ kort varaktighet, således föreligger låg risk för mögelpåväxt under angiven tidsperiod.

Figur 6.4 illustrerar resultatet från mögelmodellen för mätpunkter med naturlig ventilation i luftspalt nummer 10 i "Skeppet" under februari 2019 till februari 2020. Samtliga mätpunkterna illustrerar en mögelpåväxt på 80-100 millimeter per år och som bedöms riskfyllt enligt WUFI Bios gränsvärden. Enligt simuleringen når mät punkt 10A placerad i nordlig riktning högst resultat på 100 millimeter.

Figur 6.5 illustrerar resultatet från mögelmodellen för mätpunkter med naturlig ventilation i luftspalt nummer 13 i "Tarmen" under februari 2019 till februari 2020. Samtliga mätpunkter visar relativt höga resultat av mögelpåväxt på cirka 160 - 200 millimeter på ett år och som bedöms som en riskfylld nivå enligt WUFI Bios gränsvärden. Tillväxtkurvan för mätpunkterna i luftspalt 13 ökar i ett tidigare skede jämfört med tillväxtkurvan i "Skeppet". Detta tyder på högre risk för mögelpåväxt i "Tarmen" jämfört med "Skeppet". Mät punkt 13A har högst värde för påväxt under ett år enligt mögelmodellen.

Figur 6.2 och 6.3 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar marginella skillnader mellan antal kritiska månader mellan dem angivna mätpunkterna i respektive väderstreck. Antalet kritiska månader är högst godtyckligt och bidrar

till att det inte finns någon signifikant skillnad mellan angivna mätpunkter i respektive väderstreck.

Bilaga 6 illustreras variationer i temperaturen för samtliga mätpunkterna i luftspalt nummer 10 samt 13 för naturlig ventilation. Temperaturen i luftspalterna medför inga anmärkningsvärda skillnader och presenteras därför inte i resultatet ovan. Mätningarna beter sig likvärdigt och kurvorna följer varandra under hela mätperioden. Mätpunkt 10B och mätpunkt 13B sitter båda i taknock och har något högre temperatur under sommarhalvåret. Rullande medelvärde på 72 timmar har tillämpats som tydliggör avläsningen för beteendet av temperaturen. Temperaturen i luftspalterna är högre på sommaren och lägre på vintern som förväntat.

Bilaga 7 illustreras fuktkvot och ånghalt för samtliga mätpunkter i luftspalter nummer 10 och 13 för naturlig ventilation. Beteendet av fuktkvoten för samtliga mätpunkter har likvärdiga variationer under mätperioden. Fuktkvoten ligger på 15-20 % för samtliga mätpunkter med naturlig ventilation och bedöms som liten risk för mögelpåväxt enligt Tabell 3.1. Högre fuktkvot uppmättes under vinterhalvåret och lägre värden under sommaren. Ånghalten har likvärdiga variationer under hela mätperioden för samtliga mätpunkter. En trendlinje med ett rullande medelvärde på 72 timmar har tillämpats för förenklad avläsning av diagrammet.

6.1.5 Slutsats av mätpunkt - Naturlig ventilation

Resultatet från riskanalysen och mögelmodellen indikerar att väderstreck i öst och väst i ”Tarmen” uppvisar ett mer kritiskt resultat jämfört med väderstreck i norr och söder i ”Skeppet”. Skillnader i ”Skeppet” och ”Tarmen” är väderstreck, taklutning och isolertjocklek, som medför att det finns flertal faktorer som kan påverka mätresultatet. Det går alltså inte att dra en definitiv slutsats om att det enbart är väderstrecken som påverkar mätresultatet.

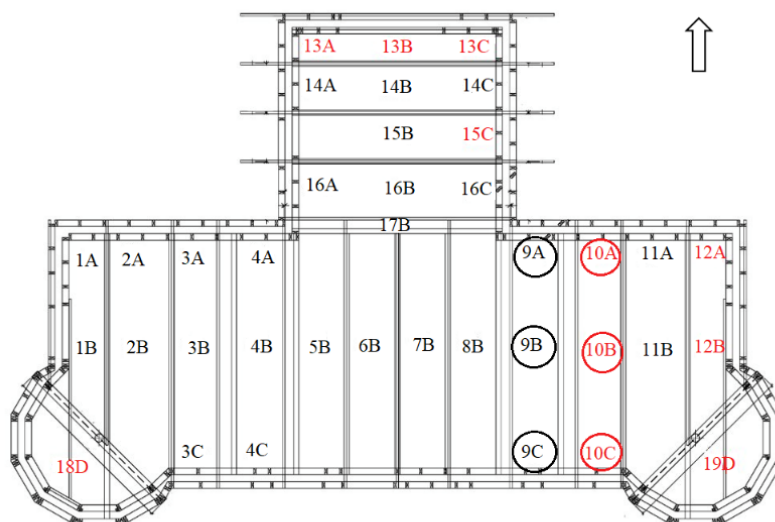
Samtliga mätpunkter med naturlig ventilation visar generellt höga värden på relativ fuktighet majoriteten av året, samt når ett mögelindex som bedöms vara en riskfylld nivå enligt simuleringen.

7. Parameterstudie - Mekanisk och naturlig ventilation, Skeppet

Gemensamt för aktuell parameterstudie är att samtliga berörda mätpunkter ligger i delen av byggnaden som benämns "Skeppet" som sträcker sig från luftspalt nummer 1 till 12. Aktuell parameterstudien utgör tre mätningar mellan mekanisk och naturlig ventilation, se Tabell 7.1 och Figur 7.1a. Samtliga mätpunkter är placerade i luftspalt nummer 9 och 10. Luftspalt nummer 9 har mekanisk ventilation och luftspalt 10 har naturlig ventilation. Båda luftspalterna ingår i samma takkonstruktion, således samma mängd isolering på 485 mm och en taklutning på 62 grader. Samtliga luftspalter erhåller tre mätpunkter som utgör position orienterad mot söder, taknock och norr, se Figur 7.1b.

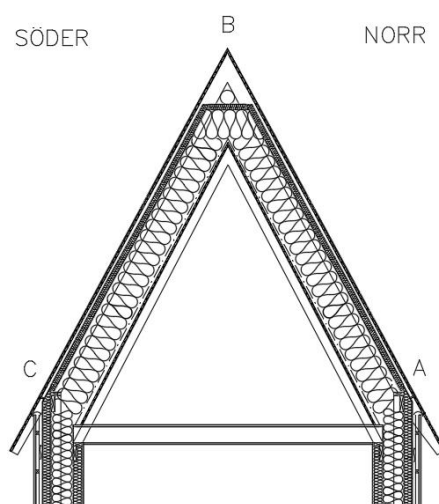
Tabell 7.1. Visar utförda mätningarna i parameterstudien över mekanisk och naturlig ventilation i skeppet.

Parameterstudie	Väderstreck	Mätpunkt 1	Mätpunkt 2
Mätning 1	Norr	9A	10A
Mätning 2	Nock	9B	10B
Mätning 3	Söder	9C	10C



Figur 7.1a. Visar mätpunkter i aktuell parameterstudie i Skeppet. Spalt 9 representerar mekanisk ventilation och spalt 10 representerar naturlig ventilation.

Figur 7.1b visar tvärsnittet för parallelltaket belägen i “Skeppet”. Position “C” representerar söder, “B” representerar taknock och “A” representerar norr.



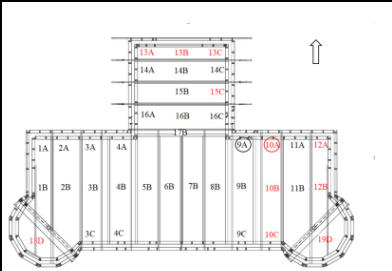
Figur 7.1b. Visar takkonstruktionen för spalt nummer 9 och 10, såväl placering av mätpunkt i förhållande till väderstreck.

Initialt har två mätpunkter från samma position och väderstreck valts ut i respektive mätning. En mätpunkt representeras av naturlig ventilation och den andra mätpunkten representeras av mekanisk ventilation. Varje mätpunkt har registrerat temperatur, relativ fuktighet och fuktkvot frekvent under varje timme från november 2018 till februari 2020. Eftersom det finns mätresultat från varje timme under cirka 16 månader har ett antal grafer kompletterats med trendlinjer för en förenklad avläsning av variationer. Trendlinjen beskriver ett rullande medelvärde på 168 timmar, som motsvarar en vecka.

7.1 Jämförelse av mekanisk (9A) och naturlig ventilation (10A)

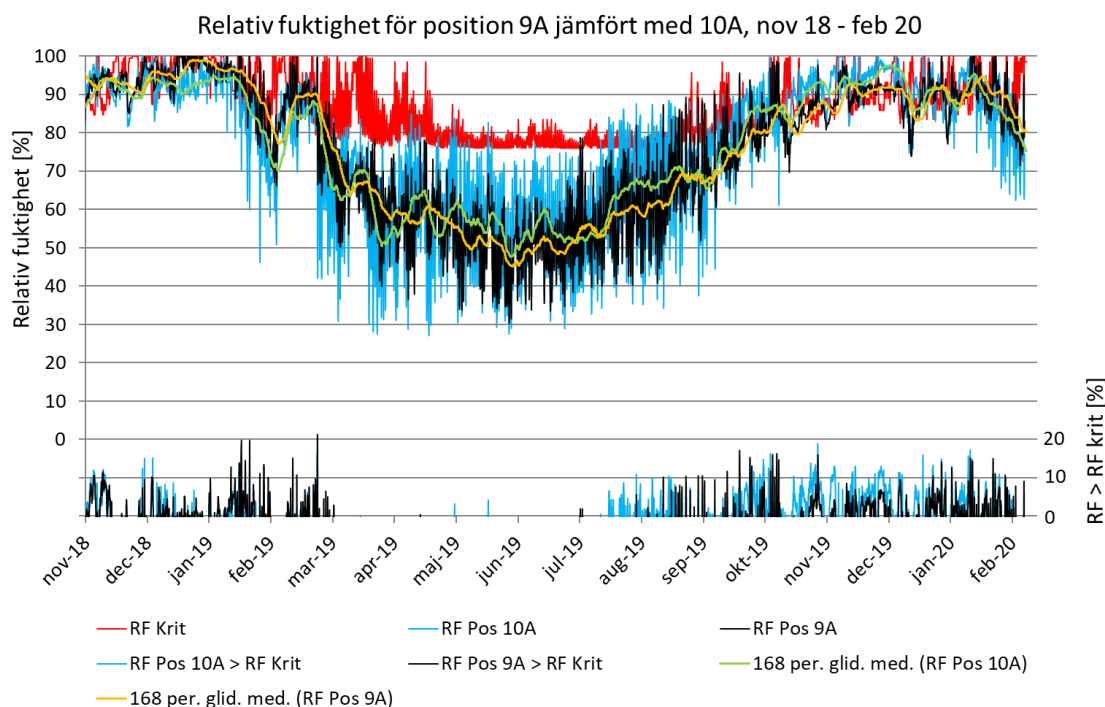
Mätpunkt 9A (mekanisk) och 10A (naturlig) har liknande förutsättningar, se Tabell 7.2. Mätpunkterna tillhör delen av taket som benämns som “Skeppet”. Båda mätpunkterna är placerade i nordlig riktning. Däremot skiljer sig förutsättningarna för ventilationen i respektive mätpunkt. Position 9A har mekanisk ventilation med stängd takfot och position 10A har naturlig ventilation med öppen takfot, se Tabell 7.2. Mätpunkterna är utvalda eftersom det finns goda förutsättningar att utvärdera den mekaniska ventilationen.

Tabell 7.2. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

	Mätpunkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
	9A 10A	Taklutning: 62 grader Isolertjocklek: 485mm Position: Norr	Mekanisk ventilation Naturlig ventilation

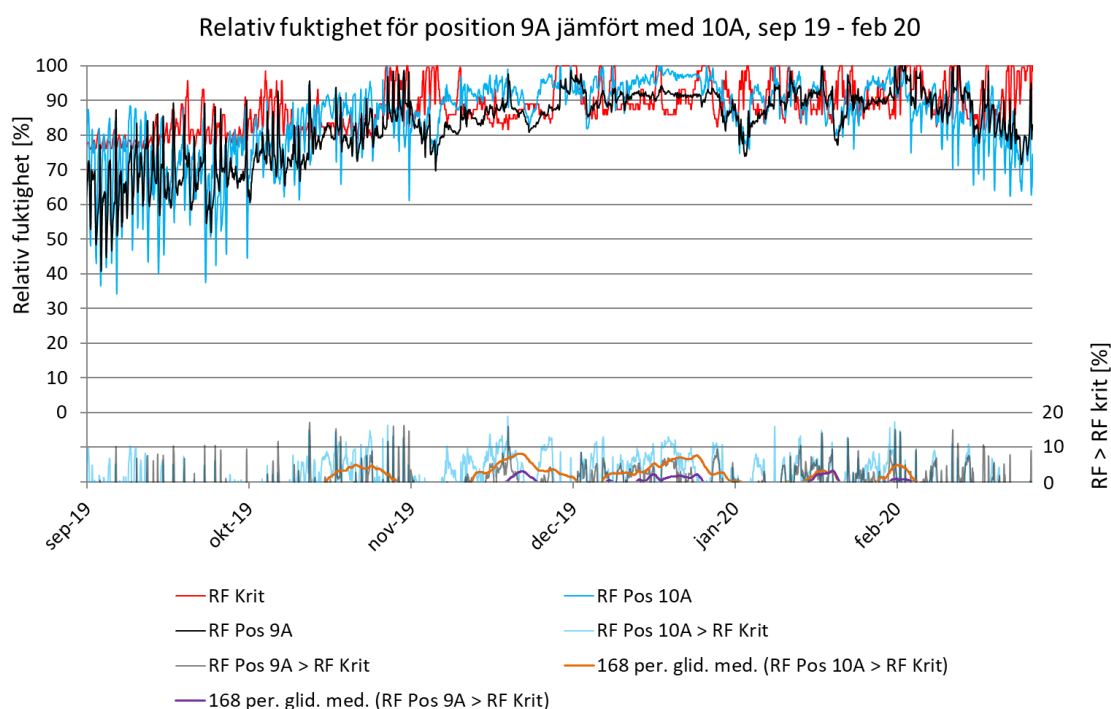
7.1.1 Resultat av riskanalys - mätpunkt 9A(mekanisk) - 10A(naturlig)

Figur 7.3a illustreras variationer i den relativa fuktigheten mellan november 2018 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i nordlig riktning. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten under samma tidsperiod.



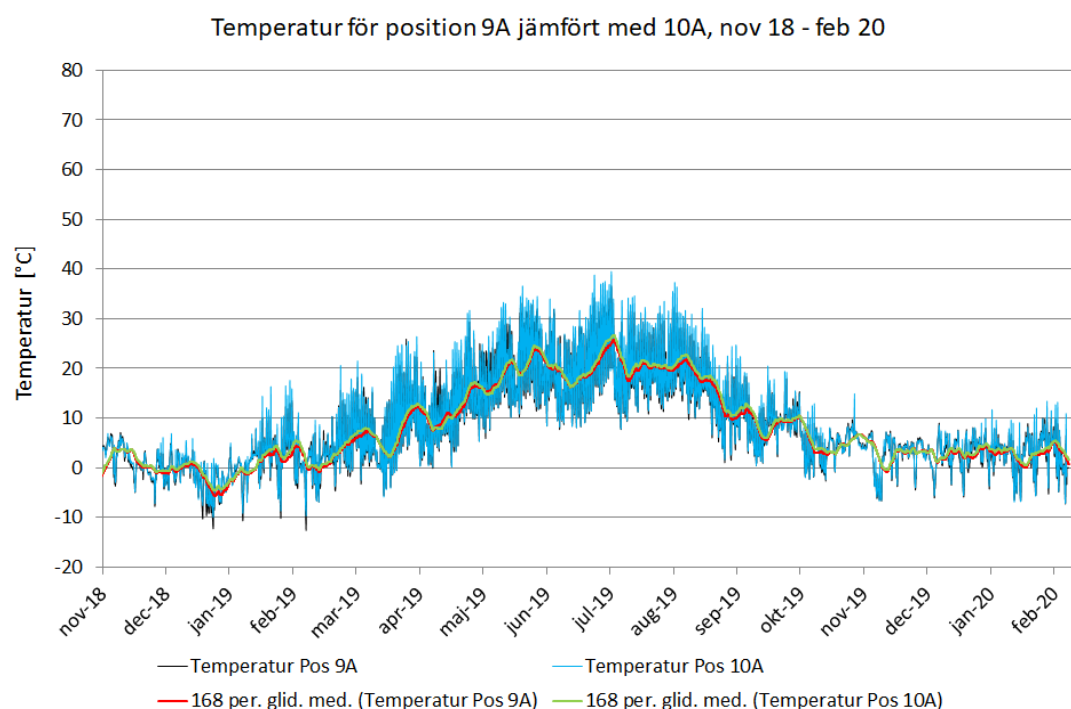
Figur 7.3a. Visar RF position 9A (svart överkant) och RF position 10A (blå överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 9A RF Krit (svart underkant) och 10A RF Krit (blå underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 9A)(gul) och 168 per. glid. med. (RF position 10A)(grön), beskriver ett rullande medelvärde för relativa fuktigheten på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.3b illustreras variationer i den relativ fuktighet mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i nordlig riktning. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten under samma tidsperiod. Notera att Figur 7.3b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 7.3a men under en kortare tidsperiod.



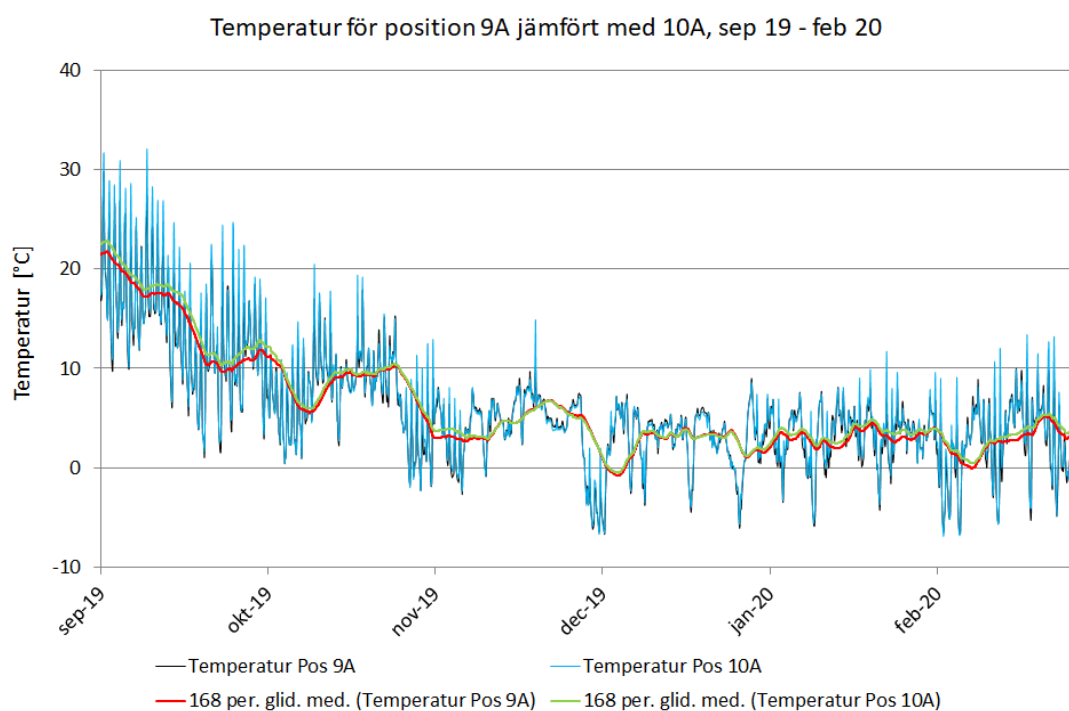
Figur 7.3b. Visar RF position 9A (svart överkant) och RF position 10A (blå överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 9A RF Krit (svart underkant) och 10A RF Krit (blå underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 9A > RF Krit)(lila) och 168 per. glid. med. (RF position 10A > RF Krit)(orange), beskriver ett rullande medelvärde för förhållandet mellan RF och RF Krit på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.4a illustrerar variationer i temperaturen mellan november 2018 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i nordlig riktning.



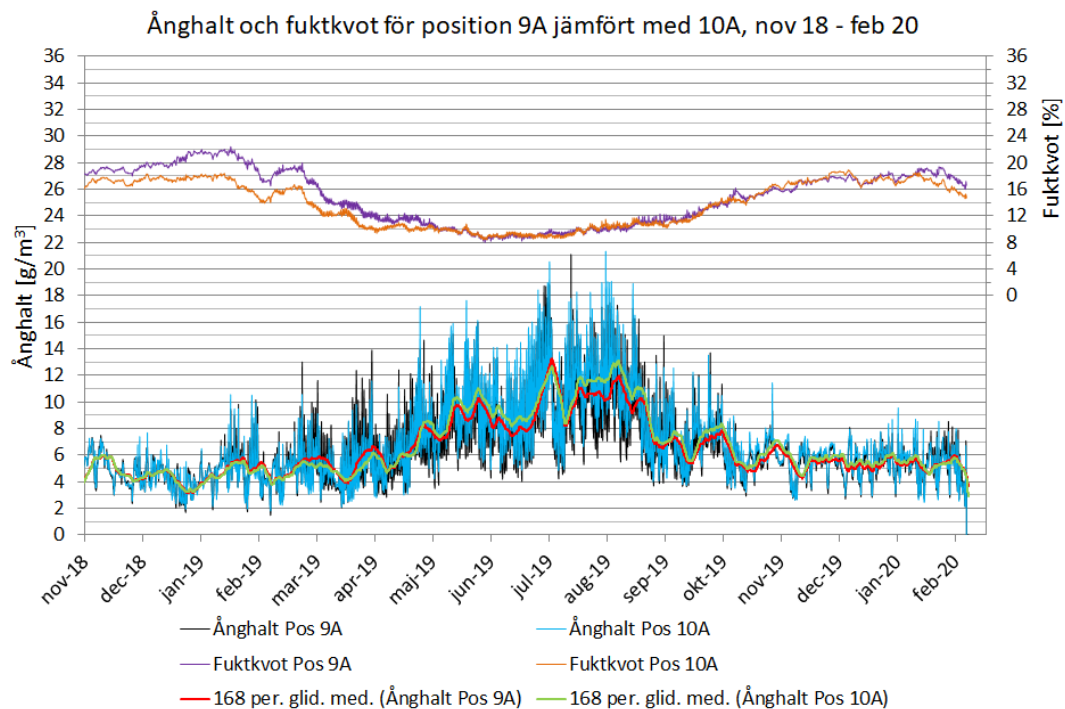
Figur 7.4a. Temperatur position 9A (svart) och temperatur position 10A (blå) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 9A)(röd) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 10A)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.4b illustreras variationer i temperaturen mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är orienterad mot norr. Notera att Figur 7.4b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 7.4a men under en kortare tidsperiod.



Figur 7.4b. Temperatur position 9A (svart) och temperatur position 10A (blå) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 9A)(röd) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 10A)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

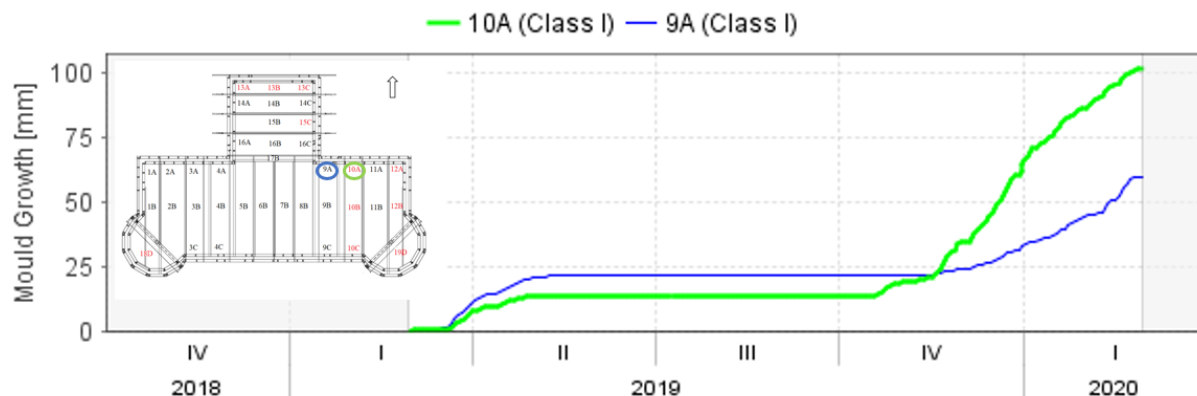
Figur 7.5 illustrerar variationer i ånghalt och fuktkvot mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i nordlig riktning.



Figur 7.5. Fuktkvot position 9A (lila) och fuktkvot position 10A (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. Ånghalt position 9A (svart) och ånghalt position 10A (blå) visar ånghalt i luftspalt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Ånghalt position 9A) (röd) och 168 per. glid. med. (Ånghalt position 10A) (grön) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 168 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

7.1.2 Resultat av mögelmodell - mätpunkt: 9A(mekanisk) - 10A(naturlig)

Figur 7.6 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2019 till februari 2020 för mekanik och naturlig ventilation i angivna mätpunkter i nordlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



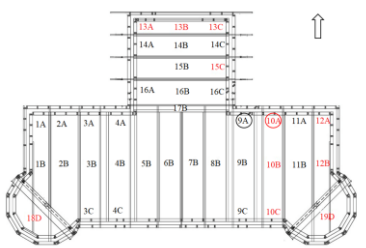
Figur 7.6. Visar mögeltillväxt för position 9A (blå) och mögeltillväxt för position 10A (grön) i millimeter per år.

7.1.3 Övergripande resultat - mätpunkt: 9A(mekanisk) - 10A(naturlig)

Tabell 7.3 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderat utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 7.3 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

Tabell 7.3. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter.

	Mätpunkter	Riskanalys		Mögelmodell
		$RF > RF_{Krit}$	$FK > FK_{Krit}$	WUFI Bio
9A (mekanisk)		10 av 16 månader	7 av 16 månader	65 mm/år
10A (naturlig)		11 av 16 månader	6 av 16 månader	100 mm/år

7.1.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 9A(mekanisk) - 10A(naturlig)

Figur 7.3a visar att den relativa fuktigheten generellt är högre i mätpunkt 10A (naturlig). Däremot har mätpunkt 9A (mekanisk) högre relativ fuktighet under november 2018 till mars 2019. Det uppseendeväckande resultatet kan bero på att fläktarna har oavsiktligt varit avstängda under sporadiska perioder under vintern 2018/2019. Däremot är det osannolikt att fläkten har varit avstängd under en så lång period. Resultatet skulle även kunna bero på någon form av vattenbelastning som har bidragit till en hög relativ fuktighet under en lång period innan luftspalten i mätpunkt 9A (mekanisk) hunnit torka ut. Vattenbelastning i takkonstruktioner i nordlig orientering blir utsatt i högre grad på grund av begränsad solstrålning som i sin tur bidrar till längre uttorkningstid.

Figur 7.3a illustrerar att den relativa fuktigheten är lägre under sommarhalvåret. Vilket tyder på att det inte föreligger risk för mögelpåväxt under sommarhalvåret i luftspalten med varken mekanisk eller naturlig ventilation. Däremot överstiger den kritiska relativa fuktigheten i båda mätpunkterna under vinterhalvåret. Däremot överstiger 10A (naturlig) den kritiska nivån i högre grad, samt med längre varaktighet.

Figur 7.3b illustrerar endast den relativa fuktigheten under den kritiska perioden under året, således september 2019 till februari 2020. Det beräknade rullande medelvärdet för mätpunkt 10A (naturlig) är systematiskt högre än det rullande medelvärdet för mätpunkt 9A (mekanisk). Resultatet visar att den naturliga ventilationen i mätpunkt 10A som är placerad i nordlig riktning har högre risk för mögelpåväxt jämfört med 9A som har mekanisk ventilation.

Figur 7.4 och 7.5 illustrerar temperatur, ånghalt och fuktkvot i angivna mätpunkter och tidsperiod. Temperaturen för de olika mätpunkterna är i stort sett likvärdiga i och med att temperaturkurvorna i dem olika mätpunkterna följer varandra. Mätresultatet för ånghalten ser ut att vara likvärdig större delar av året. Däremot verkar det vara en kortare tidsperiod under augusti 2019 där skillnaderna är marginell. Det går inte att avgöra om skillnaden är signifikant och ligger utanför begränsningarna för analysen av diagrammet.

Figur 7.5 illustrerar fuktkvoten för angivna mätpunkter. Resultatet tyder på att mätpunkt 9A (mekanisk) uppvisar en högre fuktkvot mellan november 2018 till april 2019. Under denna period överstiger mätpunkt 9A (mekanisk) en fuktkvot över 20 % som indikerar på stor risk för mögelpåväxt enligt Tabell 3.1.

Mätresultatet från november 2018 till april 2019 illustrerar att fuktkvoten är högre i mätpunkt 9A (mekanisk) jämfört med mätpunkt 10A (naturlig), se Figur 7.5. Fuktkvotens höga mätvärden kan kopplas till den höga relativa fuktigheten under samma tidsperiod, se Figur 7.3a.

Figur 7.6 illustrerar mögelmodellen för angivna mätpunkter från februari 2019 till februari 2020. Under sommarhalvåret är kurvan flack och indikerar att det inte sker någon påväxt. Däremot visar kurvan att 9A (mekanisk) har en högre påväxt i början av den mätta perioden jämfört med 10A (naturlig). Detta beror på den höga relativa fuktigheten i mätpunkt 9A (mekanisk) är högre jämfört med 10A (naturlig) den första vintern under mätperioden. Däremot indikerar simuleringen ett motsatt förhållande under den andra vintern under mätperioden, således en högre tillväxtgrad i mätpunkt 10A (naturlig) jämfört med mätpunkt 9A (mekanisk). Slutligen påvisar resultatet att båda mätpunkterna överstiger gränsvärdet på 50 millimeter per år som anses riskfyllt enligt WUFI Bio. Däremot ligger mätpunkt 9A (mekanisk) precis på gränsen och 10A (naturlig) uppvisar ett betydligt högre index.

Tabell 7.3 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar marginell skillnad mellan antal kritiska månader mellan mekanisk och naturlig ventilation i riktning mot norr. Eftersom antalet månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt kan ingen signifikant skillnad redovisas.

7.1.5 Slutsats av mätpunkt: 9A (mekanisk) - 10A (naturlig)

Risikanalysen indikerar att mätpunkt 9A (mekanisk) generellt har något bättre klimat utifrån ett fukttekniskt perspektiv, således mindre risk för mögelpåväxt. Däremot uppvisar mätpunkt 9A (mekanisk) högre relativa fuktigheten och fuktkvoten under vinterhalvåret 2018/2019. Fuktkvoten indikerar att det finns stor risk för mögelpåväxt under december 2018 till februari 2019.

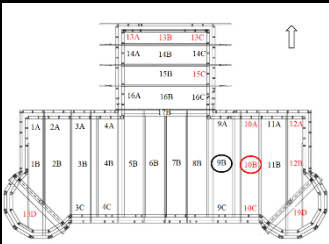
Temperaturen saknar signifikanta skillnader under angiven tidsperiod, däremot indikerar mätresultatet att ånghalten är något lägre i mätpunkt 9B (mekanisk). Mögelanalysen indikerar att det finns risk för mögelpåväxt i båda mätpunkterna, däremot visar resultatet att den mekaniska ventilationen reducerar risken.

7.2 Jämförelse av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)

Mätpunkt 9B (mekanisk) och 10B (naturlig) har liknande förutsättningar, se Tabell 7.4. Mätpunkterna tillhör delen av taket som benämns som "Skeppet". Båda mätpunkterna är placerade i taknock med en taklutning på 62 grader och en isolertjocklek på 485 millimeter i

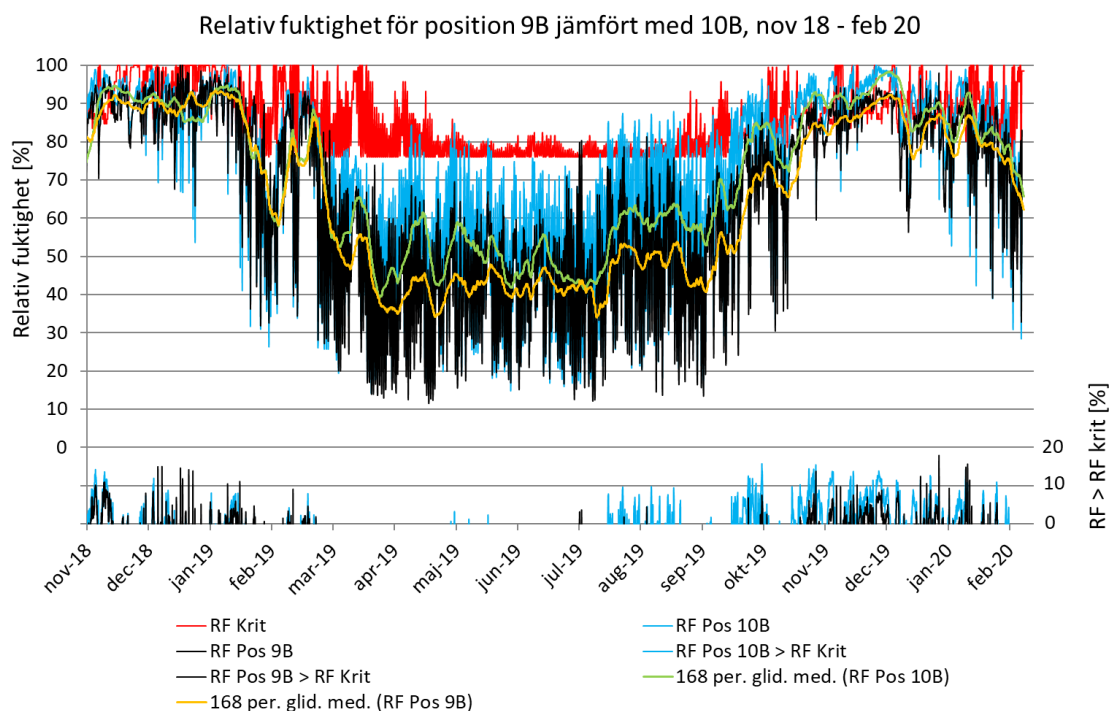
respektive mätpunkt. Däremot skiljer sig förutsättningarna för ventilationen i respektive mätpunkt (mekanisk och naturlig). Position 9B har mekanisk ventilation med stängd takfot och position 10B har naturlig ventilation med öppen takfot, se Tabell 7.4. Det är goda förutsättningar att utvärdera den mekaniska ventilationen eftersom mätpunkterna har få skilda parametrar.

Tabell 7.4. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

	Mätpunkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
9B 10B		Taklutning: 62 grader Isolertjocklek: 485 mm Position: Taknock	Mekanisk ventilation Naturlig ventilation

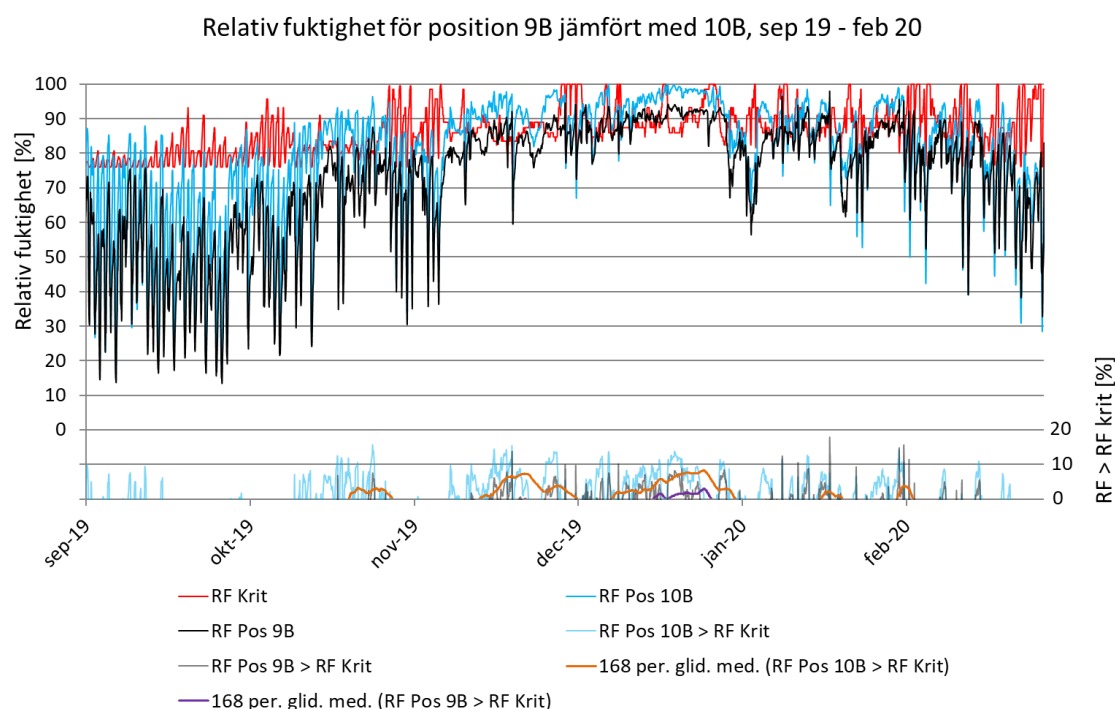
7.2.1 Resultat av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)

Figur 7.8a illustreras variationer i den relativa fuktigheten varierar mellan november 2018 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade vid taknock. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod.



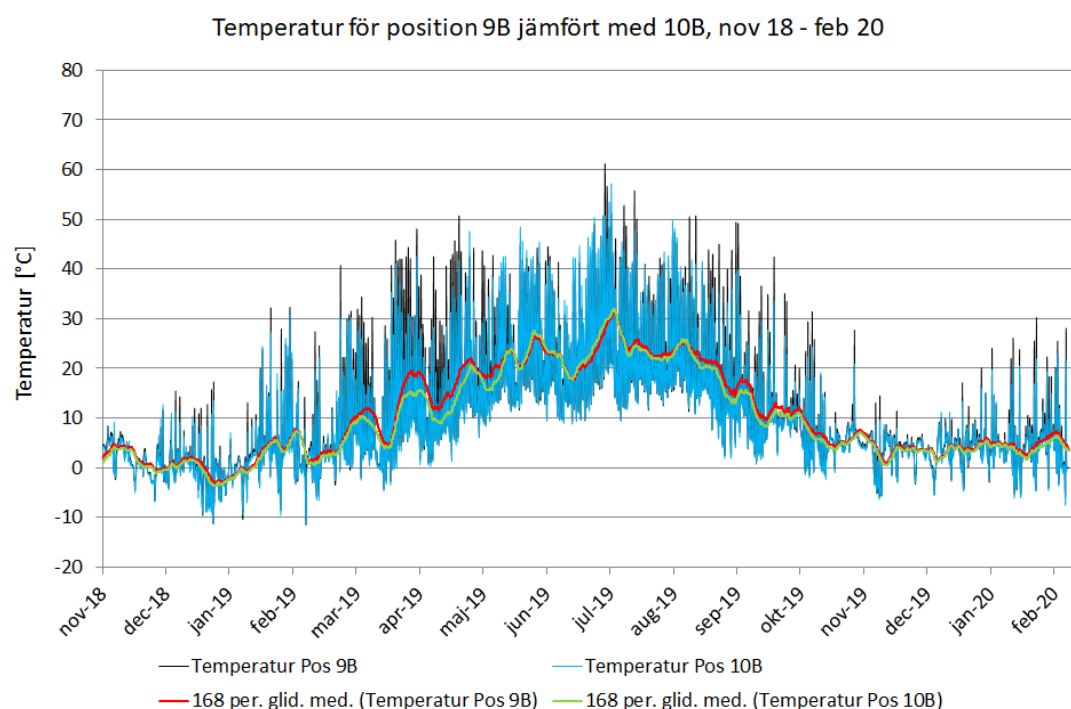
Figur 7.8a. Visar RF position 9B (svart överkant) och RF position 10B (blå överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 9B RF Krit (svart underkant) och 10B RF Krit (blå underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mät punkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 9B)(gul) och 168 per. glid. med. (RF position 10B)(grön), beskriver ett rullande medelvärde för relativa fuktigheten på 168 timmar för respektive mät punkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.8b illustreras variationer i den relativa fuktigheten mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade vid taknock. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod. Notera att Figur 7.8b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 7.8a men under en kortare tidsperiod.



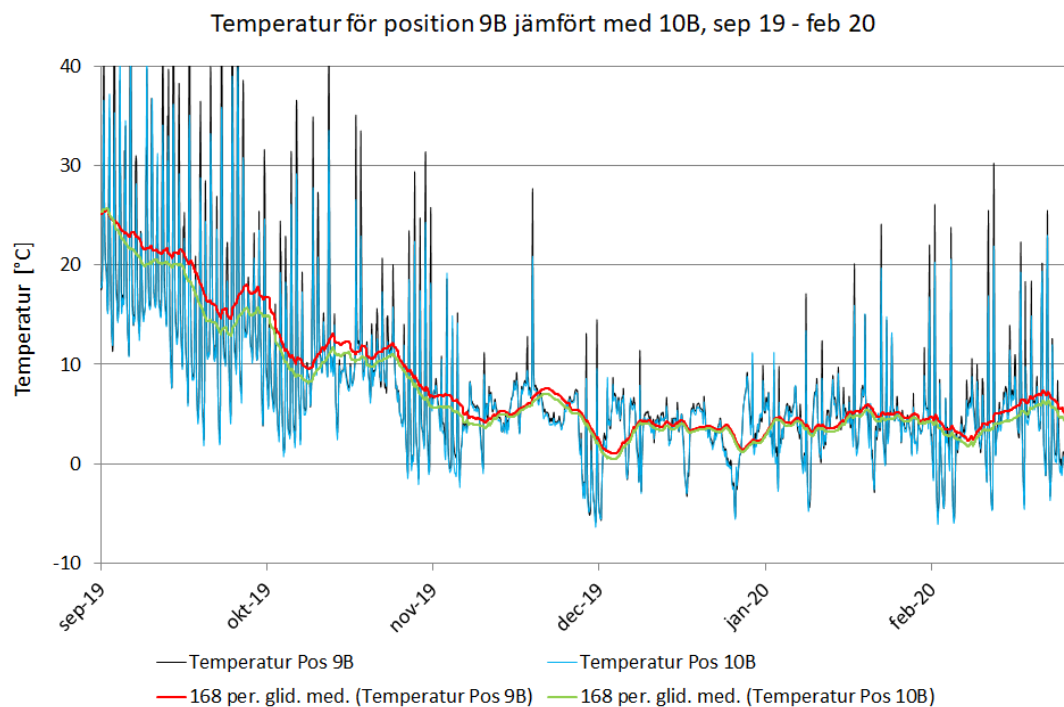
Figur 7.8b. Visar RF position 9B (svart överkant) och RF position 10B (blå överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 9B RF Krit (svart underkant) och 10B RF Krit (blå underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 9B > RF Krit)(lila) och 168 per. glid. med. (RF position 10B > RF Krit)(orange), beskriver ett rullande medelvärde för förhållandet mellan RF och RF Krit på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.9a illustrerar variationer i temperaturen mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade vid taknock.



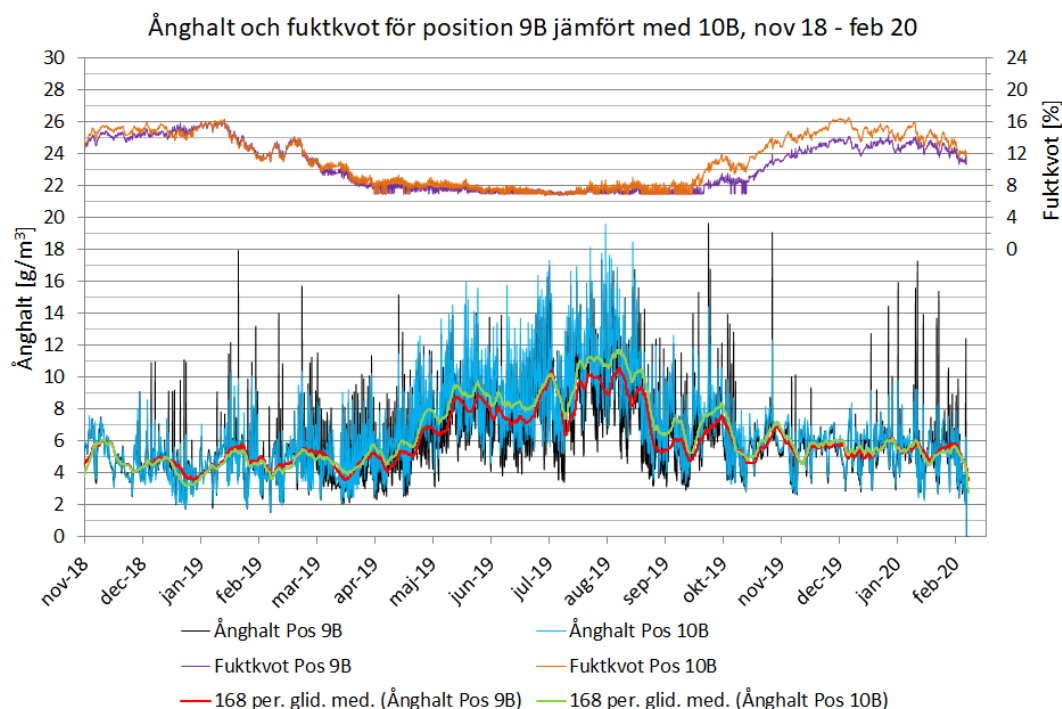
Figur 7.9a. Temperatur position 9B (svart) och temperatur position 10B (blå) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 9B)(röd) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 10B)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.9b illustreras variationer i temperaturen mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är orienterade i taknock. Notera att Figur 7.9b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 7.9a men under en kortare tidsperiod.



Figur 7.9b. Temperatur position 9B (svart) och temperatur position 10B (blå) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 9B)(röd) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 10B)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

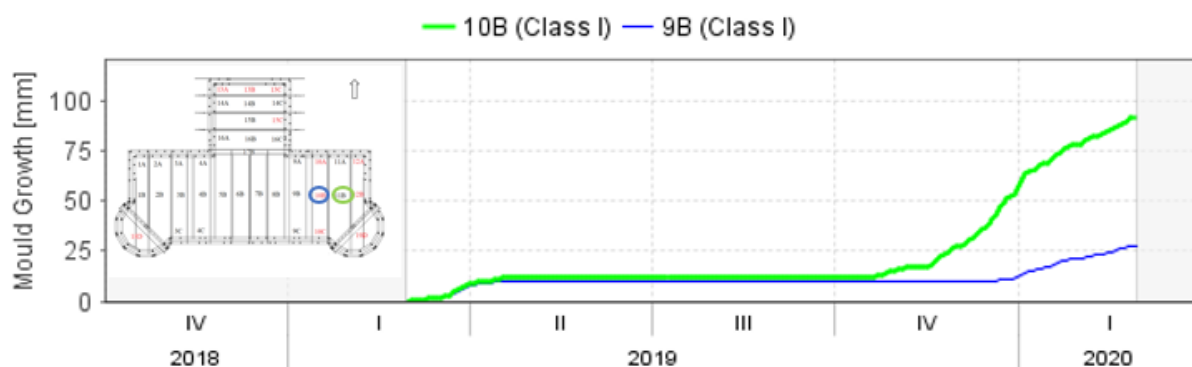
Figur 7.10 illustrerar variationer i ånghalt och fuktkvot mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade vid taknock.



Figur 7.10. Fuktkvot position 9B (lila) och fuktkvot position 10B (orange) visar fuktkvot i råspont i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. Ånghalt position 9B (svart) och ånghalt position 10B (blå) visar ånghalt i luftspalt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Ånghalt position 9B) (röd) och 168 per. glid. med. (Ånghalt position 10B) (grön) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 168 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

7.2.2 Resultat av mätpunkt - Mögelanalys 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)

Figur 7.11 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för mekanik och naturlig ventilation i angivna mätpunkter i taknock. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



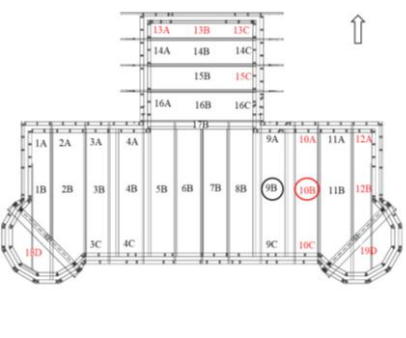
Figur 7.11. Visar mögeltillväxt för position 9B (blå) och mögeltillväxt för position 10B (grön) i millimeter per år.

7.2.3 Övergripande resultat - Mögelanalys 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)

Tabell 7.5 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderat utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 7.5 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

Tabell 7.5. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter.

	Mätpunkter	Riskanalys		Mögelmodell
		$RF > RF_{Krit}$	$FK > FK_{Krit}$	WUFI Bio
9B (mekanisk)		7 av 16 månader	0 av 16 månader	25 mm/år
10B (naturlig)		9 av 16 månader	0 av 16 månader	90 mm/år

7.2.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)

Figur 7.8a visar att den relativa fuktigheten generellt är högre i mätpunkt 10B (naturlig) jämfört med mätpunkt 9B (mekanisk). Under april 2019 till februari 2020 påvisas en konstant lägre relativ fuktighet i mätpunkt 9B (mekanisk). Under sommarhalvåret påvisas ingen risk för mögelpåväxt i någon av mätpunkterna. Den aktuella relativa fuktigheten överstiger den kritiska nivån i båda mätpunkterna under vinterhalvåret. Däremot överstiger 10B (naturlig) den kritiska nivån i högre grad, samt med längre varaktighet jämfört med 9B (mekanisk).

Figur 7.8b visar endast den relativa fuktigheten under den kritiska perioden under året, således september 2019 till februari 2020. Det beräknade rullande medelvärdet för mätpunkt 10B (naturlig) är systematiskt högre än det rullande medelvärdet för mätpunkt 9B (mekanisk). Resultatet visar att den naturliga ventilationen i taknock i mätpunkt 10B (naturlig) har högre risk för mögelpåväxt.

Figur 7.9 och 7.10 illustrerar temperatur, ånghalt och fuktkvot i angivna mätpunkter och tidsperiod. Temperaturen för de olika mätpunkterna är i stort sett likvärdiga i och med att temperaturkurvorna i dem olika mätpunkterna följer varandra. Mätresultatet för ånghalten indikerar ett likvärdigt mätresultat i respektive mätpunkt under majoriteten av året. Däremot är det en kortare tidsperiod under augusti 2019 där skillnaderna är marginell. Det går inte att avgöra om skillnaden är signifikant och ligger utanför begränsningarna för analys av diagrammet.

Figur 7.10 illustrerar fuktkvoten för angivna mätpunkter. Resultatet tyder på att mätpunkt 10B (naturlig) uppvisar en högre fuktkvot från oktober 2019 till januari 2020. Under vinterhalvåret 2019/2020 finns det risk för mögelpåväxt i mätpunkt 10B (naturlig) eftersom fuktkvoten når ett värde på cirka 15 % som indikerar risk för mögel enligt Tabell 3.1. Graferna sammanfaller resterande tidsperiod och utgör ingen signifikant skillnad.

Figur 7.11 illustrerar mögelmodellen för angivna mätpunkter från februari 2019 till februari 2020. Under sommarhalvåret sammanfaller kurvorna och indikerar samma mängd mögelpåväxt. Däremot ökar tillväxten signifikant i mätpunkt 10B (naturlig) i förhållande till mätpunkt 9B (mekanisk). Simuleringen indikerar att det inte finns någon större risk för mögelpåväxt i mätpunkt 9B (mekanisk) eftersom mängden påväxt ligger på acceptabel nivå enligt WUFI Bio. Däremot anses mätpunkt 10B (naturlig) ligga över gränsvärdet som är riskfyllt.

Tabell 7.5 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar marginell skillnad mellan antal kritiska månader mellan mekanisk och naturlig ventilation i riktning mot taknock. Resultatet indikerar något färre månader av kritiskt tillstånd i mätpunkt 9B (mekanisk) jämfört med 10B (naturlig).

7.2.5 Slutsats av mätpunkt: 9B (mekanisk) - 10B (naturlig)

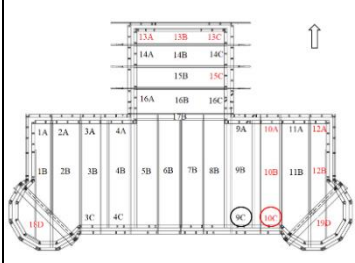
Risikanalysen och mögelmodellen indikerar att mätpunkt 9B (mekanisk) har något bättre klimat utifrån ett fukttekniskt perspektiv, således mindre risk för mögelpåväxt. Riskanalysen indikerar att den relativa fuktigheten och fuktkvoten är lägre i mätpunkt 9B (mekanisk) med undantag under vinterhalvåret 2018/2019. Under vinterhalvåret 2018/2019 finns ingen signifikant skillnad mellan mätpunkt 9A (mekanisk) och 10A (naturlig).

Det finns marginella skillnader i temperaturen och ånghalten mellan naturlig och mekanisk ventilation. Mögelmodellen indikerar att det finns högre risk för mögelpåväxt i mätpunkt 10B (naturlig) jämfört med 9B (mekanisk).

7.3 Jämförelse av mätpunkt: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)

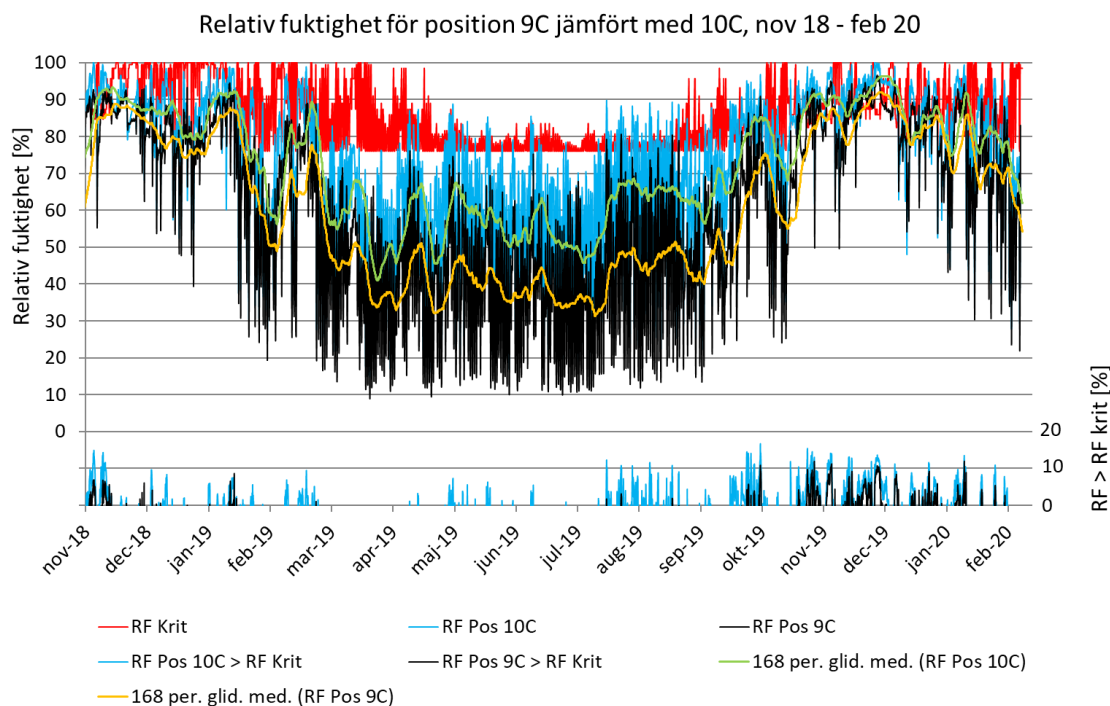
Mätpunkt 9C (mekanisk) och 10C (naturlig) har liknande förutsättningar, se Tabell 7.6. Mät punkterna tillhör delen av taket som benämns som "Skeppet". Båda mät punkterna är placerade i sydlig riktning. Taklutning och isolertjocklek är samma i respektive mätpunkt. Däremot skiljer sig förutsättningarna för ventilationen i respektive mätpunkt. Position 9C har mekanisk ventilation med stängd takfot och position 10C har naturlig ventilation med öppen takfot. Det är goda förutsättningar att utvärdera den mekaniska ventilationen eftersom mätpunkterna har få skilda parametrar.

Tabell 7.6. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

	Mät punkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
	9C 10C	Taklutning: 62 grader Isolertjocklek: 485 mm Position: Söder	Mekanisk ventilation Naturlig ventilation

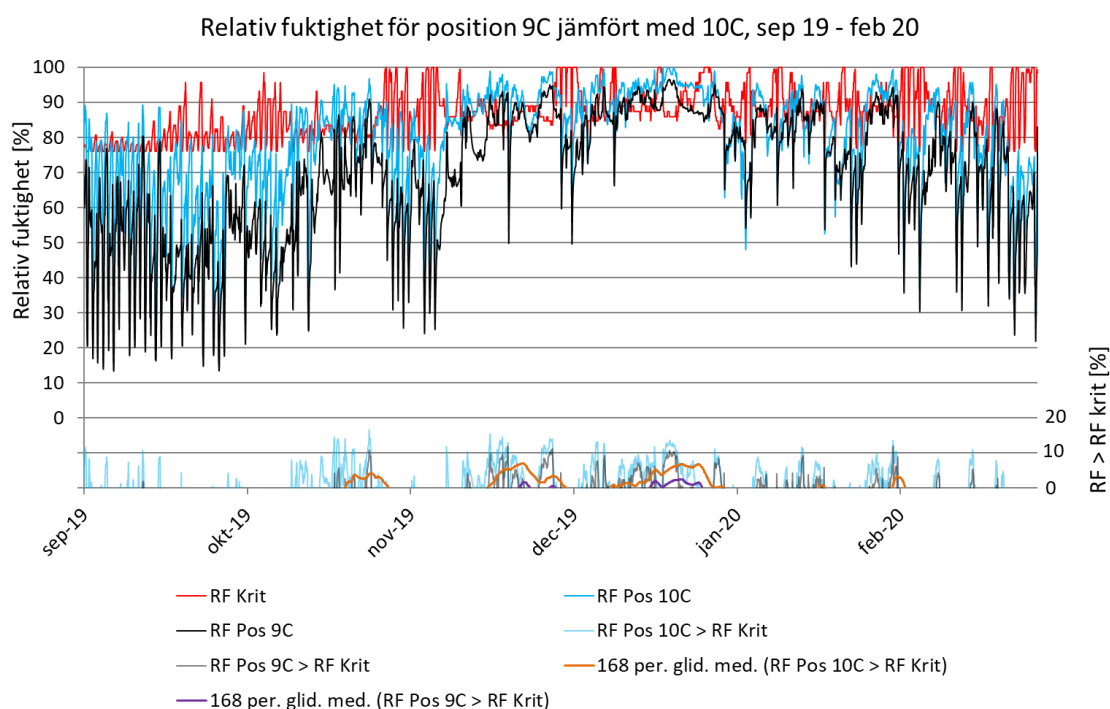
7.3.1 Resultat av mätpunkt: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)

Figur 7.12a illustreras variationer i den relativa fuktigheten mellan november 2018 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i söder. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod.



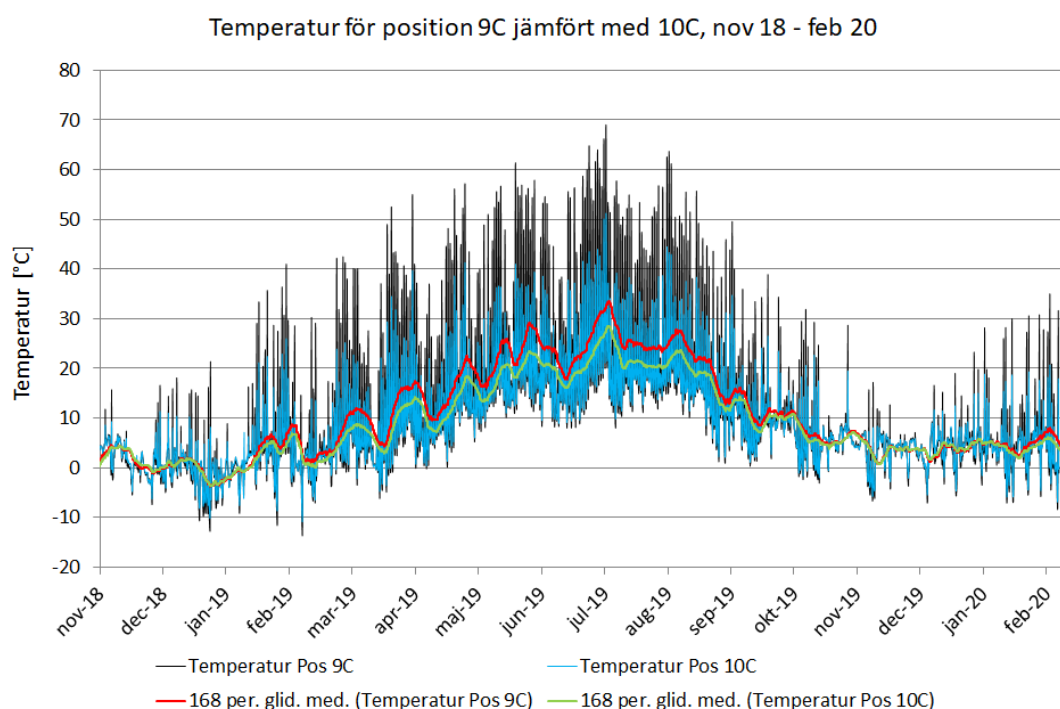
Figur 7.12a. Visar RF position 9C (svart överkant) och RF position 10C (blå överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 9C RF Krit (svart underkant) och 10C RF Krit (blå underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 9C)(gul) och 168 per. glid. med. (RF position 10C)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för relativa fuktigheten på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.12b illustrerar variationer i den relativa fuktigheten mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är orienterade mot söder. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod. Notera att Figur 7.12b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 7.12a, men under en kortare tidsperiod.



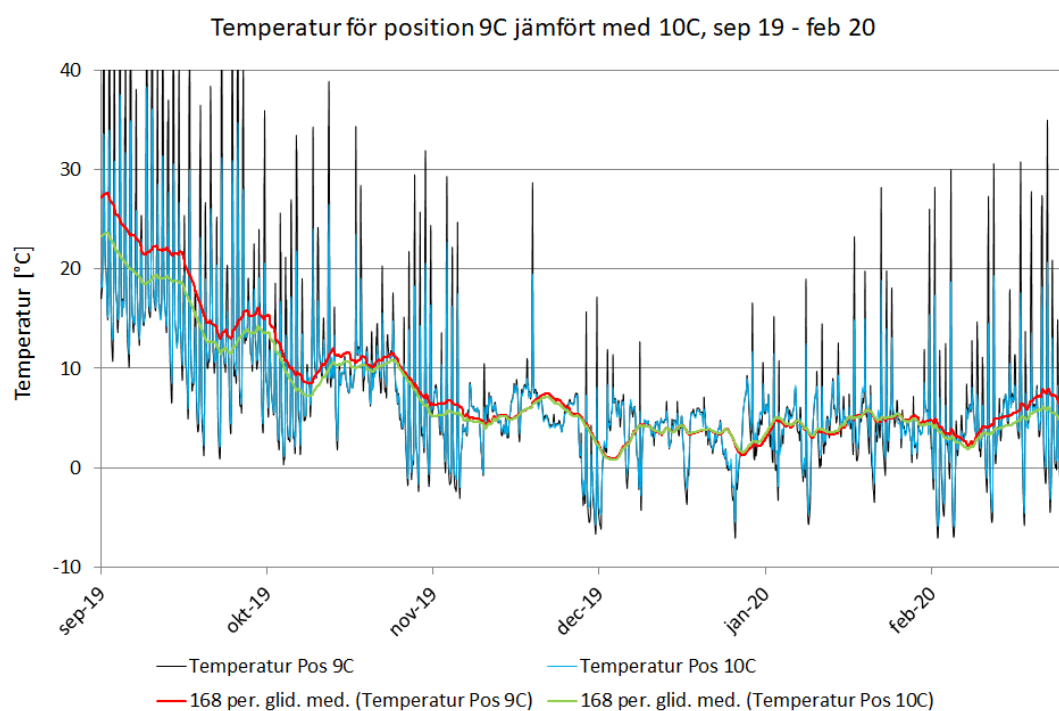
Figur 7.12b. Visar RF position 9C (svart överkant) och RF position 10C (blå överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 9C RF Krit (svart underkant) och 10C RF Krit (blå underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 9C > RF Krit)(lila) och 168 per. glid. med. (RF position 10C > RF Krit)(orange), beskriver ett rullande medelvärde för förhållandet mellan RF och RF Krit på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.13a illustrerar variationer i temperaturen mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i söder.



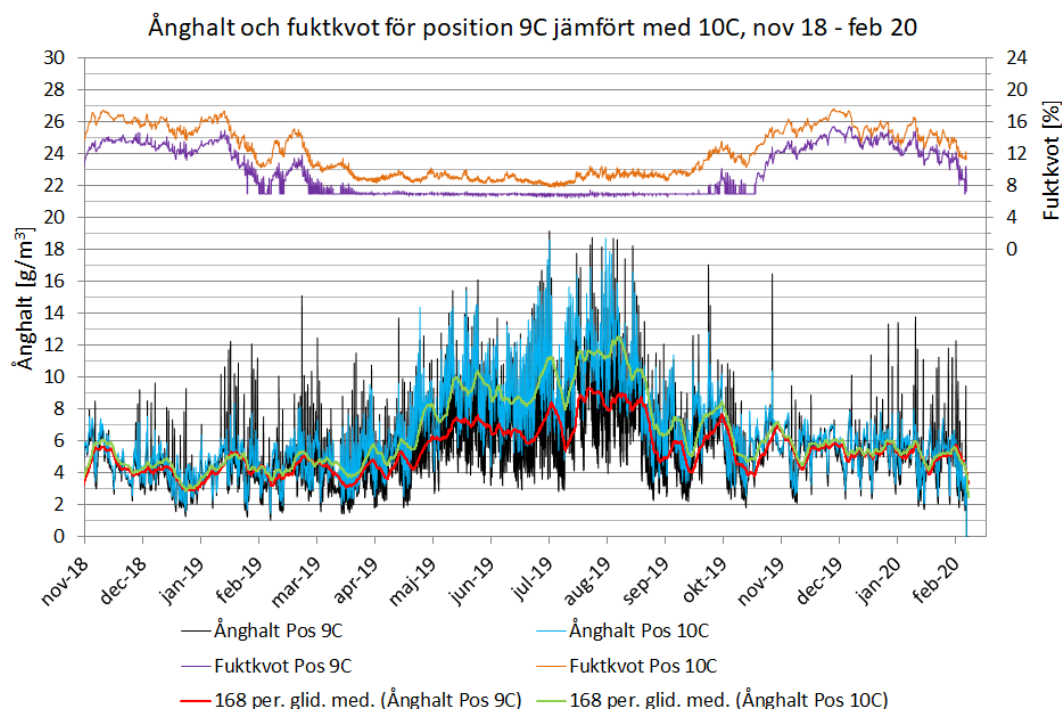
Figur 7.13a. Temperatur position 9C (svart) och temperatur position 10C (blå) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 9C)(röd) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 10C)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 7.13b illustrerar variationer i temperaturen mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är orienterade mot söder. Notera att Figur 7.13b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 7.13a men under en kortare tidsperiod.



Figur 7.13b. Temperatur position 9C (svart) och temperatur position 10C (blå) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 9C)(röd) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 10C)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

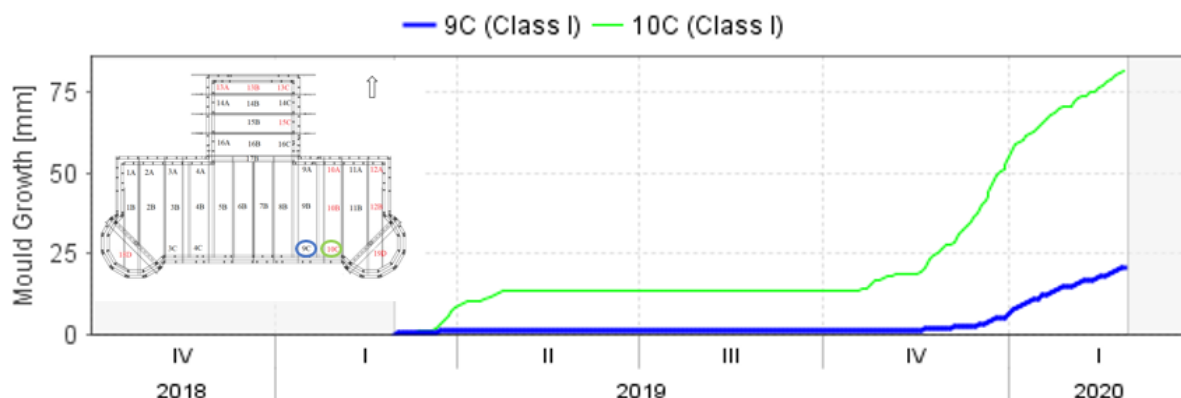
Figur 7.14 illustrerar variationer i ånghalt och fuktkvot mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är orienterade mot söder.



Figur 7.14. Fuktkvot position 9C (lila) och fuktkvot position 10C (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. Ånghalt position 9C (svart) och ånghalt position 10C (blå) visar ånghalten i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Ånghalt position 9C)(röd) och 168 per. glid. med. (Ånghalt position 10C)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 168 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

7.3.2 Resultat av mögelanalys - mätpunkt 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)

Figur 7.15 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för mekanisk och naturlig ventilation i angivna mätpunkter i sydlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



Figur 7.15. Visar mögeltillväxt för position 9C (blå) och mögeltillväxt för position 10C (grön) i millimeter per år.

7.3.3 Resultat av fuktkvotsberäkning

Aktuellt avsnitt är unikt för mätpunkt 9C (mekanisk) och 10C (naturlig) eftersom Figur 7.14 illustrerar en unik variation i fuktkvot mellan angivna mätpunkter. Figur 7.14 illustrerar variationer i fuktkvoten som konstant är lägre i den mekaniskt ventilerade luftspalten jämfört med den naturligt ventilerade luftspalten. På grund av det unika mätresultatet har fuktkvoten i mätpunkt 9C (mekanisk) och mätpunkt 10C (naturlig) analyserats ytterligare. Skillnader i fuktkvot kan orsakats av variationer i trästyckets densitet i respektive mätpunkt eftersom fuktkvoten generellt kan variera med $\pm 20\%$. För beräkning av skillnader i densitet, se ekvation (3.3) och beräkningsgång för densiteten i respektive mätpunkt. Resultatet indikerar att osäkerheter i trävirkets densitet inte kan förklara skillnaden i uppmätt fuktkvot eftersom intervallet i beräknad fuktkvot överlappar. Krävs högre precision i angivet spann för densiteten för att påvisa skillnad i fuktkvot. Dock är uppskattningen av osäkerheten på densiteten godtyckligt och baserad på siffror från Esping (2005).

$$\text{Fukthalt } (w) = \text{Fuktkvot } (u) * \text{densitet}(\rho) \quad (3.3)$$

Beräkningsgång: Variationer i densitet (9C och 10C).

Tabell 13. Visar fuktkvoten i den mekanisk ventilerad luftspalt (9C) och den naturligt ventilerad luftspalt (10C), 2019-02-13, klockan 22:00.

	Mätpunkt 9C	Mätpunkt 10C
Fuktkvot (%)	11,6	14,4

$$20\% \text{ av } 455 \text{ kg/m}^3 = 91 \text{ kg/m}^3$$

Densiteten uppskattas till: $455 \text{ kg/m}^3 \pm 91 \text{ kg/m}^3$ (Esping, et al., 2005)

$$\rho(9C) = 0,116 * 455 = 52,78 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho(10C) = 0,144 * 455 = 65,52 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho(9C) + 20\% = 0,116 * 455 * 1,2 = 63,34 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho(9C) - 20\% = 0,116 * 455 * 0,8 = 42,22 \text{ kg/m}^3$$

$$\sum 9C = 42 - 64 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho(10C) + 20\% = 0,114 * 455 * 1,2 = 78,62 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho(10C) - 20\% = 0,114 * 455 * 0,8 = 52,48 \text{ kg/m}^3$$

$$\sum 10C = 52 - 79 \text{ kg/m}^3$$

7.3.4 Övergripande resultat: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)

Tabell 7.7 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{\text{Krit}}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{\text{Krit}}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderat utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 7.7 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

skillnader i fuktkvot under sommarhalvåret mellan mätpunkt 9C (mekanisk) och 10C (naturlig), men som inte är mätbara.

Figur 7.15 illustrerar mögelmodellen för angivna mätpunkter från februari 2019 till februari 2020. Simuleringen indikerar att mätpunkt 10C (naturlig) har en markant större risk för mögelpåväxt jämfört med mätpunkt 9C (mekanisk). Mätpunkt 9C (mekanisk) ligger under gränsvärdet som anses vara riskfyllt enligt WUFI Bio, däremot når mätpunkt 10C (naturlig) en riskfylld nivå.

Tabell 7.7 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar även en viss skillnad mellan antal kritiska månader mellan mekanisk och naturlig ventilation i riktning mot söder. Mätpunkt 9C (mekanisk) indikerar färre månader av kritiskt tillstånd jämfört med 10C (mekanisk).

7.3.6 Slutsats av mätpunkt: 9C (mekanisk) - 10C (naturlig)

Resultatet indikerar att den mekaniska ventilationen förbättrar luftspaltens förhållande avsevärt under sommarhalvåret i väderstreck mot söder. Under sommarhalvåret när begränsad risk för mögelpåväxt råder är detta av mindre betydelse. Samma signifikanta förbättringar uppvisas inte under vinterhalvåret eftersom båda mätpunkterna överstiger den kritiska nivån. Däremot ligger den relativa fuktigheten kontinuerligt lägre i mätpunkt 9C (mekanisk) jämfört med 10C (naturlig) och som indikerar lägre risk för mögelpåväxt i den mekaniska ventilationen.

Figur 7.14 indikerar att fuktkvoten är lägre i den mekaniskt ventilerade luftspalten jämfört med den naturligt ventilerade luftspalten. Däremot om man tar hänsyn till osäkerheten i den faktiska densiteten så går det inte längre att slå fast om det finns skillnad i dem två fallen. Krävs således högre precision i angivet spann för densiteten för att påvisa skillnad i fuktkvot.

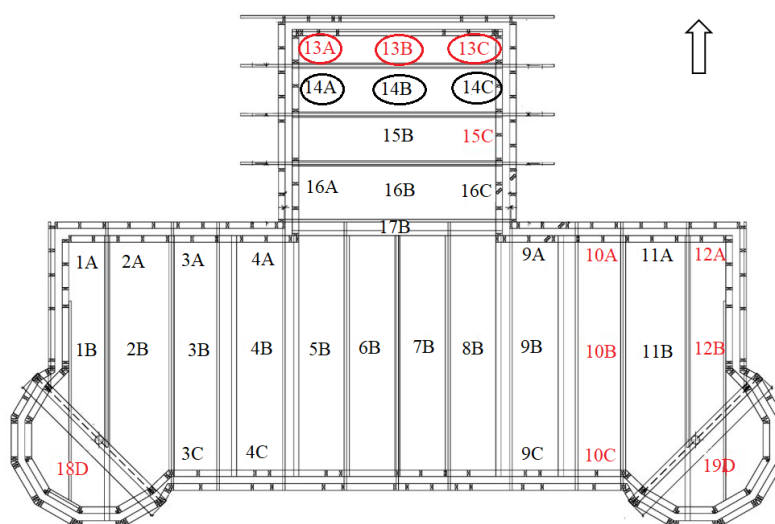
Mögelanalysen indikerar likt riskanalysen att den mekaniska ventilationen reducerar risken för mögelpåväxt i sydlig orienterad takriktning. Mätpunkt 9C (mekanisk) löper avsevärt lägre risk för mögelpåväxt jämfört med mätpunkt 10C (naturlig).

8. Parameterstudie - Mekanisk och naturlig ventilation i Tarmen

Gemensamt för aktuell parameterstudie är att alla berörda mätpunkter ligger i delen av byggnaden som benämns "Tarmen" som sträcker sig från luftspalt nummer 13 till 17. Aktuell parameterstudien utgör tre mätningar mellan mekanisk och naturlig ventilation, se Tabell 8.1 och Figur 8.1a. Samtliga mätpunkter är placerade i luftspalt nummer 13 och 14. Luftspalt nummer 13 har naturlig ventilation och luftspalt nummer 14 har mekanisk ventilation. Båda luftspalterna ingår i samma takkonstruktion, således samma mängd isolering på 380 millimeter och en taklutning på 45 grader. Samtliga luftspalter erhåller tre mätpunkter som utgör position orienterad mot väster, taknock och öster, se Figur 8.1b.

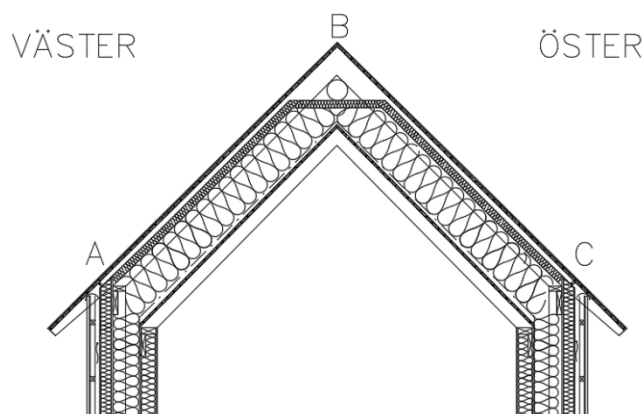
Tabell 8.1. Visar utförda mätningarna i parameterstudien över mekanisk och naturlig ventilation i Tarmen.

Parameterstudie	Väderstreck	Mätpunkt 1	Mätpunkt 2
Mätning 1	Väster	13A	14A
Mätning 2	Nock	13B	14B
Mätning 3	Öster	13C	14C



Figur 8.1a. Visar mätpunkter i aktuell parameterstudie i Tarmen. Spalt 13 representerar naturlig ventilation och spalt 14 representerar mekanisk ventilation.

Figur 8.1b visar tvärsnittet för parallelltaket belägen i "Tarmen". Position "A" representerar väster, "B" representerar taknock och "C" representerar öster.

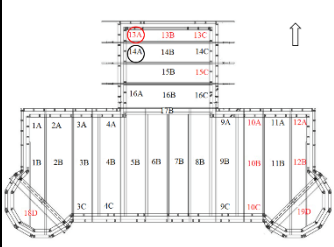


Figur 8.1b. Visar takkonstruktionen för spalt 13 och 14 i Tarmen, såväl placering av mätpunkt förhållande till väderstreck.

8.1 Jämförelse av mätpunkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)

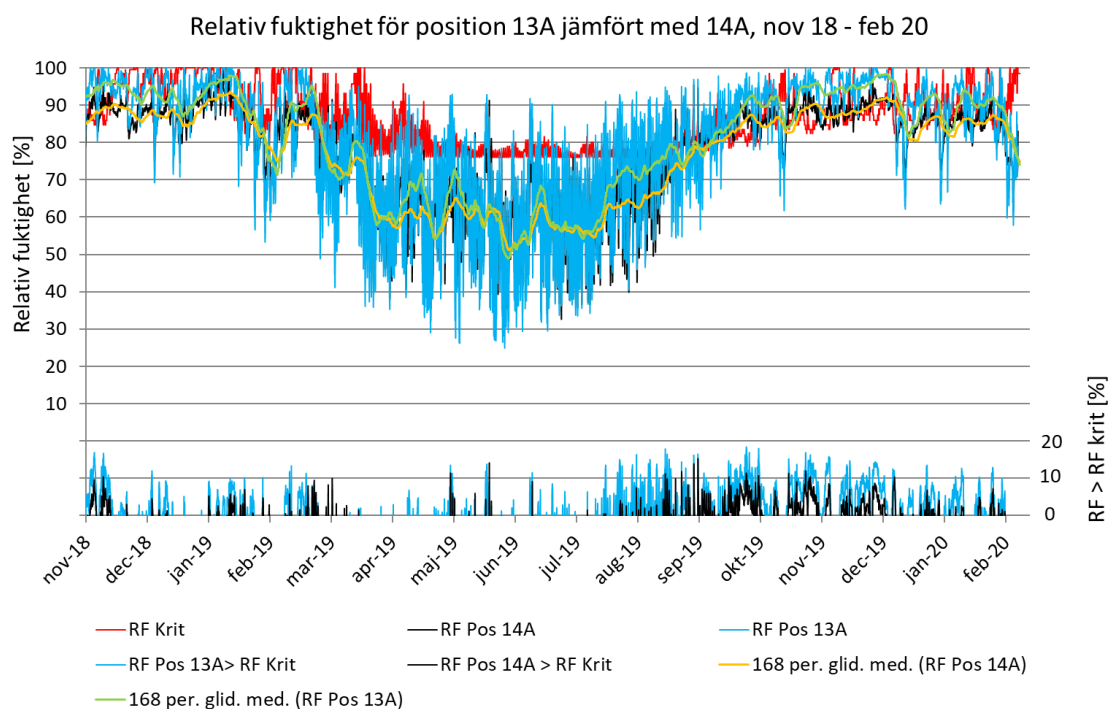
Mätpunkt 13A (naturlig) och 14A (mekanisk) har liknande förutsättningar, se Tabell 8.2. Mätpunkterna tillhör delen av taket som benämns som "Tarmen". Båda mätpunkterna är placerade i västlig riktning. Taklutning och isolertjocklek är samma i respektive mätpunkt. Däremot skiljer sig förutsättningarna för ventilationen i respektive mätpunkt där position 14A har mekanisk ventilation med stängd takfot och position 13A har naturlig ventilation med öppen takfot. Det är goda förutsättningar att utvärdera den mekaniska ventilationen eftersom mätpunkterna har få skilda parametrar.

Tabell 8.2. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

	Mätpunkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
	13A 14A	Taklutning: 45 grader Isolertjocklek: 380 mm Position: Väst	Naturlig ventilation Mekanisk ventilation

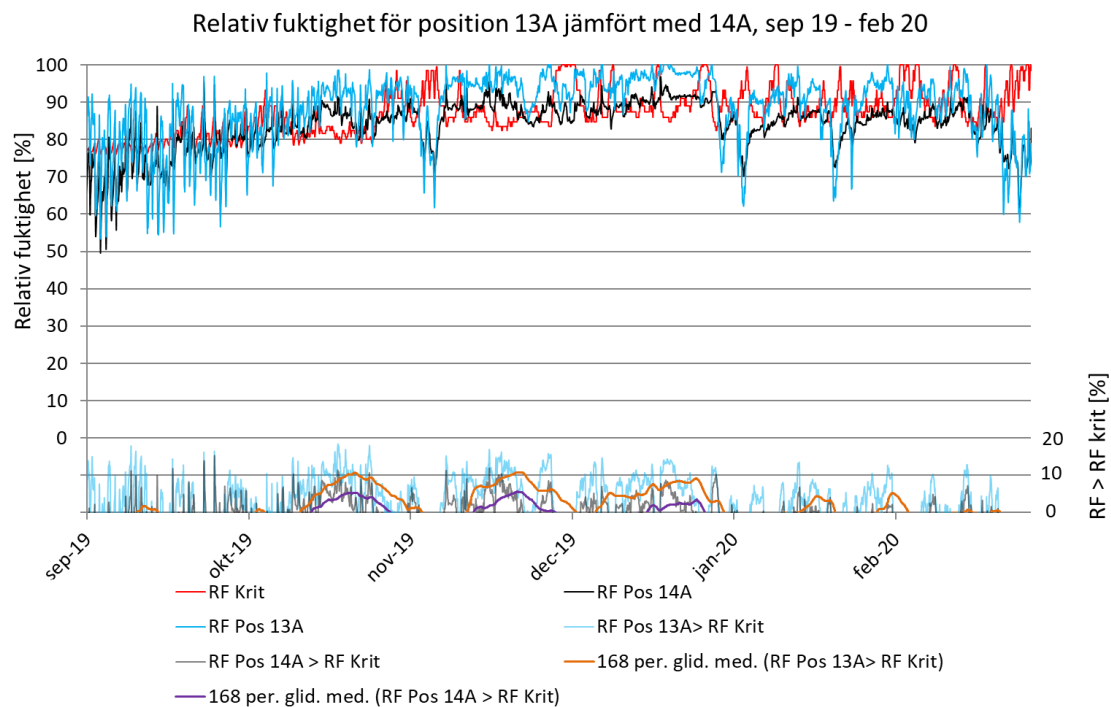
8.1.1 Resultat av riskanalys - mätpunkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)

Figur 8.2a illustreras variationer i relativ fuktighet mellan november 2018 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i väster. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod.



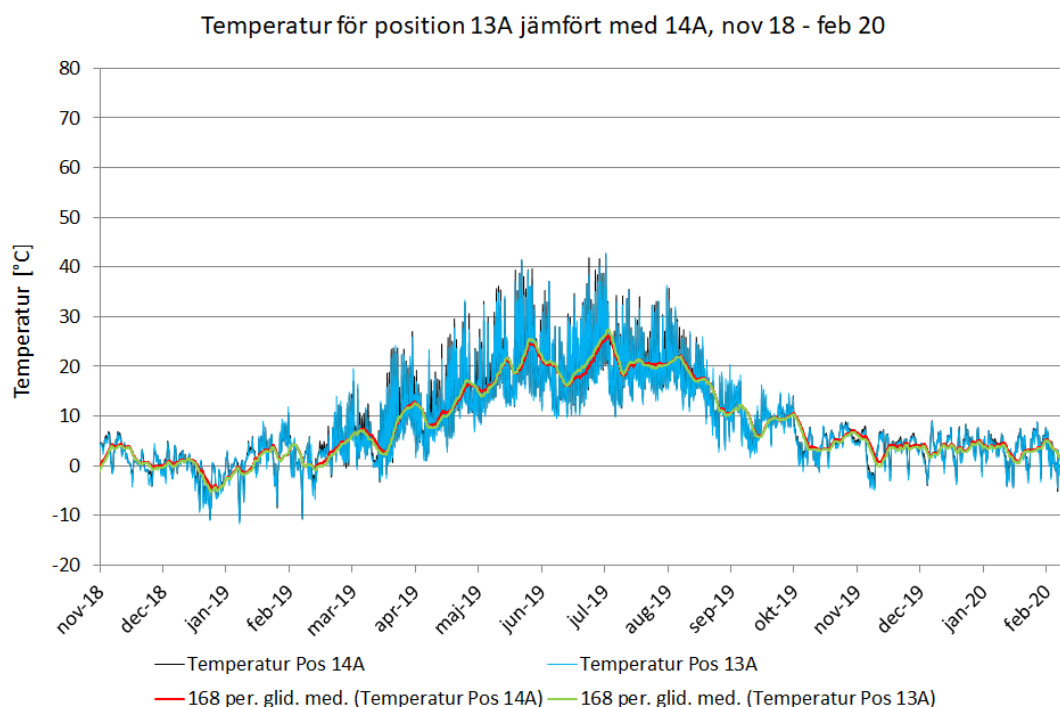
Figur 8.2a. Visar RF position 13A (blå överkant) och RF position 14A (svart överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 13A RF Krit (blå underkant) och 14A RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 13A)(grön) och 168 per. glid. med. (RF position 14A)(gul) beskriver ett rullande medelvärde för relativa fuktigheten på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.2b illustreras variationer i relativ fuktighet mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i väster. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod. Notera att Figur 8.2b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 8.2a men under en kortare tidsperiod.



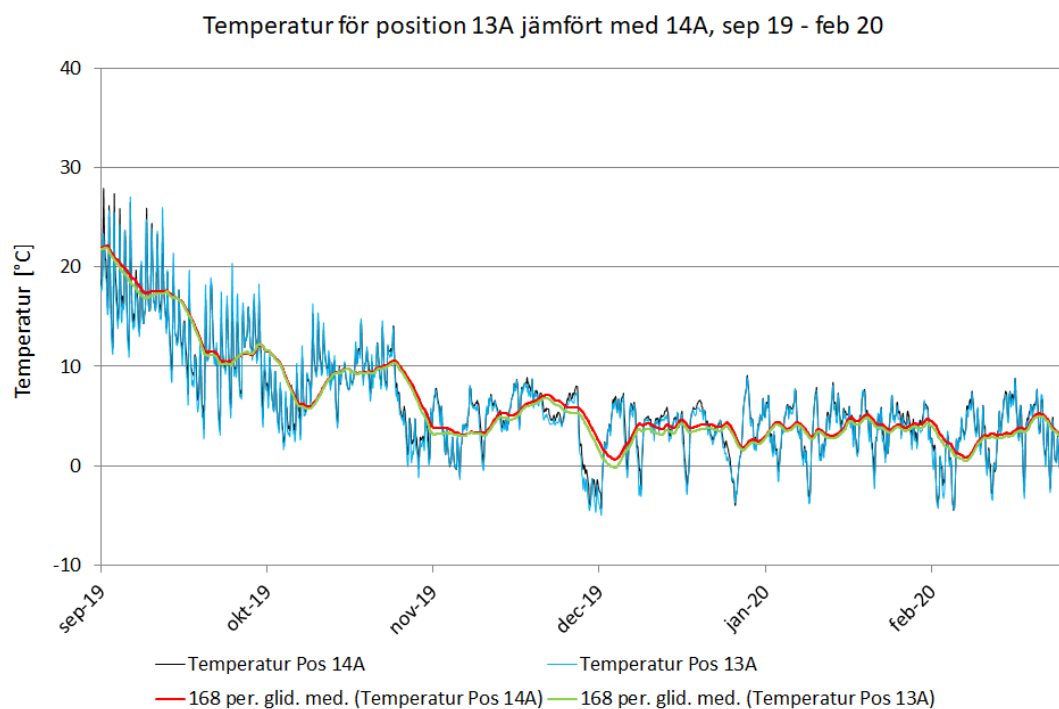
Figur 8.2b. Visar RF position 13A (blå överkant) och RF position 14A (svart överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 13A RF Krit (blå underkant) och 14A RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 13A > RF Krit)(orange) och 168 per. glid. med. (RF position 14A > RF Krit)(lila), beskriver ett rullande medelvärde för förhållandet mellan RF och RF Krit på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.3a illustrerar variationer i temperaturen varierar mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i väster.



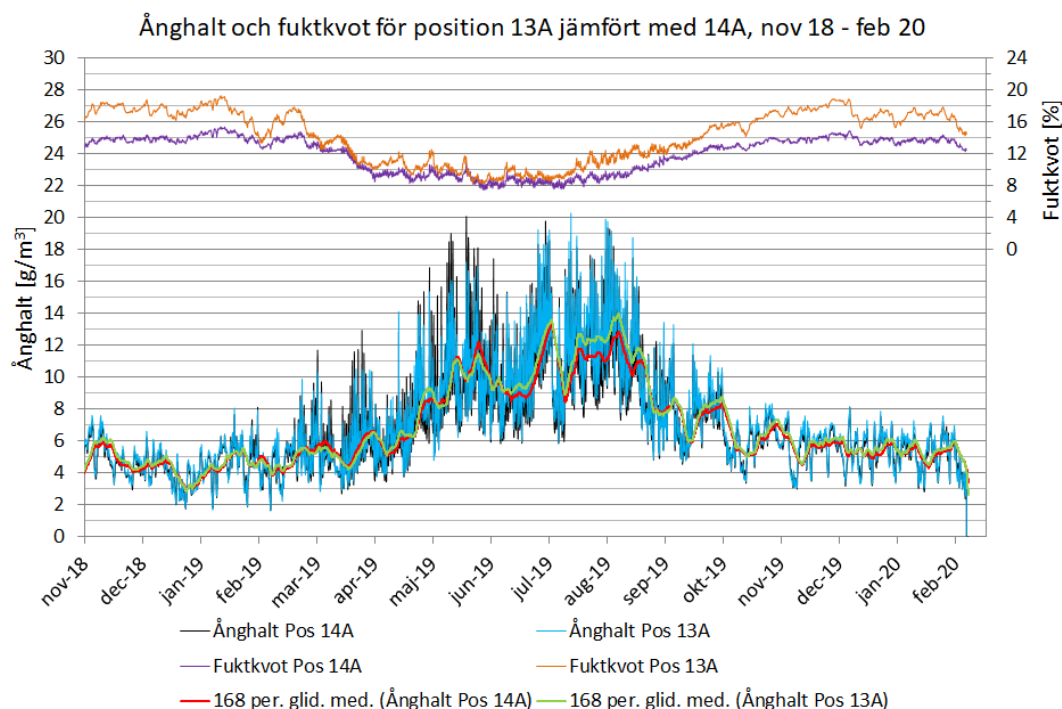
Figur 8.3a. Temperatur position 13A (blå) och temperatur position 14A (svart) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 13A)(grön) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 14A)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.3b illustrerar variationer i temperatur mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är orienterade i väster. Notera att Figur 8.3b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 8.3a men under en kortare tidsperiod.



Figur 8.3b. Temperatur position 13A (blå) och temperatur position 14A (svart) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 13A)(grön) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 14A)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

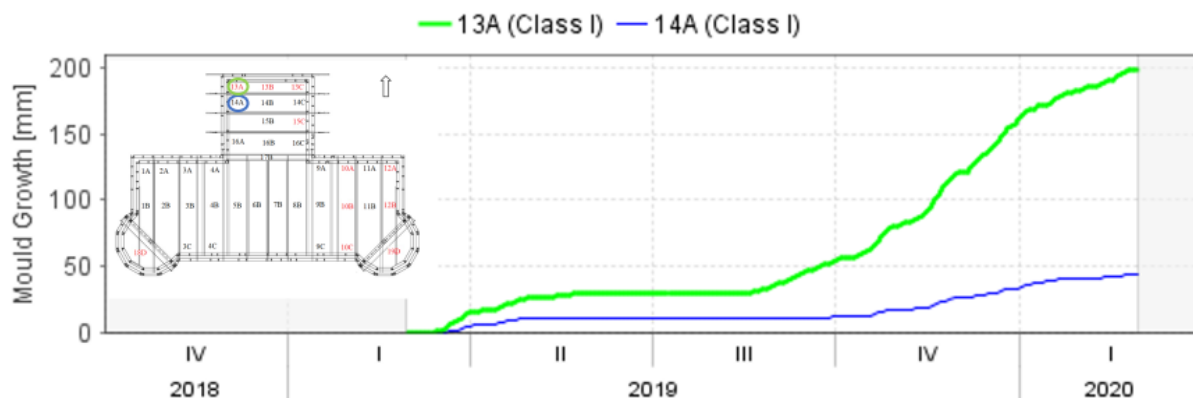
Figur 8.4 illustrerar variationer i ånghalt och fuktkvot varierar mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i väster.



Figur 8.4. Fuktkvot position 13A (orange) och fuktkvot position 14A (lila) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. Ånghalt position 13A (blå) och ånghalt position 14A (svart) visar ånghalt i luftspalt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Ånghalt position 13A)(grön) och 168 per. glid. med. (Ånghalt position 14A)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 168 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

8.1.2 Resultat av mögelanalys - mätpunkt 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)

Figur 8.5 illustrerar ett fiktivt mögelindex från februari 2018 till februari 2020 för mekanik och naturlig ventilation i angivna mätpunkter i västlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



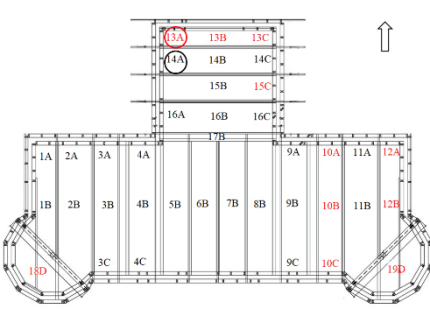
Figur 8.5. Visar mögeltillväxt för position 13A (grön) och mögeltillväxt för position 14A (blå) i millimeter per år.

8.1.3 Övergripande resultat - mät punkt 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)

Tabell 8.3 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderat utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 8.3 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

Tabell 8.3. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter.

	Mätpunkter	Riskanalys		Mögelmodell
		$RF > RF_{Krit}$	$FK > FK_{Krit}$	WUFI Bio
	14A (mekanisk)	6 av 16 månader	0 av 16 månader	45 mm/år
	13A (naturlig)	10 av 16 månader	7 av 16 månader	200 mm/år

8.1.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)

Figur 8.2a visar att den relativa fuktigheten generellt är högre i mätpunkt 14A (naturlig) jämfört med mätpunkt 13A (mekanisk). Under sommarhalvåret överskrider den kritiska relativa fuktigheten under ett antal tillfällen i framförallt mätpunkt 14A (naturlig). Eftersom det är kort varaktighet under sommarhalvåret är risken mögelpåväxt låg. Däremot överstiger båda mätpunkter den kritiska nivån för relativ fuktighet under vinterhalvåret i hög grad, samt med lång varaktighet.

Figur 8.2b illustrerar variationer i den relativa fuktigheten under den kritiska perioden under året, således september till februari. Det beräknade rullande medelvärdet för mätpunkt 13A (naturlig) är systematiskt högre än det rullande medelvärdet för mätpunkt 14A (mekanisk). Resultatet visar att den naturliga ventilationen orienterad i väster löper högre risk för mögelpåväxt jämfört med mekanisk ventilation.

Figur 8.3 och 8.4 illustrerar variationer i temperatur, ånghalt och fuktkvot i angivna mätpunkter. Temperaturen för de olika mätpunkterna är i stort sett likvärdiga i och med att temperaturkurvorna i dem olika mätpunkterna följer varandra. Figur 8.3 visar att 14A (mekanisk) har en marginellt högre temperatur, däremot går det inte att avgöra om skillnaden är signifikant. Mätresultatet för ånghalten ser ut att vara likvärdig större delar av året. Däremot verkar det vara en kortare tidsperiod under augusti 2019 där skillnaderna är marginell. Det går inte att avgöra om skillnaden är signifikant och ligger utanför begränsningarna för analys av diagrammet.

Figur 8.4 illustrerar fuktkvoten för angivna mätpunkter. Resultatet tyder på att mätpunkt 13A (naturlig) uppvisar en högre fuktkvot under vinterhalvåret jämfört med 14A (mekanisk). Fuktkvoten överstiger 15 % i mätpunkt 13A (naturlig) under oktober till februari som indikerar på risk för mögelpåväxt enligt Tabell 1.3. Mätpunkt 14A (mekanisk) når inte upp till samma kritiska fuktkvot, således lägre risk för mögelpåväxt i den mekaniska mätpunkten.

Figur 8.5 illustrerar mögelmodellen för angivna mätpunkter från februari 2019 till februari 2020. Simuleringen visar en signifikant skillnad mellan angivna mätpunkter. Mätpunkt 13A (naturlig) överskrider gränsvärdet på 200 millimeter per år som anses oacceptabelt enligt WUFI Bio. Däremot ligger mätpunkt 14A (mekanisk) på en acceptabel nivå.

Tabell 8.3 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar substantiell skillnad mellan antal kritiska månader mellan mekanisk och naturlig

ventilation i riktning mot väster. Mät punkt 14A (mekanisk) indikerar färre månader av kritiskt tillstånd jämfört med 13A (mekanisk).

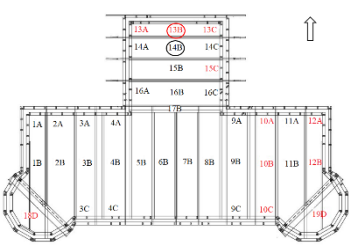
8.1.5 Slutsats av mät punkt: 13A (naturlig) - 14A (mekanisk)

Risikanalysen och mögelanalysen indikerar att mät punkt 14A (mekanisk) har bättre klimat utifrån ett fukttekniskt perspektiv, således mindre risk för mögelpåväxt. Risikanalysen indikerar att den relativa fuktigheten och fuktkvoten är lägre i mät punkt 14C (mekanisk) jämfört med mät punkt 13A (naturlig). Mögelanalysen indikerar att det finns avsevärt högre risk för mögelpåväxt i mät punkt 13A (naturlig) jämfört med 14A (mekanisk).

8.2 Jämförelse av mät punkt: 13B (naturlig) - 14B (mekanisk)

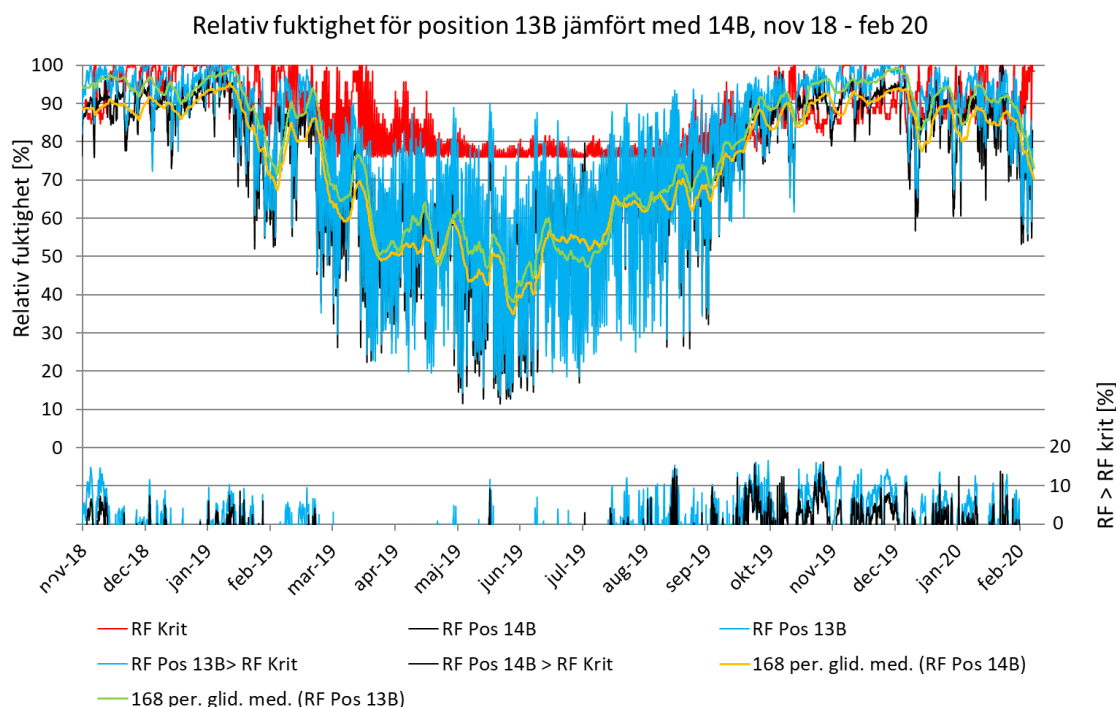
Mät punkt 13B och 14B har liknande förutsättningar, se Tabell 8.4. Mät punkterna tillhör delen av taket som benämns som "Tarmen". Båda mät punkterna är placerade i taknock. Taklutning och isolertjocklek är samma i respektive mät punkt. Däremot skiljer sig förutsättningarna för ventilationen i respektive mät punkt. Position 14B har mekanisk ventilation med stängd takfot och position 13B har naturlig ventilation med öppen takfot. Det är goda förutsättningar att utvärdera den mekaniska ventilationen eftersom mät punkterna har få skilda parametrar.

Tabell 8.4. Beskriver analysens mät punkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

	Mät punkter	Samma förutsättningar	Skilda förutsättningar
	13B 14B	Taklutning: 45 grader Isolertjocklek: 380 mm Position: Taknock	Naturlig ventilation Mekanisk ventilation

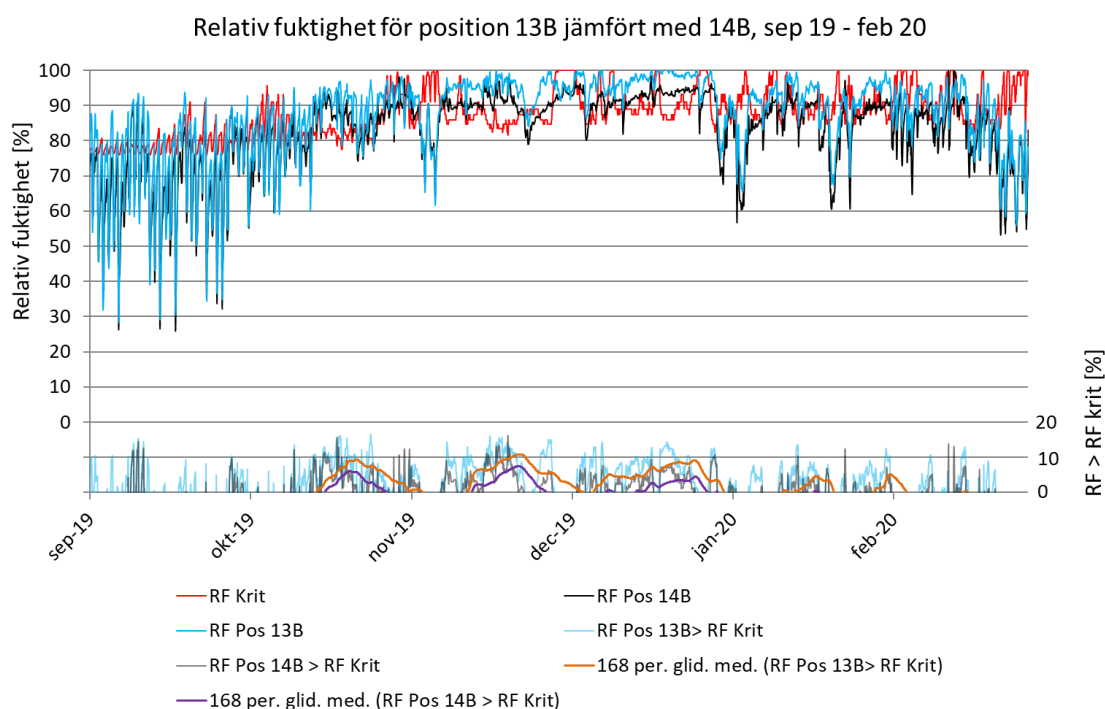
8.2.1 Resultat av mät punkt: 13B (naturlig) - 10B (mekanisk)

Figur 8.6a illustreras variationer i den relativa fuktigheten mellan november 2018 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade taknock. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod.



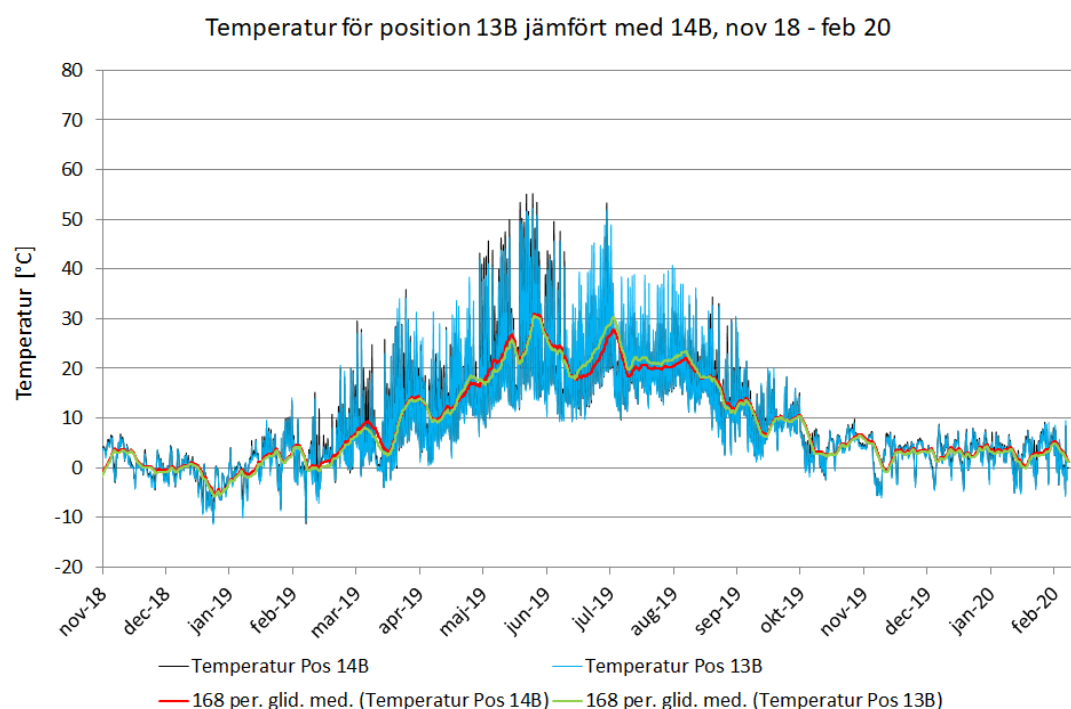
Figur 8.6a. Visar RF position 13B (blå överkant) och RF position 14B (svart överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 13B RF Krit (blå underkant) och 14B RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 13B)(grön) och 168 per. glid. med. (RF position 14B)(gul) beskriver ett rullande medelvärde för relativa fuktigheten på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.6b illustreras variationer i den relativ fuktigheten mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade vid taknock. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod. Notera att Figur 8.6b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 8.6a men under en kortare tidsperiod.



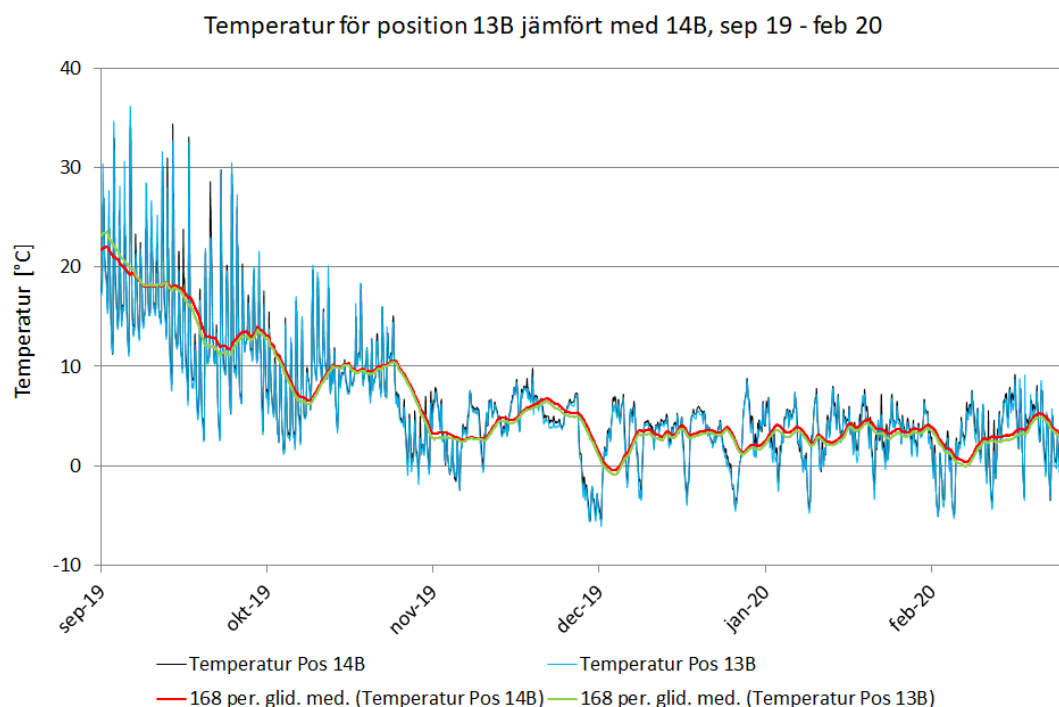
Figur 8.6b. Visar RF position 13B (blå överkant) och RF position 14B (svart överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 13B RF Krit (blå underkant) och 14B RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 13B > RF Krit)(orange) och 168 per. glid. med. (RF position 14B > RF Krit)(lila), beskriver ett rullande medelvärde för förhållandet mellan RF och RF Krit på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.7a illustrerar variationer i temperaturen mellan november 2018 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i taknock.



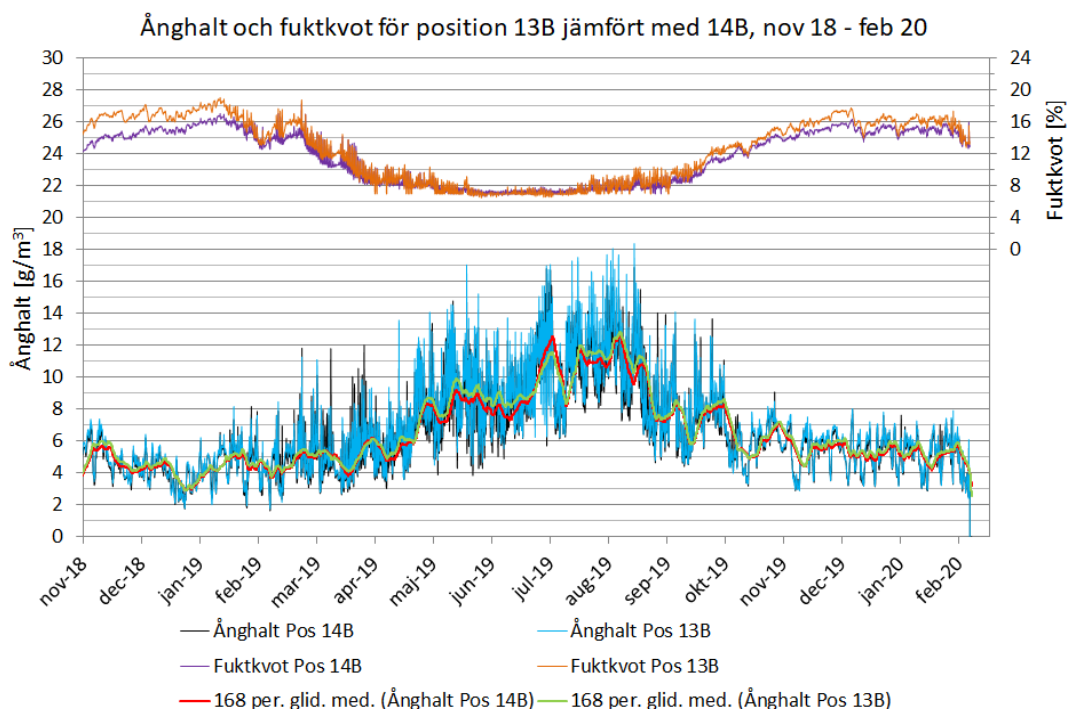
Figur 8.7a. Temperatur position 13B (blå) och temperatur position 14B (svart) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 13B)(grön) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 14B)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.7b illustrerar variationer i temperatur mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i taknock. Notera att Figur 8.7b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 8.7a men under en kortare tidsperiod.



Figur 8.7b. Temperatur position 13B (blå) och temperatur position 14B (svart) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 13B)(grön) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 14B)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

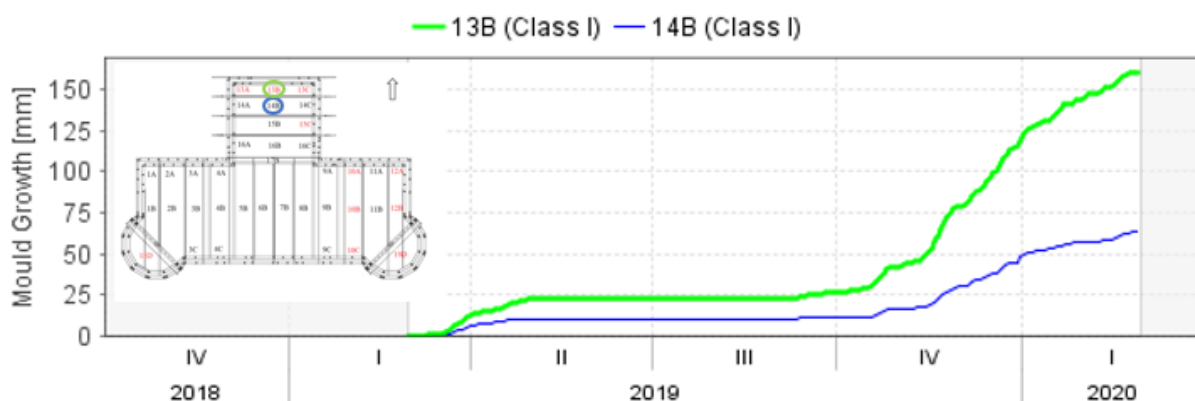
Figur 8.8 illustrerar variationer i ånghalt och fuktkvot varierar mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i taknock.



Figur 8.8. Fuktkvot position 13B (orange) och fuktkvot position 14B (lila) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. Ånghalt position 13B (blå) och ånghalt position 14B (svart) visar ånghalt i luftspalt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Ånghalt position 13B)(grön) och 168 per. glid. med. (Ånghalt position 14B)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 168 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

8.2.2 Resultat av mätpunkt - Mögelanalys 13B (naturlig) - 14B (mekanisk)

Figur 8.9 illustrerar ett fiktivt mögelindex under februari 2018 till februari 2020 för mekanik och naturlig ventilation i angivna mätpunkter i taknock. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



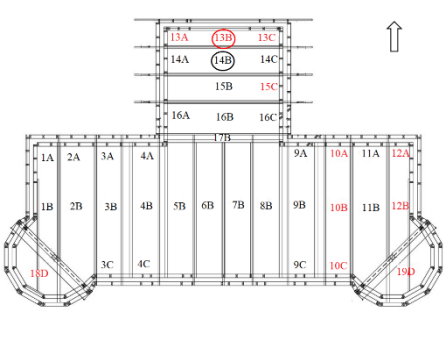
Figur 8.9. Visar mögeltillväxt för position 13B (grön) och mögeltillväxt för position 14B (blå) i millimeter per år.

8.2.3 Övergripande resultat - Mögelanalys 13B (naturlig) - 14B (mekanisk)

Tabell 8.4 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{Krit}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderat utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 8.4 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

Tabell 8.4. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter.

	Mätpunkter	Riskanalys		Mögelmodell
		$RF > RF_{Krit}$	$FK > FK_{Krit}$	WUFI Bio
14B (mekanisk)		8 av 16 månader	1 av 16 månader	70 mm/år
13B (naturlig)		10 av 16 månader	7 av 16 månader	165 mm/år

8.2.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 13B (naturlig) - 14B (mekanisk)

Figur 8.6a visar att den relativa fuktigheten konstant är högre i mätpunkt 13B (naturlig) jämfört med mätpunkt 14B (mekanisk). Under sommarhalvåret påvisas några enstaka ”toppar” som överskrider den kritiska nivån av relativ fuktighet. Däremot påvisar dessa ”toppar” ingen längre varaktighet, således liten risk för mögelpåväxt under sommarhalvåret. Däremot överstiger båda angivna mätpunkter den kritiska nivån för relativ fuktighet under vinterhalvåret i hög grad, samt med påtaglig varaktighet.

Figur 8.6b visar endast den relativa fuktigheten under den kritiska perioden under året, således september till februari. Det beräknade rullande medelvärdet för mätpunkt 13B (naturlig) är systematiskt högre än det rullande medelvärdet för mätpunkt 14B (mekanisk). Resultatet visar att den naturliga ventilationen i taknock löper högre risk för mögelpåväxt.

Figur 8.7 och 8.8 illustrerar temperatur, ånghalt och fuktkvot i angivna mätpunkter och tidsperiod. Temperaturen för de olika mätpunkterna är i stort sett likvärdiga i och med att temperaturkurvorna i dem olika mätpunkterna följer varandra. Mätresultatet för ånghalten ser ut att vara likvärdig större delar av året. Det går inte att utläsa någon signifikant skillnad i varken temperaturen eller ånghalt mellan angivna mätpunkter.

Figur 8.8 illustrerar fuktkvoten för angivna mätpunkter. Resultatet tyder på att mätpunkt 13B (naturlig) uppvisar en högre fuktkvot under vinterhalvåret jämfört med 14B (mekanisk). Fuktkvoten överstiger 15 % i mätpunkt 13B (naturlig) under november till februari och indikerar på risk för mögelpåväxt enligt Tabell 3.1. Mätpunkt 14B (mekanisk) når inte upp till samma kritiska fuktkvot under samma tidsperiod, således lägre risk för mögelpåväxt i den mekaniska mätpunkten. Angivna mätpunkter sammanfaller under sommarhalvåret och påvisar därefter ingen signifikant skillnad.

Figur 8.9 illustrerar mögelmodellen för angivna mätpunkter från februari 2019 till februari 2020. Simuleringen visar en signifikant skillnad mellan angivna mätpunkter. Skillnaden mellan angivna mätpunkter ökar exponentiellt under vinterhalvåret. Resultatet illustrerar en mögelpåväxt på cirka 165 millimeter per år i mätpunkt 13B (naturlig), således hög risk för mögelpåväxt. Även mätpunkt 14B (mekanisk) når en nivå som anses riskfylld på 70 millimeter per år.

Tabell 8.4 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar substantiell skillnad i antal kritiska månader med hög fuktkvot mellan mekanisk och

naturlig ventilation i riktning mot taknock. Mät punkt 14B (mekanisk) indikerar färre månader av kritiskt tillstånd jämfört med 13B (mekanisk).

8.2.5 Slutsats av mät punkt: 13B (naturlig) - 14B (mekanisk)

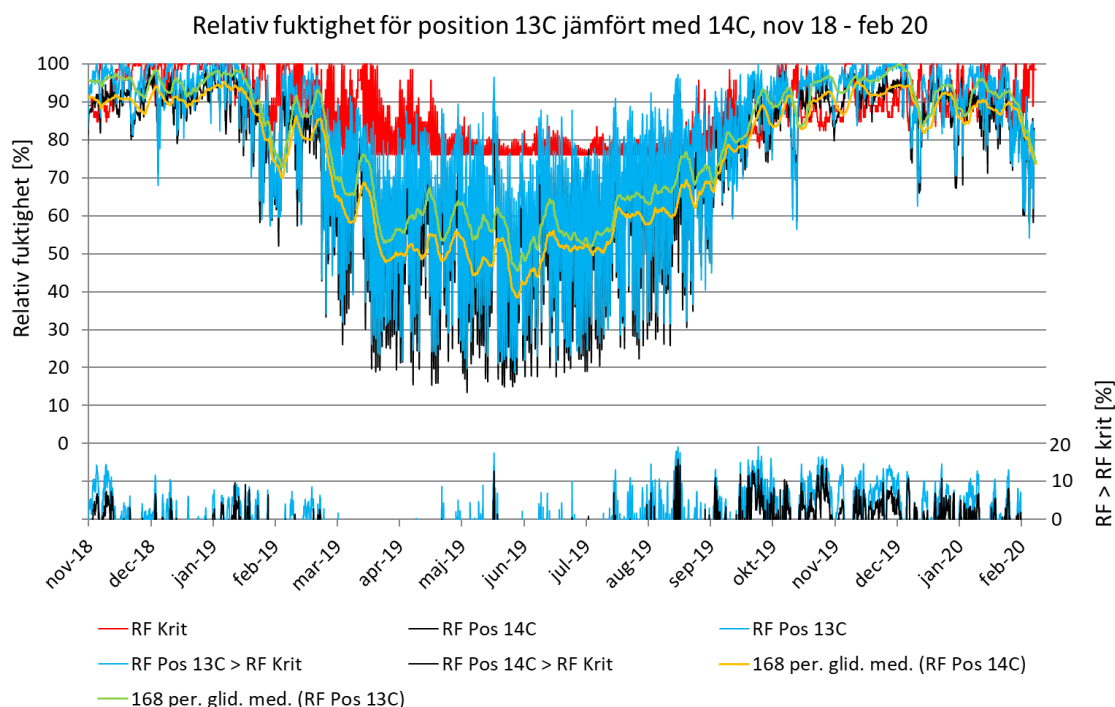
Risikanalysen och mögelanalysen indikerar att mät punkt 14B (mekanisk) har något bättre klimat utifrån ett fukttekniskt perspektiv, således mindre risk för mögelpåväxt. Risikanalysen indikerar att den relativa fuktigheten och fuktkvoten generellt är lägre under vinterhalvåret i mät punkt 14C (mekanisk) jämfört med mät punkt 13B (naturlig). Temperaturen och ånghalten saknar signifikanta skillnader. Mögelanalysen indikerar att det finns risk för mögelpåväxt i båda mätpunkterna. Däremot är risken avsevärt högre i 13B (naturlig) jämfört med 14B (mekanisk).

8.3 Jämförelse av mät punkt: 13C (naturlig) - 14C(mekanisk)

Mät punkt 13C och 14C har liknande förutsättningar, se Tabell 8.5. Mätpunkterna tillhör delen av taket som benämns som "Tarmen". Båda mätpunkterna är placerade i öster. Taklutning och isolertjocklek är samma i respektive mät punkt. Däremot skiljer sig förutsättningarna för ventilationen i respektive mät punkt. Position 14C har mekanisk ventilation med stängd takfot och position 13C har naturlig ventilation med öppen takfot. Det är goda förutsättningar att utvärdera den mekaniska ventilationen eftersom mätpunkterna har få skilda parametrar.

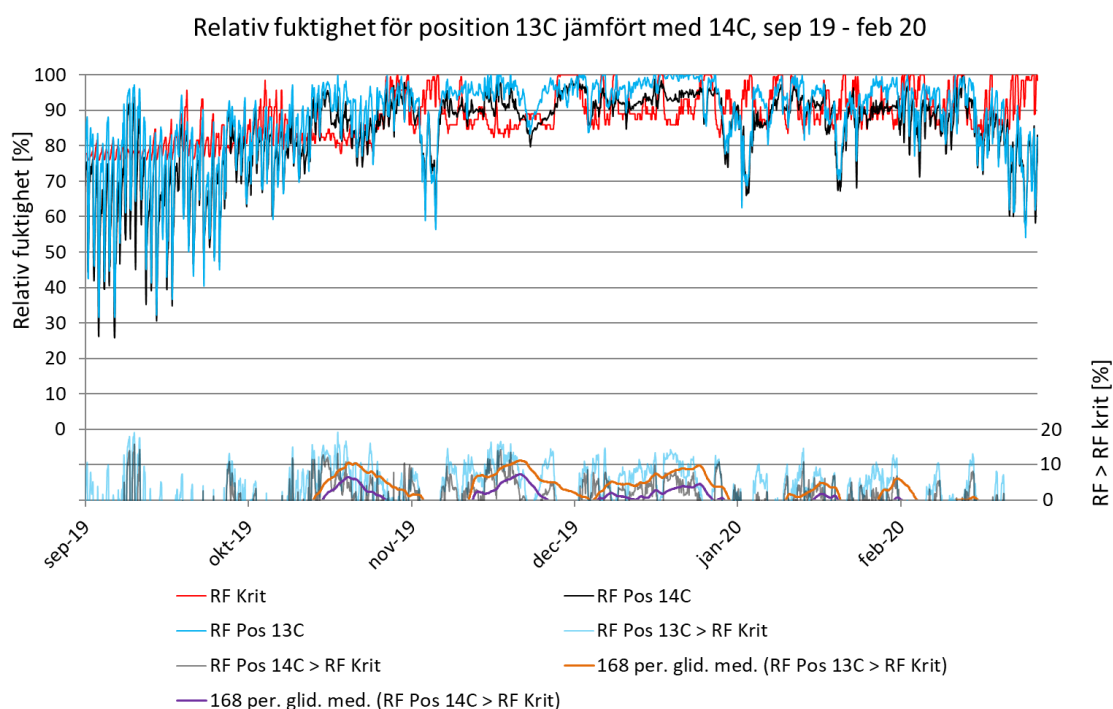
Tabell 8.5. Beskriver analysens mätpunkter och yttre förutsättningar i förhållande till varandra.

|--|



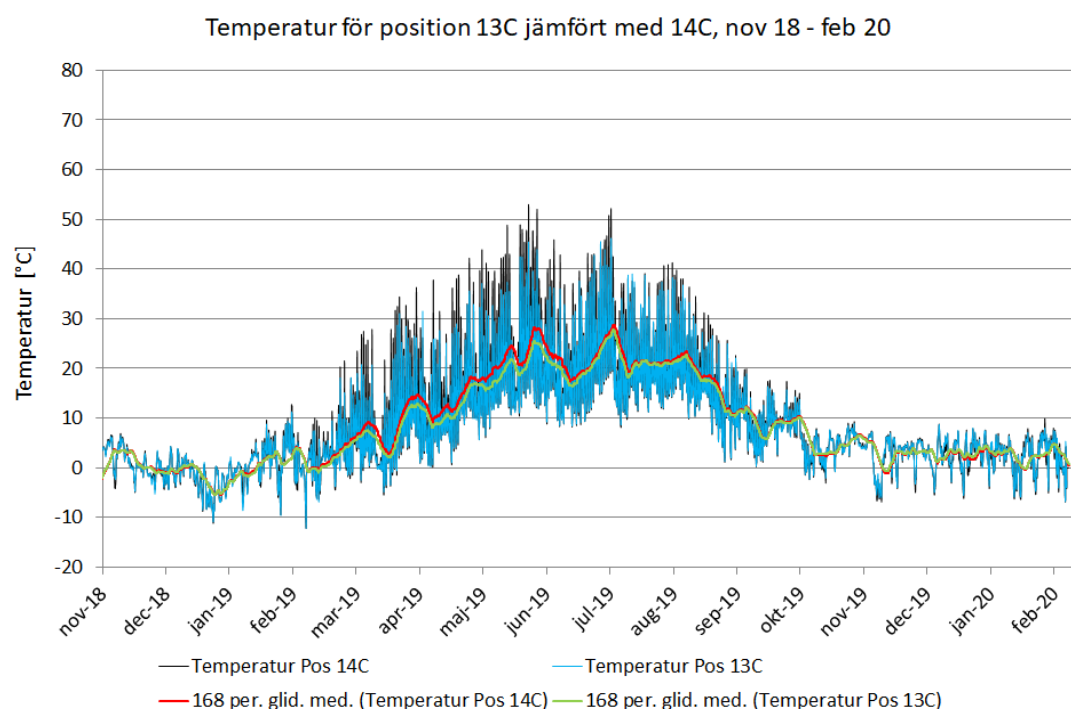
Figur 8.10a. Visar RF position 13C (blå överkant) och RF position 14C (svart överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 13C RF Krit (blå underkant) och 14C RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 13C)(grön) och 168 per. glid. med. (RF position 14C)(gul) beskriver ett rullande medelvärde för relativa fuktigheten på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.10b illustreras variationer i den relativ fuktighet mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i öster. Figuren illustrerar även vilken grad den relativa fuktigheten överskrider den kritiska relativa fuktigheten för samma tidsperiod. Notera att Figur 8.10b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 8.10a men under en kortare tidsperiod.



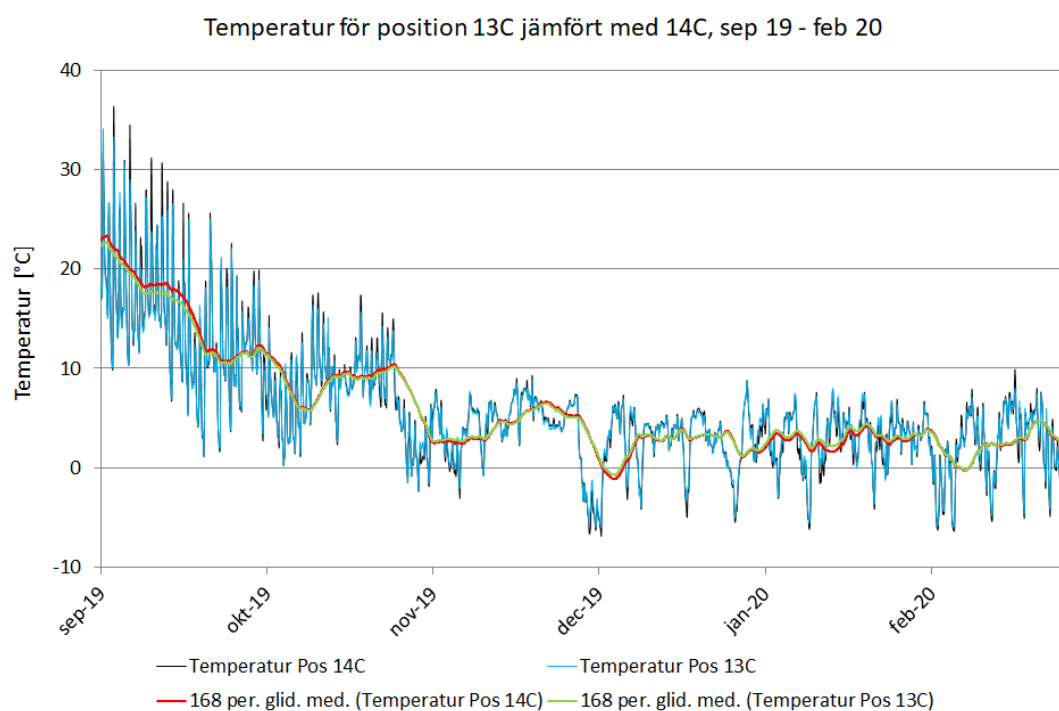
Figur 8.10b. Visar RF position 13C (blå överkant) och RF position 14C (svart överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 13C RF Krit (blå underkant) och 14B RF Krit (svart underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit(röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten. 168 per. glid. med. (RF position 13C > RF Krit)(orange) och 168 per. glid. med. (RF position 14A > RF Krit)(lila), beskriver ett rullande medelvärde för förhållandet mellan RF och RF Krit på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.11a illustrerar variationer i temperatur mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i öster.



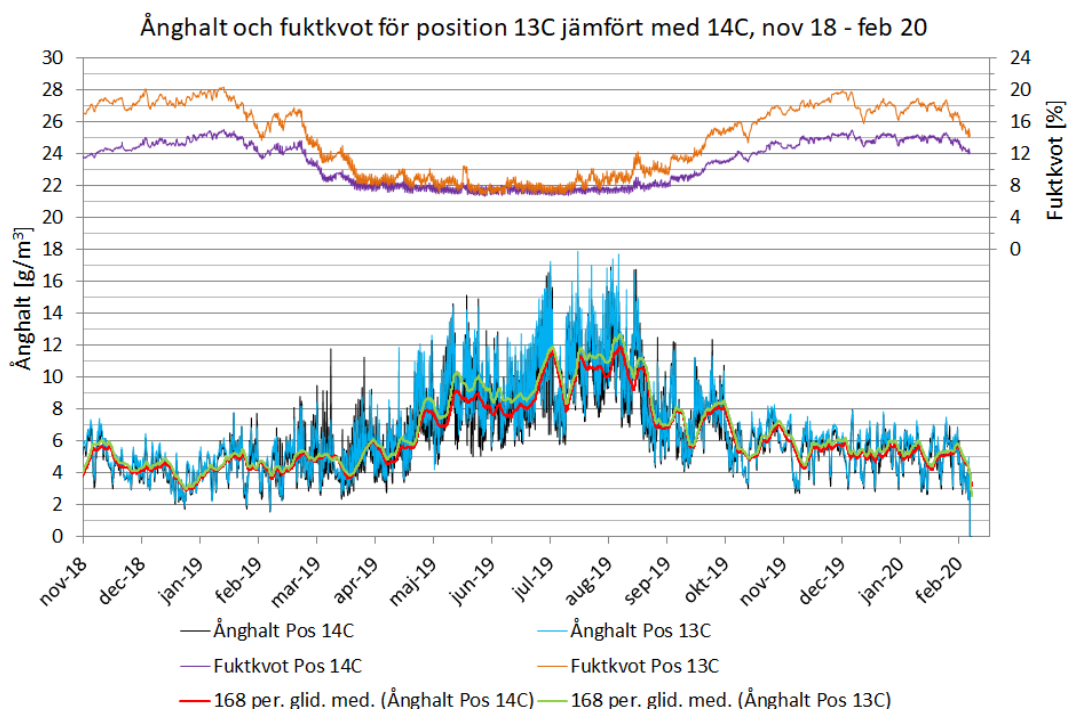
Figur 8.11a. Temperatur position 13C (blå) och temperatur position 14C (svart) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 13C)(grön) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 14C)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Figur 8.11b illustrerar variationer i temperaturen mellan september 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i öster. Notera att Figur 8.11b illustrerar samma fukttekniska faktorer som Figur 8.11a men under en kortare tidsperiod.



Figur 8.11b. Temperatur position 13C (blå) och temperatur position 14C (svart) visar temperaturen i luftspalten i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Temperatur position 13C)(grön) och 168 per. glid. med. (Temperatur position 14C)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 168 timmar för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

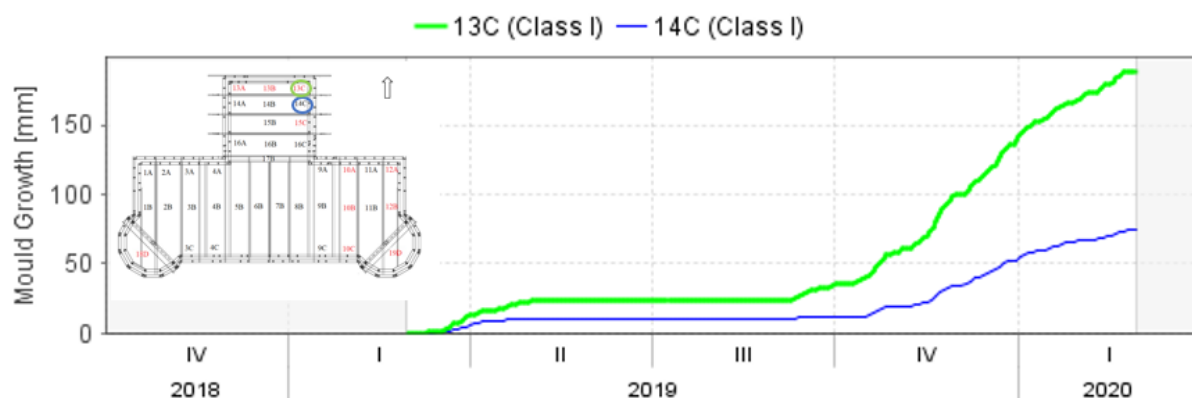
Figur 8.12 illustrerar variationer i ånghalt och fuktkvot mellan 2019 till februari 2020 för två olika typer av takventilation (mekanisk och naturlig) som är positionerade i öster.



Figur 8.12. Fuktkvot position 13C (orange) och fuktkvot position 14C (lila) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. Ånghalt position 13C (blå) och ånghalt position 14C (svart) visar ånghalt i luftspalt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 168 per. glid. med. (Ånghalt position 13C)(grön) och 168 per. glid. med. (Ånghalt position 14C)(röd) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 168 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

8.3.2 Resultat av mögelanalys - mätpunkt 13C (naturlig) - 14C (mekanisk)

Figur 8.13 illustrerar ett fiktivt mögelindex under februari 2018 till februari 2020 för mekanik och naturlig ventilation i angivna mätpunkter i östlig riktning. Grafen illustrerar mögelpåväxt med en tillväxtkurva som anges i antal millimeter mögelpåväxt under ett års tid.



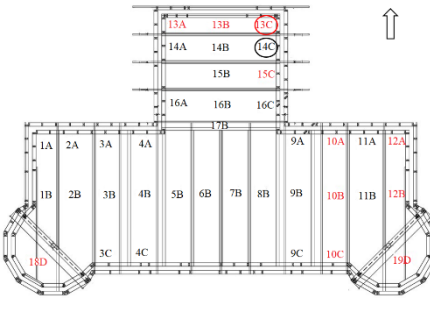
Figur 8.13. Visar mögeltillväxt för position 13C (grön) och mögeltillväxt för position 14C(blå) i millimeter per år.

8.3.3 Övergripande resultat - mätpunkt 13C (naturlig) - 14C (mekanisk)

Tabell 8.6 illustrerar antal månader som den relativa fuktigheten överstiger den kritiska relativa fuktigheten ($RF > RF_{\text{Krit}}$) från november 2018 till februari 2020. Tabellen illustrerar även när fuktkvoten överstiger den kritiska fuktkvoten ($FK > FK_{\text{Krit}}$) från november 2018 till februari 2020. Den kritiska nivån för relativ fuktighet har utvärderats utifrån LIM 1. Den kritiska nivån för fuktkvot har utvärderats från en nivå på 15 %. Samtliga månader som redovisas i tabellen överstiger den kritiska nivån i hög grad och med varaktighet som kan anses vara kritisk. Notera att antal månader som överskrider den kritiska nivån är högst godtyckligt och bör särskilt beaktas.

Tabell 8.6 redovisar även den fiktiva mögelpåväxten från mögelmodellen. Mögelpåväxten anges i antal millimeter från februari 2019 till februari 2020.

Tabell 8.6. Visar övergripande resultat för riskanalysen och mögelmodellen för angivna mätpunkter.

	Mätpunkter	Riskanalys		Mögelmodell
		RF > RF Krit	FK > FK Krit	WUFI Bio
14C (mekanisk)		8 av 16 månader	0 av 16 månader	75 mm/år
13C (naturlig)		10 av 16 månader	8 av 16 månader	195 mm/år

8.3.4 Analys och diskussion av mätpunkt: 13C (naturlig) - 14C (mekanisk)

Figur 8.10a visar att den relativa fuktigheten är konstant högre i mätpunkt 13C (naturlig) jämfört med mätpunkt 14C (mekanisk). Under sommarhalvåret påvisas några enstaka ”toppar” som överskrider den kritiska nivån av relativ fuktighet i båda mätpunkterna. Däremot påvisar dessa ”toppar” ingen längre varaktighet, således liten risk för mögelpåväxt under sommarhalvåret. Däremot överstiger båda angivna mätpunkter den kritiska nivån för relativ fuktighet under vinterhalvåret i hög grad, samt med påtaglig varaktighet i angivna mätpunkter.

Figur 8.10b visar endast den relativa fuktigheten under den kritiska perioden under året, således september till februari. Det beräknade rullande medelvärdet för mätpunkt 13C (naturlig) är systematiskt högre än det rullande medelvärdet för mätpunkt 14C (mekanisk). Resultatet visar att den naturliga ventilationen i öster löper högre risk för mögelpåväxt.

Figur 8.11 och 8.12 illustrerar temperatur, ånghalt och fuktkvot i angivna mätpunkter och tidsperiod. Temperaturen för de olika mätpunkterna är i stort sett likvärdiga i och med att temperaturkurvorna i de olika mätpunkterna följer varandra. Däremot verkar det vara en kortare tidsperiod under augusti 2019 där skillnaderna är marginell. Det går inte att avgöra om skillnaden är signifikant och ligger utanför begränsningarna för analys av diagrammet. Även mätresultaten för ånghalten ser ut att vara likvärdig större delar av året.

Figur 8.12 illustrerar fuktkvoten för angivna mätpunkter. Resultatet tyder på att mätpunkt 13C (naturlig) uppvisar en högre fuktkvot under vinterhalvåret jämfört med 14C (mekanisk). Däremot sammanfaller kurvorna under sommarhalvåret och påvisar ingen signifikant skillnad.

Figur 8.13 illustrerar mögelmodellen för angivna mätpunkter från februari 2019 till februari 2020. Simuleringen visar en signifikant skillnad mellan angivna mätpunkter. Skillnaden mellan angivna mätpunkter ökar exponentiellt under vinterhalvåret. Resultatet påvisar en mögelpåväxt på ca 195 millimeter per år i mätpunkt 13C (naturlig), således risk för mögelpåväxt enligt WUFI Bio. Simuleringen visar även risk för mögelpåväxt i mätpunkt 13C (naturlig), däremot ligger värdet endast något över 50 millimeter per år som kan anses vara riskfyllt.

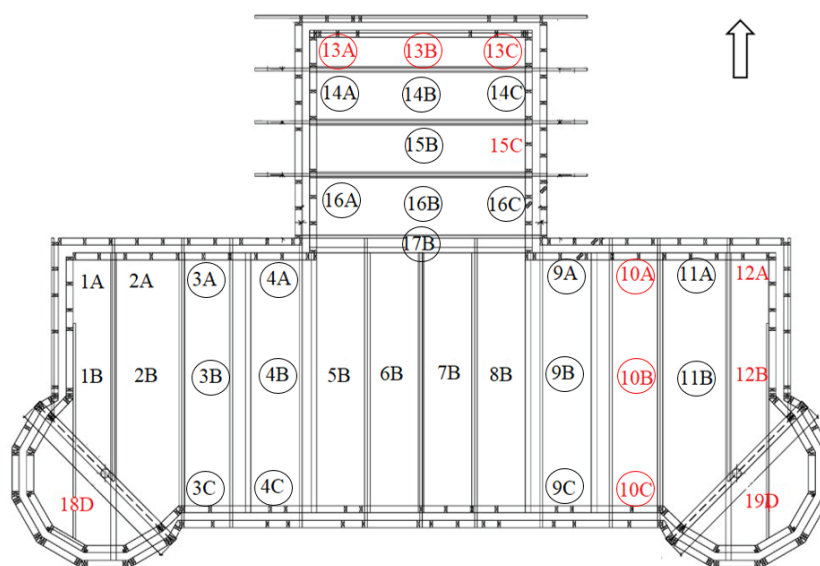
Tabell 8.6 illustrerar det övergripande mätresultatet mellan angivna mätpunkter. Resultatet visar substantiell skillnad i antal kritiska månader med hög fuktkvot mellan mekanisk och naturlig ventilation i riktning mot öster. Mätpunkt 14C (mekanisk) indikerar färre månader av kritiskt tillstånd jämfört med 13C (mekanisk).

8.3.5 Slutsats av mätpunkt: 13C (naturlig) - 14C (mekanisk)

Risikanalysen och mögelanalysen indikerar att mätpunkt 14C (mekanisk) har något bättre klimat utifrån ett fukttekniskt perspektiv, således mindre risk för mögelpåväxt. Riskanalysen indikerar att den relativa fuktigheten och fuktkvoten generellt är lägre i mätpunkt 14C (mekanisk) jämfört med mätpunkt 13C (naturlig). Temperaturen och ånghalten saknar signifikanta skillnader, däremot indikerar diagrammen att det är något högre temperatur, samt något lägre ånghalt i mätpunkt 14C (mekanisk). Mögelanalysen indikerar att det finns risk för mögelpåväxt i båda mätpunkterna. Däremot är risken avsevärt högre i 13C (naturlig) jämfört med 14C (mekanisk).

9. Sammanfattande analys och diskussion

Aktuell del av rapport behandlar en sammanfattande analys och diskussion av resultatet från fallstudien. Fallstudien syftar till att undersöka mekanisk och naturlig ventilation samt att utvärdera risk för mögelpåväxt i takkonstruktionen. Avsnittet presenterar ett sammanfattande resultat från riskanalyser och mögelmodeller från samtliga mätningar. Aktuell del beskriver trender i fallstudien med fokus på när mögelpåväxt kan reduceras samt i vilka förhållanden mögelpåväxt uppstår. Tabell 9.1 visar samtliga behandlade mätpunkter i aktuell studie.

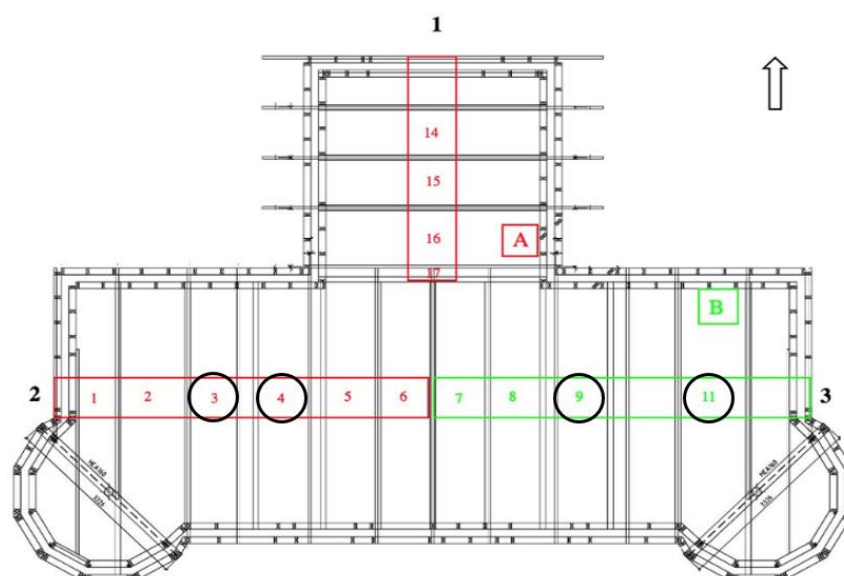


Figur 9.1. Visar samtliga luftspalter och mätpunkter i befintlig byggnad. Den mekaniska ventilationen är markerad med svarta siffror. Den naturliga ventilationen är markerad med röda siffror. Markerade mätpunkter utgör samtliga mätningar i fallstudien.

Väderstreck orienterad mot väster och söder löper lägst risk för mögelpåväxt jämfört med resterande väderstreck och gäller mekanisk såväl naturlig ventilation. Väderstreck mot söder exponeras för mer solstrålning som ökar temperaturen i takkonstruktionen och bidrar till att den relativa fuktigheten sjunker.

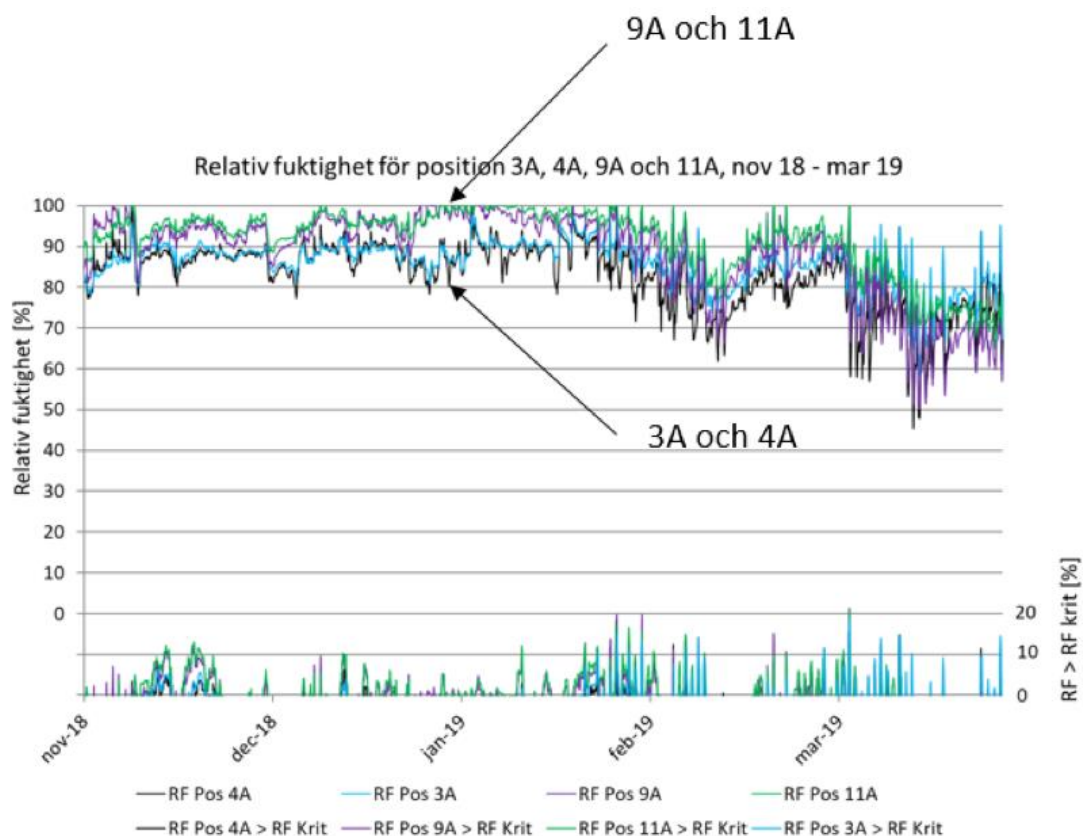
Luftspalt nummer 3 och 4 (mekanisk) påvisar lägre risk för mögelpåväxt jämfört med luftspalt nummer 9 och 11 (mekanisk). Angivna luftspalter har liknande förutsättningar, men skild fläkt och sensor, se Figur 9.2. Luftspalt nummer 3 och 4 som regleras av sensor A (öst) som är monterad i "Tarmen" jämfört med luftspalt nummer 9 och 11 som styrs av sensor B (norr) som är monterad i "skeppet". Det bör även noteras att sensorerna sitter i olika takkonstruktioner. Sensor A är monterad i "Tarmen" som har en taklutning på 45 grader och med en isolermängd

på 380 millimeter. Sensor B är monterad i “Skeppet” med en taklutning på 62 grader och en isolermängd på 485 millimeter, se Figur 9.2.



Figur 9.2. Visar fläktar och sensorer i det befintliga parallelltaket. Sensor A (röd) monterad i östlig riktning styr fläkt 1 och 2 (röd). Sensor B (grön) monterad i nordlig riktning styr fläkt 3 (grön).

Taklutning, isolertjocklek och väderstreck är faktorer som påverkar klimatet i luftspalterna. Skuggning och väderstreck är faktorer som påverkar utomhusklimatet. Sensorn analyserar utomhusluften med luften i parallelltaket och avgör om fläkten ska ventilerat takkonstruktionen eller om ventilationen ska begränsas. Eftersom resultatet indikerar att fläktarna inte har gått under samma tidsperioder finns det en väsentlig betydelse vart sensorn är monterad, se Figur 9.3.



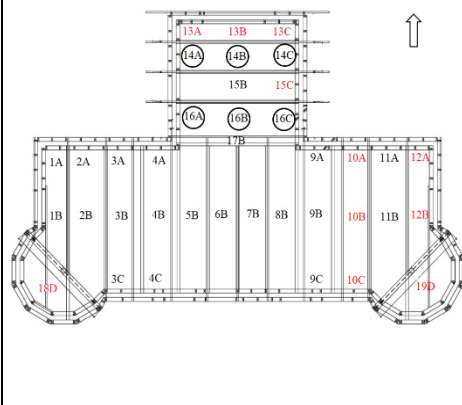
Figur 9.3. Visar RF position 3A (blå överkant), RF position 4A (svart överkant), RF position 9A (lila överkant) och RF position 11A (grön överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 3A RF Krit (blå underkant), 4A RF Krit (svart underkant), 9A RF Krit (lila underkant) och RF position 11A RF Krit (grön underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

Rapporten har framförallt studerat skillnader mellan naturlig och mekanisk ventilation i olika väderstreck. Däremot skiljer isolertjocklek och takvinkel i olika delar av takkonstruktionen som bidrar till att det inte går att dra en definitiv slutsats om att det enbart är väderstrecken som påverkar mätresultatet.

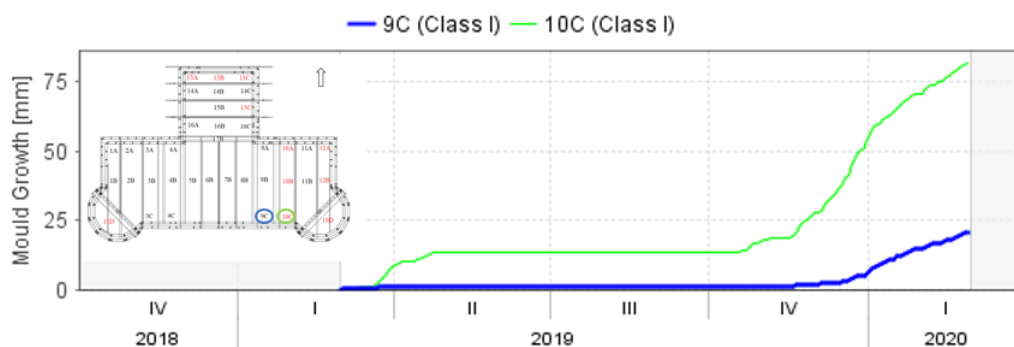
Resultatet indikerar att mätpunkter med mekanisk ventilation orienterad mot öster löper högre risk för mögelpåväxt jämfört med mätpunkter orienterad mot väster, däremot är skillnaderna marginella. Det bör även noteras att det finns stora variationer mellan olika mätpunkter orienterade mot samma väderstreck med mekanisk ventilation. Luftspalt nummer 14 illustrerar ett högre mögelindex i samtliga mätpunkter jämfört med luftspalt nummer 16. Det bör även noteras att mätpunkter i taknock uppvisar höga värden av mögelindex, se Tabell 9.1. Angivna luftspalterna är kopplade till samma fläkt och sensor och kan således inte vara en källa till

variationerna. Variationerna mellan luftspalter i dessa väderstreck har inte undersökts vidare i denna rapport.

Tabell 9.1 Visar mögelindex för luftspalt nummer 14 och 16 med mekanisk ventilation.

	Luftspalt	Mögelmodell - WUFI Bio		
		Väster (A)	Taknock (B)	Öster (C)
14 (mekanisk)		45 mm/år	60 mm/år	75 mm/år
16 (mekanisk)		15 mm/år	50 mm/år	20 mm/år

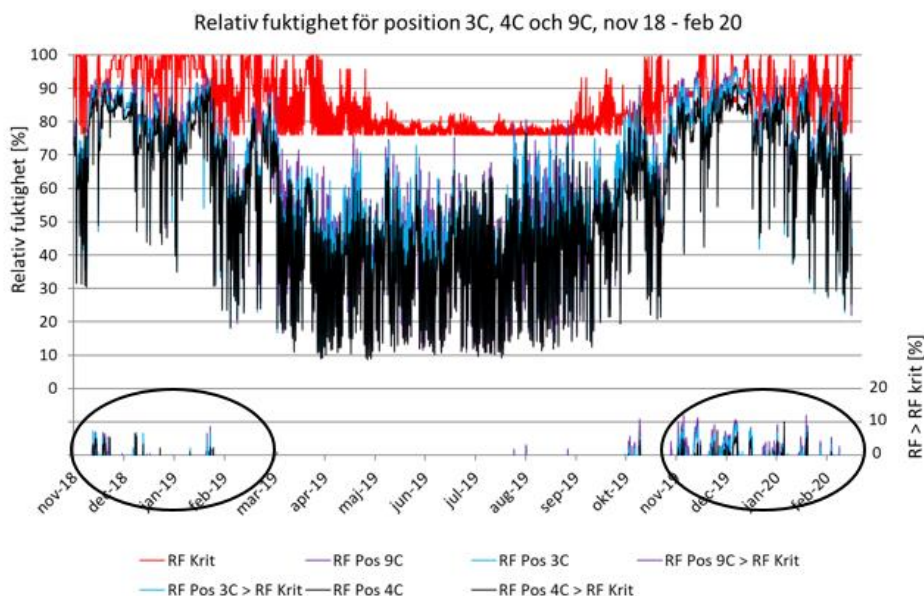
Mögelmodellen visar att den mekaniska ventilationen reducerar mögelpåväxten i samtliga mätpunkter och väderstreck i förhållande till den naturliga ventilationen. Den mekaniska ventilationen orienterad mot väster och söder reducerar mögelpåväxten i störst utsträckning och har den största effekten mot naturlig ventilation. Trots att den mekaniska ventilationen reducerar mögelpåväxt finns det fortfarande risk för mögelpåväxt med mekanisk ventilation, se Figur 9.4.



Figur 9.4. Visar mögeltillväxt för mekanisk ventilation position 9C (blå) och mögeltillväxt för naturlig ventilation position 10C (grön) i riktning mot söder. Mögelindex anges i millimeter per år.

Mätperioden löper över två vintrar, vintern 2018/2019 och 2019/2020. Mätresultatet skiljer sig åt mellan åren vilket beror på naturlig variation i klimatet. Eftersom klimatet alltid varierar så räcker det inte att påvisa acceptabla fuktnivå för ett enskilt år, då detta nödvändigtvis inte stämmer för ett annat år. Resultatet visar att vintern 2019/2020 var ett mer kritiskt år med

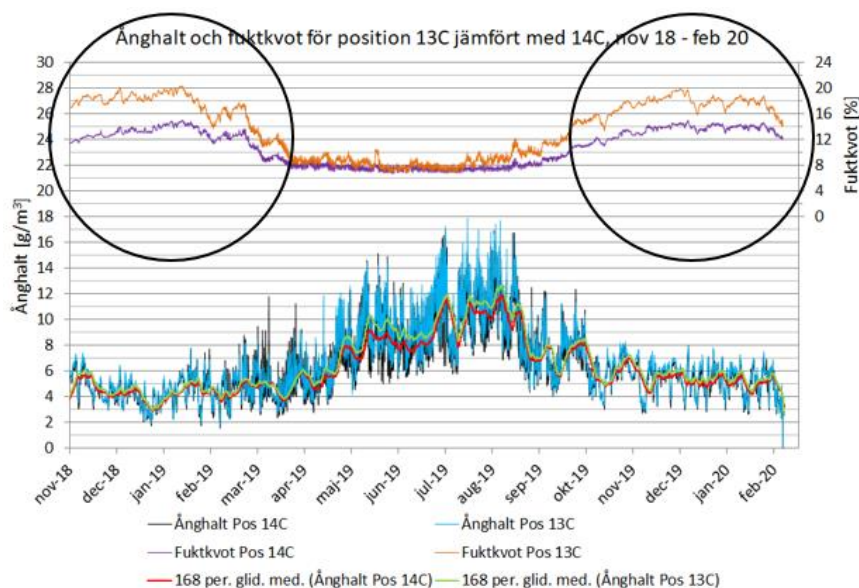
avseende på uppmätt fukthalt se Figur 9.5. Slutsatserna för mekanisk ventilation är baserad på ett begränsat tidsspann och hade kunnat se annorlunda ut om studien hade varit längre eller under en annan tidsperiod.



Figur 9.5. Visar RF position 3C (blå överkant), RF position 4C (svart överkant) och RF position 9C (lila överkant) i luftspalten under angiven tidsperiod. RF position 3C RF Krit (blå underkant), 4C RF Krit (svart underkant) och 9C RF Krit (lila underkant) visar förhållandet mellan RF och RF Krit (röd) i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod, inklusive varaktigheten.

Temperaturen och ånghalten påvisar marginella skillnader i parameterstudien mellan mekanisk och naturlig ventilation. Det går att urskilja något högre temperatur, samt något lägre ånghalt i den mekaniska ventilationen. Eftersom det inte finns någon uppskattning av mätnoggrannheten för loggrarna går det inte att veta om skillnaden mellan de registrerade värdena förklaras av mätosäkerheten. Således går det inte att avgöra om skillnaden mellan temperaturen och ånghalten mellan mekanisk och naturlig ventilation är signifikant.

Fuktkvoten i samtliga analyser indikerar att sommaren är tillräckligt lång för att torka ut takkonstruktionen i luftspalter med mekanisk såväl som naturlig ventilation. Markerade områden i Figur 9.6 illustrerar fuktkvoten under vinterhalvåret och som även är den mest kritiska perioden under året med avseende på fukt. Fuktkvoten skiljer sig inte märkbart mellan åren och innebär att sommaren agerar uttorkande i den grad att fuktkvoten inte ökar med åren. Således indikerar resultatet även att risken för mögelpåväxt inte ökar med åren.



Figur 9.6. Visar fuktkvoten och ånghalten i mätpunkt 13C (naturlig) och 14C (mekanisk). Markerade områden illustrerar fuktkvoten under vinterhalvåret i öster.

Sammanfattningsvis reducerar den mekaniska ventilationen risken för mögelpåväxt i samtliga jämförelser mellan naturlig och mekanisk ventilation, däremot elimineras inte risken för mögelpåväxt i luftspalter med mekanisk ventilation. Tabell 9.2 visar resultatet från samtliga analyser mellan mekanisk och naturlig ventilation i olika väderstreck, samt den förväntade påväxten, såväl vilken grad den mekaniska ventilationen reducerar den förväntade påväxten. Resultatet illustrerar att det finns risk för mögelpåväxt i samtliga luftspalter, däremot är risken avsevärt mindre i luftspalter med mekanisk ventilation. Det bör även beaktas att skillnaden på effekten varierar med väderstreck. Den mekaniska ventilationen i väderstreck mot väster och söder har störst effekt och väderstreck mot norr har minst effekt, se Tabell 9.2.

Tabell 9.2. Visar resultatet av mögelmodellen och procentuell reduktion med mekanisk ventilation. Tabellen illustrerar resultatet från väderstrecken norr till söder, samt väster till öster.

Väderstreck	Norr		Taknock		Söder	
Mät punkt	9A	10A	9B	10B	9C	10C
Ventilation	mekanisk	naturlig	mekanisk	naturlig	mekanisk	naturlig
Mögelmodell	65 mm/år	100 mm/år	90 mm/år	25 mm/år	20 mm/år	80 mm/år
Reducering	35 %		72 %		75 %	
Väderstreck	Väster		Taknock		Öster	
Mät punkt	14A	13A	14B	13B	14C	13C
Ventilation	mekanisk	naturlig	mekanisk	naturlig	mekanisk	naturlig
Mögelmodell	45 mm/år	200 mm/år	70 mm/år	165 mm/år	75 mm/år	195 mm/år
Reducering	78 %		58 %		62 %	

10. Slutsatser

Utifrån de resultat och analyser som gjorts i rapporten dras följande slutsatser:

- Mekanisk ventilation reducerar mögelpåväxten i samtliga luftspalter och väderstreck i förhållande till naturlig ventilation. Trots den reducerande effekten av mekanisk ventilation finns det även risk för mögelpåväxt i parallelltak med mekanisk ventilation.
- Den mekaniska ventilationen har störst effekt i väderstreck orienterad mot väster och söder.
- Den mekaniska ventilationen har minst effekt i väderstreck orienterad mot norr.

Sammanfattningsvis illustrerar Tabell 10.1 resultatet från mögelmodellen mellan mekanisk och naturlig ventilation. Resultatet illustrerar att den mekaniska ventilationen reducerar skadebilden i samtliga luftspalter, men framförallt väderstreck orienterad mot väster och söder.

Tabell 10.1. Visar resultatet av mögelmodellen och den procentuell reducering med mekanisk ventilation. Tabellen illustrerar resultatet från väderstrecken norr till söder, samt väster till öster.

Väderstreck	Norr	Taknock	Söder
Reducering	35 %	72 %	75 %
Väderstreck	Väster	Taknock	Öster
Reducering	78 %	58 %	62 %

11. Referenser

Litteraturförteckning

Arfvidsson, J., Harderup, L.-E. & Samuelson, I., 2017. *Fukthandbok*. 4 red. Stockholm: Svensk byggtjänst.

Boverket, 2018. *Karläggnings av fel, brister och skador inom byggsektorn*, Karlskrona: Boverket.

Boverket, 2018. *PBL kunskapsbanken*. [Online]

Available at: <https://www.boverket.se/sv/PBL->

[kunskapsbanken/planering/detaljplan/planbestammelser/egenskapsbestammelser-for-kvartersmark/bebyggandet/takvinkel/](https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/planbestammelser/egenskapsbestammelser-for-kvartersmark/bebyggandet/takvinkel/)

[Använd 20 05 2020].

Boverket, 2019. *Boverkets byggregler (2011:6) –föreskrifter och allmänna råd, BBR*. [Online]

Available at:

https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_2011-6.pdf

[Använd 20-05-2020].

Brander, P., 2012. *Byggtorkning*, Malmö: Sveriges Byggindustrier.

Esping, B., Salin, J.-G. & Rosenkilde, A., 2005. *Fukt i trä för byggindustrin*, u.o.: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.

Esping, B. o.a., 2005. *Fukt i trä för byggindustrin*, Malmö: SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.

GE sensing, 2006. *Protimeter HygroTrac - Wireless environmental monitoring*. [Online]

Available at: www.veronics.com/products/Relative_humidity-transmitter/Hygrotrac.pdf.

[Använd 20 05 2020].

Hagentoft, C.-E. & Sandin, K., 2017. *Byggnadsfysik - så fungerar hus*. 1:1 red. Lund: Studentlitteratur AB.

Hopfe, C. J. & McLeod, R. S., 2015. *The Passivhaus Designer's Manual*. London: Taylor & Francis Ltd.

Mundt-Petersen, S., 2015. *Moisture Safety in Wood Frame Buildings - Blind evaluation of the hygrothermal calculation tool WUFI using field measurements and determination of factors affecting the moisture safety*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.

Mundt-Petersen, S.-. O., 2016. *Fuktsäkra träkonstruktioner 2*, Lund: Lunds universitet.

Nevander, L.-E. & Elmarsson, B., 2006. *Fukthandbok*. 3 red. Stockholm: Svensk byggtjänst.

Nilsson, L.-O., 2009. *Kunskapsläge och råd kringfuktsäker projektering och tillämpning av fuktkrav i BBR för träkonstruktioner*, Lund: Lunds Tekniska Högskola.

Olsson, L., 2011. *Laboratoriestudie av syllar och reglar som utsätts för regn*, Borås: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Sedlbauer, K., 2001. *Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components*, Germany: Fraunhofer Institute of Building Physics, University Stuttgart.

Trygghetsvakten, u.d. *TrygghetsVakten Vind*. [Online]

Available at: <https://www.trygghetsvakten.se/wp-content/uploads/downloads/2011/05/tvu-2009-02.pdf>

[Använd 20 05 2020].

WUFI, u.d. *WUFI Bio*. [Online]

Available at: <https://wufi.de/en/2017/03/31/wufi-bio/>

[Använd 20 05 2020].

Bilaga 1

Kritisk relativ fuktighet beroende av temperatur

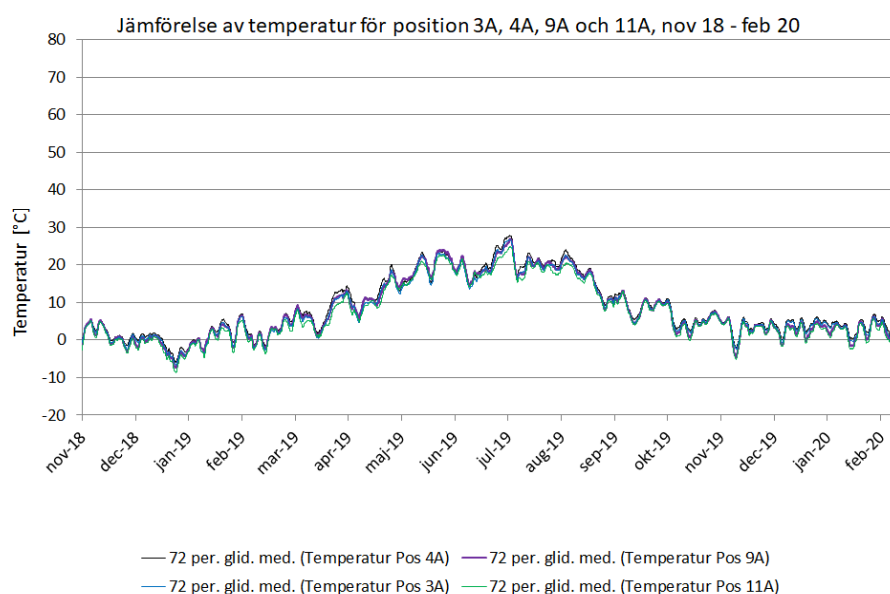
Temperaturen från -25 till -2 grader har ett kritiskt värde på 100 %

Temperaturen från 29 till 63 grader har ett kritiskt värde på 76 %

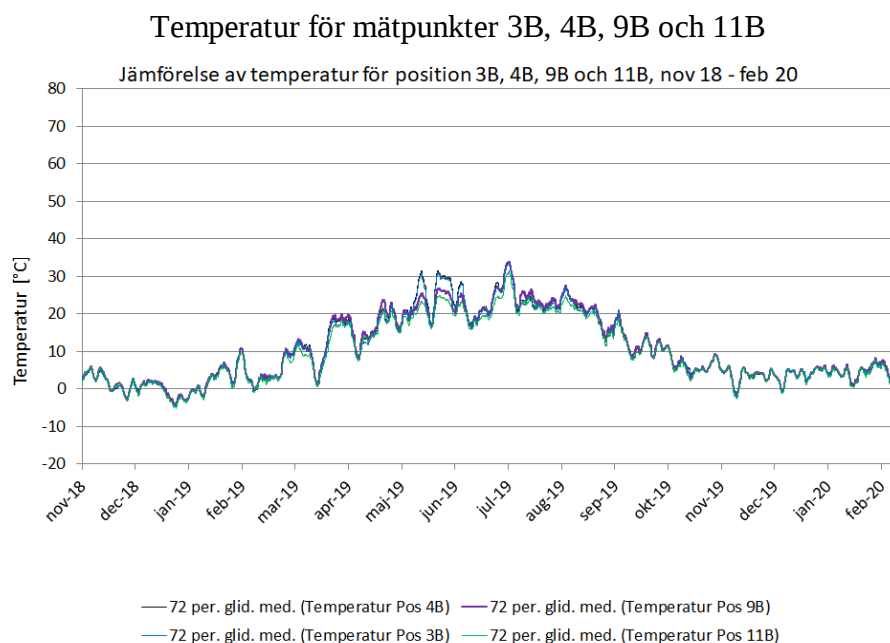
Temperatur	RF Krit 76%
-25	100
-2	100
-1	99,5
0	98,5
1	95,7
2	93,2
3	91
4	89
5	87,4
6	85,9
7	84,7
8	83,5
9	82,4
10	81,6
11	80,7
12	80,1
13	79,5
14	79
15	78,5
16	78,1
17	77,8
18	77,5
19	77,2
20	76,9
21	76,7
22	76,6
23	76,4
24	76,3
25	76,2
26	76,1
27	76,1
28	76,1
29	76
63	76

Bilaga 2

Referensmätning - Mekanisk ventilation, Skeppet Temperatur för mätpunkter 3A, 4A, 9A och 11A

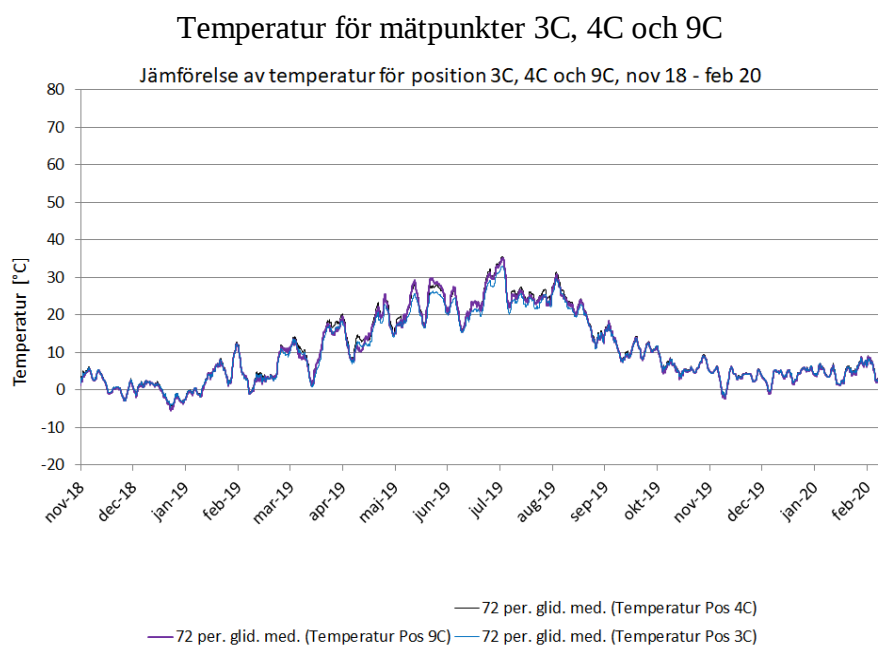


Figur 1. 72 per. glid. med. (Temperatur position 3A)(blå), 72 per. glid. med. (Temperatur position 4A)(svart), 72 per. glid. med. (Temperatur position 9A)(lila) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 11A)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.



Figur 2. 72 per. glid. med. (Temperatur position 3B)(blå), 72 per. glid. med. (Temperatur position 4B)(svart), 72 per. glid. med. (Temperatur position 9B)(lila) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 11B)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

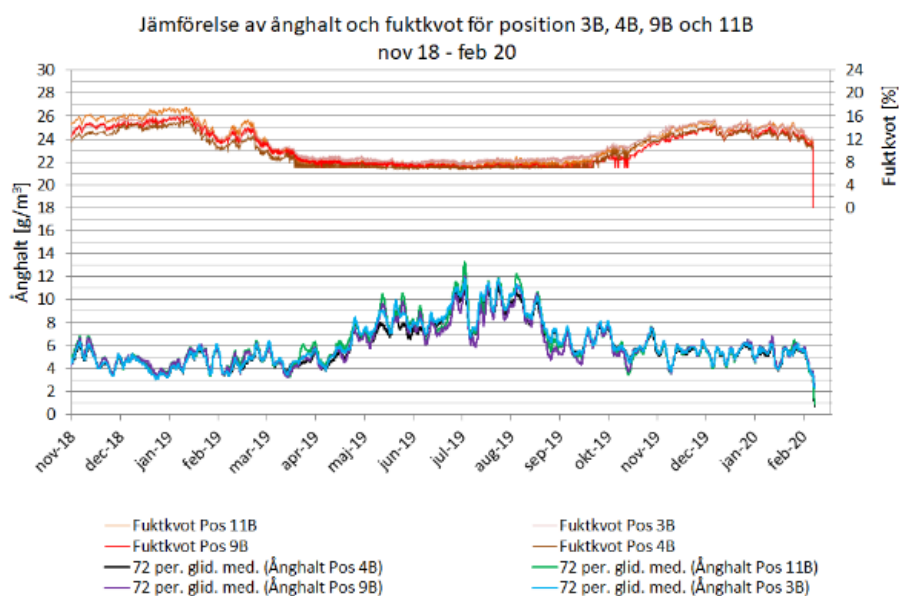
Bilaga 2



Figur 3. 72 per. glid. med. (Temperatur position 3C)(blå), 72 per. glid. med. (Temperatur position 4C)(svart) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 9C)(lila) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Bilaga 3

Referensmätning - Mekanisk ventilation, Skeppet Fuktkvot och ånghalt för mätpunkter 3B, 4B, 9B och 11B

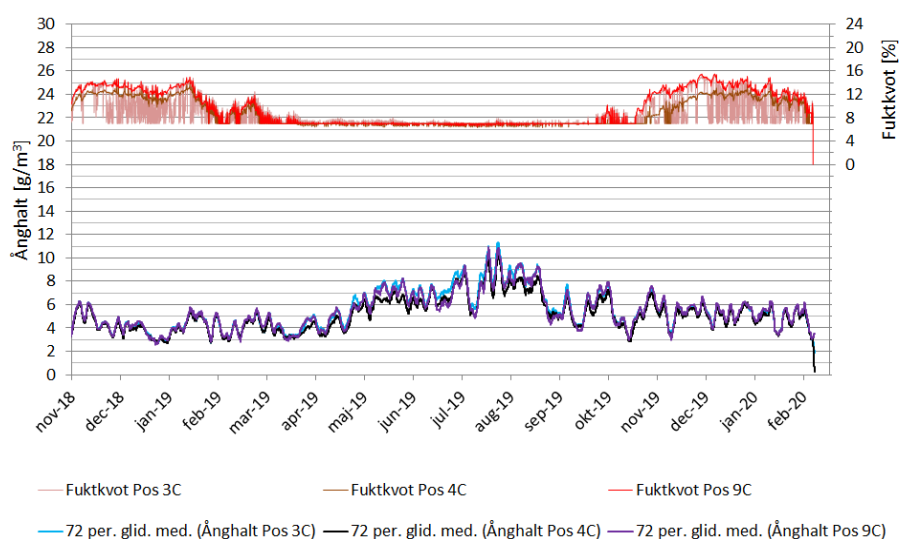


Figur 1. Fuktkvot position 3B (rosa), fuktkvot position 4B (brun), fuktkvot position 9B (röd) och fuktkvot position 11B (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 3B)(blå), 72 per. glid. med. (Ånghalt position 4B)(svart), 72 per. glid. med. (Ånghalt position 9B)(lila) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 11B) (grön) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

Bilaga 3

Fuktkvot och ånghalt för mätpunkter 3C, 4C och 9C

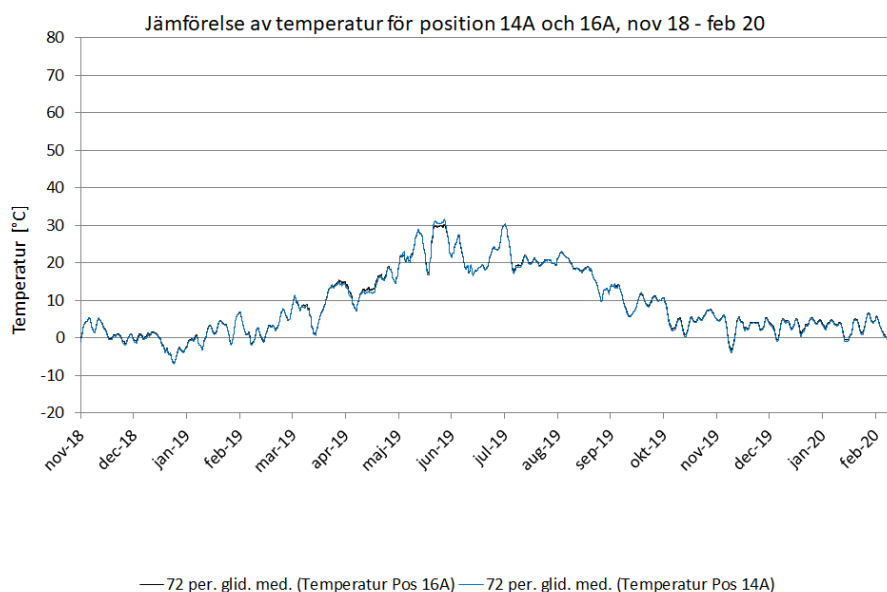
Jämförelse av ånghalt och fuktkvot för position 3C, 4C och 9C, nov 18 - feb 20



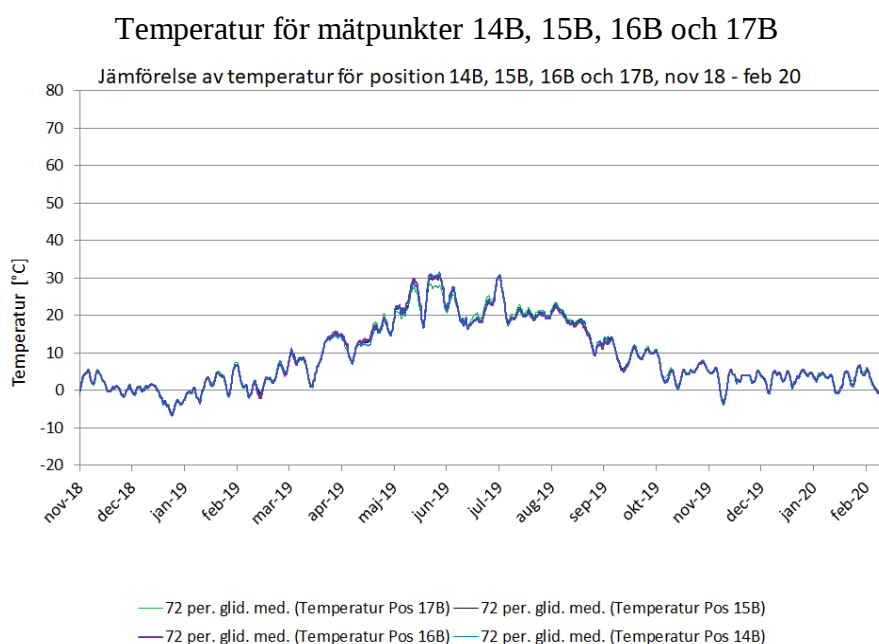
Figur 2. Fuktkvot position 3C (rosa), fuktkvot position 4C (brun) och fuktkvot position 9C (röd) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 3C)(blå), 72 per. glid. med. (Ånghalt position 4C)(svart) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 9C)(lila) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

Bilaga 4

Referensmätning - Mekanisk ventilation, Tarmen Temperatur för mätpunkter 14A och 16A



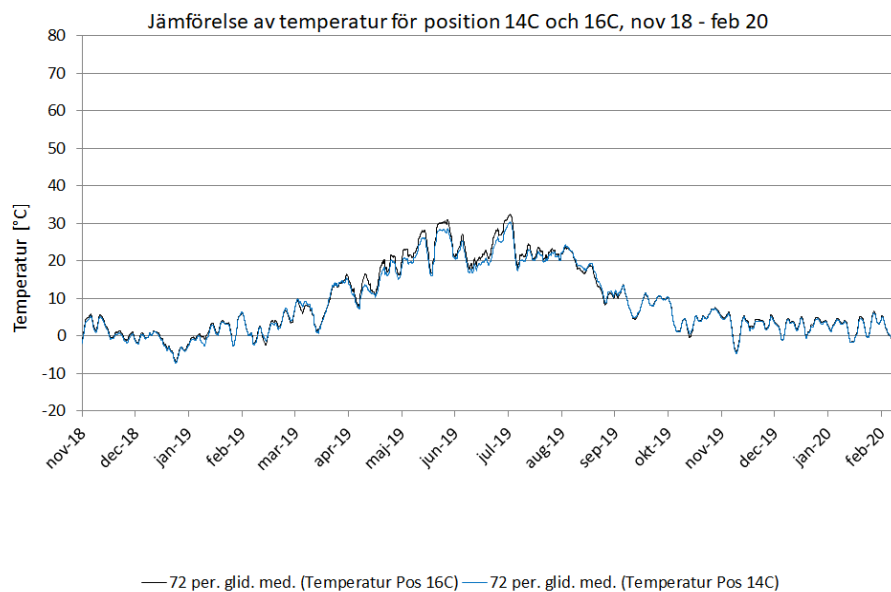
Figur 1. 72 per. glid. med. (Temperatur position 14A)(blå) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 16A)(svart) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.



Figur 2. 72 per. glid. med. (Temperatur position 14B)(blå), 72 per. glid. med. (Temperatur position 15B)(svart) 72 per. glid. med. (Temperatur position 16B)(lila) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 17B)(grön) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Bilaga 4

Temperatur för mätpunkter 14C och 16C



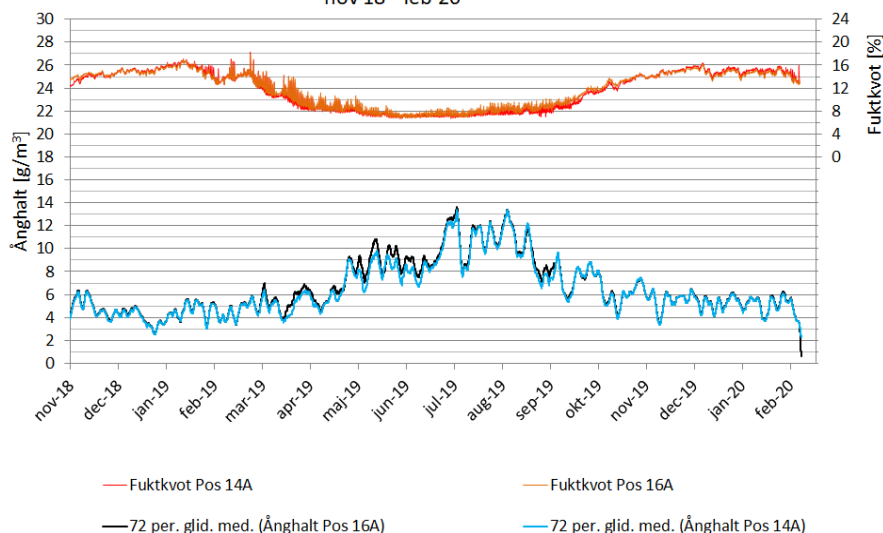
Figur 3. 72 per. glid. med. (Temperatur position 14C)(blå) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 16C)(svart) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mätpunkt under angiven tidsperiod.

Bilaga 5

Referensmätning - Mekanisk ventilation, Tarmen

Fuktkvot och ånghalt för mätpunkter 14A och 16A

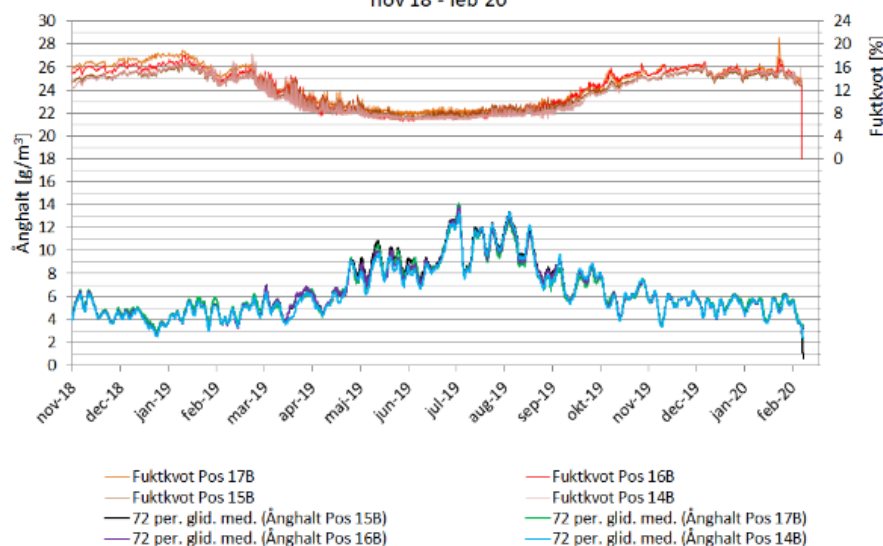
Jämförelse av ånghalt och fuktkvot för position 14A och 16A,
nov 18 - feb 20



Figur 1. Fuktkvot position 14A (röd) och fuktkvot position 16A (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 14A)(blå) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 16A)(svart) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

Fuktkvot och ånghalt för mätpunkt 14B, 15B, 16B och 17B

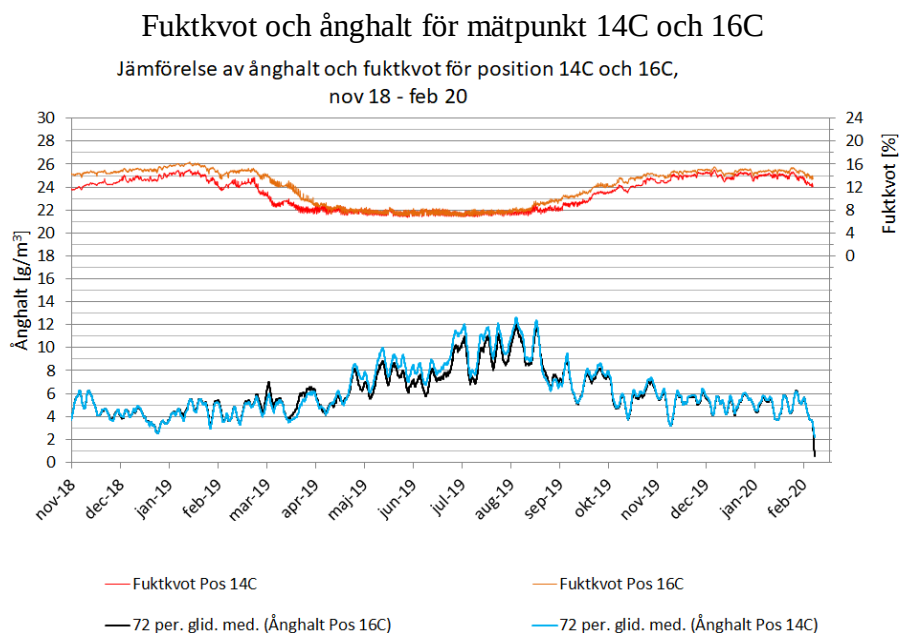
Jämförelse av ånghalt och fuktkvot för position 14B, 15B, 16B och 17B,
nov 18 - feb 20



Figur 2. Fuktkvot position 14B (rosa), fuktkvot position 15B (brun), fuktkvot position 16B (röd) och fuktkvot position 17B (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 14B)(blå), 72 per. glid. med. (Ånghalt position 15B)(svart), 72 per. glid. med. (Ånghalt position 16B)(lila) och 72 per. glid. med.

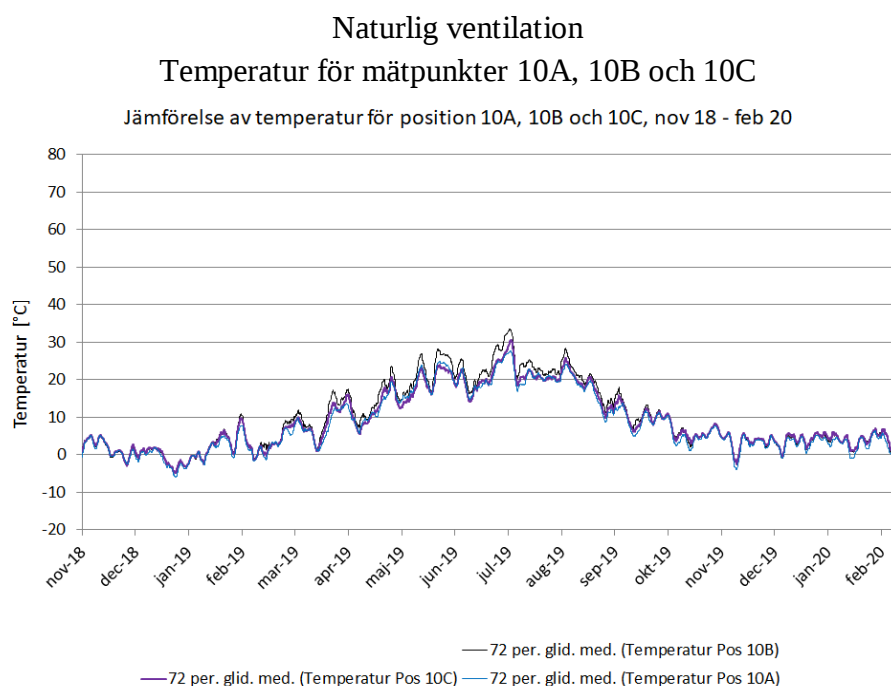
Bilaga 5

(Ånghalt position 17B) (grön) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

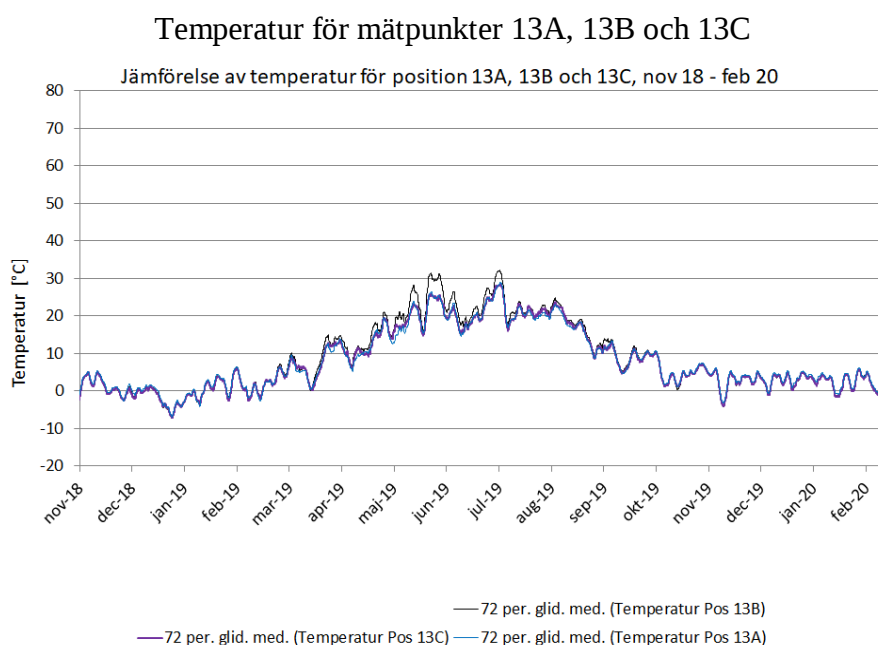


Figur 3. Fuktkvot position 14C (röd) och fuktkvot position 16C (orange) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 14C)(blå) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 16C)(svart) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

Bilaga 6



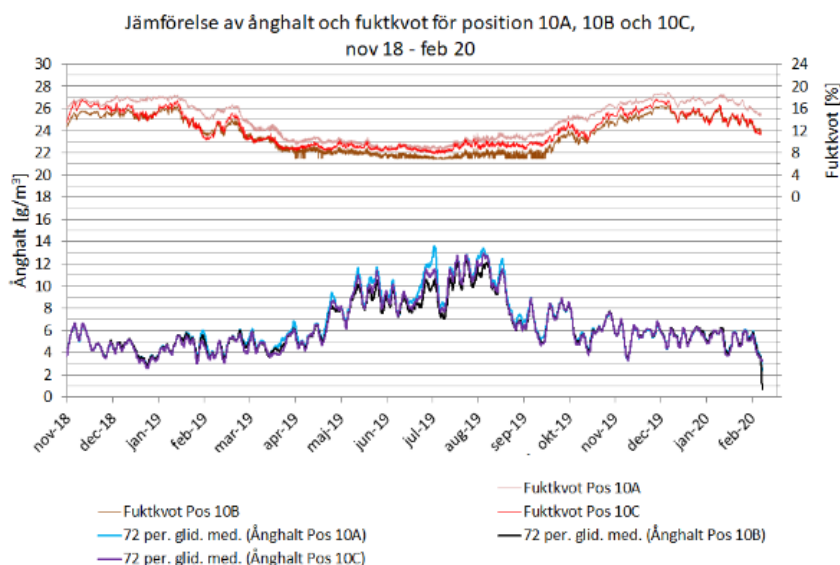
Figur 1. 72 per. glid. med. (Temperatur position 10A)(blå), 72 per. glid. med. (Temperatur position 10A)(svart) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 10C)(lila) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mät punkt under angiven tidsperiod.



Figur 2. 72 per. glid. med. (Temperatur position 13A)(blå), 72 per. glid. med. (Temperatur position 13B)(svart) och 72 per. glid. med. (Temperatur position 13C)(lila) beskriver ett rullande medelvärde för temperaturen på 72 timmar i luftspalten för respektive mät punkt under angiven tidsperiod.

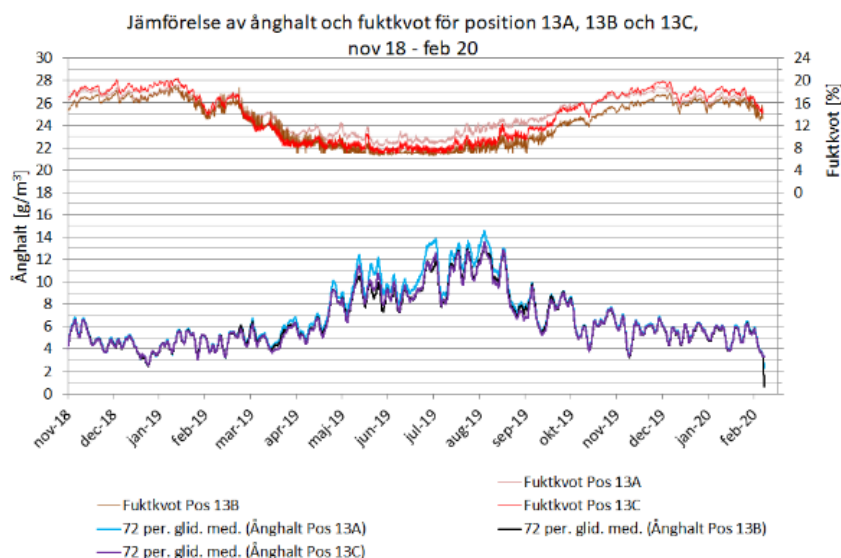
Bilaga 7

Naturlig ventilation Fuktkvot och ånghalt för mätpunkter 10A, 10B och 10C



Figur 1. Fuktkvot position 10A (rosa), fuktkvot position 10B (brun) och fuktkvot position 10C (röd) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 10A)(blå) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 10B)(svart) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 10C)(lila) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.

Fuktkvot och ånghalt för mätpunkter 13A, 13B och 13C



Figur 2. Fuktkvot position 13A (rosa), fuktkvot position 13B (brun) och fuktkvot position 13C (röd) visar fuktkvot i läkt i respektive mätpunkt under angiven tidsperiod. 72 per. glid. med. (Ånghalt position 13A)(blå) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 13B)(svart) och 72 per. glid. med. (Ånghalt position 13C)(lila) beskriver ett rullande medelvärde för ånghalt på 72 timmar för respektive mätpunkt i luftspalten under angiven tidsperiod.