



CHALMERS

Trycksatt ventilerad takkonstruktion i Tyresö Aqua Arena

En mätstudie om fukt-, temperatur- och
tryckförhållanden i en badanläggning

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

SANDRA ANDERSSON
KALLE HÄRLEBO

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete 2015:06
Göteborg, Sverige 2015

Trycksatt ventilerad takkonstruktion i Tyresö Aqua Arena

En mätstudie om fukt-, temperatur- och tryckförhållanden i en badanläggning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

SANDRA ANDERSSON

KALLE HÄRLEBO

Trycksatt ventilerad takkonstruktion i Tyresö Aqua Arena
En mätstudie om fukt-, temperatur- och tryckförhållanden i en badanläggning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

SANDRA ANDERSSON

KALLE HÄRLEBO

© SANDRA ANDERSSON, KALLE HÄRLEBO, 2015

Examensarbete 2015:06 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2015

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Tryckeriets namn/Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2015

Trycksatt ventilerad takkonstruktion i Tyresö Aqua Arena

En mätstudie om fukt-, temperatur- och tryckförhållanden i en badanläggning

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

SANDRA ANDERSSON

KALLE HÄRLEBO

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Ett badhus utsätts för stora klimatpåfrestningar eftersom det är så fuktigt inne i badanläggningen. Det är oftast takkonstruktionen som blir utsatt för störst påfrestningar. En trycksatt och ventilerad takkonstruktionslösning har tagits fram och installerats i Tyresö Aqua Arena 2013 och syftet med examensarbetet är att beskriva den byggt tekniska lösningen samt ventilationslösningen för undertaket som används där. Med hjälp av inhämtad befintlig mätdata samt egna genomförda mätningar undersöks om de fukt-, temperatur och tryckförhållanden som byggnaden är dimensionerad för hålls och om lösningen fungerar i praktiken.

För att få en förståelse för den problematik som kan förekomma i en badanläggning ges en redogörelse för klimatpåverkan och termiska drivkrafter. Vidare presenteras även teoretiska beräkningar som ger en fingervisning av vilket klimat som råder i badanläggningen och vad som händer ifall temperaturen ändras några grader.

Det har genomförts mätningar vid två olika tillfällen våren 2015, där fukt-, temperatur- och tryckförhållanden samlades in. Mätningarna syftade främst till att se vilka tryckförhållanden som hölls mellan utrymmet ovan undertak, inne i badanläggningen och utomhusluften men även se så det inte finns någon risk för fuktproblem.

Baserat på de beräkningar som har gjorts samt inhämtad mätdata och egna mätningar som har genomförts är slutsatsen att de värden på fukt, temperatur och tryck som byggnaden projekterades för hålls. Lösningen med trycksatt ventilerat undertak som har undersökts i den här rapporten fungerar i praktiken och uppfyller de förväntningar som fanns vid installationen av den.

Nyckelord: Badanläggning, äventyrsbad, ventilation, fukt, tryckförhållanden, temperatur, Tyresö Aqua Arena, undertak, konvektion, diffusion

Pressurized Ventilated Roof Construction in Tyresö Aqua Arena

A measurement study of humidity, temperature and pressure conditions in a public bath

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

SANDRA ANDERSSON

KALLE HÄRLEBO

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Services Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

A bathhouse is exposed to major climate stressors due to high humidity in the air inside the public bath. It is usually the roof construction that is exposed to the greatest strain. A pressurized and ventilated solution for the roof construction has been developed and installed in Tyresö Aqua Arena in 2013. The purpose of this thesis is to describe the construction and the ventilation solution for the roof construction used at Tyresö Aqua Arena. In addition to collecting our own accomplished measurements, a review of existing data was conducted in order to examine the humidity, temperature, and pressure conditions. The thesis will investigate if the measured conditions are in accordance with the values for which the building was dimensioned, and, if the solution of using a pressurized ventilated roof construction actually works.

An account of climate impact and thermal driving forces is being presented in order to get an understanding of the problems that may occur in a public bath. Furthermore, theoretical calculations that give an indication of the climate in a public bath, and, what happens if the temperature changes a few degrees, are reported.

Measurements of humidity, temperature and pressure conditions were collected at two different times during the spring of 2015. The primary purpose was to investigate the pressure conditions that existed between the space above the ceiling, inside the public bath, and in the outdoor air but also to ensure that there is no risk of humidity problems.

In conclusion, the calculations that have been done and the collected data and the own accomplished measurements show that the value of humidity, temperature and pressure that the building was projected for is held. In addition, the solution with pressurized ventilated ceiling, which has been examined in this report, works in practice and meets the expectations that existed at the time of installation.

Key words: Public Bath, Water Park, Ventilation, Humidity, Pressure Conditions, Temperature, Tyresö Aqua Arena, Ceiling, Convection, Diffusion.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Problem	2
1.4 Arbetets genomförande	5
1.5 Avgränsningar	5
1.6 Rapportens upplägg	5
2 KLIMATBELASTNINGAR PÅ KONSTRUKTIONEN	7
2.1 Beskrivning av funktion och verksamhet	7
2.2 Klimatförutsättningar – Mollierdiagram	8
2.3 Fukt	10
2.3.1 Fuktdiffusion	10
2.3.2 Fuktkonvektion	10
2.3.3 Fukttillstånd hos material	11
2.4 Inomhusklimat	13
2.4.1 Sommar	13
2.4.2 Vinter	14
2.5 Utomhusklimat	16
3 TEKNISK BESKRIVNING	18
3.1 Byggnadsteknisk lösning	18
3.2 Ventilationslösning	19
3.2.1 Luftbehandlingsaggregatet	19
3.2.2 Benämningar samt placering av givare	20
3.2.3 Drift	21
4 MÄTNINGAR	22
4.1 Uppföljande av mätningar	22
4.1.1 Analys av befintliga mätningar	24
4.2 Genomförda mätningar 1	24
4.2.1 Genomförande	24

4.2.2	Felkällor	25
4.2.3	Resultat	27
4.2.4	Analys av genomförda mätningar 1	29
4.2.5	Alternativ mätmetoder för differenstryck	29
4.3	Genomförda mätningar 2	30
4.3.1	Genomförande	30
4.3.2	Felkällor	31
4.3.3	Resultat	32
4.3.4	Analys av genomförda mätningar 2	34
4.3.5	Jämförelse mellan de olika genomförda mätningarna	35
5	TEORETISKA BERÄKNINGAR	36
5.1	Diffusionsberäkning genom undertaket	36
5.1.1	Analys av diffusionsberäkning genom undertak	38
5.2	Beräkning av fuktkonvektion	38
5.2.1	Analys av beräkning av fuktkonvektion	40
5.3	Temperaturfördelning i yttertaks- och undertakskonstruktionen	40
5.4	Tilluftstemperatur fås genom transmissionsberäkning	42
6	DISKUSSION OCH SLUTSATS	43
6.1	Förslag på vidareutveckling och behov av fortsatta undersökningar	44
7	REFERENSER	45
BILAGA 1		1
BILAGA 2		1
BILAGA 3		1
BILAGA 4		1
BILAGA 5		1
BILAGA 6		1
BILAGA 7		1
BILAGA 8		1

Förord

Examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng och ingår i högskoleutbildningen för byggingenjörsprogrammet 180 högskolepoäng, vid Chalmers Tekniska Högskola vid avdelningen för installationsteknik.

Examensarbetet skrevs för Ingenjörskyrån Andersson och Hultmark, där vi tillsammans med dem kom fram till att vi skulle beskriva och undersöka den nyinstallerade trycksatta ventilerade takkonstruktionen som finns i Tyresö Aqua Arena.

Vi vill passa på att tacka Jonas Sköld, Håkan Holmlind och Martin Görander, ingenjörer på Ingenjörskyrån Andersson och Hultmark, som har bidragit med projekteringsmaterial, fungerat som bollplank samt inspirerat oss, men framförallt tagit sig tid till att hjälpa oss. Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare, Jan Gustén, på Chalmers, som har väglett oss genom arbetet, bidragit med sin kunskap och erfarenhet inom området och tillsammans med ingenjörskyrån Andersson och Hultmark möjliggjort två resor till Tyresö Aqua Arena, så att vi har kunnat genomföra egna mätningar. Vi vill även tacka Håkan Larsson, forskningsingenjör vid Chalmers, för hjälp med utrustning och anvisningar inför de egna mätningarna. Vi vill också rikta ett tack till Nasir Ahmed, driftentreprenör vid Cemi Entreprenad, som tillsammans med kollegor har tagit emot samt hjälpt oss med mätningarna vid Tyresö Aqua Arena. Slutligen vill vi tacka alla övriga personer som har bidragit till att det här examensarbetet har blivit genomfört.

Göteborg maj 2015

Kalle Härlebo och Sandra Andersson

Beteckningar

Latinska versaler

A_i	Byggnadsdelens invändiga area [m]
C_p	Luftens specifika värmekapacitet [J/kgK]
G	Mängd fukt [g/m ² h]
P_{ov}	Oavsiktlig ventilation, för bort värme [W]
$P_{t\ Bad}$	Transmission från badanläggning till ovan undertak, tillför värme [W]
$P_{t\ Ut}$	Transmission från ovan undertak och ut, för bort värme [W]
P_v	Ventilation, tillför värme [W]
Q	Luftläckage [m ³ /m ² h]
$Q_{undertaket}$	Luftläckaget genom undertaket [kg/s]
$Q_{t\ Bad}$	Specifik värmeförlustfaktor för transmission från badanläggningen [W/K]
$Q_{t\ Ut}$	Specifik värmeförlustfaktor för transmission till utomhus [W/K]
Q_v	Ventilationens specifika värmeförlustfaktor [W/K]
RF_{Bad}	Relativ fuktighet inomhus i badanläggningen [%]
RF_{ute}	Relativ fuktighet utomhus [%]
R_i	Värmemotståndet för ett skikt [m ² K/W]
R_{se}	Värmeövergångsmotstånd för yttertor [m ² K/W]
R_{si}	Värmeövergångsmotstånd för inneritor [m ² K/W]
R_{tot}	Totala värmemotståndet [m ² K/W]
R_x	Värmemotståndet för skikten in till gränsytan på avståndet x [m ² K/W]
T_{Bad}	Badanläggningens innelufttemperatur [°C]
$T_{inneyta}$	Temperatur på inomhusytan [°C]
$T_{tilluft}$	Tilluftstemperatur [°C]
$T_{undertak}$	Lufttemperatur ovan undertak [°C]
T_{ute}	Uteluftens temperatur [°C]
T_{uteyta}	Temperatur på utomhusytan [°C]
T_x	Temperaturen på avståndet x in i konstruktionen [°C]
U	Värmeigenomgångskoefficient [W/ m ² K]
U_i	Värmeigenomgångskoefficient för en byggnadsdel [W/ m ² K]
$U_{undertak}$	Värmeigenomgångskoefficient för undertaket [W/ m ² K]
V_F	Frånluftsflöde [l/s]
V_T	Tilluftsflöde [l/s]
Z	Ånggenomgångsmotstånd [s/m]

Latinska gemena

d	Tjocklek [m]
g	Flödestäthet [kg/m ² s]
q_{ov}	Luftflöde ofrivillig ventilation [l/s]
q_v	Luftflöde ventilation [l/s]
v_1	Ånghalt sida 1 om skiktet [kg/m ³]
v_2	Ånghalt sida 2 om skiktet [kg/m ³]
v_i	Ånghalt inomhus [g/m ³]
v_u	Ånghalt utomhus [g/m ³]
v_{ou}	Mättnadsånghalt luft ovan undertak [g/m ³]
x	Fuktkvot [kg/kg]
x_i	Fuktkvot för inomhusluften [kg _{vattenånga} /kg _{luft}]
x_u	Fuktkvot för utomhusluften [kg _{vattenånga} /kg _{luft}]

Grekiska versaler

ΔP	Differenstryck [Pa]
Δv	Ånghaltsskillnad [kg/m^3]

Grekiska gemena

λ	Värmeledningsförmåga [W/mK]
ρ	Densitet [kg/m^3]
ρ_{luft}	Densitet för luft [kg/m^3]

1 Inledning

Ett badhus får anses som en komplicerad konstruktion att bygga då den utsätts för stora klimatpåfrestningar. Det beror på att det är så fuktigt inne i ett badhus samt att det är svårt att få till de optimala tryckförhållandena. Taket är ofta den konstruktionsdelen som blir utsatt för störst fuktpåfrestningar. En takkonstruktionslösning som ska motverka påfrestningarna har tagits fram och installerades i Tyresö Aqua Arena 2013. I den här rapporten beskrivs taklösningen, som består av ett trycksatt och ventilerat utrymme mellan yttertaket och undertaket. Dessutom har mätningar samt beräkningar genomförts för att belysa om förväntningarna på den tekniska lösningen och konstruktionen uppfylls.

1.1 Bakgrund

Inomhusklimatet i en badanläggning är extremt i förhållande till inne i ett bostadshus. Lufttemperaturen ska vara runt 28-32 °C och den relativa fuktigheten dimensioneras ofta till 55 %, men tillåts stiga upp till 65 % under sommaren. Stora delar av golvet area är bassängyta och dess vattentemperatur varierar mellan 26-34 °C beroende på verksamhet. Det avdunstar från alla våta ytor, vilket gör att luften inne i badanläggningen får en hög luftfuktighet.

Ovan beskrivet inomhusklimat ställer stora krav på konstruktionen, ventilationen och tryckförhållandena. Det är viktigt att konstruktionen byggs så tät som det går, så att den fuktiga inomhusluften inte ska kunna passera klimatskärmen genom fuktkonvektion samt att fukt inte ska kunna transporteras ut via diffusion. Ventilationen måste klara av att hålla en komfortabel temperatur samt att föra bort fukten, så att den relativa fuktigheten inte blir för hög. Dessutom ska ventilationen hålla det önskade tryckförhållandet, inne i badanläggningen, som är ett undertryck jämfört med utomhustrycket. Det är för att inomhusluften inte ska pressas ut genom klimatskärmen och riskera att fukten i luften kondenserar inne i konstruktionen. Trycket påverkas dock även av temperaturen och av vindens påverkan. Eftersom varm luft stiger är det risk för ett högre internt tryck uppe i taknivå, vilket leder till att det finns en risk för ett totalt övertryck i den nivån. Om inte konstruktionen är tät, vid ett övertryck, så kommer fuktig luft att pressas ut genom takkonstruktionen och det finns risk för skador på materialet.

En takkonstruktionslösning har tagits fram av Anjobygg, Liljewalls samt Andersson och Hultmark. Den tekniken installerades bland annat i ett badhus i Tyresö, Stockholm, Tyresö Aqua Arena, 2013 (Tyresö kommun, 2015). Tekniken går ut på att ha ett trycksatt samt ventilerat utrymme mellan yttertaket och undertaket. Konstruktionen ska vara helt tät, vilket innebär att även undertaket har en diffusionsspärr. Utrymmet ska vara trycksatt med ett övertryck jämfört med trycket i badanläggningen och utrymmet ska vara varmt med en låg relativ fuktighet. Tanken med den här konstruktionen är att motverka skador i taket.

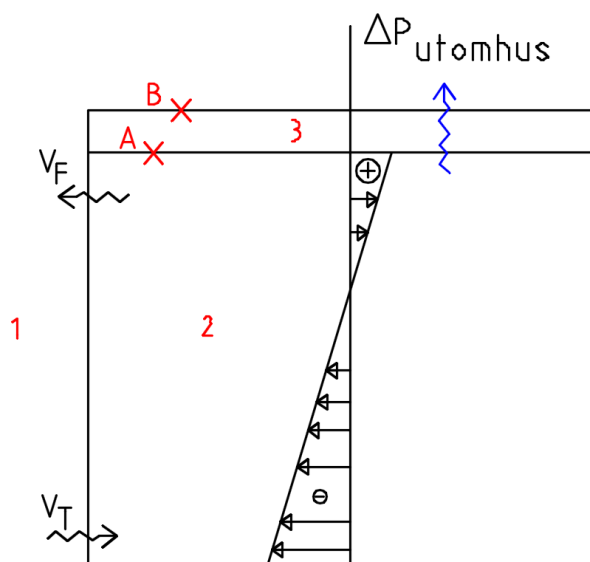
1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att beskriva den tekniska lösningen samt ventilationslösningen för undertaket som används i Tyresö Aqua Arena. Med hjälp av inhämtad befintlig mätdata samt egna genomförda mätningar undersöks om de fukt-, temperatur och tryckförhållanden som byggnaden är dimensionerad för hålls och om lösningen fungerar i praktiken.

1.3 Problem

För att undvika fuktskador i konstruktionen är det viktigt att ha kontroll på tryckförhållandena inne i badhuset. Det optimala, för att undvika fuktskador, skulle vara att ha ett undertryck inne i badanläggningen, vilket innebär att den fuktiga luften inte trycks ut igenom konstruktionen. Undertrycket ska vara mätt relativt atmosfärstrycket som är utomhus.

Inomhus i badanläggningar är det vanligt att det finns ett undertryck i golvnivå, som har skapats med hjälp av mekaniska krafter, vilket innebär att ventilationssystemet är uppbyggt så att tilluftsflödet är mindre än frånluftsflödet. Dock är det ofta ett övertryck uppe i taknivå, eftersom även termiska krafter påverkar tryckskillnader. Det innebär att vid en högre temperatur, vilket det är uppe i taknivå jämfört med golvnivå i en badanläggning, så blir det en högre tryckskillnad mellan ute och inne. Ofta leder den här förhöjda termiska tryckskillnaden till ett totalt övertryck uppe i taknivå, som illustreras i Figur 1.1. Det här betyder att den varma fuktiga inomhusluften strävar efter att hamna i jämvikt med den kallare utomhusluften. Om konstruktionen är helt tät kommer luften inte att kunna transporteras genom klimatskalet, dock kommer en diffusion ske om ånghalten utomhus är lägre än ånghalten inomhus. De flesta badhus har en bra diffusionsspärr så det är små fuktmängder som transporteras. Skulle däremot diffusionsspärren inte vara helt tät så kommer det att ske en större fuktdiffusion samt att det sker en fuktkonvektion genom konstruktionen, vilket innebär att den fuktiga luften transporteras genom konstruktionen på grund av tryckskillnaderna. Det är ett problem som måste lösas, eftersom det finns risk att fukten som luften för med sig fälls ut som kondens inne i konstruktionen och det blir fuktskador. Figur 1.1 illustrerar den här principen med hjälp utav en vertikal gradient, som står för utomhustrycket. Går pilarna till vänster är det ett undertryck och går pilarna åt höger är det ett övertryck. Den blå pilen visar hur luftflödet med ett fuktinnehåll kommer att transporteras vid det här tillståndet. Beteckningarna A och B står för de konstruktionsdelar där det finns risk för fuktskador.



Figur 1.1 Principskiss över tryckförhållandena i en badanläggning utan trycksatt utrymme ovan undertaket.

Tabell 1.1 beskriver de olika beteckningarna som används i Figur 1.1, Figur 1.2 och Figur 1.3, för att ge förståelse för vad principskissen illustrerar.

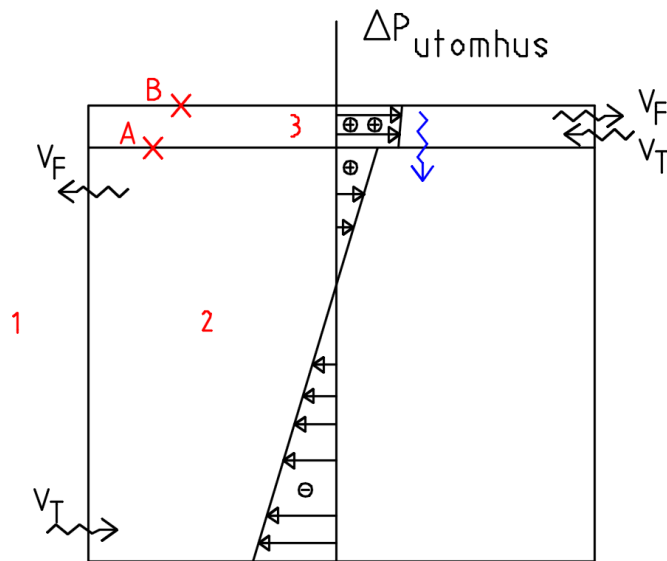
Tabell 1.1 Förklaringar av beteckningar i Figur 1.1, Figur 1.2 och Figur 1.3.

Beteckning	Förklaring
1	Utomhus
2	Inomhus där aktivitet bedrivs, äventyrsbad
3	Ovan undertak
A	Riskområde i undertakskonstruktionen
B	Riskområde i yttertakskonstruktionen
ΔP	Differenstryck
V_T	Tilluftsflöde
V_F	Frånluftsflöde

Det finns olika sätt att försöka lösa problemet. Det vanligaste är att se till att konstruktionen är lufttät, vilket innebär att det finns en diffusionsspärr och att det inte får förekomma hål i materialet. Det sistnämnda är inte alltid lätt att uppnå, därför är det viktigt att tryckförhållandena är rätt. Vilket innebär att det bör vara ett undertryck ända upp till taket inne i badanläggningen.

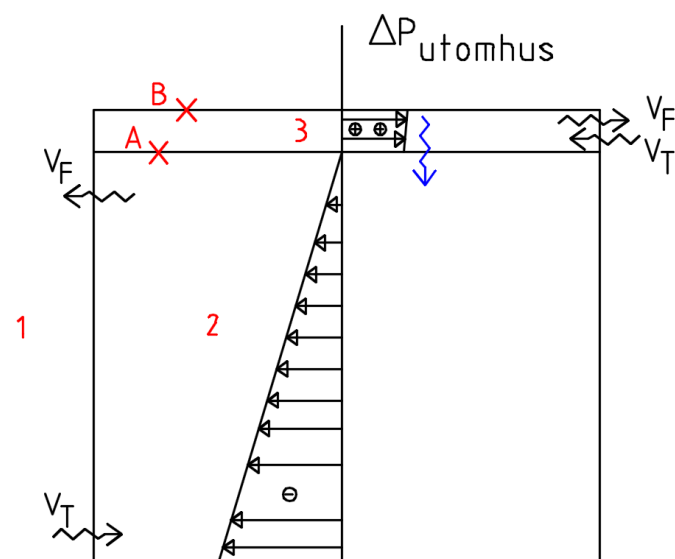
Det finns ännu ett sätt som kan vara en lösning på problemet, och det är den lösningen som kommer att beskrivas och undersökas i den här rapporten. Figur 1.2 visar en principskiss över tryckförhållanden som kan uppstå i en sådan badanläggning. Tanken är ett trycksatt utrymme ovanför undertaket, så att det bildas ett övertryck relativt trycket som kan råda i taknivå i badanläggningen, för att på så sätt undvika problem med fukttransporter. Det är även viktigt att övertrycket ovan undertaket är större än det trycket som är utomhus. Figur 1.2 illustrerar att referenstrycket är det tryck som råder utomhus och det är utgångspunkten för illustrationen av de övriga trycken. Den vertikala linjen som går genom mitten av byggnaden representerar utomhustrycket. Går pilarna till vänster är det ett undertryck och går pilarna åt höger är det ett

övertryck. Den blå pilen visar vilken riktning luftflödet med fuktinnehåll transporteras genom konstruktionen.



Figur 1.2 Principskiss över tryckförhållanden i den specifika badanläggningen med ett trycksatt utrymme ovan undertaket.

I Figur 1.3 redovisas ett alternativt fall som kan uppstå med samma ventilerade trycksatta lösning i undertaket som illustreras i Figur 1.2. Skillnaden i fallet i Figur 1.3 är att det råder ett undertryck på alla nivåer i badanläggningen. Då lösningen bygger på att trycket ovan undertak är större än det tryck som råder inne i badanläggningen i taknivå, så blir det här fallet mer optimalt än det fall som redovisas i Figur 1.2, då det i Figur 1.3 är en större tryckskillnad.



Figur 1.3 Principskiss över tryckförhållanden i den specifika badanläggningen med ett trycksatt utrymme ovan undertaket.

1.4 Arbetets genomförande

Tyresö Aqua Arena har studerats genom att bygghandlingar och dokumentation som berör anläggningen har granskats. För att få en ökad förståelse för hur det fungerar tekniskt med fukt, tryck och ventilation i en badanläggning studerades även litteratur inom området.

Vidare genomfördes även en granskning av de mätvärdena som finns inhämtade för byggnaden. Dessutom gjordes egna mätningar i två omgångar. För att illustrera och beräkna temperatur- och fuktförhållandena användes Mollierdiagram.

För att få mer information om ämnet och anläggningen togs kontakt med personer i branschen, samt personer med anknytning till anläggningens uppförande och drift.

1.5 Avgränsningar

Arbetet fokuserar på badhuset, Tyresö Aqua Arena och den tekniska lösningen som används där. Undersökningar och jämförelser med andra badanläggningar görs inte. Arbetet inriktas mot takkonstruktionen, vilket innebär det ventilerade samt trycksatta utrymmet ovan undertaket. En annan avgränsning som görs är att inverkan av vindtryck inte beaktas.

Det finns flera olika bassängtyper beroende på aktivitet som ska bedrivas i anläggningen. I Tyresö Aqua Arena finns tre olika typer av bassänger, 25-metersbassäng för motion och tävling, undervisningsbassäng samt äventyrsbad. Arbetet kommer att vara inriktat på delen med äventyrsbad då det kan anses vara den mest komplicerade typen. Eftersom det är den badanläggningen som genererar störst fuktbelastning på byggnadskonstruktionen.

1.6 Rapportens upplägg

Rapporten är utformad för att ge en förståelse för de temperatur-, fukt- och tryckförhållanden som råder i badhus och hur det kan leda till problematik. Därefter fokuserar rapporten på en tänkbar lösning på problemet som installerades i Tyresö Aqua Arena 2013.

I kapitel 2 ges en beskrivning av verksamheten i en badanläggning och vilka klimatförutsättningar som råder. Vidare ger kapitlet information om hur fukt belastar byggnaden och vad det beror på. Kapitel 2 är tänkt att ge en ökad teoretisk förståelse för att kunna tillgodogöra sig senare kapitel. (Beroende på bakgrundskunskap kan läsaren välja att gå direkt till kapitel 3).

I kapitel 3 ges en beskrivning av utformningen av Tyresö Aqua Arena. Kapitlet redogör för den byggnadstekniska lösningen samt för hur den ventilationstekniska lösningen är dimensionerad.

I kapitel 4 presenteras mätningar som är gjorda vid Tyresö Aqua Arena, där temperatur-, fukt- och tryckförhållanden i anläggningen undersöks. Först presenteras data som samlats in från givare som loggar värden kontinuerligt i anläggningen.

Därefter redovisas resultatet av de mätningar som genomfördes av författarna vid två olika tillfällen under våren 2015.

Kapitel 5 ger en redogörelse av olika beräkningar för dimensionerande värden och olika klimatfall som är teoretiskt rimliga att de inträffar i byggnaden. Beräkningarna undersöker hur fukten transporteras i olika fall och vilka temperaturer som råder i olika delar av konstruktionen. Vidare visar även beräkningarna hur den optimala mängden och temperaturen på tilluften i utrymmet ovan undertak räknas fram.

I kapitel 6 redogörs för de slutsatser som kan dras efter analys av befintliga mätdata samt de egna mätningarna som har genomförts. Vidare diskuteras rapportens arbete och förslag på vidareutveckling och behov av fortsatta undersökningar.

2 Klimatbelastningar på konstruktionen

I Kapitel 2 beskrivs ett badhus funktion och verksamhet samt hur klimatförutsättningar tas fram i ett Mollierdiagram. Dessutom beskrivs utomhus- och inomhusklimatet, som råder inne i en badanläggning, och dess påverkan på konstruktionen.

2.1 Beskrivning av funktion och verksamhet

Ett badhus består av en eller flera badanläggningar. Vilken sorts anläggning som finns beror på vad det är för verksamhet som bedrivs i badhuset. Den vanligaste typen av badanläggning är en fyrkantig simbassäng som är uppdelad i flera simbanor med längden 25 meter eller 50 meter. I anslutning till bassängen finns ofta trampoliner på olika höjder. Hit går besökare för att motionera, tävla men även för att leka. Det är även vanligt med äventyrsbad, dit badgäster går för att leka och ha det roligt i vattenrutschbanor, hopptorn, vattenfall, vågmaskiner och liknande (Holmström, Karlsson, 2006).

Verksamheten i ett äventyrsbad ger en stor belastning på klimatskalet. Det beror på det fuktiga och varma klimatet som förekommer i anläggningen, samt att det är mera rörelser i vattnet i ett äventyrsbad. Det tillkommer vattenånga till luften från avdunstning, som blir större vid rörelser i vattnet. Avdunstning sker från alla våta ytor i rummet. Det sker då luftens daggpunktstemperatur är lägre än vattnets temperatur. Ju högre relativ fuktighet det är i luften desto mindre blir avdunstningen. Vid en relativ fuktighet på 100 % klarar luften inte av att ta upp mer vattenånga. Arean på vattenytan, som kan vara bassängen, men även attraktioner, våta människor och ytförstoring av vattnet när människor badar, påverkar avdunstningens storlek. Det finns uppskattade avdunstningsmängder för olika attraktioner som kan användas vid avdunstningsberäkningar. Exempelvis vid dagdrift är en simbassängs avdunstningsmängd $0,25 \text{ kg/hm}^2$, vilket kan jämföras med en simbassäng vid nattdrift då schablonvärdet är $0,08 \text{ kg/hm}^2$ (Holmström, Karlsson, 2006).

Verksamheten i ett badhus ger alltså en stor fuktbelastning, därför kan det kallas för en riskkonstruktion (Holmström, Karlsson, 2006). Det är inte lätt att bygga en badanläggning utan problem. En stor orsak är att det är viktigt att klimatskalet är helt lufttät, för skulle det bli otätheter på ångspärren finns en risk för fuktskador i konstruktionen (Görander, M. och Holmlind, H., personlig kommunikation, 2015). För att undvika otätheter i ångspärren används inte spik utan ångspärren kläms fast med en plåtvinkel längs fasaden med ett tätningsband under för att få det tätt. Plåtvinkeln skruvas fast mekaniskt. De längsgående skarvarna i ångspärren tejpas med en bestämd överlappning (Liljewall arkitekter, persolig kommunikation, 2015). Ventilation-, styr- och reglersystem är också en viktig aspekt, då de reglerar inomhusluften till lämplig lufttemperatur samt relativ fuktighet (Görander, M. och Holmlind, H., personlig kommunikation, 2015). Tilluften är till för att värma luften, då vattnet har en kylande effekt, eftersom vattnet ofta är några grader kallare än i luften. Dessutom ska tilluften vara torrare än rumsluften, eftersom avdunstningen fuktar upp luften och på det viset fås önskat klimat (Holmström, Karlsson, 2006).

Ett badhus påverkas negativt om det är ett övertryck inne i badanläggningen. Det beror på att när det är ett övertryck inne så vill trycket utjämnas med undertrycket

som är ute. Vid en helt tät byggnaden hindras det, eftersom luften inte kan transporteras. Det är dock svårt att få en helt tät byggnad, vilket leder till att fuktig luft transporteras ut via konvektion och riskerar fuktskador. Det är därför det strävas efter ett undertryck inne i badanläggningen. Om byggnaden inte skulle vara tät vid ett undertryck inne, så är det uteluften som transporteras in. Det är mindre farligt ur fuktsynpunkt (Kumlin, Wahl, 2004). Det beror på att luften som kommer utifrån är kall och torr, dessutom minskar den relativa fuktigheten då luften värms upp när den passerar genom klimatskärmen. Skulle det vara fuktigt inne i klimatskärmen från diffusion torkas den ut av luften (Holmström, Karlsson, 2006).

Takkonstruktionen är utsatt för störst risk. Det beror på att trycket ökar med höjden i en byggnad, vilket innebär att det kan vara ett övertryck uppe i takhöjd medan det är ett undertryck i marknivå (Kumlin, Wahl, 2004). Dessutom stiger varm luft uppåt och varm luft innehåller oftast mer fukt. Det är alltså viktigt med en bra teknisk lösning på takkonstruktionen och det finns många olika lösningar. I den här rapporten beskrivs, i Kapitel 3, en variant där det ventileras ovan undertaket så att det bildas ett övertryck.

2.2 Klimatförutsättningar – Mollierdiagram

De klimatförutsättningar som råder kan beskrivas med hjälp av fuktmekaniken. Fuktmekaniken beror på samspelet mellan luft, ånga och vatten. De tre parametrar som karakteriserar luftens fuktinnehåll är; Ånghalt, mättnadsånghalt samt relativ fuktighet. Den mängd fukt som luften innehåller kallas ånghalt. Hur mycket fukt luften kan innehålla varierar med luftens temperatur. Den maximala mängd fukt som luften kan innehålla kallas för mättnadsånghalt. Den relativa fuktigheten är ett mått på hur mycket fukt luften innehåller i förhållande till mättnadsånghalten. Den relativa fuktigheten beräknas enligt ekvation (2.1) (Holmström, Karlsson, 2006).

Vid en högre temperatur kan luften maximalt innehålla mer fukt än vid en lägre temperatur. På sommaren är den relativa fukthalten i utomhusluften ungefär 50-60 % jämfört med på vintern då den relativa fukthalten ökar till ungefär 80-90 % (Strandberg, 2014).

$$\varphi = \frac{v}{v_s} \quad (2.1)$$

φ = relativ fuktighet [%]

v = ånghalt [g ånga/ m^3 luft]

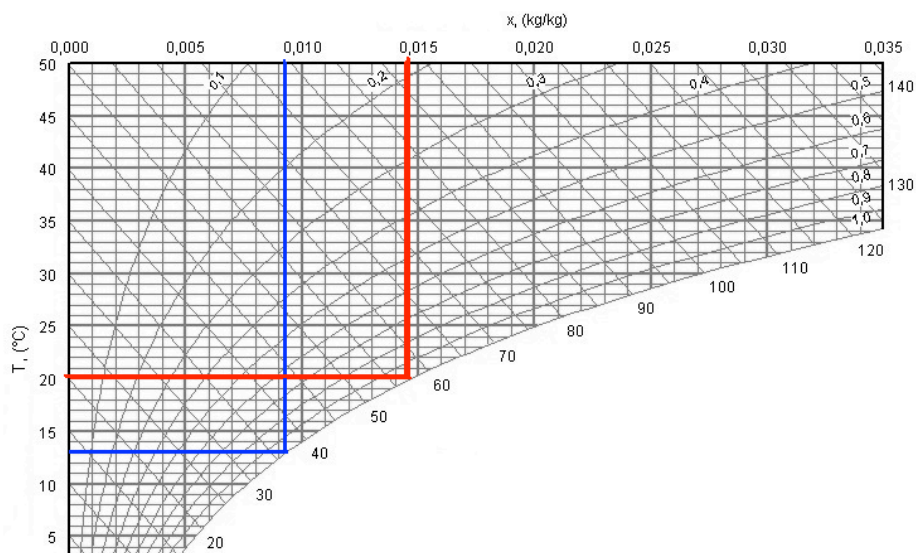
v_s = mättnadsånghalt [g ånga/ m^3 luft]

Mollierdiagramet är ett verktyg för att åskådliggöra luftens egenskaper. Om två egenskaper är kända kan flera egenskaper utläsas (Fredriksson, 2007). De parametrar som visas i Mollierdiagramet är lufttemperatur, luftens absoluta vatteninnehåll, relativ fuktighet, värmeinnehåll, daggpunkt, entalpi och våt temperatur (Holmström, Karlsson, 2006).

I Figur 2.1 är två olika fall utmärkta. Det ena fallet, markerat med rött, visar lufttemperaturen 20°C. Om den relativa fuktigheten är 100 % så går det att utläsa att luften innehåller 14,5 g vatten/kg luft. Likaså går det att utläsa i fallet markerat med

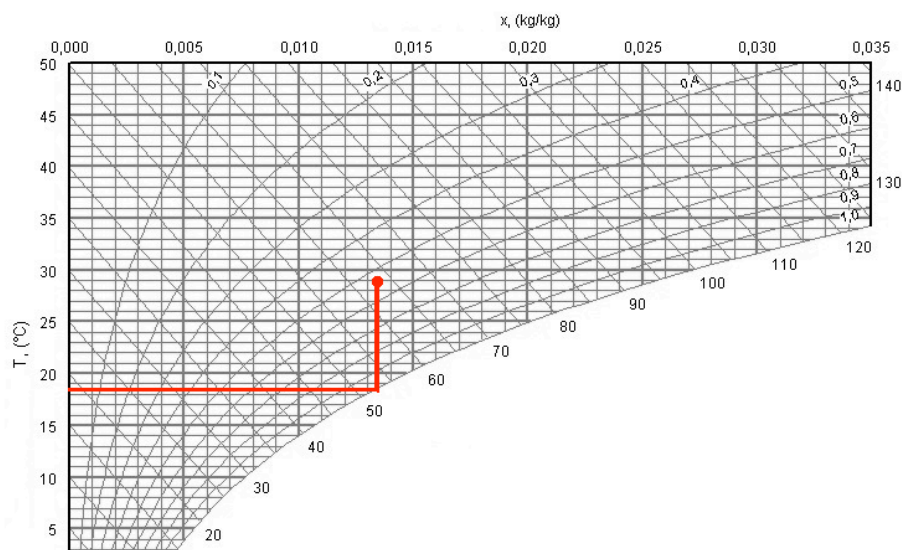
blått att vid lufttemperaturen 13 °C och en relativ fuktighet 100 % så innehåller luften 9,2 g vatten/kg luft (Holmström, Karlsson, 2006).

Luftens ånghalt kan aldrig överstiga mättnadsånghalten. Därför kan den relativa fuktigheten aldrig överstiga 100 %. Om luftens ånghalt teoretiskt sett överstiger mättnadsånghalten så fälls kondens ut i form av fukt (Holmström, Karlsson, 2006).



Figur 2.1 Mollierdiagram.

Kondens kan även fällas ut om daggpunkten är högre än en ytas temperatur. I Figur 2.2 är det specifika lufttillståndet med temperaturen 29 °C och den relativa fuktigheten 55 % utmärkt. Utifrån det går att utläsa att daggpunkstemperaturen är 18,5 °C. Om ytemperaturen på exempelvis en byggnadsdel är lägre än 18,5 °C i det aktuella fallet så kommer kondens att fällas ut på ytan (Holmström, Karlsson, 2006).



Figur 2.2 Mollierdiagram som illustrerar daggpunkten.

2.3 Fukt

Vanligtvis är inomhusluften fuktigare än utomhusluften. Det beror på att inomhusluften kommer utifrån och att den sedan tillförs fukt genom olika aktiviteter som pågår inne i byggnaden. Fukttillskottet är det begrepp som beskriver skillnaden mellan inom- och utomhusluftens fukttinnehåll.

Fukt kan anta olika former, fast, flytande och ångform. Fast form innebär is, där den stora risken är frysningsskador till följd av utvidgning. Som flytande form, vatten, är det relativt enkelt att förstå hur vattnet rinner. Vattnet rinner och söker sig till den lägsta punkten av konstruktionen. Vilken väg fukt i ångform, vattenånga, tar är mer komplext. Fukt strävar efter jämvikt. I ångform kan fukten transporteras på två olika sätt, konvektion och diffusion.

Alla avsnitt under 2.3 bygger på information som har inhämtats från följande källor: (Holmström, Karlsson, 2006), (Strandberg, 2014), (Isover, 2013), (Petersson, 2009).

2.3.1 Fuktdiffusion

Diffusion bygger på utjämning mellan skillnaden i ånghalt. Det är en relativt långsam rörelse, men hastigheten ökar ju större skillnaderna är i ånghalt. Diffusion sker från en högre till en lägre ånghalt. Vanligtvis är fukthalten högre inomhus än utomhus och då sker alltså diffusionen inifrån och ut genom klimatskalet.

För att förhindra skador som kan uppstå då fukt tar sig in och kondenserar i en konstruktion appliceras ett diffusionsfördröjande skikt på insidan av klimatskalet. Vanligtvis används en så kallad diffusionsspärr, som består av en 0,2 mm tjock plastfolie av polyeten. Hur mycket ånga som går igenom beror på materialets ånggenomgångsmotstånd.

2.3.2 Fuktkonvektion

Drivkraften för konvektion är skillnader i lufttryck. Konvektion innebär ett luftflöde som kan föra med sig fukt. Fuktransport genom konvektion kan i regel föra med sig betydligt mer fukt än vid diffusion. Fuktkonvektion kan enkelt beskrivas som att fukt avdunstar till luften och att luften sedan rör sig till kallare delar av byggnaden där den kondenserar och fukt faller ut som vattendroppar. Konvektion sker även betydligt snabbare än diffusion.

Skillnaden i lufttryck kan uppstå på olika sätt. I Tabell 2.1 redogörs för de olika sätten och dess drivkrafter. Skillnaderna i lufttryck uppstår genom bland annat temperaturskillnaden mellan inom- och utomhusluft, skorstenseffekten, på grund av ventilationsaggregatet och genom att vinden blåser på byggnaden.

Tabell 2.1 Orsaker till lufttrycksskillnad och dess drivkrafter.

Orsak	Drivkraft
Temperaturskillnader i luften	Termisk drivkraft
Vind som skapar övertryck	Vindtryck som drivkraft
Fläktar i ventilationssystem	Mekanisk drivkraft

Skorstenseffekten uppkommer genom att varm luft utvidgas och därmed får en lägre densitet och i och med det blir lättare än kall luft. Varm luft vill därför stiga uppåt. Det leder till tryckskillnader inne i byggnaden med ett undertryck i byggnadens lägre delar jämfört dess övre delar, se även avsnitt 1.3 samt Figur 1.1.

Det är viktigt att byggnaden är lufttät. Fuktkonvektionen ökar förutom vid tryckskillnader även vid otätheter, men även ju fuktigare luften är. Varm fuktig luft i övre delen av en hög byggnad ger upphov till en stor fukttransport vid minsta otäthet. Därför är det särskilt viktigt att bygga lufttätt i höga byggnader och byggnader där det sker en stor fuktproduktion, exempelvis badhus.

Det är den reella lufttryckdifferensen som gäller för luftläckaget genom klimatskalet. Det vill säga ett av eller summan av de olika deltrycken som redovisas i Tabell 2.1.

Skadlig konvektion förebyggs genom ett väldimensionerat ventilationssystem och som tidigare nämnt även en lufttät byggnad. Riskdelar i konstruktionen där det kan vara svårare att få det tätt är bland annat skarvar i det invändiga tätskiktet, fönster och dörrar, VVS- och elgenomföringar, skorstensgenomföringar, syll och hammarband.

2.3.2.1 Samverkan diffusion och konvektion

Det finns två olika fall. Ett fall där konvektionen motarbetar diffusionen och ett fall där de båda samverkar och båda bidrar till en ökad kondensrisk i konstruktionen.

Fallet där konvektionen motarbetar diffusionen sker om frånluftsflödet är större än tilluftsflödet och ett undertryck råder inne i byggnaden. Då kommer utomhusluft att sugas in genom otätheter. Då utomhusluften i regel är torrare än inomhusluften kommer den relativa fuktigheten sjunka och materialen som luften passerar att torkas ut.

Det andra fallet innebär att det råder ett övertryck inne i anläggningen. Då kommer den varma och fuktiga inomhusluften att pressas genom ytterväggen där den ökar risken för kondens i konstruktionen.

2.3.3 Fukttillstånd hos material

Ett materials fukttillstånd beskriver hur fuktigt ett material eller en yta är. Det kritiska fukttillståndet är gränsen då ett material börjar förändras så mycket att det inte längre har kvar sina avsedda egenskaper och fyller sin funktion. I Tabell 2.2 beskrivs två olika fuktbegrepp.

Tabell 2.2 *Fuktbegrepp.*

Begrepp	Förklaring	Enhet
Fukthalt	Anger fuktinnehållet hos ett material i kilogram vatten per kubikmeter torrt material	kg/m ³
Fuktkvot	Anger fuktinnehållet hos ett material i kilogram vatten per kilogram torrt material.	kg/kg

Det kritiska fukttillståndet varierar hos olika material. I Tabell 2.3 redogörs för några olika materials kritiska fukttillstånd. Om ett material inte har undersökts tidigare och inget känt värde för kritiskt fukttinnehåll finns att tillgå så ska fuktkvot på 75 % antas som kritiskt.

Tabell 2.3 Kritiskt fukttillstånd för olika material.

Material	Kritiskt fukttillstånd [%]
Betong	90-95
Trä	75-80
Stål	60

I Tabell 2.3 går det att utläsa att betong utmärker sig jämfört med trä och stål när det gäller kritiskt fukttinnehåll. I avsnitt 2.3.3.1 – 2.3.3.3 beskrivs kort om varje material vilka fördelar och nackdelar som finns jämfört dem emellan ur fuktsynpunkt.

2.3.3.1 Betong

Det är främst armeringen inuti i betongen som är det kritiska. Om betongens täckskikt är för tunt kan fukt tränga in till armeringen som kan få den att korrodera. När armeringsstålet korroderar utvidgas den vilket leder till att det uppstår sprickor i betongen. Sprickor kan även uppkomma i betongen till följd av krympning och svällning. När den relativa fukthalten i luften varierar så krymper och sväller betongen. De här rörelserna ger en ökad sprickrisk i materialet.

Betong är bra ur fuktsynpunkt då den fungerar som ångspärr. Det är heller inte lika känsligt för håltagning jämfört med andra material. Nackdelen med betong är att det är dyrare samt även tyngre jämfört med trä och stål.

2.3.3.2 Trä

Likt betong krymper och sväller trä vid olika relativa fukthalter, vilket kan leda till sprickbildning i materialet. Trä utvidgas olika mycket i olika riktningar. Det beror på träs fiberriktning, vilket innebär att det är en större rörelse vinkelrätt fiberriktningen än parallellt med den.

Vid en relativ fukthalt större än 75 % kan mögel uppstå och vid en relativ fukthalt över 94 % kan ge upphov till röta. Just mögel och röta uppkommer i temperaturintervallet 5-40 °C och inomhusklimatet i en badanläggning befinner sig inom det intervallet, vilket beskrivs bland annat i Kapitel 2.4 (Holmström, Karlsson, 2006).

2.3.3.3 Stål

Stål kan till skillnad från betong och trä inte ta upp, avge eller binda fukt. Den risk som finns med stål är att det kan korrodera. Risken för att stålet korroderar är stor om den relativa fukthalten överstiger 60 %, dock kan det ske även vid lägre fukthalter. Det är främst om stålets yta är smutsigt, då smutsen drar till sig fukt.

När korrosionen sker övergår en del av material till rost. Det leder till sämre bärförmåga för materialet. Korrosion medför även en svällning av materialet vilket kan skada intilliggande komponenter.

2.4 Inomhusklimat

I ett äventyrsbad är det viktigt att inomhusklimatet är behagligt för besökaren, eftersom de rör sig mycket både på land och i vattnet. Lufttemperaturen brukar därför sättas till 30-32 °C med en relativ fuktighet på 55 %. Skulle den relativa fuktigheten sänkas till lägre än 55 % så kommer besökaren, som kommer upp ur vattnet, att uppleva luften som kall trots den varma lufttemperaturen. Det beror på att det avdunstar en större mängd vatten från kroppen, ju lägre den relativa fuktigheten är i luften. När vattnet avdunstar från kroppen avger kroppen värme, vilket får en person att frysa. En relativ fuktighet högre än 75 % ses som en risk för konstruktionen, se avsnitt 2.3.3, därför försöker den relativa fuktigheten hållas till maximalt 65 % (Holmström, Karlsson, 2006).

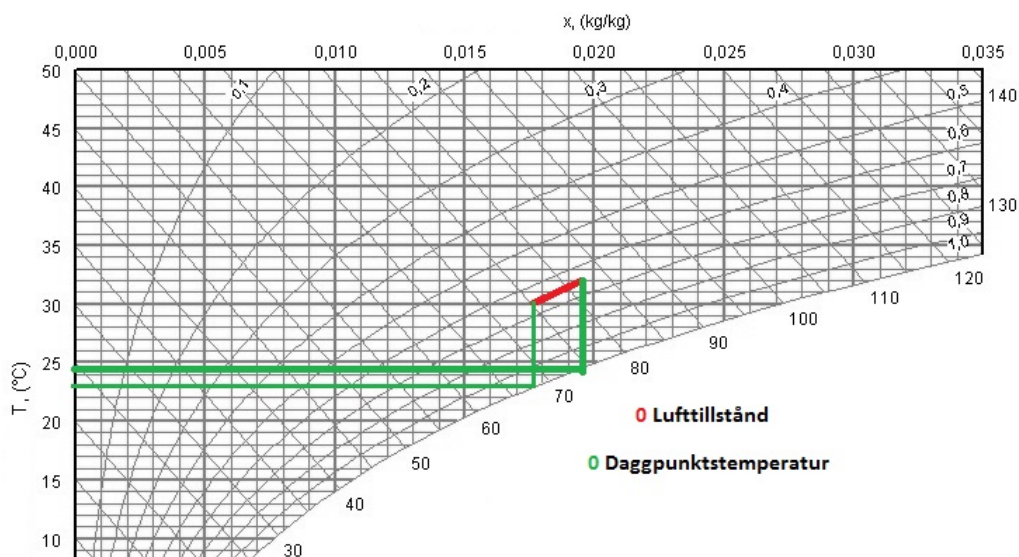
Vattentemperaturen i ett äventyrsbad brukar väljas till 29-31 °C. Det är för att besökarna ska få en behaglig upplevelse. Eftersom vattentemperaturen är kallare än lufttemperaturen, så kyler vattnet ner rumsluften. Därför måste tilluften vara varmare än önskad lufttemperatur, för att hålla den på rätt nivå (Holmström, Karlsson, 2006).

Inomhusklimatet i en badanläggning innebär ofta en hög daggpunktstemperatur. Den fås av sambandet mellan en hög lufttemperatur och en hög relativ fuktighet som råder inne i en badanläggning. Daggpunktstemperatur innebär att om en yta inne i badanläggningen har samma temperatur eller lägre, så blir det kondens på ytan, vatten faller ut ur luften. Daggpunkten varierar under året, eftersom klimatet inne i badanläggningen gör det (Holmström, Karlsson, 2006).

2.4.1 Sommar

Under sommaren tillåts en högre relativ fuktighet i rumsluften, upp till 65 %. Det beror på att skillnaden i ånghalt mellan utomhusluften och inomhusluften är mindre under sommaren och därmed blir det inte en lika stor fukttransport genom klimatskalet (Holmström, Karlsson, 2006). En normal ånghaltsskillnad, i en bostad, mellan utomhus- och inomhusluften är 3g/m³ (Holmlind, H., personlig kommunikation, 2015). Det kan jämföras med en ånghaltsskillnad på 10 g/m³ som skulle kunna råda i ett badhus på sommaren, se beräkningar i Bilaga 1. Den ånghaltsskillnaden är stor, men fortfarande mindre än ånghaltsskillnaden under vintern, se avsnitt 2.4.2. Ju större skillnad det är i ånghalt desto större blir drivkraften genom klimatskalet.

I Figur 2.3 illustrerar den röda linjen det spann på lufttillståndet som ett äventyrsbad projekteras för under sommaren. De gröna linjerna visar hur daggpunktstemperaturen tas fram. Vid avläsning går det att utläsa att daggpunktstemperaturen är mellan 23-24,5 °C, då lufttillståndet ligger någonstans på den röda linjen. Det värsta fallet fås när lufttemperaturen är 32 °C med 65 % relativ fuktighet, vilket är det lufttillstånd som finns längst till höger på den röda linjen. Vid det fallet fås den högsta daggpunktstemperaturen, 24,5 °C.

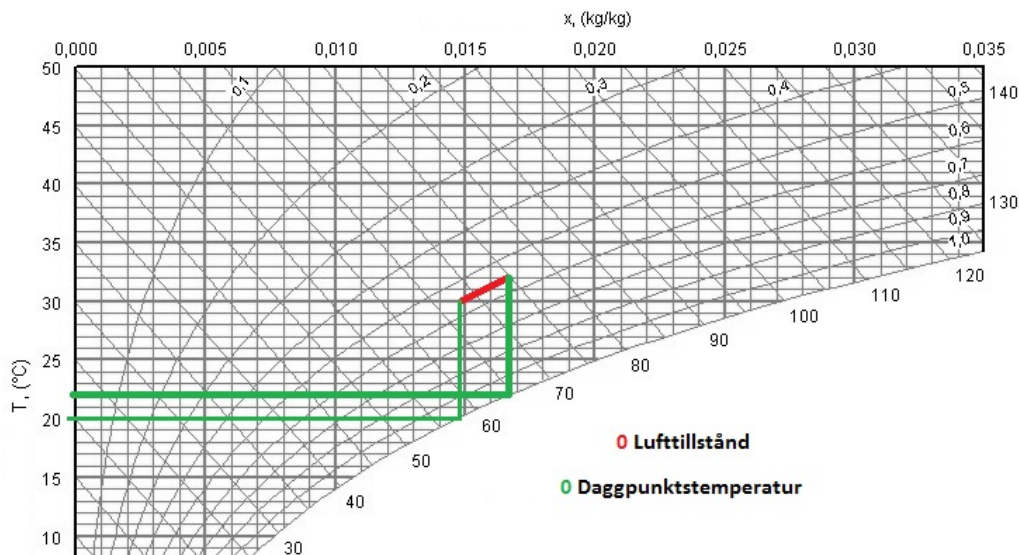


Figur 2.3 Mollierdiagram som visar daggpunktstemperatur i en badanläggning på sommaren.

2.4.2 Vinter

Under vintern beräknas ånghaltsskillnad till 19 g/m^3 med DVUT, se beräkningar i Bilaga 1. Den är större än vad den blir under sommaren, vilket innebär att drivkraften för fukttransport genom klimatskalet är större under vintern. Det är viktigt att klimatskalet är tätt, så att fukten inte kan transportera med hjälp av drivkraften. Skulle klimatskalet inte vara tätt finns stor risk för att fukt fälls ut inne i konstruktionen då ytemperaturen under vintern är lägre än daggpunktstemperaturen.

I Figur 2.4 illustrerar den röda linjen det spann på lufttillståndet som ett äventyrsbad projekteras för under vintern. De gröna linjerna visar hur daggpunktstemperaturen tas fram. Vid avläsning går det att utläsa att daggpunktstemperaturen är mellan $20\text{--}22 \text{ }^\circ\text{C}$, då lufttillståndet ligger någonstans på den röda linjen. Det värsta fallet fås när lufttemperaturen är $32 \text{ }^\circ\text{C}$ med 55 % relativ fuktighet, vilket är det lufttillstånd som finns längst till höger på den röda linjen. Vid det fallet fås den högsta daggpunktstemperaturen, $22 \text{ }^\circ\text{C}$.



Figur 2.4 Mollierdiagram som visar daggpunktstemperatur i en badanläggning på vintern.

2.4.2.1 Ytemperaturberäkning

För att ta reda på en väggs temperatur i olika skikt måste en ytemperaturberäkning göras. När ytans temperatur samt daggpunktstemperaturen är framräknad, så kan en bedömning göras om det finns risk för kondens på ytan. Ytemperaturberäkningen görs med hjälp av ekvation (2.1), där det fås en temperaturfördelning T_x genom hela konstruktionen inifrån och ut eller utifrån och in (Petersson, 2009).

$$T_x = T \pm \frac{R_x}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} \times (T_{bad} - T_{ute}) \quad (2.1)$$

T_x = temperaturen på avståndet x in i konstruktionen [°C]

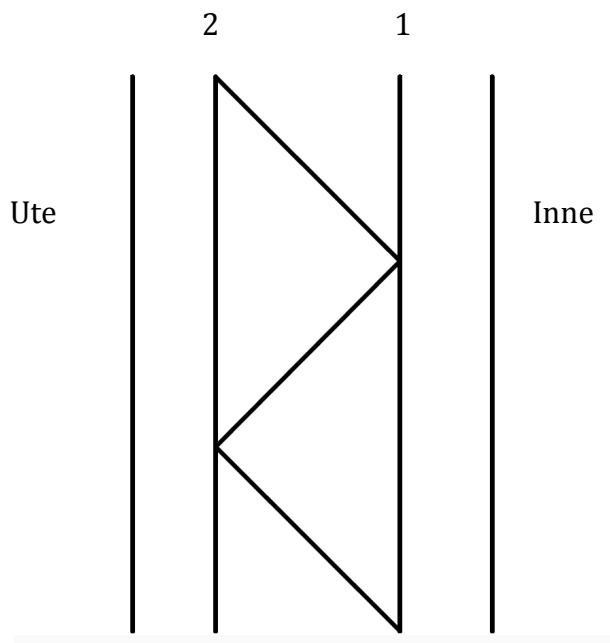
R_x = värmemotståndet för skikten in till gränsytan på avstånd x [$m^2 K/W$]

T = temperaturen ute eller inne [°C]

T_{bad} = temperaturen inne i badanläggningen [°C]

T_{ute} = temperaturen ute [°C]

Figur 2.5 visar en enkel skiss över en yttervägg som består av 90 mm betong, 200 mm cellplast och 100 mm betong utifrån och in. Utetemperaturen som används är -16 °C, som är den dimensionerande vinterutomhustemperaturen i Stockholm, och innetemperaturen är 32 °C. Tabell 2.4 visar temperaturfördelningen på väggen. Det går att utläsa att det inte finns någon risk för kondens på väggens yta då daggpunktstemperaturen är 22 °C, som är hämtat från Figur 2.4. Det är först när fuktig luft passerar skikt 1 som det finns risk för att vatten fälls ut i konstruktionen.



Figur 2.5 Ett badhus yttervägg som består av 90mm betong, 200mm cellplast och 100mm betong utifrån och in.

Tabell 2.4 Temperaturfördelning i ett badhus yttervägg.

Skikt	Temperatur [°C]
Innetemperatur	31,0
Inne (på ytan)	30,9
1	30,5
2	-15,2
Ute (på ytan)	-15,7
Utetemperatur	-16,0

2.5 Utomhusklimat

Utomhusklimatet påverkar hur stor belastning det blir på konstruktionen då inomhusklimatet och utomhusklimatet samspelar.

Vid vinterfallen redovisas DVUT, dimensionerande vinterutetemperatur. När dimensionering av en byggnad görs tas hänsyn till den lägsta utetemperaturen som normalt inträffar under ett år. SMHI har genomfört mätningar och beräknat DVUT för olika orter i landet enligt standarden SS-EN ISO 15927-5. Den standarden utgår från att de redovisade temperaturerna underskrids högst 30 gånger på 30 år. I Tabell 2.5 och Tabell 2.6 redovisas DVUT för olika orter med värden på temperaturerna tagna från tabell med tidskonstanten 3 dygn. Tidskonstanten varierar från 1-12 dygn beroende på byggnadstyp (Boverket, 2012). Den relativa fuktigheten, för vinterfallet, är ett medelvärde över åren 1996-2012 hämtat från SMHI (SMHI, 2014).

För den dimensionerande utomhustemperaturen på sommaren, som visas i Tabell 2.5 och 2.6 används R1 – riktlinjer för specifikation av inneklimat, som är ett samlande

underlag med krav och råd från svenska myndigheter och svensk standard (Ekberg, 2006).

Tabell 2.5 Klimatdata för Stockholm.

Ort	Sommar		Vinter	
	T [°C]	RF [%]	T [°C]	RF [%]
Stockholm	27	50	-16,0	85

I den här rapporten genomförs endast beräkningar för Stockholms klimat, då arbetet är avgränsat till Tyresö Aqua Arena som ligger i närheten. För att få en mer generell syn på de driftfall som behövs i en anläggning med den här tekniska lösningen skulle det även vara bra att genomföra beräkningar för flera orter med geografisk spridning, för att få skillnader i utomhusklimatet. I Tabell 2.6 redovisas två alternativa orter som skulle kunna användas vid beräkning.

Tabell 2.6 Klimatdata för Lund och Luleå.

Ort	Sommar		Vinter	
	T [°C]	RF [%]	T [°C]	RF [%]
Lund	27	50	-10,1	85
Luleå	27	50	-19,0	85

3 Teknisk beskrivning

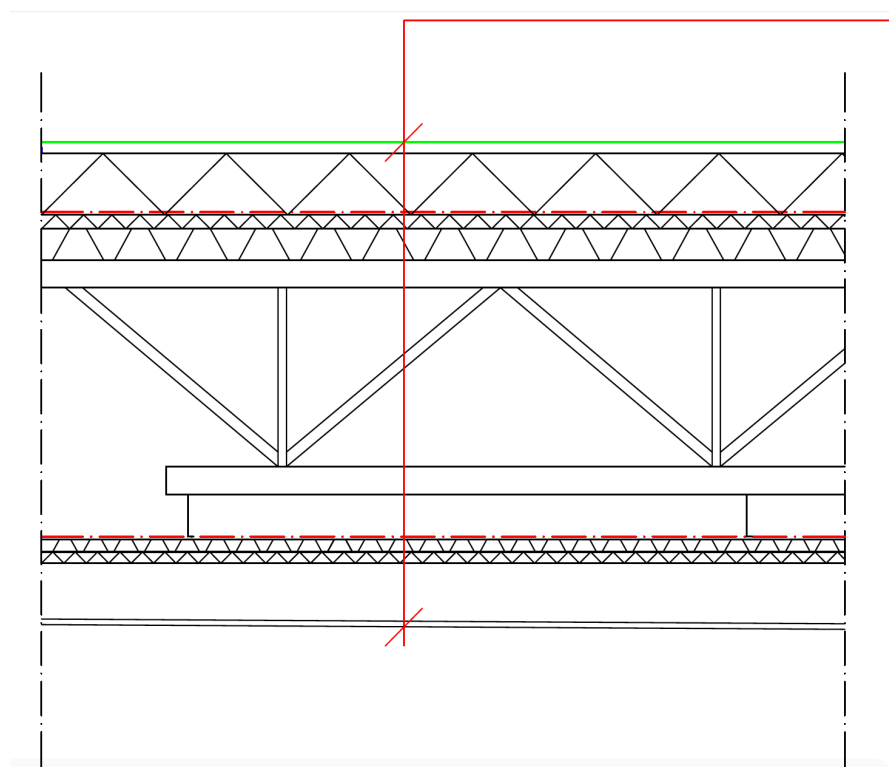
I Kapitel 3 beskrivs hur byggnaden är utformad, de tekniska lösningar som använts samt kort hur dessa fungerar.

3.1 Byggnadsteknisk lösning

Avsnitt 3.1 bygger på information inhämtat från Anjobyggs bygghandlingar (Anjobygg, bygghandlingar, 2011). Delen för äventyrsbadet består av en rumsvolym där det är ungefär 11,3 meter från golv till tak. Areal på rummet är ungefär 330 m². Därmed blir volymen av det rum där äventyrsbadet är placerat 3729 m³.

Taket är uppbyggt och består av materialen, som visas i Figur 3.1, utifrån och in.

PAPPTÄCKNING
BOARD
CELLPLAST
PLASTFOLIE
STENULL
TRP TAKPLÅT
STÅLFACKVERK
VENTILERAT UTRYMME MED STYRT KLIMAT
LÄTTBALK
PLASTFOLIE
TRP TAKPLÅT
STENULLSBOARD
NEDPENDLAT UNDERTAK



Figur 3.1 En principskiss av takets uppbyggnad med yttertak, ventilerat utrymme samt undertak.

Arean för det särskilda klimatstyrda utrymmet som finns mellan innertaket och yttertaket är detsamma som rummet nedanför där äventyrsbadet finns, ungefär 330 m². Höjden på utrymmet är omkring 1 meter. Volymen av det utrymmet blir 330 m³. Innertaket ovanför bassängutrymmet består bland annat av diffusionsspärr, för att få en tät konstruktion. I utrymmet ovanför undertaket kontrolleras temperaturen, den relativa fuktigheten och trycket för att motverka konvektion som kan ge problem med fukt.

Rummet där äventyrsbadet finns har fyra väggar där två av väggarna angränsar till andra utrymmen i anläggningen. Av de andra två väggarna så angränsar den ena väggen helt mot utomhusklimatet medan den andra väggen till hälften gränsar mot rummet där 25 meters bassängen ligger och den andra hälften av väggen gränsar mot utomhusklimatet. Den vägg som helt gränsar mot utomhusklimatet, väggen mot väst, är helt täckt av fönster. Det finns även en glasdörr på denna vägg så det går att komma ut från anläggningen. Dock är dörren vanligtvis alltid stängd då den är larmad och enbart finns där som utrymningsväg. Den andra väggen, mot norr, består av ungefär hälften vägg och hälften fönster. Väggarna består av förtillverkade betongväggar, sandwichelement.

3.2 Ventilationslösning

I det här avsnittet beskrivs vilken ventilationslösning som finns i badanläggningen och olika dimensionerande värden.

3.2.1 Luftbehandlingsaggregatet

Luftbehandlingsaggregatet som försörjer utrymmet ovan undertaket är benämnt som LB07. Aggregatet är av fabrikatet Menerga typ 19350. Luftbehandlingsaggregatet försörjer tre avskilda utrymmen mellan undertaket och yttertaket. De tre olika utrymmena är ovanför undertaket i simhallen, äventyrsbadet och undervisningsbassängen. I Tabell 3.1 redovisas dimensionerande data för luftbehandlingsaggregatet, för utrymmet ovanför äventyrsdelen (Andersson och Hultmark, bygghandlingar, 2011).

Tabell 3.1 Dimensionerande data för luftbehandlingsaggregatet.

Parameter	Värde
Luftflöde	Äventyrsdelen 260/220 l/s
Tryckfall	250/250 Pa
Utelufttemperatur	-18 °C
Tilluftstemperatur	+45 °C

I Tabell 3.2 anges de dimensionerande värdena för luftomsättningen och börvärde för frånluftstemperaturen samt olika larmvärden på luftens egenskaper.

Tabell 3.2 Dimensionerande värden angivna av entreprenör.

Parameter	Värde
Luftomsättning	1-2 oms/h
Frånluft, börvärde	28 °C, dock > utomhustemperaturen
Frånluft, larmvärde	25 °C
Relativ fuktighet, frånluft larmvärde	> 50 %

Vid luftflödet som anges i Tabell 3.1 och volymen av det klimatstyrda utrymmet mellan undertaket och yttertaket fås vid beräkningen en luftomsättning på 2,84 omsättningar per timma. Vilket kan jämföras med det dimensionerande värdet på 1-2 omsättningar per timma, som finns angivet i Tabell 3.2 (Anjobygg, bygghandlingar, 2012).

3.2.2 Benämningar samt placering av givare

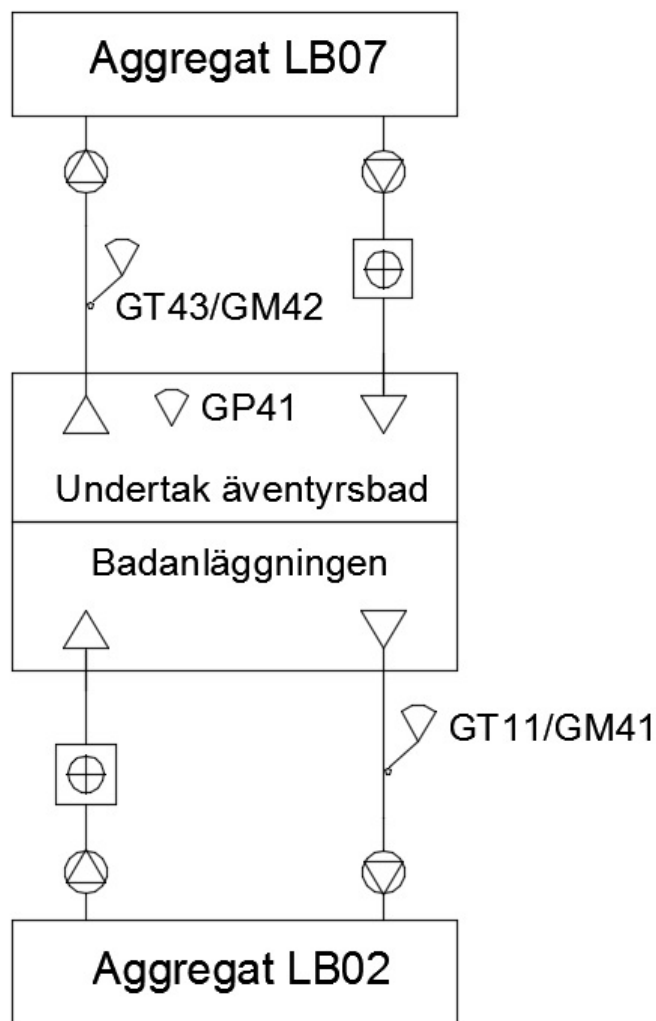
I Tabell 3.3 listas ett urval av de givare som ingår i ventilationslösningen för aggregaten LB02 och LB07 som loggar värden för fukt, temperatur och tryck. Aggregat LB02 försörjer badanläggningen med luft medan LB07 är det luftbehandlingsaggregat som försörjer utrymmet ovan undertak med luft. I Figur 3.2 och 3.3 visas principskisser över aggregatlösningarna.

Mätvärden för Tyresö Aqua Arena loggas kontinuerligt och sparas i en databas. Vissa mätvärden mäts upp kontinuerligt och går att läsa av i realtid, men de sparas inte i databasen. Ett exempel på det är mätvärden för tryckdifferensen mellan utrymmet ovan undertaket och äventyrsbadet.

Tabell 3.3 Benämningar för fukt-, temperatur samt tryckgivare.

Aggregattillhörighet	Benämning givare	Förklaring
LB02	GT11	Temperaturgivare
	GM41	Fuktgivare
LB07	GT43	Temperaturgivare
	GM42	Fuktgivare
	GP41	Tryckgivare

I Figur 3.2 visas placeringen av ett urval av de komponenter och givare som ingår i aggregat LB02 och LB07. Av figuren går att utläsa att givarna GT11 och GM41 sitter i frånluftkanalen från badanläggningen. Tryckgivaren, GP 41, sitter i fläktrummet och från givaren går det en slang till utrymmet ovan undertaket och en till äventyrsbadet. Givarna GT43 och GM42 sitter i frånluftskanalen från utrymmet ovan undertak.



Figur 3.2 Principskiss över ventilationslösningen samt givarnas placering för aggregat LB02 och LB07.

3.2.3 Drift

Luftbehandlingsaggregatet har en inbyggd styr- och reglerutrustning med Modbusgränssnitt (Andersson och Hultmark, bygghandling, 2011). Aggregatet går normalt i kontinuerlig drift (Tillberg, F., personlig kommunikation, 2015).

Börvärdet på temperaturen i undertaket har projekterats till 28 °C, enligt Tabell 3.2. Dock har börvärdet ändrats till 26 °C, enligt en översiktsbild från den 26 januari 2015, från den dator som visar styr- och reglerförhållanden i anläggningen.

4 Mätningar

I Kapitel 4 analyseras mätningar som gjorts av driftentreprenör. Mätvärdena förklaras och illustreras i tabeller och figurer. I kapitlet redogörs även tillvägagångssätt, felkällor, resultat samt analys för de två egna genomförda mätningarna.

4.1 Uppföljande av mätningar

I avsnitt 3.2.2 ges en utförlig förklaring för de benämningar som används för de olika givarna som presenteras i tabellerna i det här avsnittet.

Mätvärden i Tabell 4.1 och 4.2 är inhämtade från befintliga mätningar som har gjorts under drift. De fyra olika dagar som används har valts med syfte att visa på ett vår-, sommar-, höst- samt vinterfall. Dessutom är det mätvärden från fyra olika tidpunkter under dessa dygn. Det som har loggats är mätvärden för temperatur, relativ fuktighet i utrymmet ovan äventyrsbadets undertak samt inne i äventyrsbadet.

Utomhustemperatur samt den relativa fuktigheten utomhus är hämtade från SMHI (SMHI, 2015).

Tabell 4.1 Mätvärden för temperatur samt relativ fuktighet i utrymmet ovan undertak i Tyresö Aqua Arenas äventyrsbadsdel. Dessutom mätvärden för utomhusklimatet.

Datum	Tid	LB07_GT43 [°C]	LB07_GM42 [%]	Temperatur Ute [°C]	RF Ute [%]
2014-03-29	01:00	27,9	14,9	2,6	81
	07:00	28,1	14,3	3,2	63
	13:00	27,7	14,8	13,8	32
	19:00	27,5	16,6	11,4	39
2014-07-24	01:00	28,2	34,5	20,1	58
	07:00	28,0	32,6	23,5	45
	13:00	29,3	28,6	30,5	27
	19:00	29,5	30,3	27,0	36
2014-10-15	01:00	27,2	27,4	8,3	92
	07:00	27,7	25,6	7,8	90
	13:00	27,5	25,8	7,9	86
	19:00	27,4	24,8	6,8	88
2014-12-29	01:00	27,2	9,6	-10,2	93
	07:00	27,0	9,3	-9,6	95
	13:00	27,4	10,3	-6,7	94
	19:00	27,2	11,4	-5,6	94

Tabell 4.2 Mätvärden på temperatur samt relativ fuktighet i Tyresö Aqua Arenas äventyrsbadsdel. Dessutom mätvärden för utomhusklimatet.

Datum	Tid	LB02_GT11 [°C]	LB02_GM41 [%]	Temperatur Ute [°C]	RF Ute [%]
2014-03-29	01:00	31,1	44,0	2,6	81
	07:00	30,7	54,3	3,2	63
	13:00	31,0	50,7	13,8	32
	19:00	30,8	53,1	11,4	39
2014-07-24	01:00	31,0	55,0	20,1	58
	07:00	30,8	49,1	23,5	45
	13:00	31,7	37,9	30,5	27
	19:00	33,7	36,8	27,0	36
2014-10-15	01:00	30,9	50,6	8,3	92
	07:00	32,1	49,2	7,8	90
	13:00	31,3	50,5	7,9	86
	19:00	31,2	52,0	6,8	88
2014-12-29	01:00	31,2	51,0	-10,2	93
	07:00	31,1	45,5	-9,6	95
	13:00	30,8	51,4	-6,7	94
	19:00	31,1	43,1	-5,6	94

Tabell 4.3 och Tabell 4.4 visar de mätvärden som loggades under de dagarna som författarna gjorde sina egna mätningar. Utomhustemperatur samt relativ fuktighet är hämtade från SMHI (SMHI, 2015).

Tabell 4.3 Mätvärden från befintliga givare i Tyresö Aqua Arenas äventyrsbadsdel samt i utrymmet ovan undertak, loggade 2015-03-17 kl. 13:25, samma dag som egna mätningar genomfördes. Dessutom mätvärden för utomhusklimatet.

Undertak, LB07			Äventyrsbadet, LB02		Utomhusluft	
GT43 [°C]	GM42 [%]	GP41 [Pa]	GT11 [°C]	GM41 [%]	T _{ute} [°C]	RF _{ute} [%]
27,1	15,1	10,3	31,2	44,4	10,9	35

Tabell 4.4 Mätvärden från befintliga givare i Tyresö Aqua Arenas äventyrsbadsdel samt i utrymmet ovan undertak, loggade 2015-04-15 kl. 19:50, samma dag som egna mätningar genomfördes. Dessutom mätvärden för utomhusklimatet.

Undertak, LB07			Äventyrsbadet, LB02		Utomhusluft	
GT43 [°C]	GM42 [%]	GP41 [Pa]	GT11 [°C]	GM41 [%]	T _{ute} [°C]	RF _{ute} [%]
26,7	20,9	16,6	30,8	50,6	5,1	87

4.1.1 Analys av befintliga mätningar

Av Tabell 4.1 går att utläsa att den relativa fuktigheten understiger larmvärdet på 50 % med god marginal i samtliga fall som redovisas. Trots stor variation på utomhustemperaturen i de olika fallen så hålls temperaturen stabil kring 28 °C.

Av Tabell 4.2 går att utläsa att temperaturen hålls relativt stabilt kring det ansatta börvärdet på 31 °C. Det går dock att se en liten topp i sommarfallet, den 24 juli 2014, där det nästan är uppe i 34 °C. Den relativa fuktigheten hålls under det maximalt tillåtna 55 % i samtliga fall. I en del fall är den ganska mycket under, vilket kan ses som bra ur fuktsynpunkt, men som negativt för besökarna då det kan upplevas som kallt.

4.2 Genomförda mätningar 1

Mätningar, gjorda inom ramen för det här arbetet, genomfördes den 17 mars 2015 vid badanläggningen Tyresö Aqua Arena, simvägen 2 Tyresö.

Vädret den aktuella dagen var soligt med uppehåll och temperaturen utomhus mättes upp till ca 11,5 °C och den relativa fuktigheten var 35 %. Mätningarna genomfördes mellan kl. 13-15 och vindhastigheten utomhus var ungefär 3 m/s.

4.2.1 Genomförande

Mätningarna utfördes med en SwemaAir 300 som kalibrerades den 27 februari 2015. I Tabell 4.5 redovisas de olika givarna som kopplades till instrumentet. Tabellen visar vad de olika givarna mäter, modellnamn samt det datum som de senast kalibrerades.

Tabell 4.5 Information om de olika givarna som användes vid mätningen.

Givare	Mäter	Modell	Senast kalibrerad
Varmtrådsgivare	Temperatur samt luftflöde	SWA31	2015-03-03
Fuktgivare	Relativ fuktighet	Hygroclip 5	2011-01
Tryckgivare	Differentialtryck	SWA10	2015-02-27

Följande mätningar genomfördes:

- Temperatur och relativ fuktighet utomhus
- Tryckdifferens mellan rummet med äventyrsbadet och utomhus.
- Tryckdifferens mellan utrymmet ovan undertak och utomhus.
- Temperatur på olika höjdnivåer i rummet med äventyrsbadet
- Relativ fuktighet på olika höjdnivåer i rummet med äventyrsbadet
- Relativ fuktighet ovan undertak

4.2.1.1 Temperatur och relativ fuktighet utomhus

Mätningen genomfördes genom att varmtrådsgivaren kopplades till instrumentet och temperaturen mättes upp i ostligt läge i anslutning till byggnaden i skuggan av en författares kropp. Den relativa fuktigheten mättes upp på samma position som temperaturen med hjälp av fuktgivaren.

4.2.1.2 Tryckdifferens mellan rummet med äventyrsbadet och utomhus

Mätningen genomfördes genom att två slangar kopplades till instrumentet varav en slang var av ett hårdare material. Den slangen placerades i dörröppningen på den västra fasaden som leder ut mot utomhusklimatet, varpå dörren stängdes. Den andra slangen och instrumentet var inuti rummet med äventyrsbadet och ett differenstryck mellan utomhusluften och luften på golvnivå inne i badanläggningen uppmättes.

4.2.1.3 Tryckdifferens mellan utrymmet ovan undertak och utomhus

Genomförandet av den här mätningen gjordes på samma sätt som beskrivs i avsnitt 4.2.1.2. Skillnaden var att den hårdare slangen stacks ner i utrymmet ovan undertak genom en inspektionslucka placerad på yttertaket på badanläggningen. Därefter stängdes luckan och slangen klämdes ihop något. Den andra slangen placerades i utomhusluften och ett differenstryck mellan utomhusluften och luften inne i utrymmet ovan undertak uppmättes.

4.2.1.4 Temperatur på olika höjdnivåer i rummet med äventyrsbadet

Temperaturen mättes på olika ställen i badanläggningen. Mätningarna gjordes på olika höjdnivåer genom att använda trappan till rutschkanan. Därmed kunde temperaturerna från golvnivå upp till taknivå fås. Mätningarna gjordes genom att temperaturgivaren hölls stilla på den aktuella nivån tills mätvärdet stabiliserade sig på displayen på mätutrustningen.

4.2.1.5 Relativ fuktighet på olika höjdnivåer i rummet med äventyrsbadet

Även den relativa fuktigheten mättes på olika höjdnivåer i badanläggningen genom att trappan till rutschkanan användes. Mätningarna genomfördes på samma ställen och med samma tillvägagångssätt som när temperaturen mättes, vilket finns beskrivet i Kapitel 4.2.1.4.

4.2.1.6 Relativ fuktighet ovan undertak

Den relativa fuktigheten i utrymmet ovan undertak mättes genom att mätinstrumenten samt en person placerades i utrymmet och luckan sedan stängdes. Mätresultatet lästes sedan av på displayen på mätutrustningen medan luckan var stängd. Således klämdes ingen sladd i luckan och ingen glipa uppstod och utrymmet blev isolerat från utomhusluften så att inte luften i utrymmet ovan undertak skulle påverkas av utomhusluften och ge felaktiga mätvärden.

4.2.2 Felkällor

Följande felkällor bör tas i beaktande vid bedömning av resultaten:

- Mätutrustningens kalibrering och eventuella defekter på givare
- Slangarnas täthet vid skarvning
- Klämning av slangar i dörr och lucka
- Påverkan av förhållande i slutna rum till följd av springor i dörr och lucka
- Påverkan av vind på slangens mynning i utomhusluften kan ha inverkan på uppmätta värden för tryck.

- Dörrar till intilliggande rum som öppnas
- När luckan till utrymmet ovan undertak öppnas
- Varierande utomhusträck

I avsnitt 4.2.1.2 beskrivs genomförandet av mätningen av differenstrycket mellan utomhusluften och inne i badanläggningen. En kritisk del av mätningen är där slangen kläms i dörren. En okulär besiktning av klämd slang visade dock att slangen tycktes ha stått emot kraften från dörren och luften ska således ha kunnat passera i slangen. Dock var den tryckta delen av slangens tvärsnittsarea mindre än tvärsnittsarean på resterande del av slangen.

Mätning av tryckdifferens bygger på att de två olika luftförhållandena är särskilda från varandra med exempelvis en dörr eller en lucka. När slangen kläms i dörren och luckan uppstår en liten glipa i den annars nästintill täta konstruktionen. Glipan som uppstår släpper igenom luft från det ena utrymmet till det andra och förhållandena strävar efter att ställa sig i jämvikt. Om glipan är alltför stor kan mätningarna bli felaktiga då värdena på luften kan ändras alltför mycket jämfört med ursprungsförhållandena.

I rummet med äventyrsbadet finns ett flertal dörrar till andra delar av badanläggningen, bland annat till omklädningsrum och reception. Då det bedrevs verksamhet i anläggningen medan mätningarna genomfördes och personer rörde sig mellan de olika utrymmena bör det tas i beaktande för mätresultaten. När dörrar öppnas och stängs blandas luft från de olika utrymmena vilket gör att uppmätta mätvärden eventuellt är lite missvisande.

När luckan till utrymmet ovan undertak öppnas för att en person ska kunna gå ner i utrymmet och mäta luftens tillstånd blandas luften i utrymmet med utomhusluftens. När sedan luckan stängs och mätningar genomförs bör det tas i beaktande att luckan är en relativt stor öppning i förhållande till utrymmets volym. Därför kan det ta ett tag innan luften i utrymmet hinner ställas om till det förhållande som rådde där innan luckan öppnades.

De mätningar som beskrivs i avsnitt 4.2.1.2 bör kompletteras med beräkningar av skorstenseffekten för ta reda på vilket tryckförhållande som råder under innertaket på en nivå 11 meter över golvet inne i badanläggningen. De här beräkningarna kan eventuellt leda till att det framräknade resultatet inte överensstämmer med det exakta rådande förhållandena. I avsnitt 4.2.5 finns alternativa mätmetoder beskrivna för att komma runt den här felkällan.

De mätmetoder som beskrivs i avsnitt 4.2.1.2 och 4.2.1.3 bygger på ett antagande om att utomhusluften i de båda fallen har identiska förhållanden. På så sätt fås differenstrycket mellan utrymmet ovan undertak och under innertaket på en nivå 11 meter över golvet inne i badanläggningen genom en mätning som görs i två steg. Dock bör det tas i beaktande att förhållandena i utomhusluften kan variera mellan de olika stegen då de olika stegen inte görs exakt samtidigt. Den tid som passerar mellan de olika stegen ger utrymme för utomhusluften att ändra egenskaper.

4.2.3 Resultat

I det här avsnittet presenteras mätvärdena från författarnas egna mätningar i Tyresö Aqua Arena den 17 mars 2015.

I Tabell 4.6 redovisas temperaturen och den relativa fuktigheten som mättes upp inne i badanläggningen och utomhus. I utrymmet ovan undertak mättes enbart den relativa fuktigheten.

Tabell 4.6 Mätvärden för temperatur samt relativ fuktighet.

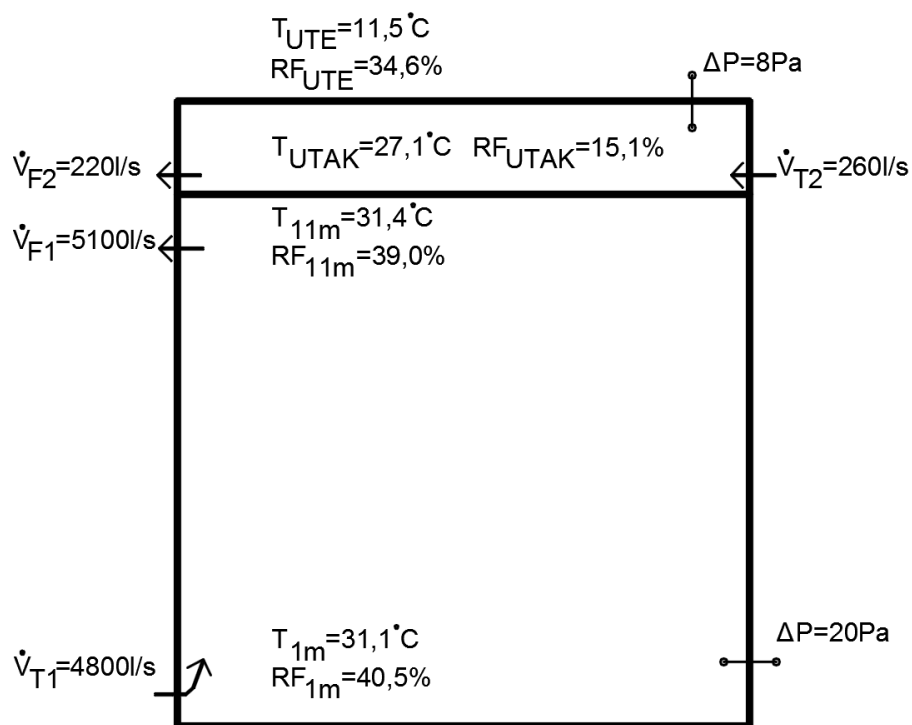
Placering	Temperatur [°C]	Relativ fuktighet [%]
Ute kl. 12.00	11,5	34,6
Äventyrsbad 1,5m över golv	31,1	40,5
Äventyrsbad 5m över golv	31,2	39,8
Äventyrsbad 8m över golv	31,2	39,3
Äventyrsbad 11m över golv	31,4	39,0
Ovan undertak	-	27,0

I Tabell 4.7 redovisas differenstrycken mellan utomhusluften och utrymmet ovan undertak samt mellan badanläggningen och utomhusluften. Utrymmet inom parantes står för att det råder ett högre tryck i det utrymmet jämfört med det andra utrymmet som differenstrycket tas emellan.

Tabell 4.7 Mätvärden för differenstryck.

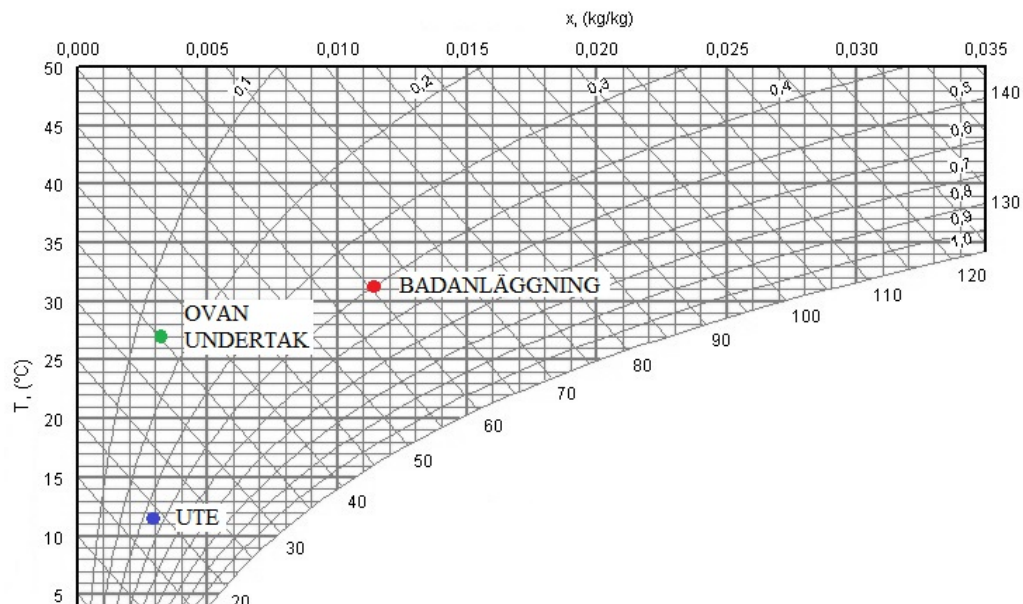
Differenstryck mellan	ΔP [Pa]
Ute /(Ovan undertak)	8
Äventyrsbad/(Ute)	20

I Figur 4.1 illustreras vilka temperaturer, vilken relativ fuktighet samt vilka tryckförhållanden som har mätts upp. Dessutom visas de dimensionerande luftflödena. Som synes är tilluftflödet ovan undertak 260 l/s vilket är större än frånluftflödet som är 220 l/s. Anledningen till det är för att uppnå ett övertryck i området. På liknande sätt uppnås ett undertryck inne i badanläggningen genom att ha ett större frånluftsflöde än flödet för tilluften.



Figur 4.1 Schematisk bild över äventyrsbadet samt utrymmet ovan undertak i Tyresö Aqua Arena. Bilden redovisar uppmätta värden från den 17 mars 2015.

För att tydliggöra vilka uppmätta egenskaper luften har i de olika områdena illustreras det i ett Mollierdiagram i Figur 4.2



Figur 4.2 Mollierdiagram visar de uppmätta egenskaperna på luften utomhus, i badanläggningen och ovan undertaket den 17 mars 2015, Tyresö Aqua Arena.

4.2.4 Analys av genomförda mätningar 1

Den uppmätta utomhustemperaturen registrerades i ostligt läge. Då solen låg på och det var relativt vindstilla kan temperaturen som mättes upp på den aktuella positionen vara lite missvisande. Temperaturgivaren placerades i skuggan av en författares kropp. Dock kan den omgivande temperaturen på den aktuella platsen eventuellt vara högre än om temperaturen hade mätts upp i total skugga.

De olika värdena på temperaturer i olika höjdspositioner som visas i Tabell 4.6 illustrerar hur temperaturen stiger med höjden. Det bör dock tas i beaktande att mätningarna inte alltid hunnit stabiliserats. Givaren var placerad på aktuell position ungefär en halv minut innan mätvärdet lästes av. Mätvärdena stabiliserades dock och det är troligt att värdena är nära den exakt rådande temperaturen på aktuell position.

Från mätresultaten i Tabell 4.6 går att utläsa att den relativa fuktigheten också varierar med höjden. En iakttagelse som har gjorts är att den relativa fuktigheten tvärtemot temperaturen sjunker med högre höjder.

Den på egen hand uppmätta relativa fuktigheten skiljer sig från det värde som den befintliga givaren visade. Det egna uppmätta värdet är 11,9 enheter lägre. Den här skillnaden kan bero på tidigare nämnda felkälla gällande öppnandet av luckan som släppte in utomhusluft i området ovan undertak, vilket finns beskrivet i avsnitt 4.2.2

De tryckskillnader som mättes upp visar enbart tryckskillnaden mellan utrymmet ovan undertak och utomhus samt tryckskillnaden mellan inne i badanläggningen i golvnivå och utomhus. Som resoneras i slutet av avsnitt 4.2.2. bör beräkningar göras på de insamlade mätvärdena för att få en komplett bild av vilka tryckförhållanden som råder i byggnaden. De här beräkningarna tenderar dock till att inte ge den exakta bilden. Ett resonemang angående det här förs i avsnitt 4.2.5.

4.2.5 Alternativ mätmetoder för differenstryck

I det här avsnittet presenteras alternativa mätmetoder. I efterhand har författarna insett att alternativa metoder skulle kunna ha använts. De här alternativa metoderna hade eliminerat en felkälla då inga beräkningar skulle ha behövt genomföras.

4.2.5.1 Alternativ mätmetod 1

Den här alternativa metoden går ut på att en slang, likt den metod som användes och som finns beskrivet i avsnitt 4.2.1, placeras i utrymmet ovan undertak och mäter trycket i det utrymmet. Luckan stängs och slangen fortsätter sedan ovanpå yttertaket och ner längs med fasaden ner till dörren in till badanläggningen. Där förs sedan slangen in genom dörröppningen och dörren stängs igen. Slangen fortsätter sedan på insidan av byggnaden uppåt till nivån precis under innertaket. Där ansluts slangen till mätinstrumentet och en annan slang går ut från mätinstrumentet och mäter trycket inne i anläggningen under innertaket. Genom det här tillvägagångssättet hade en tryckdifferens fåtts utan att beräkningar hade behövt genomföras.

4.2.5.2 Alternativ mätmetod 2

För att undvika felkällor på beräkningar av skorstenseffekten skulle den använda mätmetoden, som finns beskrivet i avsnitt 4.2.1, kunna utvecklas genom att den slang som var på insidan av byggnaden hade hållits precis under innertaket på 11 meters höjd inne i byggnaden och differenstrycket hade fåtts mellan den punkten och utomhus istället för mellan marknivå inomhus och utomhus. Då den mätmetod som beskrivs i avsnitt 4.2.5.1 innebär att en relativt lång slang behöver användas, kan den här metoden användas istället. Det blir en förbättring av den ursprungliga metoden, dock kvarstår felkällan med att utomhustrycket kan variera då man gör mätningen i två etapper.

4.3 Genomförda mätningar 2

För att stämma av den första mätningen som genomfördes och finns beskriven i avsnitt 4.2 gjordes en ny mätning den 15 april 2015 vid badanläggningen Tyresö Aqua Arena, simvägen 2 Tyresö. Anledningen till att en andra mätning genomfördes var på grund av det resonemang om att eliminera felkällor som finns beskrivet i avsnitt 4.2.5. Författarna ansåg att en ny mätning kunde genomföras relativt enkelt och på så sätt ge ett mer exakt värde på tillstånden än vad som erhöles vid den första mätningen. Därmed valdes att helt utesluta beräkningar för den första mätningssomgången.

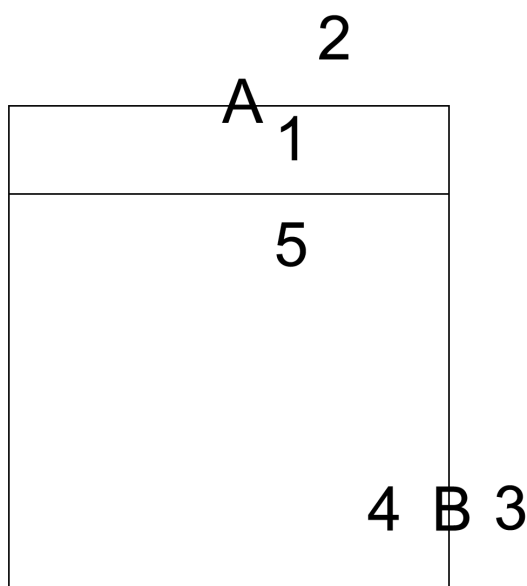
Mätningen genomfördes mellan kl. 20:30-21:30. Vädret var mulet med lätt regn och temperaturen utomhus var 5,1 °C och den relativa fuktigheten var 87 %. Vindhastigheten utomhus var 1 m/s (SMHI, 2015).

4.3.1 Genomförande

Mätningarna genomfördes med samma instrument som finns beskrivet i avsnitt 4.2.1. Följande mätningar genomfördes:

- Differentialtryck mellan olika punkter
- Temperatur och relativ fuktighet i badanläggningen

Tillvägagångssättet var bland annat det sätt som finns beskrivet i avsnitt 4.2.5.1. I Figur 4.3 visas de olika positionerna där mätningar genomfördes. De punkter som finns betecknade i Figur 4.3 förklaras i Tabell 4.8.



Figur 4.3 Principskiss av anläggningen och de punkter som mätningar genomfördes vid och mellan.

Tabell 4.8 Teckenförklaringar till Figur 4.3.

Punkt	Förklaring
A	Luckan i yttertaket mellan utomhusluften och utrymmet ovan undertak
B	Dörren mellan badanläggningen och utomhusluften
1	Trycksatt ventilerat utrymme ovan undertaket
2	Utomhusluften i nivå med luckan på taket
3	Utomhusluften i nivå med dörren
4	Inomhusluften i badanläggningen
5	Inomhusluften i nivå precis under undertaket inne i badanläggningen

Tryckmätningarna genomfördes mellan flera olika punkter vilket redovisas i avsnitt 4.3.3. Den huvudsakliga mätningen var dock mellan punkt 1 och punkt 5, se Figur 4.3. Temperatur och relativ fuktighet mättes i punkt 4 samt punkt 5.

4.3.2 Felkällor

Den andra mätning som genomfördes den 15 april 2015 har samma felkällor som nämns i avsnitt 4.2.2 som gäller för den första mätningen som genomfördes den 17 mars 2015. Den andra mätningen förebygger samt eliminerar en del felkällor som nämns i avsnitt 4.2.2.

Vid klämning av slangen i dörren lades slangen längs med listen en bit för att inte få en så stor klämning av den. Det leder till minskat tryck av slangen (Larsson, H., personlig kommunikation, 2015). Dock kvarstår felkällan att den springan som uppstår i dörröppningen kan påverka luftens egenskaper då det inte går att föra genom en slang genom dörröppningen och få det helt tätt.

Då mätningarna gjordes kvällstid var det nästintill tomt i anläggningen på folk och därmed öppnades dörrarna mellan badanläggningen och angränsande utrymmen som omklädningsrum och andra bassängutrymmen i mindre omfattning än vid den första mätningen som genomfördes. Det leder till en mindre påverkan av lufttillståndet inne i badanläggningen då luftens tillstånd påverkas av att dörrar öppnas och luften blandas med intilliggande utrymmen.

Som tidigare nämnt elimineras felkällan med att mätningen genomfördes i olika steg och att utomhusluftens tillstånd varierar på olika höjdnivåer, när mätningen skedde i ett enda steg med en lång slang mellan punkt 1 och punkt 5, se Figur 4.3.

4.3.3 Resultat

I Tabell 4.9 redovisas mätvärden på temperaturer och relativ fuktighet som togs inne i badanläggningen på två olika höjdnivåer.

Tabell 4.9 Mätvärden på temperatur samt relativ fuktighet.

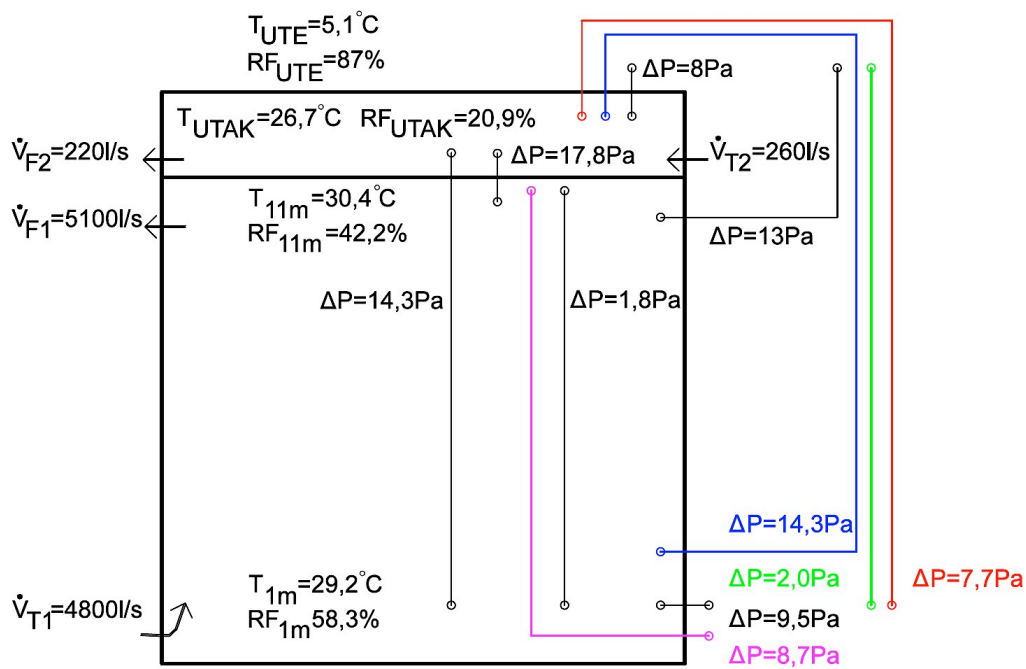
Placering	Temperatur [°C]	Relativ fuktighet [%]
Äventyrsbad 1,5m över golv	29,2	58,3
Äventyrsbad 11m över golv	30,4	42,2

I Tabell 4.10 redovisas de olika differentialtrycken som mättes upp. Den första kolumnen visar mellan vilka punkter som trycket mättes, se Figur 4.3 samt Tabell 4.8. Den första siffran i kolumn ett hänvisar till det område som har ett övertryck och den andra siffran är det område som har ett undertryck. Det här finns illustrerat i Figur 4.4.

Tabell 4.10 Mätvärden på differenstryck.

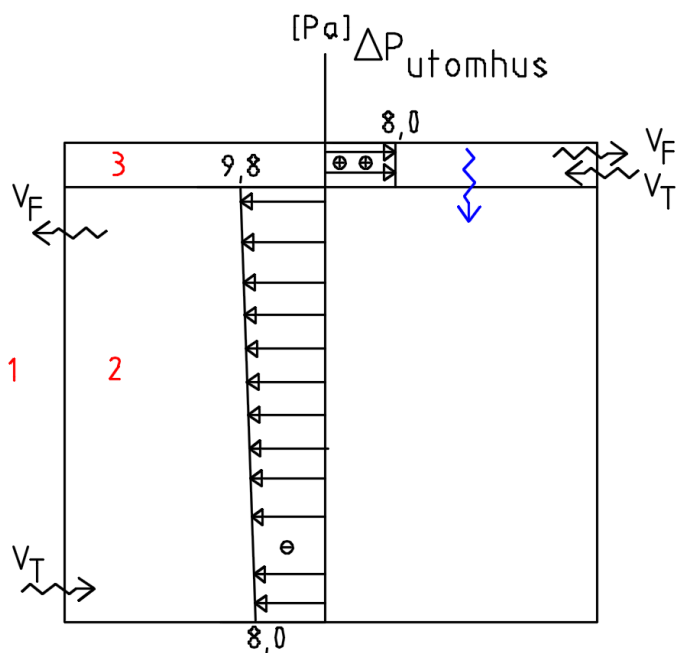
Differenstryck	ΔP [Pa]
1-2	8,0
1-3	7,7
1-4	14,3
1-5	17,8
2-5	13,0
3-2	2,0
3-4	9,5
3-5	8,7
4-5	1,8

Figur 4.4 redovisar rådande värden för temperatur, tryck och relativ fuktighet för badanläggningen, utrymmet ovan undertak samt utomhus från den 15 april 2015.



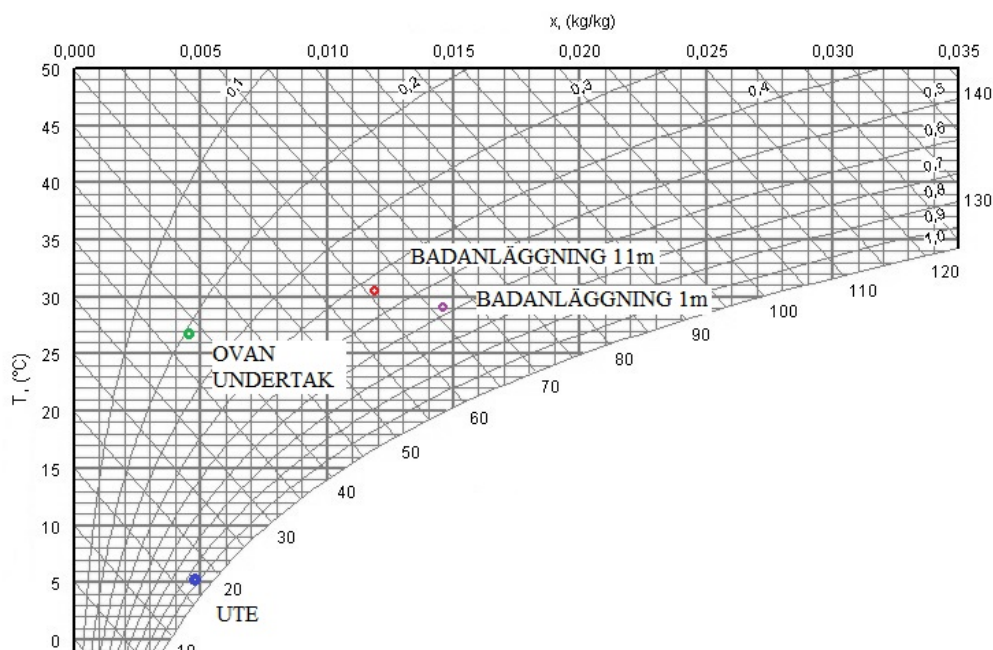
Figur 4.4 Schematisk bild över äventyrsbadet samt utrymmet ovan undertak i Tyresö Aqua Arena den 15 april 2015.

I Figur 4.5 illustreras tryckförhållandena som råder i badanläggningen med hjälp av en tryckgradient som motsvarar utomhustrycket. Som synes råder det ett större undertryck i taknivå, 9.8 Pa, jämfört med det undertryck som råder i golvnivå, 8.0 Pa.



Figur 4.5 Principskiss över rådande tryckförhållanden vid mätning 15 april 2015

För att tydliggöra vilka uppmätta egenskaper luften har i de olika områdena illustreras det i ett Mollierdiagram i Figur 4.6.



Figur 4.6 Mollierdiagram visar de uppmätta egenskaperna på luften utomhus, i badanläggningen och ovan undertaket den 15 april 2015, Tyresö Aqua Arena.

4.3.4 Analys av genomförda mätningar 2

Mätningen visar att ett övertryck råder i utrymmet ovan undertaket, både i förhållande till utomhusluften och till luften inne i badanläggningen.

Mätningen mellan punkt 4 och punkt 5, se Figur 4.3, visar att trycket är 1,8 Pa högre i punkt 4 än i punkt 5. Det vanligt förekommande vore att det råder ett högre tryck högre upp i byggnaden på grund av skorstenseffekten. En trolig förklaring till att trycket är lägre i det här fallet i taknivå jämfört med golvnivå att frånluftsuttagen sitter i taknivå (Gustén, J., personlig kommunikation, 2015).

Det tryckförhållande som illustreras i Figur 4.5 bygger på mätningen mellan punkt 1-5, 1-2 samt 4-5 se Figur 4.3. De övriga punkterna som mätts upp överensstämmer inte exakt med de här punkterna ifall beräkningar görs. Dock så är tryckskillnaden så pass små så de punkterna får ses som en bekräftelse för att mätningarna är rimliga.

En jämförelse med de loggade mätvärdena som finns presenterade i Tabell 4.4 och de egna uppmätta mätvärdena som redovisas i Figur 4.4 visar att de olika mätvärdena överensstämmer ganska bra. Att de olika mätvärdena överensstämmer stödjer antagandet om att de uppmätta värdena är likvärdiga med de faktiska förhållandena i badanläggningen.

4.3.5 Jämförelse mellan de olika genomförda mätningarna

En jämförelse mellan de olika mätningarna visar att båda mätningarna ger resultatet att det råder ett övertryck i utrymmet ovan undertak. Den andra mätningen ger dock differentialtrycket mellan punkt 1 och punkt 5, se Figur 4.3, vilket inte ges i den första mätningen.

Temperaturskillnaden och framförallt skillnaden på den relativa fuktigheten i golvnivå och taknivå inne i badanläggningen skiljer sig en del åt i de olika mätningarna. I den första mätningen, se Figur 4.1, skiljer sig inte värdena åt så mycket på de olika nivåerna. I den andra mätningen är skillnaderna större. En trolig förklaring till det här är att givaren i den andra mätningen placerades närmare bassängen och inte så nära dörren ut. Luftens tillstånd kan ha blivit påverkat i området närmast dörren i den första mätningen då dörren öppnats och stängts ett par gånger.

5 Teoretiska beräkningar

I Kapitel 5 redovisas olika teoretiska beräkningar som gjorts för badanläggningen Tyresö Aqua Arena. Beräkningarna utgår från dimensionerande värden och teoretiska resonemang. De resultat som presenteras bör därför ses som en anvisning om ungefärliga förhållanden som råder i badanläggningen. Beräkningarna är alltså inte förenade med insamlade mätvärden som presenterats i Kapitel 4.

5.1 Diffusionsberäkning genom undertaket

Det här avsnittet redogör för flödestätheten, g , i taket och hur mycket fukt som passerar genom taket beroende på olika fukt- och temperaturförhållanden på de båda sidorna om undertaket. Beräkningarna presenteras och redogörs mer utförligt i Bilaga 2.

Då det är plastfolien i undertakskonstruktionen som styr det totala ånggenomgångsmotståndet används det totala Z -värdet 2000 s/m i beräkningarna, som är detsamma som det dimensionerande värdet för ånggenomgångsmotståndet för en plastfolie.

För beräkning av flödestätheten, g , används ekvation (5.1). Skillnaden i ånghalten på de båda sidorna om skiktet fås genom differensen av v_1 och v_2 . I beräkningarna är v_1 inne i badanläggningen under undertaket och v_2 ovanför undertaket.

$$g = \frac{v_1 - v_2}{Z} \quad (5.1)$$

v_1 = ånghalt siada 1 om skiktet [kg/m^3]

v_2 = ånghalt siada 2 om skiktet [kg/m^3]

Z = materialet ånggenomgångsmotstånd [s/m]

Då det är luftens ånghalt på respektive sida om undertaket som styr flödestätheten har beräkningar med olika temperaturer och ånghalter genomförts. Dels har beräkningar för det dimensionerande värdet i badanläggningen, 31 °C, gjorts och även ett tänkbart fall där den dimensionerande temperaturen överskrider med 1 °C beräknats. Vidare har beräkningar genomförts med det dimensionerande värdet för utrymmet ovan undertak med 28 °C. Då börvärdet har ändrats under driften ner till 26 °C har beräkningar gjorts även för den temperaturen. För samtliga fyra fall har beräkningar gjorts för ett sommarfall och ett vinterfall för luften inne i badanläggningen. För de här olika fallen har beräkningar gjorts för ett tänkbart fall med så hög ånghalt i området ovan undertak som möjligt samt ett tänkbart fall med så låg ånghalt som möjligt. Ånghalterna har satts till tänkbara extremnivåer. Teoretiskt sett skulle det kunna vara en lägre ånghalt än ansatt lägsta extremvärde men det är högst osannolikt att de luftförhållandena skulle råda (Görander, M., personlig kommunikation, 2015). Anledningen till att den högsta relativa fuktigheten ovan undertaket, som används i beräkningarna, är satt till 50 % är att det är larmvärdet och en relativ fuktighet över den nivå accepteras inte i utrymmet. Den relativa fuktigheten inne i badanläggningen är satt till den dimensionerande värdena. Anledningen till det är att om det skulle vara en lägre relativ fuktighet inne i badanläggningen så skulle differensen mellan ånghalten där

och ovan undertak minska och den mängd fukt som skulle passera genom undertaket skulle därmed också minska.

Tabell 5.1 visar hur stor ånghalten är i luften inne i badanläggningen beroende på den relativa fuktigheten och temperaturen.

Tabell 5.1 *Lufttillståndet inne i badanläggningen för olika fall.*

Relativ fuktighet [%]	Temperatur inne i badanläggningen [°C]	v_1 [g/m ³]
65	31	22,08
55	31	18,36
65	32	23,28
55	32	19,56

Tabell 5.2 visar hur stor ånghalten är i luften ovan undertak beroende på den relativa fuktigheten och temperaturen.

Tabell 5.2 *Lufttillståndet ovan undertak för olika fall.*

Relativ fuktighet [%]	Temperatur ovan undertak [°C]	v_2 [g/m ³]
50	28	14,16
30	28	8,40
15	28	4,20
50	26	12,48
30	26	6,24
15	26	3,72

Tabell 5.3 visar vilka temperaturer det är på luften på båda sidorna om undertaket vid de olika beräkningsfallen.

Tabell 5.3 *Luftens temperatur på båda sidorna om undertaket i de olika fallen.*

Fall	Temperatur inne i badanläggningen [°C]	Temperatur ovan undertak [°C]	Kommentar
1	31	28	Dimensionerande fall
2	31	26	Rådande fall
3	32	28	Dimensionerande fall, högre temperatur i badanläggningen
4	32	26	Rådande fall, högre temperatur i badanläggningen

Tabell 5.4 visar hur mycket fukt som tränger igenom hela undertakets yta, 330m², per timma uttryckt i g, [g/totalyta*h]. I Bilaga 2 finns fler enheter redovisade för varje fall. I Tabell 5.4 anger den första kolumnen skillnaden i relativ fuktighet mellan de olika sidorna om undertaket där det första värdet anger den relativa fuktigheten inne i badanläggningen och värdet inom parantes anger den relativa fuktigheten ovan undertaket.

Tabell 5.4 Fuktflödestätheten för de olika fallen, uttryckt i g/totalyta per timma.

Fall	1	2	3	4
Skillnad i relativ fuktighet				
65 (50), sommarfall	4,704	5,702	5,417	6,415
65 (30), sommarfall	8,126	9,409	8,839	10,122
55 (50), vinterfall	2,495	3,493	3,208	4,206
55 (15), vinterfall	8,411	7,199	6,629	7,912

5.1.1 Analys av diffusionsberäkning genom undertak

Av Tabell 5.4 går det att utläsa att fall 4 är det fall där mest fukt transporteras genom undertaket. I det fallet görs beräkningar på det rådande börvärdet ovan undertak och ett antagande om att temperaturen inne i badanläggningen är 1 °C över det dimensionerande värdet. Det går att utläsa att det är de fallen där de relativa fuktigheterna är som störst, som ger den största fukttransporten. Det gäller både för sommar- och vinterfallet. Den mängd fukt som passerar genom undertaket är inte särskilt stor, varför inte de framräknade värdena indikerar någon fara för konstruktionen (Gustén, J., personlig kommunikation, 2015).

5.2 Beräkning av fuktkonvektion

Det här avsnittet redogör för hur mycket fukt som passerar genom taket på grund av fuktkonvektion. Beräkningar har genomförts på fyra olika fall med olika fukt- och temperaturförhållanden på de båda sidorna om undertaket. Beräkningarna presenteras och redogörs mer utförligt i Bilaga 3.

För beräkningar används en tryckskillnad på 10 Pa, det har dock inte klargjort ifall det är det som är den dimensionerande tryckskillnaden.

Det finns ett krav för lufttätet, angiven för en tryckskillnad på 50 Pa mellan de olika sidorna av undertaket får inte luftläckaget, Q_{krav} , vara större än 0,2 l luft/m² takarea och sekund. Det är detsamma som 0,72 m³ luft/m² takarea och timme.

Storleken för det resulterande luftläckaget, Q , fås genom ekvation (5.2), där Δp är satt till 10 Pa. Där trycket är 10 Pa högre i bassängutrymmet jämfört med området ovan undertaket. Genom ekvation (5.2) beräknas förhållandet mellan 10 Pa och 50 Pa och den lufttätet som råder för 10 Pa fås.

$$Q = \frac{\Delta p}{50} \times Q_{krav} \quad (5.2)$$

$$Q = \frac{10}{50} \times 0,72 = 0,144 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

Vidare kan den mängd fukt som passerar genom klimatskalet beräknas med ekvation (5.3) Där Q är det luftläckage som beräknas i ekvation (5.2).

$$G = Q \times (v_i - v_{ou}) \quad (5.3)$$

G = mängd fukt [g/m^2h]

Q = luftläckage [m^3/m^2h]

v_i = ånghalt inomhus [g/m^3]

v_{ou} = mätnadsånghalt i luften ovan undertaket [g/m^3]

Tabell 5.5 visar hur stor ånghalten är i luften inne i badanläggningen beroende på den relativa fuktigheten och temperaturen.

Tabell 5.5 Lufttillståndet inne i badanläggningen för olika fall.

Relativ fuktighet [%]	Temperatur inne i badanläggningen [°C]	v_i [g/m^3]
65	31	22,08
55	31	18,36
65	32	23,28
55	32	19,56

Tabell 5.6 visar hur stor ånghalten är i luften ovan undertak beroende på den relativa fuktigheten och temperaturen.

Tabell 5.6 Lufttillståndet ovan undertak för olika fall.

Relativ fuktighet [%]	Temperatur ovan undertak [°C]	v_{ou} [g/m^3]
50	28	14,16
30	28	8,40
15	28	4,20
50	26	12,48
30	26	6,24
15	26	3,72

Tabell 5.7 visar vilka temperaturer det är på luften på båda sidorna om undertaket vid de olika beräkningsfallen.

Tabell 5.7 Luftens temperatur på båda sidorna om undertaket i de olika fallen.

Fall	Temperatur inne i badanläggningen [°C]	Temperatur ovan undertak [°C]	Kommentar
1	31	28	Dimensionerande fall
2	31	26	Rådande fall
3	32	28	Dimensionerande fall, högre temperatur i badanläggningen
4	32	26	Rådande fall, högre temperatur i badanläggningen

Tabell 4.8 visar hur mycket fukt som tränger igenom hela undertakets yta, $330m^2$, per timma uttryckt i g, [$g/totalyta \cdot h$]. Det beräknas med hjälp av ekvation (1.2). I Bilaga 3 finns även redovisat hur mycket fukt som tränger igenom undertaket per kvadratmeter, per kvadratmeter och timma. I Tabell 5.8 anger den första kolumnen

skillnaden i relativ fuktighet mellan de olika sidorna om undertaket där det första värdet anger den relativa fuktigheten inne i badanläggningen och värdet inom parantes anger den relativa fuktigheten ovan undertaket.

Tabell 5.8 *Fuktkonvektion genom undertaket för de olika fallen uttryckt i g/totalyta per timma.*

Fall	1	2	3	4
Skillnad i relativ fuktighet				
65 (50), sommarfall	376,358	456,192	433,382	513,216
65 (30), sommarfall	650,074	752,717	707,098	809,741
55 (50), vinterfall	199,584	279,418	256,608	336,442
55 (15), vinterfall	672,883	695,693	729,907	752,717

5.2.1 Analys av beräkning av fuktkonvektion

En jämförelse mellan Tabell 5.4, *Fuktflödestätheten för de olika fallen*, och Tabell 5.8, *Fuktkonvektion genom undertaket*, visar att den mängd fukt som passerar genom undertaket på grund av konvektion är ungefär 80 gånger så stor som den mängd som passerar på grund av diffusion. Även i konvektionsfallet inträffar det värsta fallet under sommaren när beräkningar görs på den största tänkbara skillnaden i relativ fuktighet.

Beräkningarna som presenteras i avsnitt 5.2 bygger på att trycket i bassängutrymmet är 10 Pa större än utrymmet ovan undertaket. Är tryckförhållandet omvänt sker ingen fukttransport genom undertaket till följd av tryckskillnader.

5.3 Temperaturfördelning i yttertaks- och undertakskonstruktionen

I Bilaga 4 och 5 har temperaturfördelningen i undertaks- och yttertakskonstruktionen beräknats fram. Den visar vilken temperatur det är i olika skikt i taket och vid en jämförelse med luftens daggpunktstemperatur åskådliggörs det om kondensation kan förekomma på ytan. Så länge konstruktionen är tät så sker ingen konvektion genom materialskikten, däremot förekommer alltid diffusion. I badhus används alltid en diffusionsspärr med ett bra ånggenomgångsmotstånd, vilket innebär att väldigt små mängder fukt kommer in i konstruktionen.

En beräkning av Tyresö Aqua Arenas undertakskonstruktion och de resulterande temperaturerna i de olika materialskikten, gjordes av författarna och kan avläsas i Tabell 5.9. De temperaturerna kan jämföras med daggpunktstemperaturen som är framtagen i Mollierdiagramet i avsnitt 2.4.1. Där avläses daggpunktstemperaturen inne i badanläggningen till 24 °C under sommaren. Det här innebär att så länge temperaturen ovan undertaket inte understiger 24 °C eller att temperaturen samt den relativa fuktigheten i badanläggningen inte ökar, så finns det ingen trolig risk för kondens i undertakskonstruktionen. Det är för att yttemperaturerna i de olika skikten kommer att vara högre än daggpunktstemperaturen, 24 °C, som i Tabell 5.9. Det här betyder dock inte att temperaturen ovan undertaket kan sättas till 24 °C, eftersom det är flera aspekter som måste beaktas innan temperaturen bestäms. En temperatur på 28

°C, som författarna har använt i beräkningen, har en säkerhetsmarginal som är en av aspekterna.

Tabell 5.9 Temperaturfördelning i Tyresö Aqua Arenas undertak

Skikt	Temperatur [°C]
Ytan ovan undertaket	28,1
1	28,1
2	28,1
3	30,8
4	30,8
Inomhusytan	30,8

Författarna gjorde även en beräkning på Tyresö Aqua Arenas yttertakkonstruktion och de resulterande temperaturerna i de olika materialskikten kan avläsas i Tabell 5.10. Vid 28 °C och vid den maximalt tillåtna relativa fuktigheten på 50 %, så finns det ingen risk för utfällning av fukt på inomhusytan då daggpunktstemperaturen är 17 °C. Däremot finns det en risk för utfällning inne i konstruktionen. Det är dock inte så troligt att den relativa fuktigheten är 50 % i det ventilerade utrymmet då utomhustemperaturen är mindre än 17 °C. Det innebär att risken för kondens inne i konstruktionen är väldigt liten. Det finns dock några aspekter som skulle kunna leda till att konstruktionen utsätts för risk och de är;

- Om det finns otätheter i konstruktionen, så att mer fukt än vad som har räknats med går igenom undertakskonstruktionen från badanläggningen, via konvektion.
- Om ventilationen inte klarar av att ventilerar bort fukten som kommer upp genom undertakskonstruktionen från badanläggningen, via diffusion och konvektion.

I de här fallen höjs fukthalten och därmed även daggpunktstemperaturen, vilket kan vara riskabelt.

Tabell 5.10 Temperaturfördelning i Tyresö Aqua Arenas yttertak

Skikt	Temperatur [°C]
Utomhusytan	-15,8
1	-15,7
2	-12,9
3	20,5
4	20,5
5	27,5
Inomhusytan	27,5

5.4 Tilluftstemperatur fås genom transmissionsberäkning

Utrymmet ovan undertaket värms upp med hjälp av tilluften. Det innebär att tilluftmängden samt tilluftens temperatur måste beräknas fram med en värmetransmissionsberäkning. Därmed beräknas värmeeffektbehovet, som i det här fallet är P_v , fram för utrymmet ovan undertaket med ekvation (5.4) som visar värmeeffektbalansen.

$$P_{t\ ut} + P_{ov} = P_v + P_{t\ Bad} \quad (5.4)$$

$P_{t\ ut}$ = Transmission från ovan undertak och ut, för bort värme

P_{ov} = Oavsiktlig ventilation, för bort värme

P_v = Ventilation, tillför värme

$P_{t\ Bad}$ = Transmission från badanläggning till ovan undertak, tillför värme

Författarna har därför gjort en ungefärlig värmetransmissionsberäkning på Tyresö Aqua Arena för att få en förståelse för vilken luftmängd samt temperatur som behövs med avseende på att värma upp utrymmet, samt för att klara av att föra bort fukt, se Bilaga 7.

Beräkningen i Bilaga 7 tar upp tre olika fall där tilluftstemperaturen varierar. Av erfarenhet bör luftflödet hamna mellan 1-2 omsättningar per timme. Den maximala tilluftstemperaturen är 45 °C, eftersom värmebatteriet inte klarar av att värma till en högre temperatur timme (Holmlind, H., personlig kommunikation, 2015). Med hjälp av den informationen beräknades de tre olika fallen. I Tabell 5.11 framgår vilken tilluftstemperatur som användes i de olika fallen samt vilken luftmängd som beräknades fram. Fall 1 får en luftmängd precis under 1 omsättning per timma medan fall 3 får en luftmängd precis över 2 omsättningar per timma och fall 2 ligger inom spannet 1-2 omsättningar per timma. Det som går att utläsa är att fall 3 är säkrast av de tre fallen, eftersom det är det fallet som ventilerar bort mest fukt. Det behöver inte betyda att det är det bästa fallet, eftersom det kan vara onödigt stort luftflöde och därmed mer kostsamt. För att veta vilket fall som är det bästa kan en beräkning göras som visar hur mycket fukt som måste ventileras bort från utrymmet.

Tabell 5.11 Tre fall med olika tilluftstemperatur samt dess framräknade luftmängd från transmissionsberäkning.

Fall	Tilluftstemperatur [°C]	Luftmängd [oms/h]	Luftmängd [l/s]
1	45	0,9	94
2	40	1,3	133
3	35	2,3	228

6 Diskussion och slutsats

Resultaten av rapporten visar att den tekniska lösningen i Tyresö Aqua Arena uppfyller de krav och förväntningar som fanns för den när den installerades år 2013.

Det resonemang som förs i avsnitt 2.3.2.1 visar att det är viktigt att byggnaden är lufttät. Otätheter i byggnaden kan få stora konsekvenser och leda till problem med fukt genom diffusion och konvektion. Mätningarna redovisade i avsnitt 4.3.3 visar att det råder ett övertryck i utrymmet ovan undertaket. Det betyder att om det skulle finnas otätheter i diffusionsspärren så kommer fuktkonvektionen att transportera luften från utrymmet ovan undertaket in i badanläggningen och motverka fuktdiffusionen.

Mätning av de fukt- och temperaturförhållandena som råder i anläggningen visar att de dimensionerande värdena hålls, se Kapitel 4. I vissa fall är dock den relativa fuktigheten något lägre än det dimensionerande värdet i badanläggningen. Det är bra sett från fuktsynpunkt. Dock kan det termiska klimatet upplevas som kallt för besökarna.

Den mätmetod som används som finns beskriven i avsnitt 4.2.1 innehåller en del felkällor som finns redogjorda för i avsnitt 4.2.2. Det är viktigt att ha dem i åtanke när en tolkning av resultaten görs. Mätningarna får ses som en fingervisning av de förhållanden som råder i anläggningen. Mätningarna är vidare ingen garanti för att byggnaden är fuktsäkrad för all framtid. Uppföljningar bör göras kontinuerligt framöver för att säkerhetsställa att optimala fukt-, temperatur och tryckförhållanden råder.

De loggade värdena som har analyserats och presenteras i avsnitt 4.1 visar på brister. Värden loggas kontinuerligt men sparas enbart för fukt och temperatur. De värden som loggas för tryck går enbart att läsa av i realtid, vilket gör att en analys över tiden för tryck är svårare att göra. Därför har inte en jämförelse av tryckdifferenser för olika tidpunkter på dygnet och för olika datum under ett år kunnat genomföras. Jämförelse mellan tryckförhållanden är begränsade till de två mätningar som gjordes av författarna under våren 2015. Det hade varit önskvärt att även trycket sparades i en databas.

Baserat på de beräkningar som har gjorts samt inhämtad mätdata och egna mätningar som har genomförts är slutsatsen att de värden på fukt, temperatur och tryck som byggnaden projekterades för hålls. I dagsläget råder ett övertryck på 18 Pa i utrymmet ovan undertak jämfört med inne i badanläggningen. Lösningen med trycksatt ventilerat undertak som har undersökts i den här rapporten fungerar i praktiken och uppfyller de förväntningar som fanns vid installationen av den. Slutsatsen baseras på att lufttätheten kan säkerhetsställas dock kan brister i utförandet innebära stor risk för skador.

6.1 Förslag på vidareutveckling och behov av fortsatta undersökningar

Det gjordes ett val att avgränsa arbetet med den här rapporten till att inkludera analys av inhämtad mätdata samt att göra egna mätningar för att undersöka de fukt-, temperatur-, och tryckförhållanden som råder i anläggningen.

Det finns en del andra intressanta områden kopplade till den trycksatta undertaksventilationen som beskrivs i den här rapporten. Nedan listas några förslag på inriktningar för framtida undersökningar.

- Undersökning av olika driftfall beroende av olika klimatförutsättningar på olika verksamhetsorter. Det skulle ge en mer generell syn över hur den tekniska lösningen fungerar, som tagits upp i avsnitt 2.5.
- Optimala temperaturer och tryckdifferenser. Går det att optimera anläggningen för att spara energi?
 - Sommar- kontra vinterfall.
 - Hur mycket övertryck behövs?
- Alternativ systemlösning?
 - Materialval i undertaket, i Bilaga 8 finns en alternativ ångspärr beskriven.
 - Installationssystemets uppbyggnad.

7 Referenser

Andersson och Hultmark, bygghandling för Tyresö Aqua Arena, 2011.

Anjobygg, bygghandling för Tyresö Aqua Arena, 2011.

Anjobygg, bygghandling för Tyresö Aqua Arena, 2012.

Boverket (2012) *Handbok för energihushållning enligt Boverkets byggregler*.
<http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2012/handbok-for-energi-hushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf> (2015-02-02)

Ekberg, L. (2006) *R1-Riktlinjer för specifikation av inneklimatkrav*. Förlags AB VVS.

Fredriksson, J. (2007) Snabbkurs i Mollierdiagrammet. *Energi & miljö*, nr 10, ss.32-33.

Gustén, Jan (Bitr professor, Chalmers tekniska högskola) personlig kommunikation under vårterminen 2015.

Görander, Martin (Ingenjör, Ingenjörskyrån Andersson och Hultmark) personlig kommunikation den 20 mars 2015 och 24 april 2015.

Holmlind, Håkan (ingenjör, Ingenjörskyrån Andersson och Hultmark) personlig kommunikation den 25 februari 2015.

Holmlind, Håkan, Görander, Martin, Sköld, Jonas. (Ingenjör, Ingenjörskyrån Andersson och Hultmark) personlig kommunikation den 29 januari 2015 och den 4 mars 2015.

Holmström, A., Karlsson, L. (2006) *Projekteringsförutsättningar för dagens badanläggningar, en kartläggning på inomhusklimatet samt dess påverkan på byggnadens klimatskal och bärande system*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. (Examensarbete inom institutionen för bygg- och miljöteknik och institutionen för energi- och miljö)

Isover (2013) *System för lufttäthet och fuktsäkerhet*.
http://www.isover.se/files/Isover_SE/Om_Isover/Kontakta_oss/Broschyrer_Bygg/System%20for%20lufttatning.pdf (2015-02-27)

Kumlin, A., Wahl, N. (2004) Fuktproblem i simhallar. *Byggteknik*, nr 5, ss. 58-59.

Larsson, Håkan (Forskningsingenjör, Chalmers tekniska högskola) personlig kommunikation den 14 april 2015.

Paroc, (2015) *Paroc NRS 2t*. <http://www.paroc.se/losningar-och-produkter/produkter/pages/ljudisolering-for-byggapplikationer/paroc-nrs-2t> (2015-03-09)

Petersson, B. (2009) *Tillämpad byggnadsfysik*. 4:2. Lund: Studentlitteratur AB.

SMHI (2014) *Luftfuktighet*.
<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910> (2015-02-10)

SMHI, (2015) *Metrologiska observationer*. <http://opendata-download-metobs.smhi.se/explore/#> (2015-04-17)

Strandberg, B. (2014) *Bygga hus- Illustrerad bygglära*. Stockholm: Byggegenskap Förlag.

Takcentrum (2015) *Alutrix 600 – fukt, radon och ångspärr*.
<http://www.takcentrum.se/FUKT-alutrix.shtml> (2015-02-25)

Takcentrum Sverige AB (2011) *Alutrix 600, ång- och radonspärr*.
<http://www.takcentrum.se/uploads/Alutrix%20datablad.pdf> (2015-02-25)

Tillberg, Fredrik (fredrik.tillberg@aktea.se) (2015-03-20) Underlag Tyresö Aqua Arena. Personlig e-post till Härlebo, Kalle (kalle.harlebo@chalmers.se).

Tyresö kommun (2015) *Simhallar*. <http://www.tyreso.se/Se-och-gora/idrottmotion/Simhall/> (2015-04-23).

Liljewall arkitekter, personlig kommunikation den 9 mars 2015.

Warfvinge, C., Dahlblom, M. (2010) *Projektering av VVS-installationer*. 1:5. Lund: Studentlitteratur AB.

Bilaga 1

Beräkning av ånghaltsskillnad

I Bilaga 1 görs beräkningar på ånghaltsskillnaden mellan inomhus i en badanläggning och utomhus i Stockholm. Det görs en beräkning för ett sommarfall samt en beräkning för ett vinterfall.

Sommarfall

Temperaturen inne i badanläggningen är satt till den högsta temperaturen som ett äventyrsbad brukar dimensioneras efter. Den relativa fuktigheten inne i badanläggningen är satt till vad den maximalt får komma upp i under sommaren. Utomhustemperaturen samt den relativa fuktigheten utomhus under sommaren är satta med hjälp av *R1 – riktlinjer för specifikation av inneklimat*. Som är ett samlande underlag med krav och råd från svenska myndigheter och svensk standard (Ekberg, 2006).

$$T_{Bad} = 32^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ute} = 27^{\circ}\text{C}$$

$$RF_{Bad} = 65\%$$

$$RF_{ute} = 50\%$$

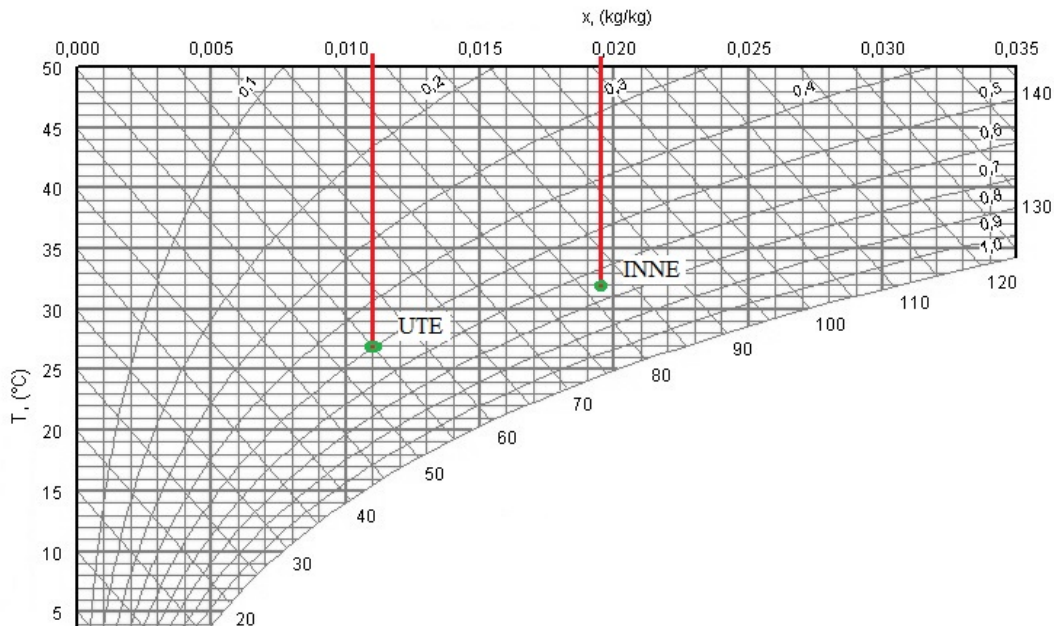
$$\rho_{luft} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

I Figur 1 går det att avläsa fuktkvoten, x_i , som råder inomhus.

$$x_i = 0,0195 \text{ kg}_{\text{vattenång}}/\text{kg}_{\text{luft}}$$

I Figur 1 går det att avläsa fuktkvoten, x_u , som råder utomhus.

$$x_u = 0,011 \text{ kg}_{\text{vattenång}}/\text{kg}_{\text{luft}}$$



Figur. 1 Mollierdiagram som visar hur fuktkvoten, x , fås fram för utomhus samt inomhus under sommaren.

Vid beräkning av ånghalt används ekvation (1.1). Enheten på x ska vara kg/kg , då blir svaret i g/m^3 .

$$v = \rho_{luft} \times x \times 1000 \quad (1.1)$$

Sätt in värden i ekvation (1.1), för att beräkna ånghalten inomhus.

$$v_i = \rho_{luft} \times x \times 1000 = 1,2 \times 1000 \times 0,0195 = 23,4 \text{ g/m}^3$$

Sätt in värden i ekvation (1.1), för att beräkna ånghalten utomhus.

$$v_u = \rho_{luft} \times x \times 1000 = 1,2 \times 1000 \times 0,011 = 13,2 \text{ g/m}^3$$

Vid beräkning av ånghaltsskillnaden används ekvation (1.2).

$$\Delta v = v_i - v_u \quad (1.2)$$

Sätt in värden i ekvation (1.2), för att få vad ånghaltsskillnaden kan vara på sommaren.

$$\Delta v = v_i - v_u = 23,4 - 13,2 = 10,2 \text{ g/m}^3$$

Vinterfall

Temperaturen inne i badanläggningen är satt till den högsta temperaturen som ett äventyrsbad brukar dimensioneras efter. Den relativa fuktigheten inne i badanläggningen är satt till vad den maximalt får komma upp i under vintern.

Utetemperaturen under vintern är satta med hjälp av DVUT i Stockholm (Boverket, 2012). Den relativa fuktigheten i Stockholm under vintern är vald med hjälp av SMHI (SMHI, 2014).

$$T_{Bad} = 32^\circ\text{C}$$

$$T_{ute} = -16^\circ\text{C}$$

$$RF_{Bad} = 55\%$$

$$RF_{ute} = 85\%$$

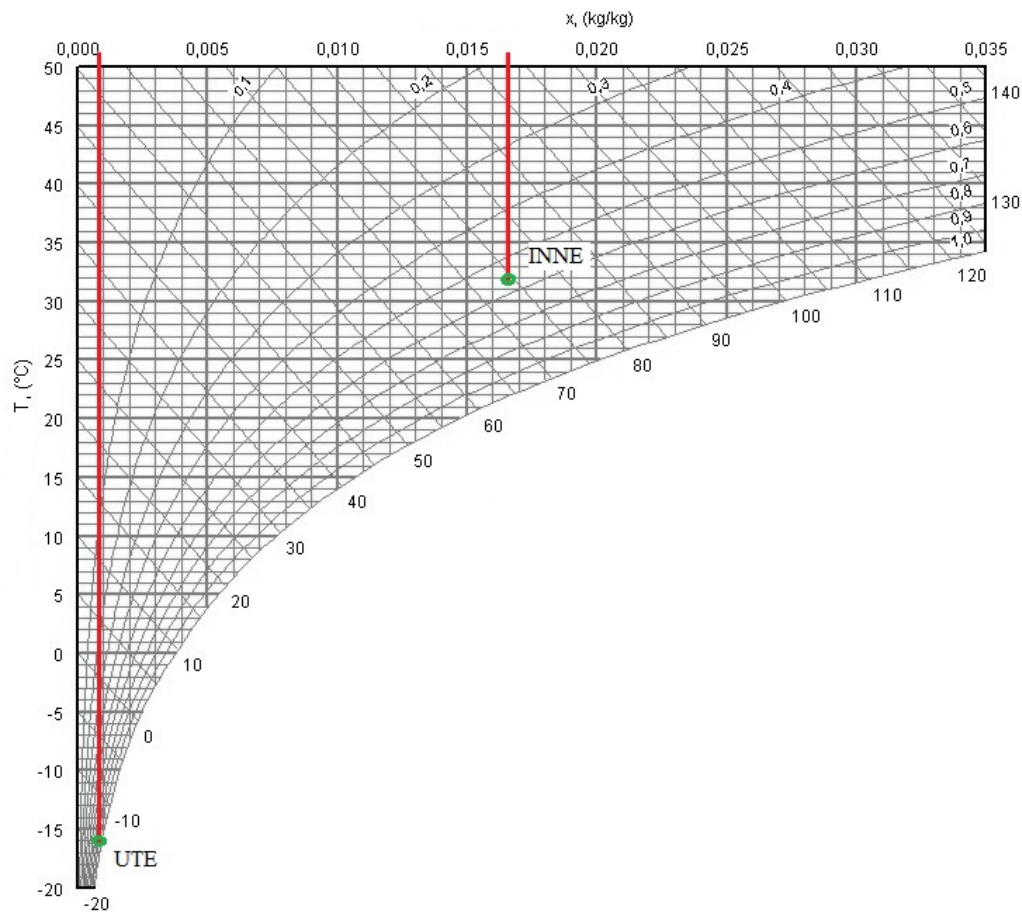
$$\rho_{luft} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

I Figur 2 går det att avläsa fuktkvoten, x_i , som råder inomhus.

$$x_i = 0,0165 \text{ kg}_{vattenångor} / \text{kg}_{luft}$$

I Figur 2 går det att avläsa fuktkvoten, x_u , som råder utomhus.

$$x_u = 0,00075 \text{ kg}_{vattenångor} / \text{kg}_{luft}$$



Figur. 2 Mollierdiagram som visar hur fuktkvoten, x , fås fram för utomhus samt inomhus under vintern.

Sätt in värden i ekvation (1.1), för att beräkna ånghalten inomhus.

$$v_i = \rho_{luft} \times x \times 1000 = 1,2 \times 1000 \times 0,0165 = 19,8 \text{ g/m}^3$$

Sätt in värden i ekvation (1.1), för att beräkna ånghalten utomhus.

$$v_u = \rho_{luft} \times x \times 1000 = 1,2 \times 1000 \times 0,00075 = 0,9 \text{ g/m}^3$$

Sätt in värden i ekvation (1.2), för att få vad ånghaltsskillnaden kan vara på vintern.

$$\Delta v = v_i - v_u = 19,8 - 0,9 = 18,9 \text{ g/m}^3$$

Bilaga 2

Beräkning av diffusion genom undertaket

I Bilaga 2 görs en beräkning av den diffusion som sker genom undertaket för Tyresö Aqua Arena. Beräkningarna tar fram flödestätheten, g , vilket beskriver hur mycket fukt som går igenom taket. Det beräknas med de olika materialegenskaperna i taket samt olika rådande klimat på de båda sidorna om undertaket.

Beräkningsförutsättningar

För att genomföra beräkningen behövs de olika materialens ånggenomgångsmotstånd, Z . Det bygger på antagande om olika kända material, exakt värde för byggnadsmaterialet som använts i befintlig byggnad kan variera mot tabellvärden, varför uträkningarna snarare får ses som en fingervisning om aktuellt fuktillstånd i byggnaden än en exakt redogörelse för detsamma.

Ånggenomgångsmotstånd

I Tabell 1 finns indata för materialens tjocklek och dess ånggenomgångsmotstånd. Materialen samt tjocklekar är tagna från ritningar på undertakskonstruktionen (Anjobygg, bygghandlingar, 2011). Ånggenomgångsmotståndet för plastfolien är antagen med hjälp av boken Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009). Värdet är angivet att vara som sämst 2000 s/m. Olika typer av plastfolier kan ha högre Z -värde. Stenullsboardens värde är hämtat från tillverkarens hemsida (Paroc, 2015). Luftspalten är ovan undertaksskivorna, som inte antas vara så täta, därmed kommer luften i luftspalten vara i rörelse. Därför antas dess ånggenomgångsmotstånd till noll. Även övriga materials ånggenomgångsmotstånd försummas då det är plastfolien som är det intressanta materialet och det som styr den totala fukttransporten genom undertaket (Görander, M., personlig kommunikation, 2015).

Tabell 1 Ånggenomgångsmotstånd.

Material	d [m]	Z [s/m]
Plastfolie	0,0002	> 2000
TRP-plåt (stål)	0,00065	-
Stenullsboard (NRS 2T Paroc)	0,04	1
Luftspalt (antag att luften är i rörelse)	0,23	-
Undertaksskivor med stål	0,02	-

$$Z = \sum Z_1 + Z_2 + \dots \quad (1.1)$$

Det totala ånggenomgångsmotståndet, Z , för undertaket fås genom ekvation (1.1) genom att ånggenomgångsmotståndet för de olika materialen i undertaket adderas. Då Z -värdet för plastfolien är så pass mycket större än värdet för stenullsboarden och Z -värdet för plastfolien kan variera upp till 6000 s/m, sätts det totala Z -värdet för konstruktionen till 2000 s/m. Det ånggenomgångsmotstånd övriga material bidrar med är försumbart.

Beräkning av flödestätheten, g

$$g = \frac{v_1 - v_2}{Z} \quad (1.2)$$

v_1 = ånghalt sida 1 om skiktet [kg/m^3]

v_2 = ånghalt sida 2 om skiktet [kg/m^3]

Z = materialets ångomgångsmotstånd [s/m]

För beräkning av flödestätheten, g , används ekvation (1.2). Skillnaden i ånghalten på de båda sidorna om skiktet fås genom differensen av v_1 och v_2 . I beräkningarna är v_1 inne i badanläggningen, under undertaket och v_2 ovanför undertaket.

Beräkning av undertakets flödestäthet

Då det är luftens ånghalt på respektive sida om undertaket som styr flödestätheten har beräkningar med olika temperaturer och ånghalter genomförts. Dels har beräkningar för det dimensionerande värdet i badanläggningen, 31 °C, gjorts och även ett tänkbart fall där den dimensionerande temperaturen överskrider med 1 °C beräknats. Vidare har beräkningar genomförts med det dimensionerande värdet för området ovan undertak med 28 °C. Då börvärdet har ändrats under driften ner till 26 °C har beräkningar gjorts även för den temperaturen. För samtliga fyra fall har beräkningar gjorts för ett sommarfall och ett vinterfall för luften inne i badanläggningen. För de här olika fallen har beräkningar gjorts för ett tänkbart fall med så hög ånghalt i området ovan undertak som möjligt samt ett tänkbart fall med så låg ånghalt som möjligt. Ånghalterna har satts till tänkbara extremnivåer. Teoretiskt sett skulle det kunna vara en lägre ånghalt än ansatt lägsta extremvärde men det är högst osannolikt att de luftförhållandena skulle råda (Görander, M., personlig kommunikation, 2015). Anledningen till att den högsta relativa fuktigheten ovan undertaket, som används i beräkningarna, är satt till 50 % är att det är larmvärdet och en relativ fuktighet över den nivån accepteras inte i utrymmet. Den relativa fuktigheten inne i badanläggningen är satt till dem dimensionerande värdena. Anledningen till det är att om det skulle vara en lägre relativ fuktighet inne i badanläggningen så skulle differensen mellan ånghalten där och ovan undertak minska och den mängd fukt som skulle passera genom undertaket skulle därmed också minska.

Fall 1 – Dimensionerande fall

I det här fallet används de dimensionerande temperaturerna i badanläggningen och ovan undertak. För de olika fallen, sommar- och vinterfallet, i Tabell 1 med olika relativa fuktigheter antas att temperaturen är 31 °C i badanläggningen.

Vatteninnehållet är angivet med två olika vedertagna enheter x [kg/kg] och v [g/m^3].

Omvandlingen från kg/kg till g/m^3 sker genom att värdet angivet i kg/kg multipliceras med 1200, eftersom det går 1000g på ett kg och luft har densiteten 1,2 kg/m^3 .

Tabell 1 Fall med olika relativ fuktighet för dimensionerande temperatur, 31 °C, inne i badanläggningen, v_1 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	x_1 [kg/kg]	v_1 [g/m^3]
65, sommarfall	0,0184	22,08
55, vinterfall	0,0153	18,36

För samtliga fall i Tabell 2 med olika relativa fuktigheter antas att temperaturen är 28 °C ovan undertak. Vatteninnehållet är angivet med två olika enheter. Omvandlingen mellan de olika enheterna förklaras ovan.

Tabell 2 Fall med relativ fuktighet för dimensionerande temperatur, 28 °C, ovan undertak, v_2 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	x_2 [kg/kg]	v_2 [g/m ³]
50	0,0118	14,16
30	0,007	8,4
15	0,0035	4,2

För beräkning används ekvation (1.1) och ekvation (1.2). Av ekvation (1.1) fås att det totala ånggenomgångsmotståndet för undertaket är 2000 s/m. Det värdet har sedan använts i samtliga beräkningar.

Skillnaden i ånghalten på de båda sidorna om skiktet fås genom differensen av v_1 och v_2 enligt ekvation (1.2). Värdena från Tabell 1 subtraheras med värden från Tabell 2. Nedan visas hur beräkningen är gjord med sommarfallet där den relativa fuktigheten är 65 % inne i badanläggningen med en temperatur på 31 °C och 50 % ovan undertak med en temperatur på 28 °C. Resterande beräkningar i den här bilagan har sedan gjorts med samma tillvägagångssätt.

$$g = \frac{v_1 - v_2}{Z} = \frac{22,08 - 14,16}{2000} \approx 0,00396 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

För att omvandla enheten från kg/m²s till g/m²h multipliceras svaret med 3600 samt divideras med 1000 då det går 3600 sekunder på en timma och 1000 g på ett kg.

$$\frac{0,00396 \times 3600}{1000} \approx 0,01426 \text{ g/m}^2\text{h}$$

Totalarean av undertaket är 330 m². Därmed multipliceras svaret med 330 för att få fram hur mycket fukt, uttryckt i g/totalyta och timma, som passerar genom taket per timma.

$$0,01426 \times 330 = 4,7045 \text{ g/totalyta} \times h$$

I Tabell 3 redovisas fuktflödestätheten i undertaket det vill säga hur mycket fukt som passerar genom undertaket baserat på angivna värden på temperaturen och den relativa fuktigheten i luften. Två sommarfall och tre vinterfall finns redovisade i tabellen. Resultatet finns angivet med två olika vedertagna enheter. En särskild omvandling har gjorts särskilt för den specifika byggnaden och arean på innertaket, för att få fram ett värde hur mycket fukt som transporteras totalt sett över hela ytan. Vilka skillnader i relativ fuktighet som har använts redovisas i den första kolumnen där det första värdet är den relativa fuktigheten inne i badanläggningen och värdet inom parantes är den relativa fuktigheten ovan undertak.

Tabell 3 Fuktflödestätheten i undertaket för det dimensionerande fallet.

Flödestäthet Skillnad i relativ fuktighet	$g [kg/m^2s]$	$g [g/m^2h]$	$g [g/totalyta \cdot h]$
65 (50), sommarfall	0,00396	0,014256	4,70448
65 (30), sommarfall	0,00684	0,024624	8,12592
55 (50), vinterfall	0,0021	0,00756	2,4948
55 (30), vinterfall	0,00498	0,017928	5,91624
55 (15), vinterfall	0,00708	0,025488	8,41104

Som går att utläsa i Tabell 3 fås de värsta fallen för sommar respektive vinter när det är som störst differens mellan de relativa fuktigheterna på de båda sidorna om undertaket.

Fall 2 – Rådande fall

Det här fallet är det som råder i badhuset. Då börvärdet ovan undertak idag är satt till 26 °C, jämfört med de 28 °C som var det dimensionerande värdet för anläggningen. Likt fall 1 används för beräkningarna i fall 2 31 °C för temperaturen inne i badanläggningen, vilket ger värden på vatteninnehåll enligt Tabell 4.

Tabell 4 Fall med olika relativ fuktighet för dimensionerande temperatur, 31 °C, inne i badanläggningen, v_1 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	$x_1 [kg/kg]$	$v_1 [g/m^3]$
65, sommarfall	0,0184	22,08
55, vinterfall	0,0153	18,36

I Tabell 5 redovisas vatteninnehållet för olika fukttillstånd för börvärdet 26 °C. En jämförelse med Tabell 2 visar att fukttillståndet blir lägre när man räknar på en lägre temperatur.

Tabell 5 Fall med olika relativ fuktighet för nuvarande börvärde, 26 °C, ovan undertak, v_2 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	$x_2 [kg/kg]$	$v_2 [g/m^3]$
50	0,0104	12,48
30	0,0052	6,24
15	0,0031	3,72

Beräkningar med värdena i Tabell 4 och 5 ger resultaten som redovisas i Tabell 6. Hur beräkningarna görs redovisas ovan i den här bilagan under avsnittet fall 1.

Av resultaten går det att utläsa att det går mer fukt genom taket då temperaturen ovan undertak är 26 °C jämfört med 28 °C.

Tabell 6 Fuktflödestätheten i undertaket för det rådande fallet.

Flödestäthet Skillnad i relativ fuktighet	g [kg/m ² s]	g [g/m ² h]	g [g/totalyta*h]
65 (50), sommarfall	0,0048	0,01728	5,7024
65 (30), sommarfall	0,00792	0,028512	9,40896
55 (50), vinterfall	0,00294	0,010584	3,49272
55 (30), vinterfall	0,00606	0,021816	7,19928
55 (15), vinterfall	0,00732	0,026352	8,69616

Fall 3 – Dimensionerande fall, högre inomhustemperatur

I det här fallet undersöks vad resultatet blir ifall antagande görs att inomhustemperaturen höjs en grad från 31 °C till 32 °C. I beräkningarna för det här fallet används 28 °C som temperaturen ovan undertak. Luftens vatteninnehåll för de temperaturerna anges i Tabell 7 och 8.

Tabell 7 Fall med olika relativ fuktighet för högre temperatur, 32 °C, inne i badanläggningen, v_1 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	x_1 [kg/kg]	v_1 [g/m ³]
65, sommarfall	0,0194	23,28
55, vinterfall	0,0163	19,56

Tabell 8 Fall med olika relativ fuktighet för dimensionerande temperatur, 28 °C, ovan undertak, v_2 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	x_2 [kg/kg]	v_2 [g/m ³]
50	0,0118	14,16
30	0,007	8,4
15	0,0035	4,2

Beräkningar med värdena i Tabell 7 och 8 ger resultaten som redovisas i Tabell 9. Hur beräkningarna görs redovisas ovan i den här bilagan under avsnittet fall 1.

Tabell 9 Fuktflödestätheten i undertaket för fall med dimensionerande temperatur ovan undertak och högre temperatur inne i badanläggningen.

Flödestäthet Skillnad i relativ fuktighet	g [kg/m ² s]	g [g/m ² h]	g [g/totalyta*h]
65 (50), sommarfall	0,00456	0,016416	5,41728
65 (30), sommarfall	0,00744	0,026784	8,83872
55 (50), vinterfall	0,0027	0,00972	3,2076
55 (30), vinterfall	0,00558	0,020088	6,62904
55 (15), vinterfall	0,00768	0,027648	9,12384

Fall 4 – Rådande fall, högre inomhustemperatur

I det här fallet undersöks vad resultatet blir ifall antagande görs att inomhustemperaturen höjs en grad från 31 °C till 32 °C. I beräkningarna för det här fallet används 26 °C som temperaturen ovan undertak. Luftens vatteninnehåll för de här temperaturerna anges i Tabell 10 och 11.

Tabell 10 Fall med olika relativ fuktighet för högre temperatur, 32 °C, inne i badanläggningen, v_1 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	x_1 [kg/kg]	v_1 [g/m ³]
65, sommarfall	0,0194	23,28
55, vinterfall	0,0163	19,56

Tabell 11 Fall med olika relativ fuktighet för nuvarande börvärde, 26 °C, ovan undertak, v_2 .

Vatteninnehåll Relativ fuktighet [%]	x_2 [kg/kg]	v_2 [g/m ³]
50	0,0104	12,48
30	0,0052	6,24
15	0,0031	3,72

Beräkningar med värdena i Tabell 10 och 11 ger resultaten som redovisas i Tabell 12. Hur beräkningarna görs redovisas ovan i den här bilagan under avsnittet fall 1.

Tabell 12 *Fuktflödestätheten i undertaket för det rådande fallet, med tillägget antagande om att temperaturen höjs en grad från 31 °C till 32 °C.*

Skillnad i relativ fuktighet \ Flödestäthet	$g [kg/m^2s]$	$g [g/m^2h]$	$g [g/totalyta*h]$
65 (50), sommarfall	0,0054	0,01944	6,4152
65 (30), sommarfall	0,00852	0,030672	10,12176
55 (50), vinterfall	0,00354	0,012744	4,20552
55 (30), vinterfall	0,00666	0,023976	7,91208
55 (15), vinterfall	0,00792	0,028512	9,40896

Bilaga 3

Beräkning av fuktkonvektion

I Bilaga 3 görs en beräkning av den fuktkonvektion som kan antas ske i Tyresö Aqua Arena.

För beräkningar används en tryckskillnad på 10 Pa, det har dock inte klargjort ifall det är det som är den dimensionerande tryckskillnaden.

Det finns ett krav för lufttätet, angiven för en tryckskillnad på 50 Pa mellan de olika sidorna av undertaket får inte luftläckaget, Q_{krav} , vara större än 0,2 l luft/m² takarea och sekund. Det är detsamma som 0,72 m³ luft/m² takarea och timme.

Storleken för det resulterande luftläckaget, Q , fås genom ekvation (1.1), där Δp är satt till 10 Pa. Där trycket är 10 Pa högre i bassängutrymmet jämfört med området ovan undertaket. Genom ekvation (1.1) beräknas förhållandet mellan 10 Pa och 50 Pa och den lufttätet som råder för 10 Pa fås

$$Q = \frac{\Delta p}{50} \times Q_{krav} \quad (1.1)$$

$$Q = \frac{10}{50} \times 0,72 = 0,144 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$$

Vidare kan den mängd fukt som passerar genom klimatskalet beräknas med ekvation (1.2). Där Q är det luftläckage som beräknas i ekvation (1.1).

$$G = Q \times (v_i - v_{ou}) \quad (1.2)$$

$G = \text{mängd fukt [g/m}^2\text{h]}$

$Q = \text{luftläckage [m}^3/\text{m}^2\text{h]}$

$v_i = \text{ånghalt inomhus [g/m}^3\text{]}$

$v_{ou} = \text{mättnadsånghalt luft ovan undertak [g/m}^3\text{]}$

Nedan visas vilket vatteninnehåll som luften har på de olika sidorna om undertaket beroende på luftens tillstånd. Värdena är framtagna med hjälp av ett Mollierdiagram.

Tabell 1 visar hur stor ånghalten är i luften inne i badanläggningen beroende på den relativa fuktigheten och temperaturen.

Tabell 1 Lufttillståndet inne i badanläggningen för olika fall.

Relativ fuktighet [%]	Temperatur inne i badanläggningen [°C]	v_i [g/m ³]
65	31	22,08
55	31	18,36
65	32	23,28
55	32	19,56

Tabell 2 visar hur stor ånghalten är i luften ovan undertak beroende på den relativa fuktigheten och temperaturen.

Tabell 2 *Lufttillståndet ovan undertak för olika fall.*

Relativ fuktighet [%]	Temperatur ovan undertak [°C]	v_{ou} [g/m ³]
50	28	14,16
30	28	8,4
15	28	4,2
50	26	12,48
30	26	6,24
15	26	3,72

Tabell 3 visar vilka temperaturer det är på luften på båda sidorna om undertaket vid de olika beräkningsfallen.

Tabell 3 *Luftens temperatur på båda sidor om undertaket i de olika fallen.*

Fall	Temperatur inne i badanläggningen [°C]	Temperatur ovan undertak [°C]	Kommentar
1	31	28	Dimensionerande fall
2	31	26	Rådande fall
3	32	28	Dimensionerande fall, högre temperatur i badanläggningen
4	32	26	Rådande fall, högre temperatur i badanläggningen

Den mängd fukt som passerar genom klimatskalet beräknas med hjälp av ekvation (1.1) och (1.2). Nedan redovisas hur beräkning sker i det dimensionerande fallet med temperaturen 31 °C och den relativa fuktigheten 65 % inne i badanläggningen och temperaturen 28 °C och den relativa fuktigheten 50 % ovan undertak. Resterande beräkningar för de olika fallen har sedan gjorts med samma tillvägagångssätt.

$$G = Q \times (v_i - v_{ou}) = 0,144 \times (22,08 - 14,16) = 1,14048 \text{ g/m}^2 \text{ h}$$

Totalarean av undertaket är 330 m². Därmed multipliceras svaret med 330 för att få fram hur mycket fukt, uttryckt i g/totalyta*h, som passerar genom taket per timma.

$$1,1408 \times 330 = 376,3584 \text{ g/totalyta} \times \text{h}$$

Tabell 4 visar hur mycket fukt som tränger igenom hela undertakets yta, 330m², per timma uttryckt i g, [g/totalyta*h]. Den första kolumnen anger skillnaden i den relativa fuktigheten mellan de olika sidorna om undertaket där det första värdet anger den relativa fuktigheten inne i badanläggningen och värdet inom parentes anger den relativa fuktigheten ovan undertaket.

Tabell 4 *Fuktkonvektion genom undertaket för de olika fallen uttryckt i g/totalyta per timma.*

Fall Skillnad i relativ fuktighet	1	2	3	4
65 (50), sommarfall	376,3584	456,192	433,3824	513,216
65 (30), sommarfall	650,0736	752,7168	707,0976	809,7408
55 (50), vinterfall	199,584	279,4176	256,608	336,4416
55 (15), vinterfall	672,8832	695,6928	729,9072	752,7168

I Tabell 5 redovisas även hur mycket fukt som tränger igenom undertaket per kvadratmeter och timma. Tabellen redovisas för att lättare kunna skapa en uppfattning om de olika värdenas storlek då det är en vedertagen enhet att ange fuktkonvektion i g/m^2 per timma. Den första kolumnen anger skillnaden i relativ fuktighet mellan de olika sidorna om undertaket där det första värdet anger den relativa fuktigheten inne i badanläggningen och värdet inom parantes anger den relativa fuktigheten ovan undertaket.

Tabell 5 *Fuktkonvektion genom undertaket för de olika fallen uttryckt i g/m^2 per timma.*

Fall Skillnad i relativ fuktighet	1	2	3	4
65 (50), sommarfall	1,14048	1,3824	1,31328	1,5552
65 (30), sommarfall	1,96992	2,28096	2,14272	2,45376
55 (50), vinterfall	0,6048	0,84672	0,7776	1,01952
55 (15), vinterfall	2,03904	2,10816	2,21184	2,28096

Bilaga 4

Beräkning av temperaturfördelning över undertakskonstruktionen

I Bilaga 4 görs en beräkning av temperaturfördelning över Tyresö Aqua Arenas undertakskonstruktion. Ekvationerna i Bilaga 4 är inhämtade från boken: Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009).

Beräkningsförutsättningar

I Tabell 1 finns indata för undertakets material, som tjocklek, värmeledningsförmåga och värmemotstånd, dessutom visar den vart i taket de olika skikten finns. Material samt tjocklek är tagna från ritningar på yttertakskonstruktionen.

TRP-plåten samt undertaksskivornas ram antas vara av stål och dess värmeledningsförmåga är antagen med hjälp av boken Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2012). Även den genomtrampsäkra plastfoliens värde är hämtat från samma bok. Stenullsboardens värde är hämtat från tillverkarens hemsida. (Paroc, 2015). Luftspalten är ovan undertaksskivorna, som inte antas vara så täta, därmed kommer luften i luftspalten vara i rörelse. Därför antas dess värmeledningsförmåga till noll (Görander, M., personlig kommunikation, 2015).

Tabell 1 Indata.

Skikt	Material	d [m]	λ [W/mK]	$R=d/\lambda$ [m ² K/W]
Utomhusyta				
	Plastfolie	-	-	0
1				
	TRP plåt (stål)	0,00065	60	$1,08 \times 10^{-5}$
2				
	Stenullsboard (NRS 2t Paroc)	0,04	0,035	1,14
3				
	Luftspalt (antag att luften är i rörelse)	0,23	0	0
4				
	Undertaksskivor med stål	0,02	60	$3,33 \times 10^{-4}$
Inomhusyta				

Lufttemperaturen för undertaket och lufttemperaturen inne i badanläggningen, som används i beräkningen, är de dimensionerande temperaturerna som ingenjörbyrå Andersson och Hultmark har bestämt.

$$T_{bad} = 31 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{undertak} = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Temperaturfördelning

Vid beräkning av temperatur i olika skikt i takkonstruktionen inifrån och ut eller utifrån och in används ekvation (1.1).

$$T_x = T \pm \frac{R_x}{R_{tot}} \times (T_{undertak} - T_{ute}) \quad (1.1)$$

T_x = Temperaturen på avståndet x in i konstruktionen [$^{\circ}\text{C}$]

T = Lufttemperaturen ute eller ovan undertak [$^{\circ}\text{C}$]

T_{ute} = Uteluftens temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

$T_{undertak}$ = Lufttemperaturen ovan undertak [$^{\circ}\text{C}$]

R_x = Värmemotståndet för skikten in till gränsytan på avståndet x [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{tot} = Totala värmemotståndet [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Det totala värmemotståndet beräknas enligt ekvation (1.2).

$$R_{tot} = R_{si} + \sum R_i + R_{se} \quad (1.2)$$

R_{si} = Värmeövergångsmotståndet för innerytor [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_i = Värmemotståndet för ett skikt [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{se} = Värmeövergångsmotståndet för yttertor [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Sätt in värden, som finns angivna i beräkningsförutsättningar, i ekvation (1.2) för att beräkna det totala värmemotståndet.

$$R_{tot} = R_{si} + \sum R_i + R_{se} = 0,04 + 0 + 1,08 \times 10^{-5} + 1,14 + 0 + 0,00033 + 0,1 = 1,283 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

När det totala värmemotståndet är beräknat kan värden sättas in i ekvation (1.1). I den här beräkningen har T valts till lufttemperaturen inne i badanläggningen, vilket innebär att minustecknet ska användas i ekvationen. Nedan har värden satts in i ekvation (1.1) för att få temperaturen för varje skikt. För att förstå vilket skikt de olika siffrorna står för hänvisas till Tabell 1.

$$\begin{aligned} T_{uteyta} &= T_{undertak} - \frac{R_x}{R_{tot}} \times (T_{undertak} - T_{ute}) = \\ &= 31 - \frac{0 + 1,08 \times 10^{-5} + 1,14 + 0 + 0,00033 + 0,1}{1,283} \times (31 - 28) = 28,09352 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$T_1 = 31 - \frac{1,08 \times 10^{-5} + 1,14 + 0 + 0,00033 + 0,1}{1,283} \times (31 - 28) = 28,09352 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 31 - \frac{1,14 + 0 + 0,00033 + 0,1}{1,283} \times (31 - 28) = 28,09354 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_3 = 31 - \frac{0 + 0,00033 + 0,1}{1,283} \times (31 - 28) = 30,76543 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_4 = 31 - \frac{0,00033 + 0,1}{1,283} \times (31 - 28) = 30,76543 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{inneyta} = 31 - \frac{0,1}{1,283} \times (31 - 28) = 30,76621 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Bilaga 5

Beräkning av temperaturfördelning över takkonstruktionen

I Bilaga 5 görs en beräkning av temperaturfördelning över Tyresö Aqua Arenas takkonstruktion. Ekvationerna i Bilaga 5 är inhämtade från boken: Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009).

Beräkningsförutsättningar

I Tabell 1 finns indata för takmaterialens tjocklek, värmeledningsförmåga och värmemotstånd, dessutom visar den vart i taket de olika skikten finns. Material samt tjocklek är tagna från ritningar på yttertakskonstruktionen.

TRP-plåten antas vara av stål och dess värmeledningsförmåga är antagen med hjälp av boken Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009). Även de resterande materialen har fått ett antaget värde på värmeledningsförmågan med hjälp av samma bok. Därmed får uträkningarna snarare ses som en fingervisning om aktuella temperaturtillstånd i de olika skikten än en exakt redogörelse för detsamma.

Tabell 1 Indata

Skikt	Material	d [m]	λ [W/mK]	$R=d/\lambda$ [m ² K/W]
Utomhusyta				
	Papptäckning	-	-	0,02
1				
	Board	0,02	0,039	0,51
2				
	Cellplast	0,22	0,036	6,11
3				
	Plastfolie	-	-	0
4				
	Stenull	0,05	0,039	1,28
5				
	TRP plåt (stål)	0,002	60	$3,33 \times 10^{-5}$
Inomhusyta				

Lufttemperaturen för undertaket, som används i beräkningen, är den dimensionerande temperaturen som ingenjörsbyrån Andersson och Hultmark har bestämt.

Utomhustemperaturen har tagits från DVUT, dimensionerande vinterutetemperatur, i Stockholm (Boverket, 2012).

$$T_{ute} = -16 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{undertak} = 28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{si} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Temperaturfördelning

Vid beräkning av temperatur i olika skikt i takkonstruktionen inifrån och ut eller utifrån och in används ekvation (1.1).

$$T_x = T \pm \frac{R_x}{R_{tot}} \times (T_{undertak} - T_{ute}) \quad (1.1)$$

T_x = Temperaturen på avståndet x in i konstruktionen [$^{\circ}\text{C}$]

T = Lufttemperaturen ute eller ovan undertak [$^{\circ}\text{C}$]

T_{ute} = Uteluftens temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

$T_{undertak}$ = Lufttemperaturen ovan undertak [$^{\circ}\text{C}$]

R_x = Värmemotståndet för skikten in till gränssytan på avståndet x [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{tot} = Totala värmemotståndet $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$

Det totala värmemotståndet beräknas enligt ekvation (1.2).

$$R_{tot} = R_{si} + \sum R_i + R_{se} \quad (1.2)$$

R_{si} = Värmeövergångsmotståndet för innerytan [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_i = Värmemotståndet för ett skikt [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{se} = Värmeövergångsmotståndet för ytterytan [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Sätt in värden, som finns angivna i beräkningsförutsättningar, i ekvation (1.2) för att beräkna det totala värmemotståndet.

$$R_{tot} = R_{si} + \sum R_i + R_{se} = 0,04 + 0,02 + 0,51 + 6,11 + 1,28 + 0 + 3,33 \times 10^{-5} + 0,1 = 8,07 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$$

När det totala värmemotståndet är beräknat kan värden sättas in i ekvation (1.1). I den här beräkningen har T valts till lufttemperaturen ovan undertaket, vilket innebär att minustecknet ska användas i ekvationen. Nedan har värden satts in i ekvation (1.1) för att få temperaturen för varje skikt. För att förstå vilket skikt de olika siffrorna står för hänvisas till Tabell 1.

$$\begin{aligned} T_{uteyta} &= T_{undertak} - \frac{R_x}{R_{tot}} \times (T_{undertak} - T_{ute}) = \\ &= 28 - \frac{0,02+0,51+6,11+1,28+0+3,3 \times 10^{-5}+0,1}{8,07} \times (28 - (-16)) = -15,7818^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$T_1 = 28 - \frac{0,51+6,11+1,28+0+3,3 \times 10^{-5}+0,1}{8,07} \times (28 - (-16)) = -15,6727^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 28 - \frac{6,11+1,28+0+3,3 \times 10^{-5}+0,1}{8,07} \times (28 - (-16)) = -12,8753^{\circ}\text{C}$$

$$T_3 = 28 - \frac{0+1,28+3,3 \times 10^{-5}+0,1}{8,07} \times (28 - (-16)) = 20,46075^{\circ}\text{C}$$

$$T_4 = 28 - \frac{1,28+3,3 \times 10^{-5}+0,1}{8,07} \times (28 - (-16)) = 20,46075^{\circ}\text{C}$$

$$T_5 = 28 - \frac{3,3 \times 10^{-5}+0,1}{8,07} \times (28 - (-16)) = 27,45432^{\circ}\text{C}$$

$$T_{inneyta} = 28 - \frac{0,1}{8,07} \times (28 - (-16)) = 27,4545^{\circ}\text{C}$$

Bilaga 6

Beräkning av luftflöde och omsättning

I Bilaga 6 görs en beräkning för vilket luftflöde som behövs för att föra bort fuktillskottet som inträffar vid olika temperaturer.

Beräkningarna är gjorda för fyra olika fall som presenteras i Tabell 1. Det som skiljer de olika fallen åt är vilka temperaturer som råder på de olika sidorna om undertaket.

Tabell 1 *Luftens temperatur på båda sidorna om undertaket i de olika fallen.*

Fall	Temperatur inne i badanläggningen [°C]	Temperatur ovan undertak [°C]	Kommentar
1	31	28	Dimensionerande fall
2	31	26	Rådande fall
3	32	28	Dimensionerande fall, högre temperatur i badanläggningen
4	32	26	Rådande fall, högre temperatur i badanläggningen

Med hjälp av ett Mollierdiagram har fukttinnehållet tagits fram för ett särskilt värde på den relativa fuktigheten för de olika temperaturerna. Det finns redovisat i Tabell 2. För temperaturerna inne i badanläggningen har den relativa fuktigheten valts till 60 % då det är ett värde mellan de 55 % som det dimensioneras för att hålla på vintern och de 65 % som det strävas efter att hållas lägre än på sommaren. För temperaturerna i utrymmet ovan undertak är den relativa fuktigheten satt till 50 % då det är det maximala värdet som tillåts. Temperaturen för tilluften sätts till 10 °C och 100 % relativ fuktighet då det är det dimensionerande fallet.

Tabell 2 *Luftens fukttinnehåll beroende på temperatur och relativ fuktighet.*

Benämning	Temperatur, T [°C]	Relativ fuktighet, RF [%]	Fukttinnehåll, x [kg/kg]
Badanläggning	31	60	0,017
Badanläggning	32	60	0,018
Ovan undertak	26	50	0,0103
Ovan undertak	28	50	0,012
Uteluften	10	100	0,008

För beräkning av luftläckaget över den specifika arean, $Q_{undertaket}$, används ekvation (1.1).

$$Q_{undertaket} = A \times Q \times 0,001 \times \rho \quad (1.1)$$

A = area [m^2]

Q = luftläckage [l/sm^2]

ρ = densitet [kg/m^3]

Luftläckaget, Q , är angivet till $0,2 \text{ l/sm}^2$ vilket är det dimensionerande läckaget som man tillåter vid 50Pa tryckdifferens. En omvandling till kg/s över den specifika arean, 330 m^2 , fås genom insättning i ekvation (1.1). Multiplicering med $0,001$ sker då det går 1000 liter på en kubikmeter och med $1,2$ då luftens densitet sätts till $1,2 \text{ kg/m}^3$.

$$Q_{\text{undertaket}} = 330\text{m}^2 \times 0,2\text{l/sm}^2 \times 0,001 \times 1,2 = 0,0792 \text{ kg/s}$$

Beroende på fukttinnehåll i luften på de olika sidorna om undertaket samt fukttinnehållet i tilluften, som redovisas i Tabell 2, kan faktorn y lösas ut med hjälp av ekvation (1.2). Faktorn y betecknar andelen uteluft som behövs för att klara av att föra bort fuktillskottet som inträffar vid olika temperaturer. Vilket leder till att $(1-y)$ står för andelen återluft.

$$(y \times x_{\text{tilluften}}) + (1 - y) \times x_{\text{badanlägggn.}} = x_{\text{ovan u.taket}} \quad (1.2)$$

Nedan redogörs beräkning av fall 1, fallet temperaturen 31°C i badanläggningen och 28°C i utrymmet ovan undertaket. Beräkningar har sedan gjorts på samma sätt för samtliga fall. Resultaten redovisas i Tabell 3.

Insättning av värden i ekvation (1.2) för beräkning av faktorn y samt $(1-y)$ för fall 1:

$$(y \times 0,008) + (1 - y) \times 0,017 = 0,012 \rightarrow y = 0,556 \rightarrow (1 - y) = 0,444$$

Med hjälp av faktorn $(1-y)$ kan sedan det minsta fungerande luftflödet, q , för att klara av att föra bort fuktillskottet beräknas enligt ekvation (1.3).

$$q = \frac{(1-y) \times Q_{\text{undertaket}} \times 1000}{\rho} \quad (1.3)$$

Insättning av värden i ekvation (1.3) för beräkning av det minsta fungerande luftflödet, q för fall 1 sker nedan. Multiplicering med $1,2$ och med 1000 sker då luftens densitet sätts till $1,2 \text{ kg/m}^3$ för att omvandla från kg/s till l/s .

$$q = \frac{0,444 \times 0,0792 \times 1000}{1,2} = 29,33 \text{ l/s}$$

När luftflödet, q , är beräknat kan omsättningen per timma beräknas enligt ekvation (1.4)

$$\text{oms/h} = \frac{q \times 0,001 \times 3600}{A} \quad (1.4)$$

Insättning av värden i ekvation (1.4) för beräkning av den omsättning som det dimensionerande luftflödet, q , genererar sker nedan. Multiplicering med $0,001$ och med 3600 sker då det går 1000 liter på en kubikmeter och 3600 sekunder på en timma.

$$oms/h = \frac{29,33 \times 0,001 \times 3600}{330} = 0,32$$

I Tabell 3 redovisas resultatet för samtliga fall. I kolumn 2 visas vilka temperaturer det är på de båda sidorna om undertaket, som har använts för beräkningarna i de olika fallen, där det första värdet anger temperaturen inne i badanläggningen och värdet inom parentes anger temperaturen ovan undertaket.

Tabell 3 Krav på andelen uteluft i tilluften, luftflödet samt på omsättningen för att klara av att föra bort fuktillskottet.

Fall	Temperatur inne i badanläggningen (ovan undertak) [°C]	Luftflöde [l/s]	Oms/h
1	31 (28)	29,333	0,320
2	31 (26)	16,867	0,184
3	32 (28)	26,400	0,288
4	32 (26)	15,180	0,166

Bilaga 7

Värmetransmissionsberäkning ovan undertak

I Bilaga 7 görs en värmetransmissionsberäkning för utrymmet ovan äventyrsbadets undertak, i Tyresö Aqua Arena. Värmetransmissionsberäkningen används för att ta fram vilken luftmängd, q_v , som ska ventileras ovan undertak, samt vilken tilluftstemperatur, $T_{tilluft}$, som krävs för att värma upp utrymmet. Ekvationerna i Bilaga 7 är inhämtade från boken: Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009) samt från boken Projektering av VVS-installationer (Warfvinge, Dahlblom, 2010).

Beräkningsförutsättningar

För att kunna genomföra en värmetransmissionsberäkning behövs U-värden för alla byggnadsdelar. I den här beräkningen används U-värden på yttertak och yttervägg som finns angivet för Tyresö Aqua Arena (Andersson och Hultmark, bygghandling, 2011). Däremot görs en egen beräkning, för att få fram U-värdet på undertaket. Beräkningen är ungefärlig, då det var svårt att få exakta materialvärden.

Beräkning av undertakskonstruktionens U-värde

I Tabell 1 finns indata för materialens tjocklek, värmeledningsförmåga och värmemotstånd. Material samt tjocklek är tagna från ritningar på undertakskonstruktionen. TRP-plåten samt undertaksskivornas ram antas vara av stål och dess värmeledningsförmåga är antagen med hjälp av boken Tillämpad byggnadsfysik (Petersson, 2009). Även plastfoliens värde är hämtat från samma bok. Stenullsboardens värde är hämtat från tillverkarens hemsida (Paroc, 2015). Luftspalten är ovan undertaksskivorna, som inte antas vara så täta, därmed kommer luften i luftspalten att vara i rörelse. Därför antas dess värmeledningsförmåga till noll (Görander, M., personlig kommunikation, 2015).

Tabell 2 Indata

Material	d [m]	λ [W/mK]	$R=d/\lambda$ [m ² K/W]
Plastfolie	-	-	0
TRP plåt (stål)	0,00065	60	$1,08 \times 10^{-5}$
Stenullsboard (NRS 2T Paroc)	0,04	0,035	1,14
Luftspalt (antag att luften är i rörelse)	0,23	0	0
Undertaksskivor med stål	0,02	60	$3,33 \times 10^{-4}$

Värme genomgångskoefficienten, U , kan beräknas med ekvation (1.1). För att kunna genomföra den beräkningen behövs konstruktionens totala värmemotstånd, R_{tot} , som fås genom ekvation (1.2).

$$U = \frac{1}{R_{tot}} \quad (1.1)$$

$$R_{tot} = R_{si} + \sum R_i + R_{se} \quad (1.2)$$

R_{se} = Värmemotstånd för konstruktionens ytterytor [m^2K/W]

R_{si} = Värmemotstånd för konstruktionens innerytor [m^2K/W]

R_i = Värmemotstånd för ett skikt [m^2K/W]

$R_{se} = 0,04 m^2K/W$

$R_{si} = 0,1 m^2K/W$

Insättning av värden från Tabell 1 i ekvation (1.2) ger:

$$R_{tot} = 0,04 + 0 + 1,08 \times 10^{-5} + 1,14 + 0 + 0,00033 + 0,1 = 1,283 m^2K/W$$

Insättning i ekvation (1.1) ger:

$$U_{undertak} = \frac{1}{1,283} = 0,779 W/m^2K$$

Värmetransmissionsberäkningens förutsättningar

I Tabell 2 finns indata för U-värde samt area på de olika byggnadsdelarna.

Tabell 3 Indata

Byggnadsdel	U-värde [W/m^2K]	Area [m^2]
Yttervägg	0,18	84,48
Yttertak	0,13	330
Undertak	0,78	330

Lufttemperaturerna för undertaket samt badanläggningen, som används i beräkningen, är de dimensionerande temperaturerna som ingenjörskyrkan Andersson och Hultmark har bestämt. Utomhustemperaturen har tagits från DVUT, dimensionerande vinterutetemperatur, i Stockholm (Boverket, 2012). Den ofrivilliga ventilationen kan antas obefintlig, då utrymmet ska vara helt tätt (Holmlind, H., personlig kommunikation, 2015). Tilluftstemperaturen ska bestämmas, men max-värdet är 45 °C. Ventilationens luftmängd ska också beräknas fram och bör erfarenhetsmässigt hamna mellan 1-2 omsättningar per timme (Holmlind, H., personlig kommunikation, 2015).

$$T_{ute} = -16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{undertak} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{Bad} = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Köldbryggor = 5\% \text{ på summan av } U_i \times A_i$$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1000 \text{ J/kgK}$$

$$q_{ov} = 0 \text{ l/s}$$

$$V_{undertak} = 363 \text{ m}^3$$

$$T_{tilluft} = ? \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$q_v = ? \text{ l/s}$$

Beräkning av värmebalansen

Värmeeffektbalansen för denna beräkning uttrycks enligt ekvation (1.3).

$$P_{t\ Ut} + P_{ov} = P_v + P_{t\ Bad} \quad (1.3)$$

P_{ov} = Oavsiktlig ventilation, för bort värme [W]

$P_{t\ Bad}$ =

= Transmission från badanläggning till ovan undertak, tillför värme [W]

$P_{t\ Ut}$ = Transmission från ovan undertak och ut, för bort värme [W]

P_v = Värmeeffektbehovet via ventilation, tillför värme [W]

Bryt ut P_v i ekvation (1.3) eftersom det är det värdet som ska beräknas fram. Då P_{ov} är lika med noll kan P_{ov} tas bort ur ekvationen.

$$P_v = P_{t\ Ut} - P_{t\ Bad} \quad (1.4)$$

För att beräkna värmetransmissionsförlusterna från ovan undertaket och ut behövs den specifika värmeförlustfaktorn, $Q_{t\ Ut}$, beräknas.

$$Q_{t\ Ut} = \sum_{i=1}^n (U_i \times A_i) \times (1 + 5\%) \quad (1.5)$$

U_i = Värmegenomgångskoeffisient för en byggnadsdel [W/m²K]

A_i = Byggnadsdelens invändiga area [m²]

När den specifika värmeförlustfaktorn, $Q_{t\ Ut}$, har beräknats kan värmetransmissionen från ovan undertaket och ut beräknas.

$$P_{t\ Ut} = Q_{t\ Ut} \times (T_{undertak} - T_{ute}) \quad (1.6)$$

$Q_{t\ Ut}$ = Specifika värmeförlustfaktorn [W/K]

$T_{undertak}$ = Lufttemperatur ovan undertak [°C]

T_{ute} = Uteluftens temperatur [°C]

Stoppa in värden, från förutsättningarna, i ekvation (1.5) samt (1.6) för att få fram $P_{t\ Ut}$.

$$Q_{t\ Ut} = \sum_{i=1}^n (U_i \times A_i) \times (1 + 5\%) = (0,18 \times 84,48 + 0,13 \times 330) \times (1 + 5\%) = 61,01 \text{ W/K}$$

$$P_{t\ Ut} = Q_{t\ Ut} \times (T_{undertak} - T_{ute}) = 61,01 \times (28 - (-16)) = 2684,5 \text{ W}$$

För att beräkna värmetransmissionsförlusterna från badanläggningen och till ovan undertaket behövs den specifika värmeförlustfaktorn, $Q_{t\ Bad}$, beräknas.

$$Q_{t\ Bad} = \sum_{i=1}^n (U_i \times A_i) \times (1 + 5\%) \quad (1.7)$$

U_i = Värmegenomgångskoeffisient för en byggnadsdel [W/m²K]

A_i = Byggnadsdelens invändiga area [m²]

När den specifika värmeförlustfaktorn, $Q_{t\,Bad}$, har beräknats kan värmetransmissionen från badanläggningen och till ovan undertaket beräknas.

$$P_{t\,Bad} = Q_{t\,Bad} \times (T_{Bad} - T_{undertak}) \quad (1.8)$$

$Q_{t\,Bad}$ = Specifika värmeförlustfaktorn [W/K]

$T_{undertak}$ = Lufttemperatur ovan undertak [°C]

T_{Bad} = Uteluftens temperatur [°C]

Stoppa in värdena, från förutsättningarna, i ekvation (1.7) samt (1.8) för att få fram $P_{t\,Bad}$.

$$Q_{t\,Bad} = \sum_{i=1}^n (U_i \times A_i) \times (1 + 5\%) = 0,78 \times 330 = 257,4 \text{ W/K}$$

$$P_{t\,Bad} = Q_{t\,Bad} \times (T_{Bad} - T_{undertak}) = 257,4 \times (31 - 28) = 772,2 \text{ W}$$

När både $P_{t\,Ut}$ och $P_{t\,Bad}$ har beräknats fram kan värmeeffektbehovet, P_v , beräknas med ekvation (1.4).

$$P_v = P_{t\,Ut} - P_{t\,Bad} = 2684,5 - 772,2 = 1912,32 \text{ W}$$

För att få en värmebalans vid dimensionerande utetemperatur -16°C krävs en effekt på 1 912,32 W från ventilationen.

Beräkning av tilluftstemperatur vid dimensionerande utetemperatur samt beräkning av tilluftsluftflöde

Av erfarenhet bör luftflödet hamna mellan 1-2 omsättningar per timme. Dessutom är den maximala tilluften 45°C, eftersom värmebatteriet inte klarar av att värma till en högre temperatur (Holmlind, H., personlig kommunikation, 2015). För att kunna få fram ett värde på tilluftstemperaturen, $T_{tilluft}$, samt luftflödet, q_v , används ekvation (1.9) och (1.10). Eftersom det då blir två obekanta i ekvationerna beräknas tre olika fall med bestämd tilluftstemperatur och luftflödet är obekant. Först beräknas ventilationens specifika värmeförlustfaktor, Q_v .

$$Q_v = \frac{P_v}{(T_{tilluft} - T_{undertak})} \quad (1.9)$$

P_v = Värmeeffektbehovet via ventilation, tillför värme [W]

$T_{undertak}$ = Lufttemperatur ovan undertak [°C]

$T_{tilluft}$ = Lufttemperatur ovan undertak [°C]

När ventilationens specifika värmeförlustfaktor har beräknats, så kan luftflödet, q_v , beräknas.

$$q_v = \frac{Q_v}{c_p \times \rho} \quad (1.10)$$

Q_v = Ventilationens specifika värmeförlustfaktor [W/K]

c_p = Luftens specifika värmekapacitet [J/KgK]

ρ = Luftens densitet [kg/m³]

Fall 1 $T_{\text{tilluft}}=45^\circ\text{C}$

Tilluftstemperaturen är vald till den maximala temperaturen. Sätt in värden i ekvation (1.9) för att få fram ventilationens specifika värmeförlustfaktor.

$$Q_v = \frac{P_v}{(T_{\text{till}} - T_{\text{undertak}})} = \frac{1912,316}{(45 - 28)} = 112,489 \text{ W/K}$$

För att beräkna luftflödet sätts värden in i ekvation (1.10).

$$q_v = \frac{Q_v}{c_p \times \rho} = \frac{112,489}{1,2 \times 1000} \times 1000 = 93,74 \text{ l/s}$$

För att få luftflödet i omsättningar per timme görs en enhetsomvandling till m³/h och därefter multipliceras det med volymen ovan undertaket.

$$q_v \times \frac{3600}{1000} \times V_{\text{undertak}} = 93,74 \times \frac{3600}{1000} \times 363 = 0,93 \text{ oms/h}$$

Vid en tilluftstemperatur på 45°C så blir luftomsättningen mindre än 1 omsättning per timma. Beräkningen visar att luftflödet kommer att klara värmetransmissionsförlusterna. Däremot finns det en risk att den inte klarar av att ventileras bort tillräckligt stor fuktmängd. Det måste kontrolleras med en beräkning som visar hur mycket fukt som ska ventileras bort.

Fall 2 $T_{\text{tilluft}}=40^\circ\text{C}$

Tilluftstemperaturen i fall 2 minskar med 5°C jämfört med fall 1. Sätt in värden i ekvation (1.9) för att få fram ventilationens specifika värmeförlustfaktor.

$$Q_v = \frac{P_v}{(T_{\text{till}} - T_{\text{undertak}})} = \frac{1912,316}{(40 - 28)} = 159,36 \text{ W/K}$$

För att beräkna luftflödet sätts värden in i ekvation (1.10).

$$q_v = \frac{Q_v}{c_p \times \rho} = \frac{159,36}{1,2 \times 1000} \times 1000 = 132,80 \text{ l/s}$$

För att få luftflödet i omsättningar per timme görs en enhetsomvandling till m³/h och därefter multipliceras det med volymen ovan undertaket.

$$q_v \times \frac{3600}{1000} \times V_{\text{undertak}} = 132,8 \times \frac{3600}{1000} \times 363 = 1,32 \text{ oms/h}$$

Vid en tilluftstemperatur på 40°C fås en omsättning inom spannet 1-2 omsättningar per timme. Den här omsättningen bör kontrolleras mot beräkningen som visar hur mycket fukt som måste ventileras bort.

Fall 3 $T_{\text{tilluft}}=35^{\circ}\text{C}$

Tilluftstemperaturen i fall 3 minskar med 5°C jämfört med fall 2. Sätt in värden i ekvation (1.9) för att få fram ventilationens specifika värmeförlustfaktor.

$$Q_v = \frac{P_v}{(T_{\text{till}} - T_{\text{undertak}})} = \frac{1912,316}{(35 - 28)} = 273,188 \text{ W/K}$$

För att beräkna luftflödet sätts värden in i ekvation (1.10).

$$q_v = \frac{Q_v}{c_p \times \rho} = \frac{273,188}{1,2 \times 1000} \times 1000 = 227,66 \text{ l/s}$$

För att få luftflödet i omsättningar per timme görs en enhetsomvandling till m^3/h och därefter multipliceras det med volymen ovan undertaket.

$$q_v \times \frac{3600}{1000} \times V_{\text{undertak}} = 227,66 \times \frac{3600}{1000} \times 363 = 2,26 \text{ oms/h}$$

Vid en tilluftstemperatur på 35°C fås en omsättning som är lite över 2 omsättningar per timme. Det vill säga att ventilationen troligen klarar av att få bort fukten som kommer upp ovan undertaket, men det måste kontrolleras med en beräkning som visar hur mycket fukt som ska ventileras bort.

Bilaga 8

Alternativ ångspärr, Alutrix 600

I Bilaga 8 beskrivs egenskaperna för en alternativ ångspärr som skulle kunna ha använts vid uppförandet av anläggningen i Tyresö och som kan användas vid liknande kommande projekt. Informationen i det här avsnittet är inhämtad från följande källor: (Takcentrum, 2015) och (Takcentrum Sverige AB, 2011)

Alutrix 600 är en radon- och ångspärr, som består av armerad aluminiumfolie och avdragbar skyddsfolie och har en självhäftande undersida. Tjockleken är 0,6mm. Ångspärren kan användas i de flesta miljöer men är speciellt framtagen för särskilt fuktiga miljöer såsom simhallar, restaurangkök, badrum och så vidare.

Den är lättapplicerad på de flesta underlagen, men vid applicering mot porösa underlag krävs särskilda monteringsanvisningar. Alutrix 600 har en hög rivningshållfasthet och klarar därmed att beträdas där den läggs på en korrugerad plåt utan att skador ska uppstå.

Det finns anvisningar om förvaring i visst temperaturintervall samt monteringsanvisningar som säger att skarvar ska ha en överlappning på minst 40 mm. Det måttet ökar dock till 150 mm om ångspärren läggs på profilerad plåt. Vid applicering på profilerad plåt är det även viktigt att ångspärren läggs i profilriktningen och att längdskarvarna har fullt stöd av profiltopparna. Skarvarna ska oavsett underlag förseglas genom användning av en handtryckrulle, alternativt genom varmluftssvetsning. Ångspärren är självtätande runt skruvar som används som infästning av isolering och tätskikt. Om anvisningarna följs kring förvaring och montering så uppges ångspärren vara absolut ångtät.