

Geotermisk förvärmning

Inventering, analys av mätdata vinter och
sommar samt dimensioneringsråd

Version: 1.0

Alla BeBo-rapporter finns att hitta på www.bebostad.se

2021:05

Per Kempe, PE Teknik&Arkitektur

Karin Lindström & Agneta Persson, Anthesis

Peter Karlsson, Aktea Energy

2021-12-30

Förord

BeBo (Energimyndighetens nätverk för energieffektiva flerbostadshus) har funnits sedan 1989 och är ett samarbete mellan Energimyndigheten och några av Sveriges största fastighetsägare på flerbostadshussidan.

BeBos aktiviteter ska genom en samlad beställarkompetens leda till att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten ska visa på goda exempel med effektiv energianvändning samtidigt som funktion och komfort inte försämras utan snarare förbättras.

Målet med denna förstudie har varit att samla in information från ca 15 GeoFTX-installationer från olika orter, och vi fick in information från ca 40 GeoFTX-installationer. Mätdata har insamlats och analyserats från 28 av dessa installationer under kall vinterperiod, främst januari-februari 2021, samt varma sommarmånader. Detta för att analysera funktionen för förvärmning och förkylning (återladdning) och för att besvara frågorna under vilka dimensioneringsförutsättningar fungerar de bra och när börjar de få brist i funktion.

Syftet med förstudien har varit att kunna ge fastighetsägare som är intresserade av GeoFTX mer detaljerade råd om dimensionering av förvärmning så att avfrostning inte inträffar eller inträffar ytterst sällan, samt hur man kan erhålla förkylning av ventilationsluften, för att minska risken för övertemperaturer i flerbostadshusen under värmebölja.

Förstudien är genomförd inom nätverket BeBo, med finansiering från Energimyndigheten. Det huvudsakliga arbetet i förstudien och rapportskrivningen har utförts av Per Kempe, PE, Teknik & Arkitektur AB. Karin Lindström, Anthesis, har bistått med rapportskrivandet och Agneta Persson, Anthesis, och Peter Karlsson, Aktea Energy, har kvalitetssäkrat innehållet.

Stort tack till fastighetsägare som bidragit med information, mätdata, diskussioner och deltagande i workshops.

Danderyd 2021-12-30

Per Kempe

Sammanfattning

Geotermisk förvärmning används främst för att spara värmeeffekt genom att undvika avfrostningscykler i FTX-aggregatets värmeväxlare, men det sparar även värmeenergi. Uppfuktningen av luft i bostäder gör att frånluftens fukt kondenserar och fryser på i bostads-FTX när utetemperaturen är några minusgrader och kallare. Denna kondensering och påfrysning skapar ökat tryckfall i värmeväxlaren, vilket kräver avfrostning.

Vid tvådelad sektionsavfrostning blir värmeåtervinningen ungefär halverad under avfrostningscykeln, vilket ger en stor ökning av värmeeffektbehovet. Finns det möjlighet till tre- eller fyrdelad sektionsavfrostning blir värmeeffektbehovet inte lika stort. Med geotermisk förvärmning undviks oftast behovet av avfrostning. Om tilluftsflödet dras ner för att minska avkylningen av frånluften och förhindra påfrysning, kommer det minskade luftflödet att ge inläckande luft i lägenheterna och den luften måste då värmas upp i lägenheterna.

Förstudien har hämtat in information från ca 40 GeoFTX-aggregat och mätdata från 28 av dessa GeoFTX-aggregat samt fyra FTX-aggregat försedda med elförvärmning till -2°C . Dessutom har mätdata från fyra FTX-aggregat utan förvärmning samt mätdata från åtta HSB-FTX-system som ingick i en utvärdering som genomfördes 2016/2017 analyserats. Den mätdata som redovisas i rapporten är den mätdata som har erhållits från respektive fastighetsägare. I vissa fall saknas en temperaturgivare eller en tryckgivare som skulle ha bidragit till att ge en bättre bild av hur ventilationsaggregatet fungerar.

Förstudien visar att fyra GeoFTX-aggregat är underdimensionerade och några av de analyserade GeoFTX-installationerna har en konstig styrning. I förstudien har det inte funnits tid att analysera konstigheter/avvikelser i mätdata eller på plats kontrollera hur installation ser ut.

För att minska risken för behov av avfrostning (brukarberoende) och ”spikar” på värmeeffektbehovet bör inkommande uteluft till ventilationsaggregatet förvärmas till minst -4°C vid dimensionerande utetemperatur. I Stockholm blir detta -16°C (DVUT (1 dygn)), vilket ger förvärmningseffekten $14,4\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ tilluftsflöde. Förvärmningen bör vara i drift när $T_{\text{ute}} < +3^{\circ}\text{C}$ med konstant köldbärarflöde och -effektivitet, för att klara mellanliggande driftfall och att kondens lättare avdunstar i värmeväxlaren.

GeoFTX belastar borrhålen med 30 - 40 W/löpmeter vid DVUT och behöver en inkommande köldbärartemperatur till förvärmaren på 3 - 4°C vid DVUT samt har ett temperaturfall på 3 - 4°C på förvärmaren. Under sommaren ger GeoFTX sval tilluftstemperatur (18 - 20°C) vid aggregatet om systemet är rätt dimensionerat och -styrt. Detta motsvarar några hundra Watt kyla per lägenhet, eftersom luftflödena är för små för att distribuera kyla. Det ger ändå ca 2°C svalare i lägenheter under värmebölja. Förkylningen sommartid innebär samtidigt att borrhålen återladdas med värme.

Executive summary

Geothermal preheating is used mainly to save heat power by avoiding defrosting, but also to save heat energy. The humidification of air in homes leads to the exhaust air moisture condensing and freezing in the residential AHU when the outdoor temperature is a few degrees below zero or colder. This condensation and freezing creates an increased pressure drop in the heat exchanger, which causes need for defrosting.

With two-part section defrosting, the heat recovery is approximately halved during the defrosting cycle and thus gives a large increase in the heat power requirement. For three- or four-part section defrosting, the heat effect need will not be as large. With geothermal preheating, defrosting is usually avoided. If the supply air flow is reduced to divide the cooling of the exhaust air, that air flow must leak in and then be heated in the apartments.

This feasibility study has received information from approximately 40 geothermal preheated AHU and monitored data from 28 geothermal preheated AH and 4 AHU with electric preheating to -2°C . In addition, measurement data from four AHU without preheating and measurement data from 8 "HSB-FTX" evaluated in 2016/2017 have been analysed. The reported monitored data is the monitored data that have been provided by the property owners, and it is in some cases missing a temperature sensor or a pressure sensor to give a better picture of how the ventilation unit works.

This feasibility study shows that four geothermal preheated AHU are undersized and some of the analysed installations have some kind of problems with the control system. This feasibility study has not allowed time to be spent on analysing deviations in the monitoring data or in situ check how the installation works.

To reduce the risk of defrosting (user dependence) and "nails" on the heat output requirement, the incoming outdoor air to the ventilation unit should be preheated to at least -4°C at design outdoor temperature. In Stockholm this corresponds to DVUT(1 day)- 16°C , which gives a preheating effect of $14.4\text{ kW} / (\text{m}^3/\text{s})$ supply air flow. The preheating should be in operation when $T_{\text{ute}} < +3^{\circ}\text{C}$ with constant brine flow and efficiency. This is to ascertain that the preheating can cope with intermediate operating cases and that condensation can evaporate more easily in the heat exchanger.

Geothermal preheating AHU loads the boreholes with 30 - 40 W/meter at design outdoor temperature and needs an incoming brine temperature to the preheater of $3 - 4^{\circ}\text{C}$ at design outdoor temperature and has a temperature drop of $3 - 4^{\circ}\text{C}$ on the preheater. During the summer, Geothermal preheating AHU provides cool supply air temperature ($18 - 20^{\circ}\text{C}$) at the unit if properly dimensioned and controlled. This corresponds to a few hundred Watts of cooling per apartment, as air flows are too small to distribute cooling. This provides still an approximately 2°C cooler temperature in apartments during heat waves. The summer cooling can simultaneously allow the boreholes to be recharged with heat.

Innehåll

Förord.....	2
Sammanfattning.....	3
Executive summary	4
Innehåll.....	5
1. Inledning.....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte och Mål.....	8
1.3 Genomförande.....	9
2. Teknisk bakgrund – FTX, GeoFTX, fukt och påfrysning	10
2.1 Funktionen hos FTX och GeoFTX.....	10
2.2 Påfrysning i bostadsFTX	15
3. Fysikaliska grunder för GeoFTX.....	18
3.1 Principiell funktion för FTX och GeoFTX.....	18
3.2 Temperaturer i FTX-aggregat	19
3.3 Hur påverkar T_{ute} och frånluftsRF?.....	21
4. Prestanda för GeoFTX	24
4.1 Temperaturer, fukt och tryckfall vid GeoFTX.....	24
4.2 Förkylning/återladdning.....	27
4.3 Borrhålskollektorer	27
4.4 Extra elenergi till fläktar och pumpar vid GeoFTX.....	28
5. Sammanställning av data från GeoFTX-system.....	30
6. Mätningar för att verifiera GeoFTX.....	33
7. Råd och rekommendationer för GeoFTX	34
8. Förslag på fortsatt arbete.....	36
9. Referenser.....	37
Beskrivning av bilagor.....	38
Bilaga 1 Fukttillskott i flerbostadshus	39
Bilaga 2 Mollier-diagram för GeoFTX, olika T_{ute}	43
Bilaga 3 Mollier-diagram – Elförvärmning till -2°C	46
Bilaga 4 Tryckfall över VVX vs T_{ute} , vinter.....	49
Bilaga 5 Korskorrelation T_{efv} vs T_{ute} , vinter.....	53
Bilaga 6 Korskorrelation avluftstemperatur vs T_{ute} , vinter	57
Bilaga 7 Tryckfall över plast-VVX vs T_{ute} med förvärmning (Polykarbonat eller liknande)	61
Bilaga 8 Tryckfall över plast-VVX vs T_{ute} utan förvärmning (Polykarbonat eller liknande)	65
Bilaga 9 Borrhålstemperaturer under vintern.....	66
Bilaga 10 Förkylning (återladdning).....	72

1. Inledning

1.1 Bakgrund

GeoFTX (även benämnt HSB FTX) är en geotermisk förvärmning som utnyttjar jordvärme (främst borrhål) för att minska FTX-ventilationens behov av värmeeffekt och -energi genom att undvika avfrostning.

Det finns fler än 30 GeoFTX-installationer hos BeBo-medlemmar. Ca en fjärdedel av dessa har driftproblem (avfrostningen går in), vilket ger ett ökat behov av värmeenergi och värmeeffekt.

FTX-tekniken innebär att värmeåtervinningen (V VX) överför en stor del av värmeenergin i frånluften till inkommande uteluft (som blir tilluft) och endast en mindre del eftervärmningsenergi behöver tillföras för att ge önskad tilluftstemperatur. För bostäder, som har ett relativt högt fuktinnehåll i frånluften, kommer fukten i frånluften att ge problem genom att kondensera i värmeåtervinningen (V VX) när utetemperaturen går mot noll. När det blir några minusgrader fryser kondensen på värmeväxларыtorna, med kraftigt ökat tryckfall över V VX. För att frost/is i V VX ska smälta och V VX återfå normal funktion behövs i dessa fall avfrostning. Avfrostning innebär ofta en halverad värmeåtervinning under avfrostningscykeln och då erfordras betydligt mer eftervärme för att hålla önskad tilluftstemperatur. Den energi som då behöver tillföras är dyr och produceras inte alltid på hållbart sätt. Det är detta som man vill undvika med geotermisk förvärmning.

Avfrostning begränsas och kan eventuellt undvikas om inkommande uteluft kan förvärmas till minst -4°C med exempelvis geoenergi. Men det finns FTX-aggregat med förvärmning till -2°C som erhållit avfrostning på grund av periodvis högre fuktavgivning i lägenheterna.

I ett GeoFTX-system värmer förvärmningsbatteri med hjälp av lågtempererad värme från borrhål och en pump som cirkulerar köldbäraren/vätskan. Sommartid kan förvärmningssystemet nyttjas som förkylningssystem av inkommande uteluft, så att tilluften till lägenheterna blir sval ($18 - 20^{\circ}\text{C}$). Detta motsvarar några hundra Watt kyla per lägenhet, eftersom luftflödena till bostäder är för små för att distribuera kyla. Det ger ändå cirka 2°C svalare i lägenheter under en värmebölja. Förkylningen sommartid innebär samtidigt att borrhålen återladdas med värme.

Den främsta fördelen med geotermisk förvärmning är att den sparar värmeeffekt och undviker avfrostningscykler, men den sparar även värmeenergi. I en utvärdering av sex HSB-FTX-system i Göteborg som genomfördes 2016–2017 redovisades en kostnadsbesparing med geotermisk förvärmning som till 2/3 kom från minskat

värmeeffektbehov (abonnemangskostnad) och 1/3 från minskad värmeenergianvändning. För fastighetsägaren är det alltså inte energibesparingen som är det viktigaste utan möjligheten att hålla nere byggnadens värmeeffektbehov. Lågt värmeeffektbehov är också fördelaktigt för energisystemet som helhet.

I några nyare energieffektiva flerbostadshus i Göteborg finns inte eftervärmebatterier installerade, så de var tvungna att installera elektrisk förvärmning till -2°C . De elektriska förvärmarna behöver ca 1 kWh/m^2 , år i extra elanvändning. Trots förvärmning till -2°C erhöles avfrostningscykler för några av FTX-aggregaten, vilka verkar bero på luftflödesbalansen och periodvis högre luftfuktighet i lägenheterna och frånluften. Med elektrisk förvärmning av inkommande uteluft i stället för GeoFTX tappar man möjligheten att förkyla inkommande uteluft, och därmed går man miste om möjligheten att erhålla sval tilluft under varma sommardagar.

Några BeBo-medlemmar planerar att använda GeoFTX i nya flerbostadshusprojekt, för att komma ner tillräckligt i energianvändning i nya mycket energieffektiva flerbostadshus. Det finns dock exempel från de senaste åren på system för GeoFTX som har blivit underdimensionerade, vilket har resulterat i ett kraftigt ökat värmeeffektbehov.

Viktiga frågor att analysera är: Hur är GeoFTX dimensionerad som erhållit avsedd funktion? Hur är de dimensionerade som har haft problem? Hur bör man dimensionera GeoFTX, för att minimera avfrostningsbehov? Hur ska förvärmningen dimensioneras för att fastighetsägaren ska erhålla en bra funktion till en rimlig kostnad (investering samt driftkostnad).

Här finns en kunskapsbrist i branschen, och ett stort behov av att få mer kunskap om hur GeoFTX-system ska dimensioneras för att täcka behovet och minska antalet avfrostningscykler, med exempel och dimensioneringsråd.

KTH genomför för närvarande ett E2B2-finansierat projekt där man teoretiskt med energiberäkningar analyserar styrstrategier för effektivare GeoFTX-system, vilket ska avslutas i december 2021. Den nu genomförda förstudien och KTH:s pågående projekt täcker tillsammans in både dimensionering och drift och skulle tillsammans kunna ge värdefulla kunskaper till fastighetsägare om hur man ska använda GeoFTX i byggnader, för att åstadkomma största möjliga nytta.

1.2 Syfte och Mål

Förstudien syftar till att

- Samla in information om vad som är installerat från cirka 15 GeoFTX-installationer från några orter.
- Hämta mätdata från ca hälften av dessa GeoFTX-installationer under kall vinterperiod exempelvis jan-feb 2021 samt varma sommarmånader för att analysera funktionen för förvärmning och förkylning (återladdning). (Både med tänkt funktion och med avvikelse från tänkt funktion)
- Ta fram mer detaljerade råd om dimensionering av förvärmning så avfrostning inte inträffar eller ytterst sällan, för att undvika värmeeffektspikar.
- Ta fram underlag om vad ett större projekt bör omfatta för att bättre kunna ta hänsyn till luftfuktigheten i frånluften och luftflödesbalansen, för att bättre kunna minimera avfrostningen. Hur stor påverkan har luftbubblor på KB-temperaturen från borrhålen? Hur påverkar nya borrhålskollektorer och KB-vätskor funktionen och temperaturer?

Målen med förstudien är att

- Ta fram information om hur de system för GeoFTX är dimensionerade som har undvikit problem med påfrysning och sparat värmeeffekt. Men även information om GeoFTX-installationer som har haft problem med avfrostning och ökat behov av värmeeffekt och värmeenergi.
- Analys av mätdata och visa på rätt/önskad funktion, men även vad som händer vid avvikelse i funktion.
- Resultaten ska sammanfattas på ett sådant sätt att de kan utgöra underlag för fastighetsägare inför dimensionering.
- Underlätta för konsulter att dimensionera GeoFTX för önskad funktion (utan (enstaka) avfrostningscykler).

Förstudien har också syftat till att ge underlag till vad en större studie bör omfatta att skapa en bättre förståelse för luftflödesbalansens och frånluftfuktens betydelse för att kunna dimensionera GeoFTX med ett minimum av avfrostning. Det vill säga vilken betydelse har det om det huvudsakligen är barnfamiljer eller ”personer som är 55+” som bor i flerbostadshuset med GeoFTX, vilka ger olika fukttillskott i flerbostadshuset. Hur stor påverkan har luftbubblor på KB-temperaturen från borrhålen? Hur påverkar nya borrhålskollektorer och KB-vätskor funktion och temperaturerna?

1.3 Genomförande

En referensgrupp bestående av fastighetsägare med ett särskilt intresse för GeoFTX har satts samman. Referensgruppens medlemmar rekryterades både bland BeBo-medlemmar och andra fastighetsägare som är mycket intresserade av GeoFTX. Deras roll i projektet har varit att belysa fastighetsägarperspektivet. (Tre Teamsmöten har genomförts: maj, slutet juni samt september)

Månad	
Maj	Insamling underlag från ca 15 GeoFTX-installationer från några orter. Den data som avses samlas in är: • Vad som är installerat: förvärmebatteri, antal borrhål, borrhålslängd ev. luftbubblor • Dimensioneringsunderlag (om tillgängligt) • Luftflöde samt byggnadens storlek (Atemp) • Ort/ dimensionerande utetemperaturen Hämta in mätdata från ca hälften av ovanstående GeoFTX-installationer och påbörja analys: • Detaljerade mätdata för ventilationsaggregat och förvärmning från vintern (främst från jan-feb 2021). En kort presentation av förstudien ges i samband med medlemsmöte i BeBo
Juni	Sammanställa underlagen samt analys vintermätdata. Hur fungerade GeoFTX i jan-feb 2021?
Augusti	Hämta in mätdata i slutet av augusti från sommaren samt analysera sommarmätdata
September	Fortsatt analys samt rapport med förslag på innehåll till större studie. En kort presentation av läget i förstudien ges i samband med medlemsmöte i BeBo
Oktober	Färdigställande av slutrapport

2. Teknisk bakgrund – FTX, GeoFTX, fukt och påfrysning

2.1 Funktionen hos FTX och GeoFTX

2.1.1 Skillnader mellan Alu-FTX och plast-FTX, med eller utan förvärmning

I figur 1–4 visas mätdata för FTX och GeoFTX funktion för kall period om två veckor med avseende temperaturer, styrsignaler, luftflöden, tryck etc.

Figur 1 och 2 visar mätdata för Alu-FTX (aluminium) och figur 3 och 4 visar mätdata för plast-VVX (polykarbonat eller likvärdigt). Plastväxlare har samma typ av kondensering och frostbildning, men plastytan gör att frost/fukt inte fäster på samma sätt i plast-VVX som för Alu-FTX.

För att visa installationernas funktion används BELOK Driftanalys (BELOK 2011) Databrowser, men även korskorrelation mellan olika signaler. Mätdata bör ha 5-minuter (2 - 10) samplingen. Tim-värden kan även användas, men då syns inte olika brister i funktion lika väl.

De olika diagrammen i figurerna nedan är:

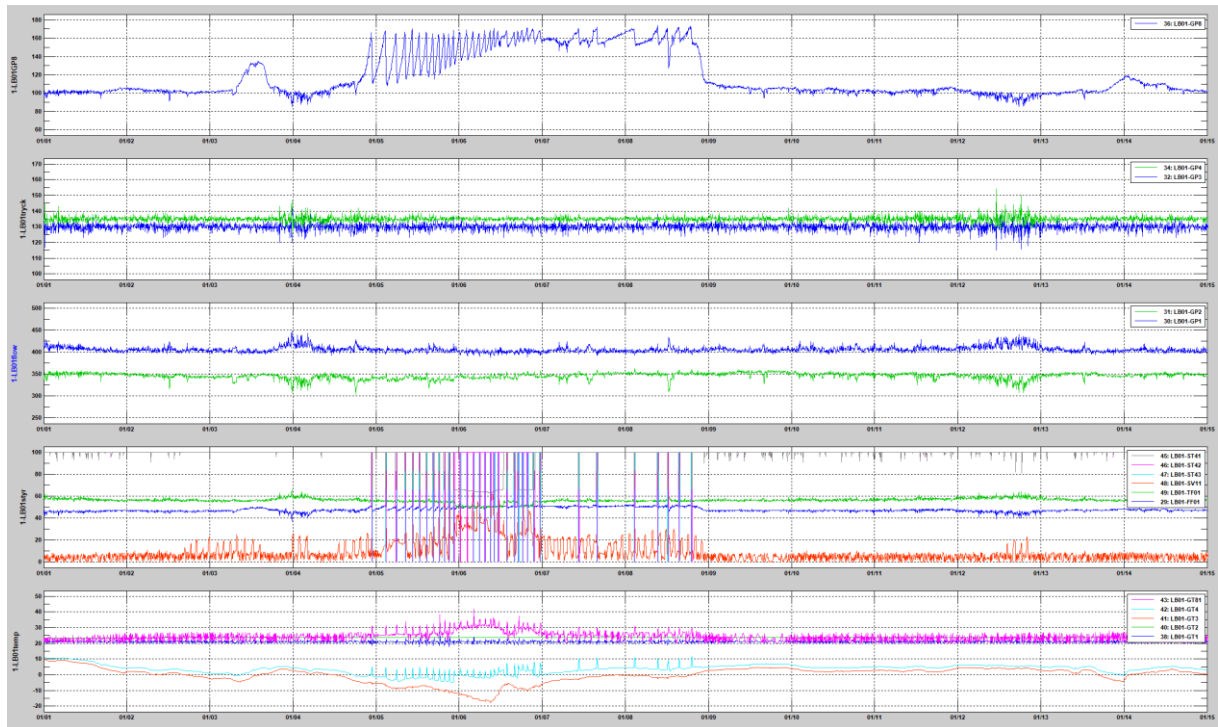
Nedersta diagrammet är temperatur i FTX-aggregatet.

Andra diagrammet nedifrån är styrsignaler, så att det ska vara enkelt att se sambandet mellan temperaturer och förändringar av styrsignaler.

Diagrammen ovanför är först luftflöden sedan tryck

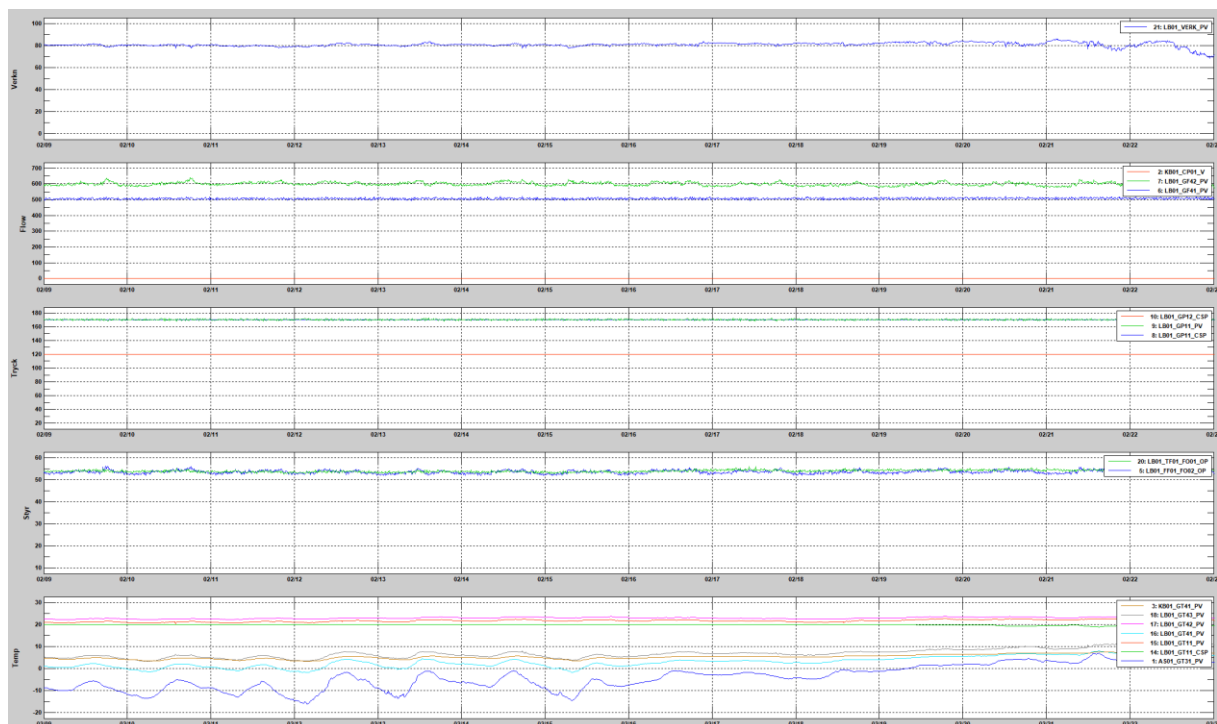
Högst upp kan vara uppmätt verkningsgrad, tryckfall över VVX eller annan intressant signal.

Titta efter när det börja ske förändringar och försök att förstå varför de sker.



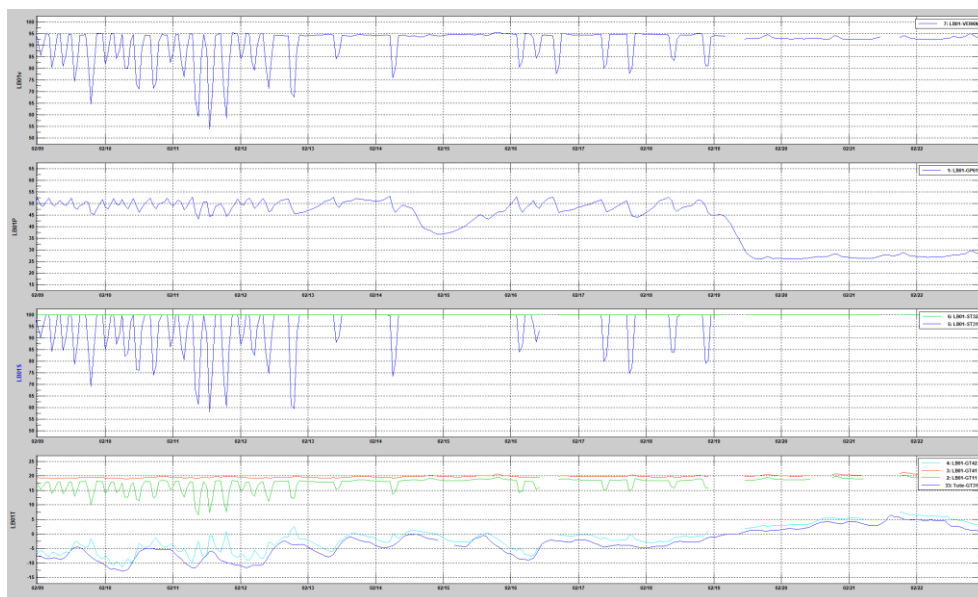
Figur 1: *FTX (Alu-VVX) utan förvärmning.*

I figur 1 översta delen av diagrammet ses hur tryckfallet över VVX frånluftssida byggs upp när det blir kallare ute (röd kurva i nedersta delen av diagrammet) och när tryckfallet blir tillräckligt stort startar avfrostningen med att halva VVX avfrostas, för att få bort is och kondens därefter andra halvan. Under avfrostningscykeln är värmeåtervinningen halverad och mer eftervärme erfordras för att hålla tilluftstemperaturen på önskad nivå. Under avfrostningscykeln sjunker tryckfallet över VVX. Det är detta som ger "taggigheten" i den översta delen av diagrammet, men även i temperaturdiagrammet längst ner och styrsignalerna näst längst ner.



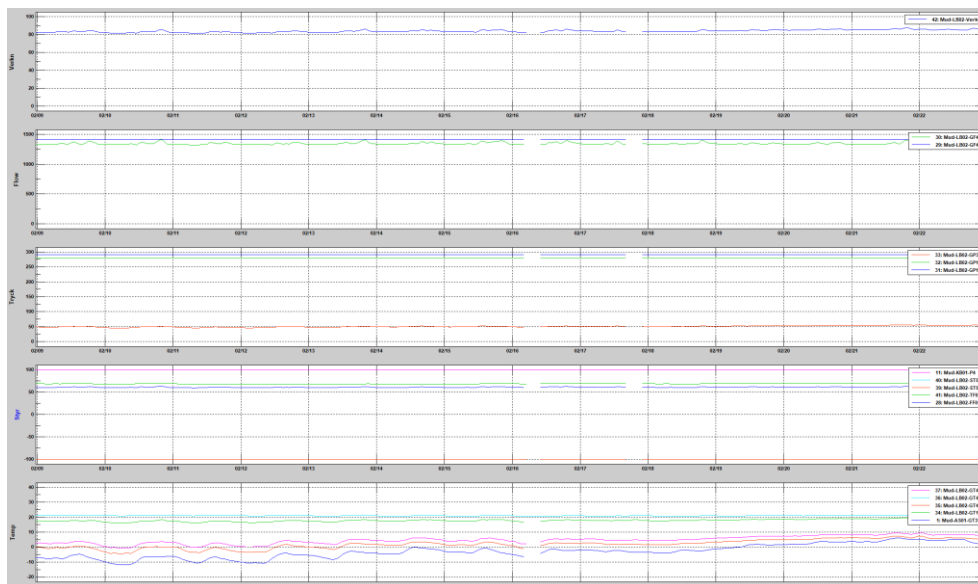
Figur 2: GeoFTX (Alu-VVX).

I diagrammen i figur 2, ses ingen avfrostning eftersom förvärmningen värmer inkommande uteluft till FTX-aggregatet tillräckligt, för att få bort (kraftigt begränsa) kondensutfällning och påfrysning på VVX. Så det går inte i figur 2 att se någon påverkan på tryckfallet över VVX, temperaturer eller styrsignaler.



Figur 3: FTX plast-VVX (Polykarbonat eller likvärdigt) utan förvärmning.

I den översta delen av diagrammet i figur 3 ses att VVX verkningsgrad påverkas av avfrostning och i den nedre kurvan i figuren ses påverkan på temperaturer och styrsignaler.

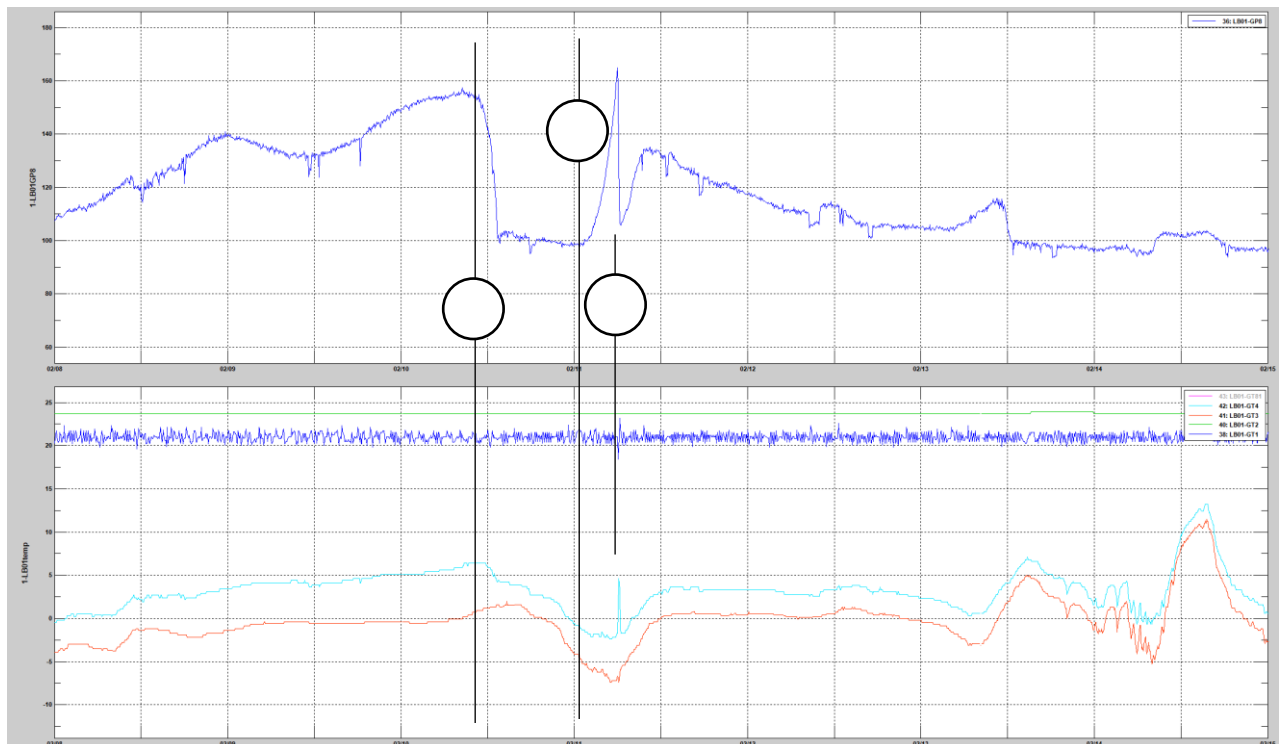


Figur 4: GeoFTX med plast-VVX (Polykarbonat eller likvärdigt).

I diagrammen i figur 4 ses ingen avfrostning, påverkan på temperaturer eller styrsignaler.

2.1.2 Exempel på hur utetemperaturen och trycket varierar för ett FTX-aggregat utan förvärmning

Den faktor som är okänd och som har en stor påverkan är frånluftens fuktinnehåll. Det är ytterst få FTX-aggregat som har mätning av frånluftsfukt trots att den har en stor påverkan för ventilationsaggregatets funktion när det är kallt ute. Frånluftens fuktinnehåll visas dock indirekt av avfrostningsfunktionen, genom påverkan på temperatur och tryckfall.



Figur 5: Tryckfallet över VVX beroende av T_{ute} och frånluftsfukt.

I figur 5 kan ses hur trycket över VVX (den översta blå kurvan) varierar med temperaturen på inkommande uteluft (röd kurva). Följande tre punkter på kurvorna är särskilt intressanta att iaktta:

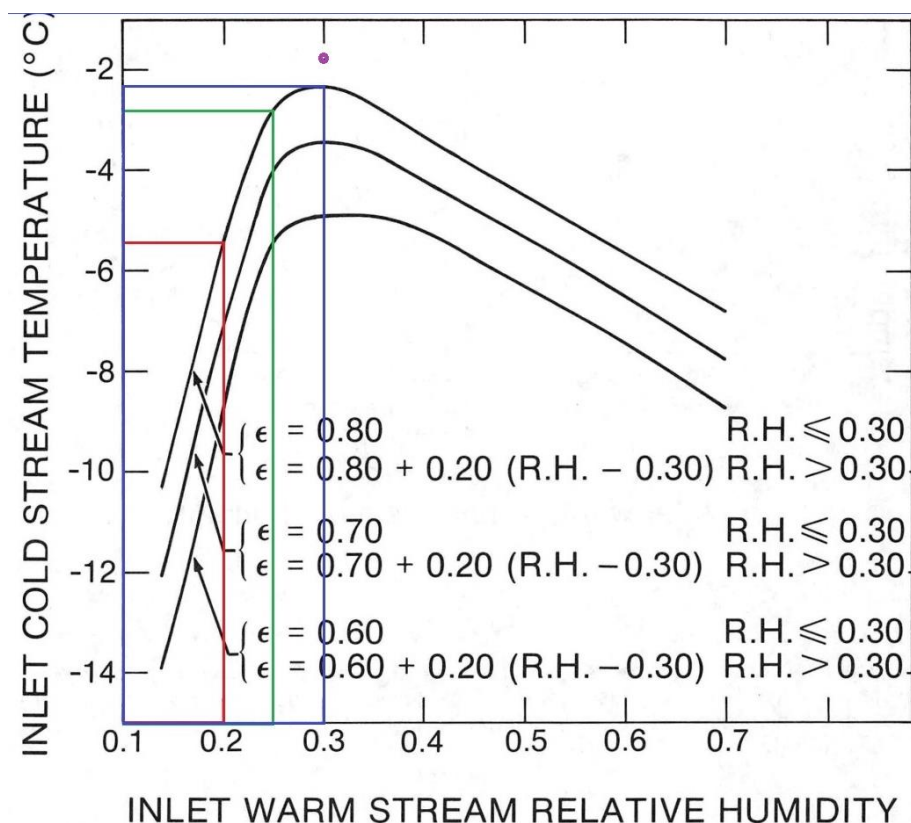
1. Den 10 februari kl.9 när inkommande utetemperatur blir ungefär 2°C sjunker trycket över VVX.
2. På kvällen den 10 februari när inkommande utetemperatur sjunker, stiger trycket över VVX under natten
3. Den 11 feb kl.6 initieras en avfrostningscykel. Därefter sjunker trycket långsamt då inkommande temperatur för uteluften blir $+1^{\circ}\text{C}$.

2.2 Påfrysning i bostadsFTX

Redan när utetemperaturen är några minusgrader finns risk att frånluftens fukt kondenserar i ventilationsaggregats värmeväxlare (VVX) och bygger upp frost/is på VVX-plåtarna, så att avfrostning kan behövas. När det inträffar, beror på frånluftens fukthåll och inkommande uteluftstemperatur i ventilationsaggregatet.

Figur 6 är hämtad från rapporten "Onset of freezing in residential air-to-air heat exchangers", LBL-18025, Fisk, W. et.al (1984), och är intressant eftersom den redovisar när påfrysning sker i värmeväxlare till bostadsventilationsaggregat vid olika inkommande utetemperaturer och olika frånluftsRF vid 20°C frånluftstemperatur.

En fördel med den rapporten är att de tar hänsyn till kondenseringsvärme i ventilationsvärmeväxlaren, VVX, vid frånlufts-RF över 25 %. När frånlufts-RF är över 30 % gör bidraget av kondenseringsvärme att inkommande utetemperatur kan vara lite lägre utan att det fryser i VVX.



Figur 6: LBL-18 025 figur 5 kompletterad med 4 punkter 80 % verkningsgrad RF 20 %, 25 %, 30 % samt 84 % verkningsgrad RF 30 % och luftflödesbalans. Detta för att tydligare visa på frånlufts-RF betydelse för påfrysning och avfrostning.

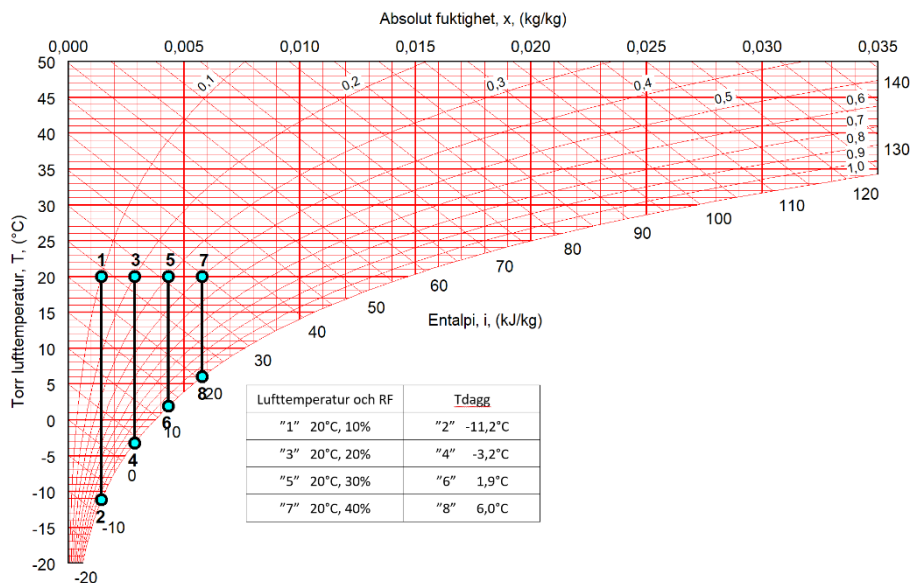
Figur 6 är kompletterad med fyra avläsningar, tre punkter för 80 % verkningsgrad med RF 20 %, 25 %, 30 % samt 84 % verkningsgrad RF 30 % med luftflödesbalans. Detta för att tydligare visa på frånlufts-RF betydelse.

Närstudie av figur 6 ger att

- Vid RF 20% sker påfrysning vid $-5,5^{\circ}\text{C}$ (röd linje)
- Vid RF 25% sker påfrysning vid $-2,8^{\circ}\text{C}$ (grön linje)
- Vid RF 30% sker påfrysning vid $-2,3^{\circ}\text{C}$ (blå linje)
- Om värmeväxlaren har något högre verkningsgrad, 84 %, ger det påfrysning vid $T_{\text{ute}} = -1,8^{\circ}\text{C}$ vid frånluftsRF 30% (lila punkt)

Andra typer av VVX (exempelvis plast) kan ge något andra samband, vilket dock inte tas upp i denna förstudie.

Det som påverkar om det blir kondensering/påfrysning i värmeväxlaren är frånluftens daggtemperatur, T_{dagg} . T_{dagg} kan beräknas med ekvationer eller avläsas i tabeller, men enklast kan den ses i ett Mollier-diagram. T_{dagg} , är den temperatur då fukt fälls ut ur luft med visst fukttinnehåll g fukt / kg torr luft. I figur 7 visas T_{dagg} för 20°C frånluft med fyra olika RF 10% – 40%. Underlag för dessa Mollier-figurer är tagna från Mollier Sketcher 2.1b, IV-produkt.



Figur 7: T_{dagg} för 20°C frånluft med fyra olika RF 10 % – 40 %.

Fuktalstringen, dX , (hygien, tvätt, matlagning, växter, etc.) av luften i flerbostadshus är vanligen i storleksordningen 1,5 - 2 g/kg luft, men den kan vara upp mot 2,5 g/kg luft där typ av brukare, men även typ av installerad tvätt- och torkutrustning har betydelse.

I bilaga 1 ges några exempel på underlag för fuktalstring i flerbostadshus och FrånluftsRF vs T_{ute} .

I tabell 1 nedan är fukthalt, RF och T_{dagg} framräknat. T_{dagg} är den temperatur som VVX-plåten bör vara varmare än, för att undvika kondensering, påfrysning och senare behov av avfrostning och ökat värmeeffektbehov.

Tabell 1: Utomhustemperatur -25°C – -5°C , RF 80% med dX 2 g/kg torr luft respektive 2,5 g/kg torr luft med resulterande Frånlufts-RF och T_{dagg} .

T_{ute} / RF ute	Xute g/kg luft	RF Till 20°C		dX 2 g/kg	RF Från 20°C	T_{dagg}		dX 2,5 g/kg	RF Från 20°C	T_{dagg}
-25°C , 80%	0,31	2,2%		2,31	16%	$-5,8^{\circ}\text{C}$		2,81	19,5%	$-3,5^{\circ}\text{C}$
-20°C , 80%	0,51	3,6%		2,51	17,4%	$-4,8^{\circ}\text{C}$		3,01	20,9%	$-2,7^{\circ}\text{C}$
-15°C , 80%	0,81	5,6%		2,81	19,5%	$-3,5^{\circ}\text{C}$		3,31	22,9%	$-1,6^{\circ}\text{C}$
-10°C , 80%	1,28	8,9%		3,28	22,7%	$-1,7^{\circ}\text{C}$		3,78	26,2%	$0,0^{\circ}\text{C}$
-5°C , 80%	1,98	13,8%		3,98	27,6%	$0,7^{\circ}\text{C}$		4,48	31,0%	$2,4^{\circ}\text{C}$

T_{dagg} ger vid vilken temperatur som det börjar kondensera och frysa på VVX-plåten, så man bör ligga över denna temperatur för att minska risken för avfrostning. Inkommande utelufts temperatur kan vara ca 2°C lägre än T_{dagg} /VVX-plåtens temperatur. Se figur 9.

3. Fysikaliska grunder för GeoFTX

3.1 Principiell funktion för FTX och GeoFTX

Ett sätt att undvika påfrysning är att tillse att inkommande uteluft inte blir så kall att frånluftens fukt kondenserar i värmeväxlaren (VVX) och bygger upp frost/is på VVX-plåten.

Detta kan åstadkommas med att värmeväxla inkommande uteluft mot berggrunden vid byggnaden via borrhålskollektorer, geotermisk förvärmning, GeoFTX. Berggrunden håller ungefär årsmedeltemperatur, så det är en lämplig värmekälla för att förvärma inkommande uteluft.

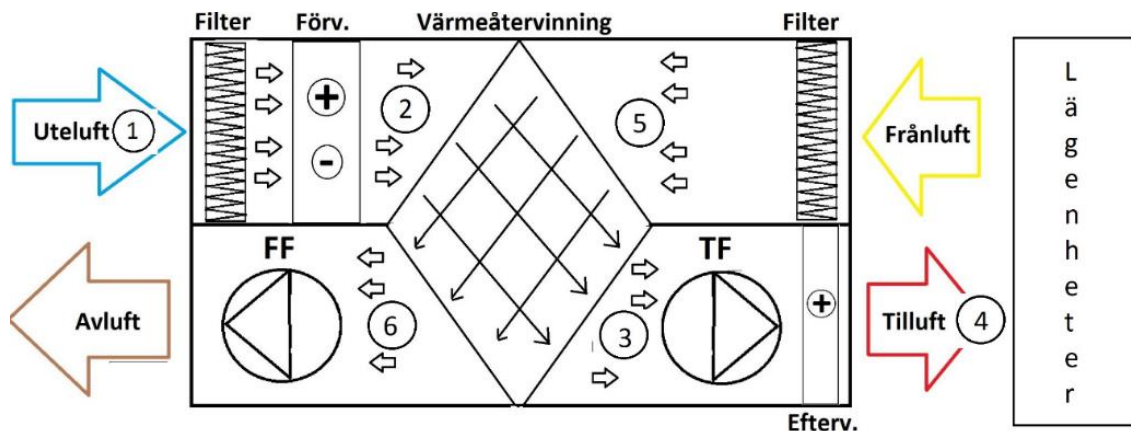
Det är viktigt att bergets temperatur runt borrhålen till GeoFTX är ”orörd”, dvs att värmepumpanläggning inte har kylt ner berget vid borrhålen för GeoFTX. Detta eftersom GeoFTX är känslig för temperaturnivåer.

Geotermisk förvärmning används främst för att spara värmeeffekt genom att undvika avfrostningscykler, men sparar även värmeenergi. Vid tvådelad sektionsavfrostning blir värmeåtervinningen ungefär halverad under avfrostningscykeln och ger därmed stor ökning av värmeeffektbehovet. Kan tre- eller fyrdelad sektionsavfrostning användas blir påverkan på värmeeffektbehovet inte lika stort. Med geotermisk förvärmning undviks avfrostning oftast helt. Om tilluftsflödet dras ner för att minska avkylningen av frånluften i ventilationsaggregatet, blir det undertryck i lägenheterna och uteluft läcker in i lägenheterna. Denna inläckande uteluft i lägenheterna måste värmas upp med lägenheternas värmesystem.

För att minska risken för avfrostning, som beror på fukttillskottet i flerbostadshusen (brukarberoende), bör inkommande uteluft till ventilationsaggregatet förvärmas till en temperatur något över de som visas i Figur 6 och tabell 1 vid dimensionerande utetemperatur. Därmed minskas även ”spikar” på värmeeffektbehovet.

Figur 8 (nedan) visar den principiella funktionen för ett FTX-aggregat, med de intressantaste temperaturerna markerade.

3.2 Temperaturer i FTX-aggregat



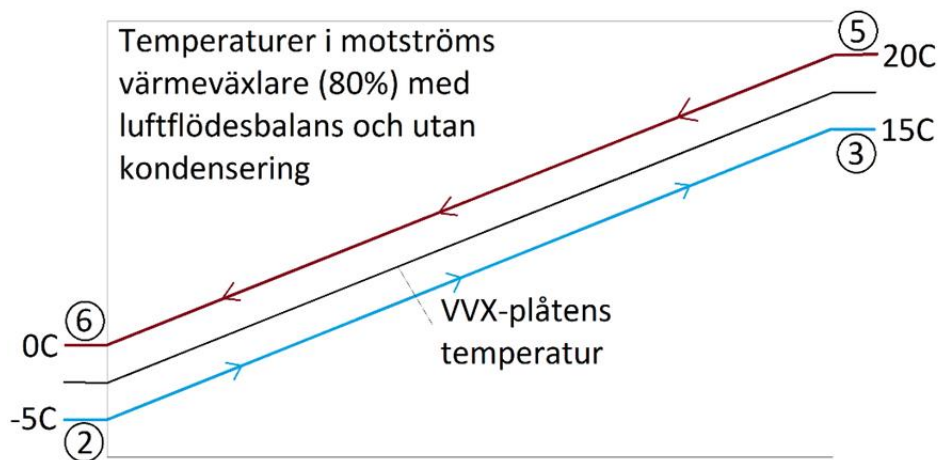
Temperaturerna i FTX-aggregatsfigurer

1	Inkommande utelufts temperatur (T_{ute})
2	Temperatur efter förvärmningsbatteri (T_{efv})
3	Temperatur efter värmeåtervinningen (T_{evvx})
4	Tilluftstemperatur (T_{till})
5	Frånluftstemperatur ($T_{från}$)
6	Avluftstemperatur (T_{avl})

Figur 8: Principskiss FTX-aggregat med de intressantaste temperaturerna.

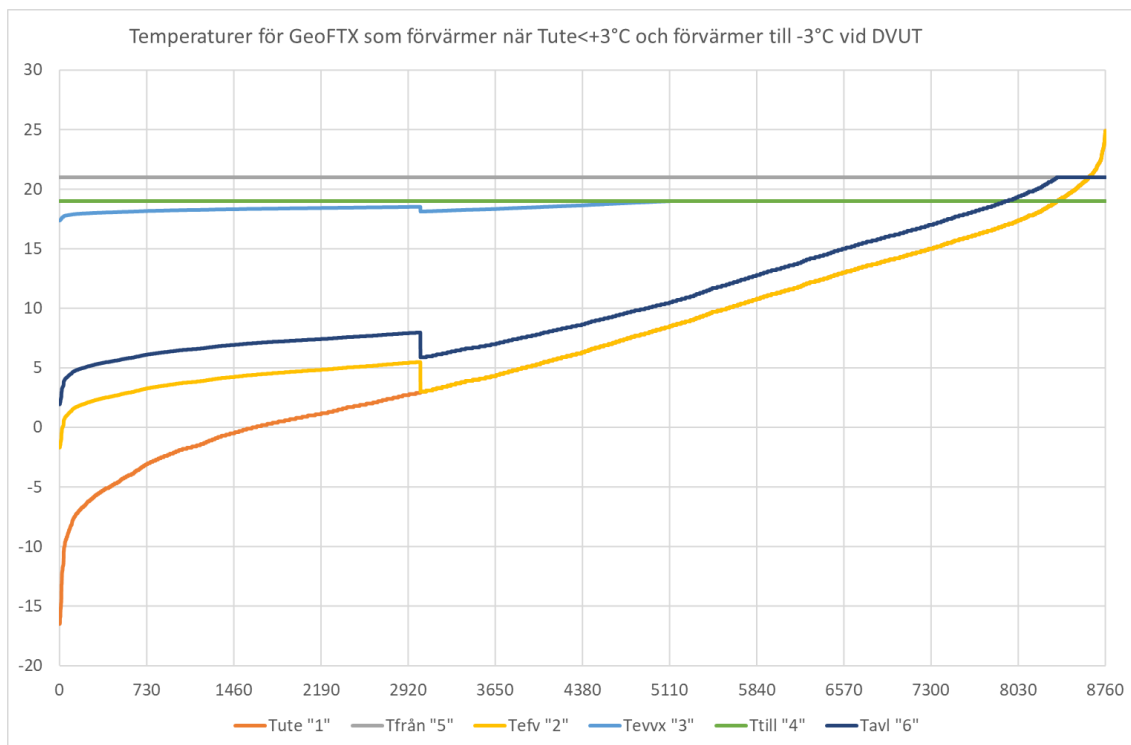
I figur 9 (nedan) visas temperaturerna i olika delar av en motströmsvärmväxlare. VVX-plåten har en temperatur ungefär mitt emellan från- och uteluft. VVX-plåtens temperatur varierar längs VVX mellan $-2,5^{\circ}\text{C}$ och $17,5^{\circ}\text{C}$. Med en högre verkningsgrad, 84%, och samma utetemperatur blir temperaturerna istället:

- På tilluftssidan varierar temperaturen mellan -5°C och 16°C
- På frånluftssidan varierar temperaturen mellan 20°C och -1°C
- VVX-plåtens temperatur varierar mellan -3°C och 18°C .

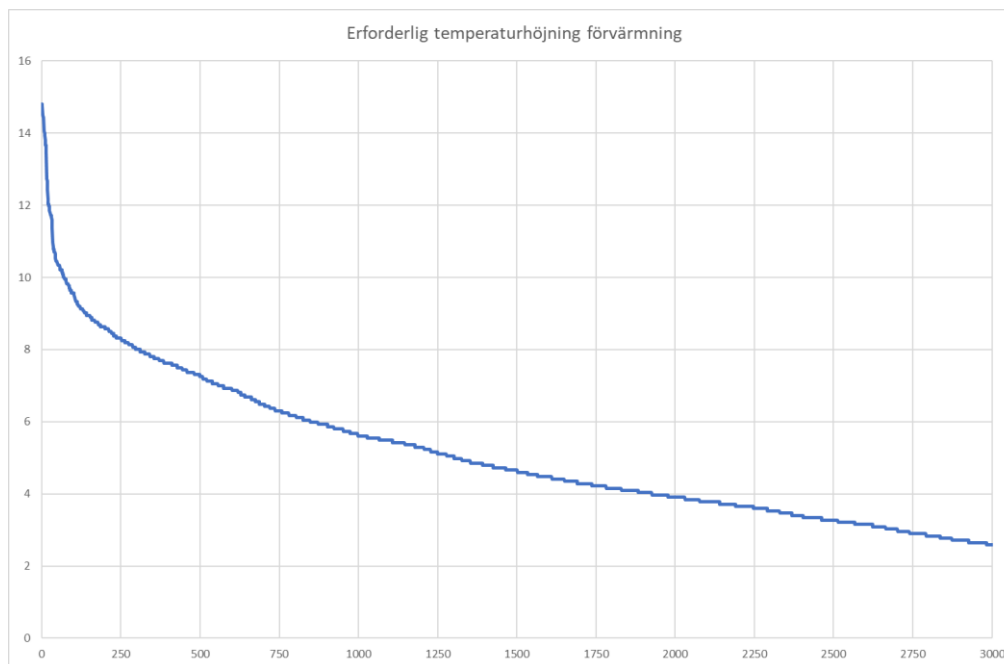


Figur 9: Exempel temperaturer i FTX (motströms-VVX).

Ett exempel på hur varaktigheten hos de temperaturer som är markerade i figur 8 kan se ut i ett GeoFTX-system visas i figur 10. Vid GeoFTX är eftervärmebehovet litet och kan beräknas som: Skillnad mellan grön och ljusblå kurva* 1,2*luftflödet.



Figur 10: Varaktighet temperaturer i FTX med förvärmning till +3°C.



Figur 11: Varaktighet temperaturökning över förvärmare till +3°C.

Figur 11 visar varaktigheten för den temperaturökning som sker med hjälp av förvärmaren, om denna ska ge en resulterande temperatur på +3°C. Det är endast kort tid som GeoFTX behöver ge maximal förvärmningseffekt. Huvuddelen av tiden är det mindre än halva förvärmeeffekten.

Förvärmningsbehovet kan beräknas som: temperaturökning * 1,2*luftflödet.

Vid luftflödesobalans blir temperaturerna något annorlunda. När ute-/tilluftsflödet är 90 % av frånluftsflödet kommer temperaturförändring på från-/avluften bli 90 % av ute/tilluftens temperaturförändring.

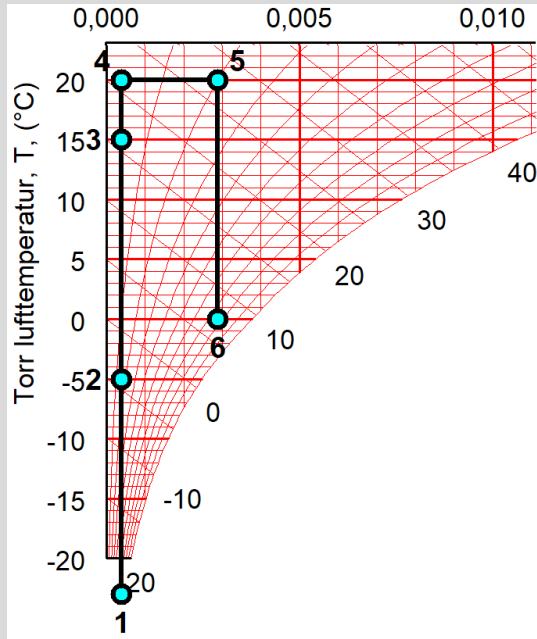
3.3 Hur påverkar T_{ute} och frånluftsRF?

Figur 12, exempel A-D visar exempel på Mollier-diagram för förutsättningarna:

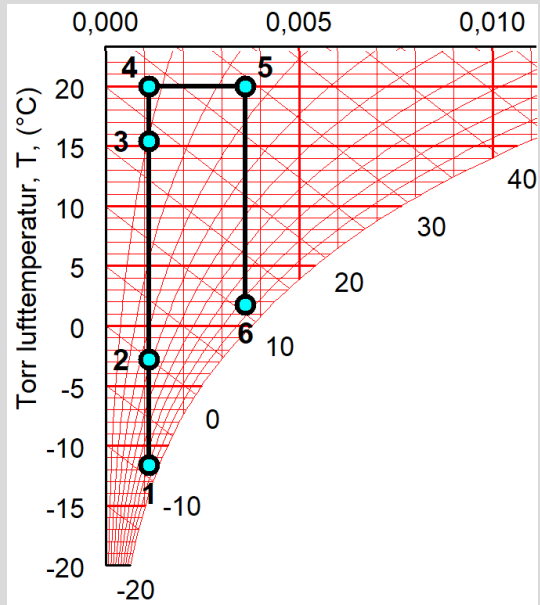
- Temperatur frånluft +20°C (samma för alla diagram A-D)
- Tre olika frånluftsRF: 20 % (A), 25 % (B) och 30 % (C-D)
- Fukthalstringen 2,5 g/kg torr luft i flerbostadshus (samma för alla diagram A-D)
- Verkningsgrad för värmeväxlaren 80 % (A-C) respektive 84 % (D)

Diagrammen visar vilka T_{ute} som erhålls för respektive frånluftsRF med uteRF 80 %, och vad det innebär det om verkningsgraden är något högre, till exempel 84 %.

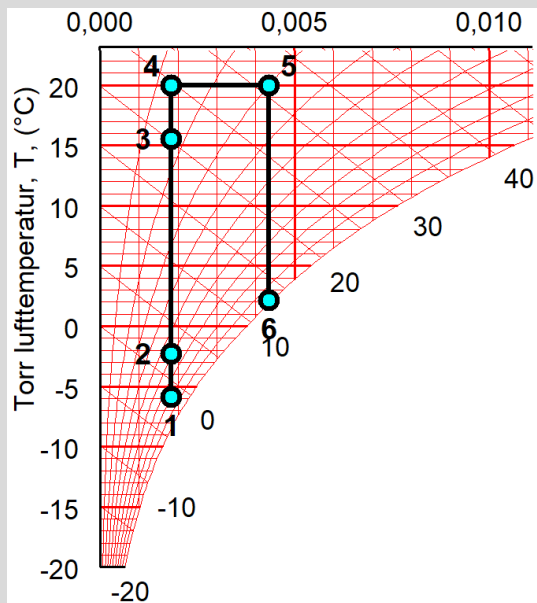
A. RF 20%, Verkn gr.80% => $T_{ute} -23^{\circ}\text{C}$,
 $T_{fv} -5^{\circ}\text{C}$



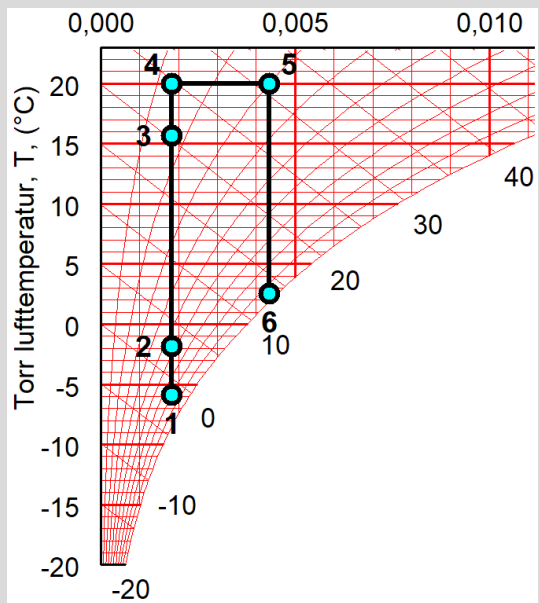
B. RF 25%, verkn.gr. 80%=> $T_{ute} -12^{\circ}\text{C}$,
 $T_{fv} -2,8^{\circ}\text{C}$



C. RF 30%, verkn.gr. 80%=> $T_{ute} -6^{\circ}\text{C}$,
 $T_{fv} -2,3^{\circ}\text{C}$



D. RF 30%, verkn.gr. 84%=> $T_{ute} -6^{\circ}\text{C}$,
 $T_{fv} -1,8^{\circ}\text{C}$

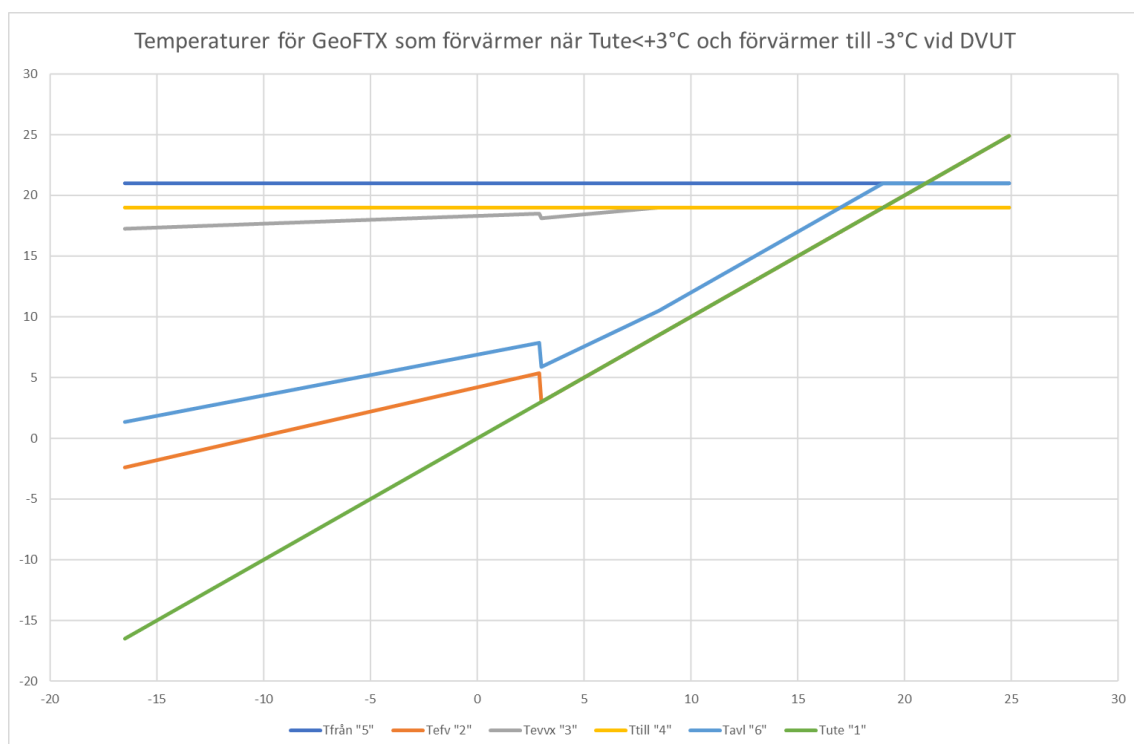


Figur 12: Mollier-diagram med 20°C frånluft med RF 20 %, 25 % respektive 30 % för att baklänges bestämma T_{ute} med RF 80 %.

Från de fyra fallen erhålls T_{ute} och förvärmningstemperaturer.

- A. Vid 20 % frånluftsRF erhålls $T_{ute} -23^{\circ}\text{C}$, $T_{fv} -5^{\circ}\text{C}$
- B. Vid 25 % frånluftsRF erhålls $T_{ute} -11,6^{\circ}\text{C}$, $T_{fv} -2,8^{\circ}\text{C}$
- C. Vid 30 % frånluftsRF erhålls $T_{ute} -5,9^{\circ}\text{C}$, $T_{fv} -2,3^{\circ}\text{C}$
- D. Med 84 % verkn.gr. och vid 30 % frånluftsRF erhålls $T_{ute} -5,9^{\circ}\text{C}$, $T_{fv} -1,8^{\circ}\text{C}$

I bilaga 3 är flera fall med GeoFTX uppritade i Mollier-diagram med uppfuktning 2,0 respektive 2,5 g/kg luft vid utetemperaturer mellan -20°C och 5°C samt i bilaga 4 är några fall uppritade med elförvärmning av FTX till -2°C . Detta är för att skapa en förståelse för hur T_{ute} och frånluftsRF påverkar.



Figur 13: Temperaturer i GeoFTX med förvärmning till $+3^{\circ}\text{C}$.

I figur 13 kan ses till vilken temperatur som det förvärms, om det vid DVUT förvärms till -3°C . Om man jämför med dagtemperaturerna T_{dagg} i Tabell 1, så kan man se att förvärmningskurvan i figur 13 har ca 2°C marginal mot kondens och påfrysning. Det innebär att om man har en bra styrning som utgår från T_{ute} och FrånluftsRF, kan man styra mot en kurva som ligger 1 - 2°C lägre.

Om önskad temperatur inte är möjlig att uppnå efter geoförvärmningen, så skulle man kunna komplettera med en extra förvärmare (el) efter geoförvärmningen som styr mot önskad förvärmningstemperatur som funktion av T_{ute} och FrånluftsRF. Då är det möjligt till en liten elanvändning reducera risken för avfrostning och mer eftervärme.

4. Prestanda för GeoFTX

4.1 Temperaturer, fukt och tryckfall vid GeoFTX

Förhållandet mellan temperaturer, fukt och tryckfall i GeoFTX-system illustreras med hjälp av mätdata från två liknande system.

Finnboda hamnplan har två ventilationsaggregat, LBo1 och LBo3, som betjänar strax över 40 lägenheter vardera. Ventilationsaggregaten har olika luftflödesbalans, 0,82 respektive 0,97 där intressanta skillnader kan iakttas. Notera att tryckfallet över värmeväxlaren ökar med fuktutfällning/påfrysning.

- LBo1, (0,97) erhåller ökat tryckfall över VVX, men inte tillräckligt för att avfrostningen ska aktiveras.
- LBo3 (0,82) erhåller inget ökat tryckfall över VVX, eftersom den större luftflödesobalansen ger en högre avluftstemperatur och därigenom mindre kondensering av frånluftsfukt.

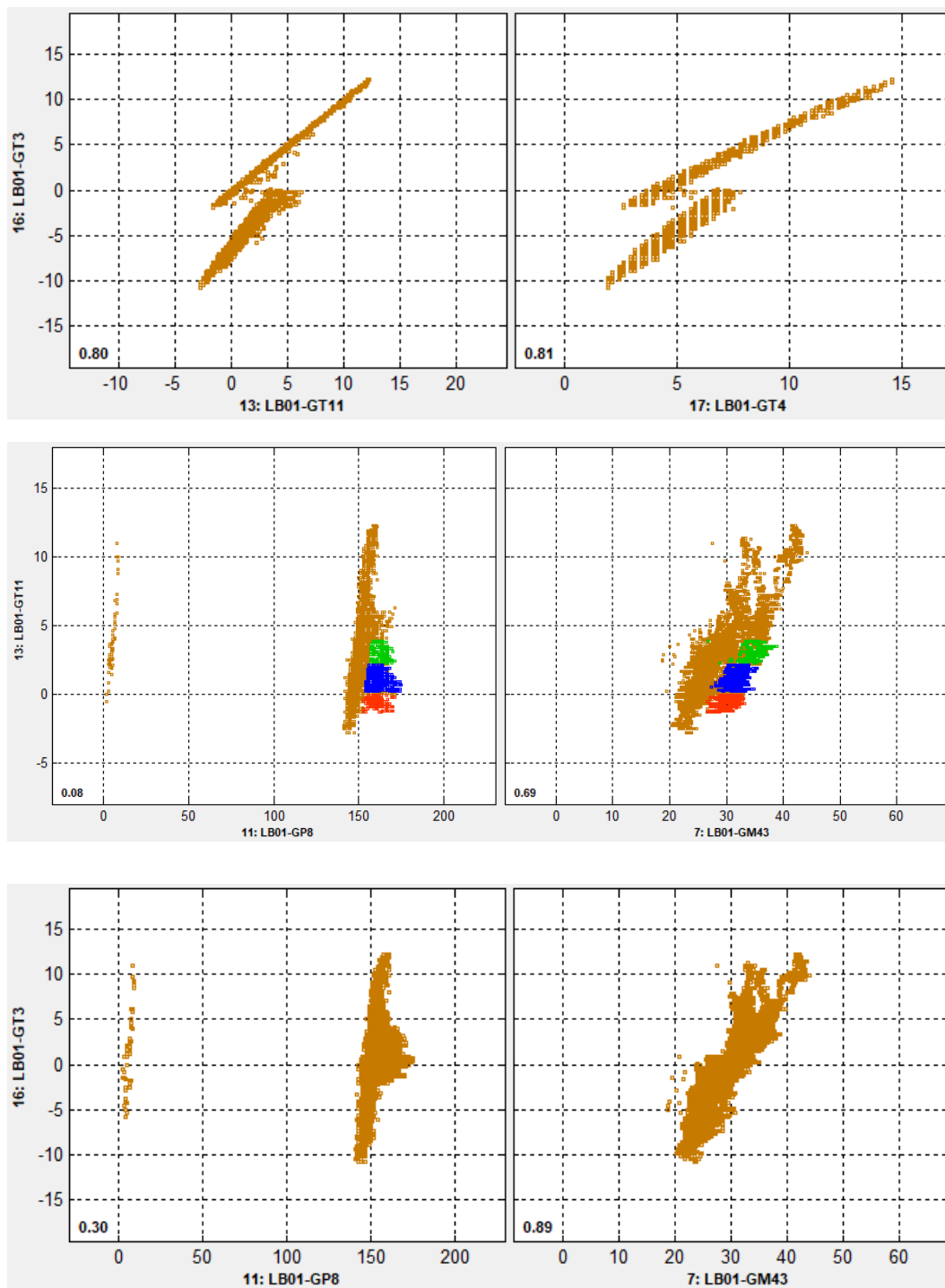
I figurerna 14 och 15 (nedan) kan ses:

- LBo1 (0,97) erhåller avluftstemperaturen 1,9°C respektive temperaturen efter förvärmningen -2,8°C.
- LBo3 (0,82) erhåller avluftstemperaturen 3,8°C respektive temperaturen efter förvärmningen -2,2°C.
- LBo1 har största ökningen i tryckfallet över VVX mellan T_{ute} -2°C och 4°C (trots GeoFTX). Med en förvärmning till 3 - 4°C skulle tryckfallet inte ha ökat.

Detta indikerar att vid en avluftstemperatur på 2°C ökar tryckfallet över VVX p.g.a. att fukt kondenserar i VVX men i detta fall starta inte avfrostningen, men vid en avluftstemperatur på 4°C ökar inte tryckfallet över VVX.

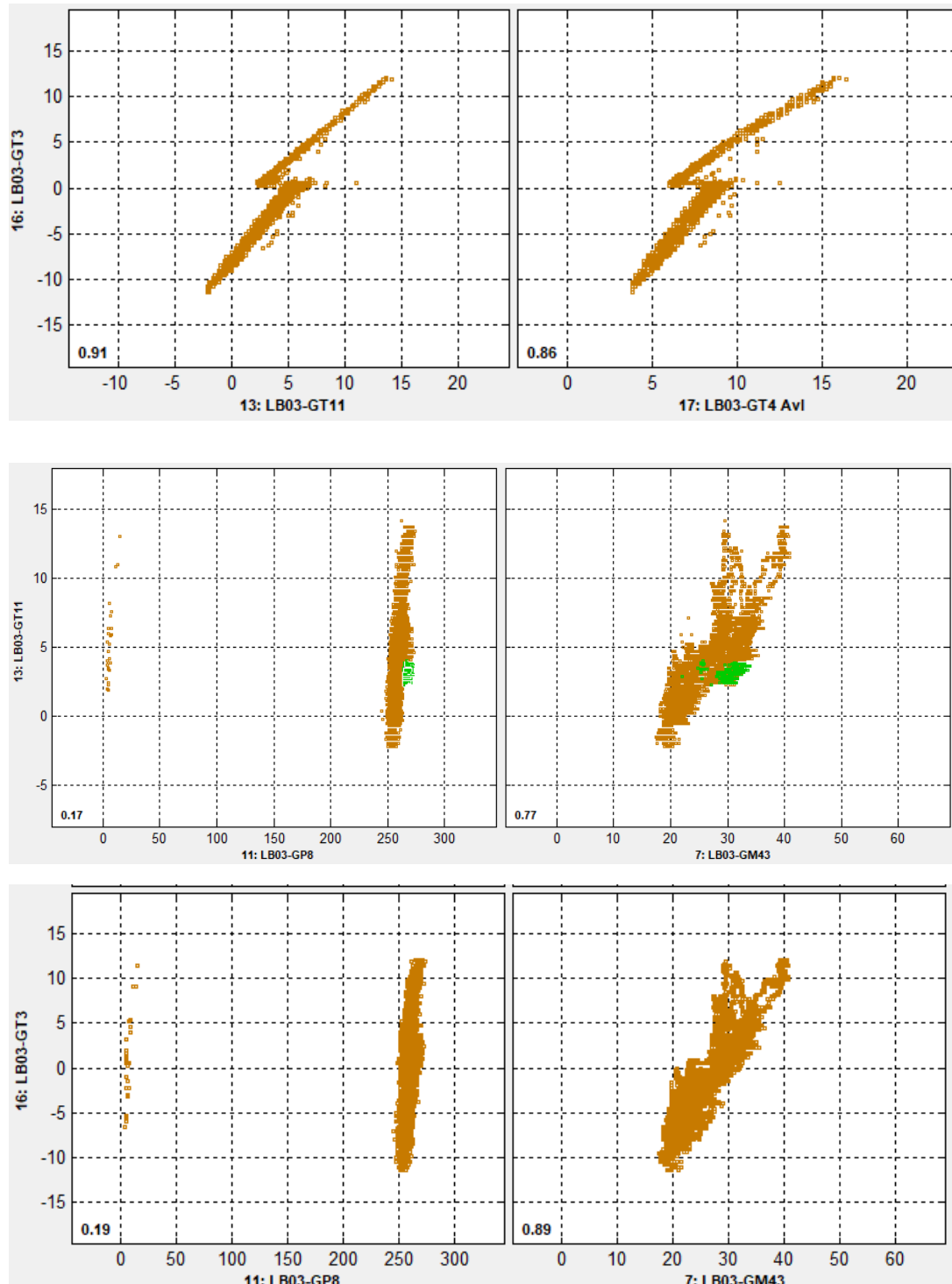
Vid en luftflödesobalans kommer ersättningsluft att läcka in i lägenheterna och ge ett värmeeffektbehov att värma upp den inläckande uteluften till rumstemperatur i lägenheterna.

LBO1 med luftflödesbalans 0,97.



Figur 14: LBO1 (0,97). Förvärmningstemperatur och avluftstemperatur vs T_{ute} . Tryckdifferensen över VVX samt frånluftRF vs temperatur förvärmad uteluft respektive T_{ute} .

LB03 med luftflödesbalans 0,82.



Figur 15: LB03 (0,82). Förvärmningstemperatur och avluftstemperatur vs T_{ute} . Tryckdifferens VVX samt frånluftRF vs temperatur förvärmad uteluft respektive T_{ute} .

4.2 Förkylning/återladdning

Det är möjligt att med förkylning sänka uteluftstemperaturen från ca 30°C till 18 - 20°C om GeoFTX är bra dimensionerad för förvärmning. Då erhålls sval tilluft från ventilationsaggregatet.

Max kyleffekten per m³ tilluft, som förkylningen ger i ventilationsaggregatet när det är 30°C ute, och om tilluftstemperaturen sänks till 19°C, är

$$(30 - 19) * 1,2 * 1 = 13,2 \text{ kW}$$

Detta motsvarar några hundra Watt kyla per lägenhet.

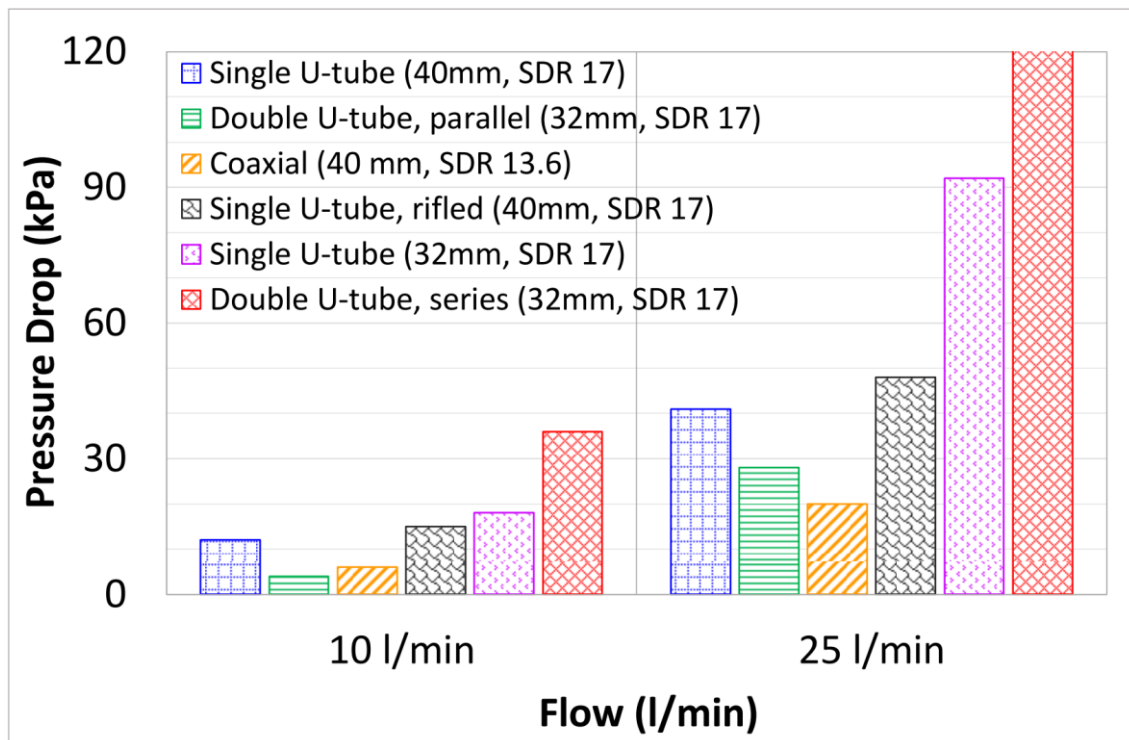
Vilken tilluftstemperatur och kyleffekt som erhålls i lägenheterna beror bland annat på vilken isolering tilluftssystemet har mellan ventilationsaggregatet och lägenheterna.

I bilaga 10 redovisas mätdata för förkylning av tilluften tillsammans med borrhålstemperaturer. De flesta GeoFTX har ca 11°C förkylning av inkommande uteluft till FTX-aggregatet när det är 30°C ute. Sedan finns det några underdimensionerade GeoFTX som erhåller ca 6°C förkylning av inkommande uteluft till FTX-aggregatet när det är 30°C ute.

4.3 Borrhålskollektorer

Enkel 40 mm U-rörskollektor är lämplig för 30 – 40 W/löpmeter borrhål. Är belastningen något högre är det bättre med två parallella 32 mm U-rörskollektorer.

Tryckfallet i kollektorn beror på typ av kollektor. Se figur 16.



Figur 16: Uppmätt tryckfall för 200 m kollektorslang av olika utförande med vatten som köldbärare (Javed 2018). Etanol 29 % har ca 25 % högre tryckfall.

Luftbubblor kan både förbättra och försämra värmeöverföringen i borrhålet. Det beror på hur det ser ut i borrhålet. Dvs. hur bubblorna påverkar den naturliga konvektionen i borrhålet har stor betydelse (Javed 2021).

När det gäller tryckfall är den bästa kollektorn 40 mm Coaxial, men de är betydligt dyrare, så det behövs en projektanpassad kalkyl för att avgöra om det är ekonomiskt fördelaktigt (Javed 2018).

För att teoretisk verifiera funktionen för GeoFTX behöver lösningen simuleras.

4.4 Extra elenergi till fläktar och pumpar vid GeoFTX

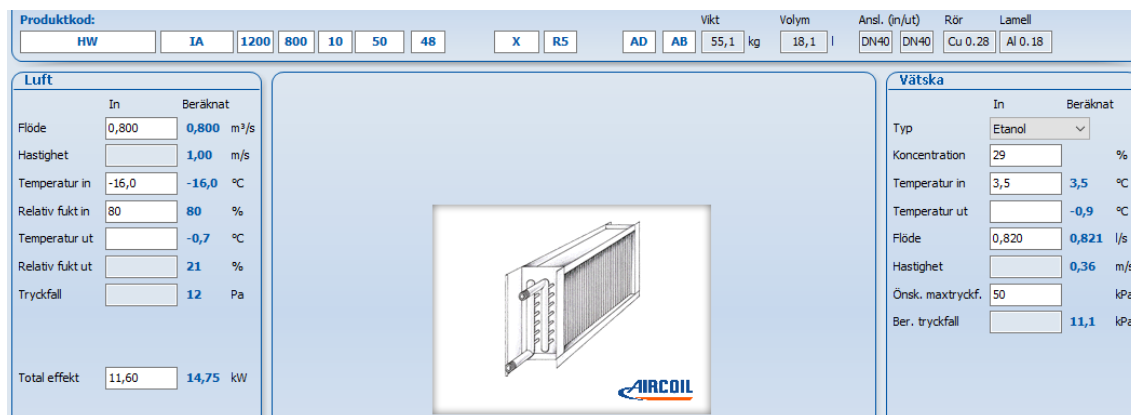
Drifftiderna till pumpar och fläktar till GeoFTX är:

- Extra fläktenergi erfordras hela året.
- Extra pumpenergi beror på vilken styrstrategi man väljer för förvärmning respektive förkyllning/återladdning.

I figur 10 kan man bedöma att drifftiden för förvärmning är ca 3 000 timmar, beroende på vilken utetemperatur man önskar att förvärmningen ska vara i drift till. Drifftiden

för förkylning/ återladdning är ca 1 500 timmar beroende på vilken temperatur man önskar kyla till.

Genom beräkning av förvärmningsbatteri med leverantörsprogram erhålls tryckfall över förvärmningsbatteriet på luft- och KB-sidan (vätska). Figur 17 illustrerar hur en sådan beräkning kan se ut.



Figur 17: Med beräkning av förvärmningsbatteri med leverantörsprogram erhålls tryckfall över förvärmningsbatteriet på luft- och KB-sidan (vätska).

Fläktelen beräknas som tryckfallet över batteriet dividerat med tilluftsfläktens verkningsgrad vid aktuellt flöde * 8 760 timmar. I ovanstående beräkningsexempel är fläktelen:

$$12/50 \% * 8\,760 \Rightarrow 210 \text{ kWh vid luftflödet } 0,8 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Detta motsvarar 0,1 kWh/m², år.

Pumpelen beror på tryckfallet över batteriet på KB-sidan, ventiler och rör i KB-kretsen samt borrhålskollektorn. Pumpens verkningsgrad beror på typ av pump och var den ligger i sitt arbetsområde, etc. och bör vara i storleksordningen 20 – 45 %.

Pumpelen beräknas som det totala tryckfallet i kretsen dividerat med pumpens verkningsgrad * drifttid. Exempelberäkning av pumpel, baserat på verkningsgraden 25 % och drifttid för värme och kyla enligt ovanstående uppskattningar (3 000 respektive 1 500 timmar per år):

$$100 * 0,8 / 25 \% * (3\,000 + 1\,500) = 1\,440 \text{ kWh}$$

Detta motsvarar 0,51 kWh/m², år.

5. Sammanställning av data från GeoFTX-system

Underlaget till bilagor och mätdata kommer från de fastighetsägare som har bidragit till denna förstudie, samt borrhålsfakta från SGU Brunnnsdata. I vissa fall har fastighetsägarna bristfällig koll på mätvärdena. Man tog tillvalet GeoFTX som entreprenören erbjöd. Underlag till siffrorna finns i Bilaga 4 – 10.

FrånluftsRF under vintern är viktig för värmeåtervinningens funktion, men det är ingen av de analyserade GeoFTX-systemen som har mätning av frånluftsRF, förutom de projekt som var med i utvärderingen av HSB-FTX 2016/2017 (Kempe 2017).

Luftflödesbalansen är också mycket viktig eftersom den påverkar avluftstemperaturen och därigenom risken för fuktutfällning och påfrysning i VVX. Luftflödesmätning på FTX-aggregaten saknas på en del av de GeoFTX-system som har ingått i denna förstudie.

Tabell 2: Underlag GeoFTX där mätdata inte har hämtats (av tidsskäl).

	DVUT	Luftflöde	Förv.energi vid värmning till -2C	Borrhåls- längd	Belastning borrhål DVUT	LPM/kbm	Effektivitet förvärmning
geoFTX 29	-16	2050	34440	1400	51,6	325,6	84%
geoFTX 30	-16	2250	37800				
geoFTX 31	-16	6855	115164	1600	72,0	233,4	84%
geoFTX 32	-18,1	837	16171	420	38,5	501,8	
geoFTX 33	-18,1	837	16171	420	38,5	501,8	
geoFTX 34	-18,1	1000	19320	600	32,2	600,0	
geoFTX 35	-18,1	1200	23184	600	38,6	500,0	
geoFTX 36	-18,1	990	19127	340	56,3	343,4	
geoFTX 37	-18,1	590	11399	300	38,0	508,5	
geoFTX 38	-18,9	790	16021,2	404	39,7	511,4	46%
geoFTX 39	-17,2	2300	41952	1000	41,952	434,8	
Därutöver har tre GeoFTX bytt driftorganssation och två geoFTX hade stora driftproblem, så de har varit frånslagna under vintern och sommaren							
Samt analysen 2017 av 8 HSB-FTX och fyra FTX utan förvärmning har beaktas							
Fyra FTX med elförvärmning till -2°C							

Tabell 3: Underlag GeoFTX som även bidragit med mätdata.

Sammanställning av GeoFTX som har bidragit med mätdata och mindre analys genomförd																	
	DVUT	Luftflöde	Förv.energi vid värmning till -2C	Borrhåls- längd	Belastning borrhål DVUT	LPM/kbm	Effektivitet förvärmning	Luftflödes- balans	Mätdata sommars	Mätdata vinter	sampl	Styrn förv	Förvärmn. Till/vid	Borrh. Temp	Förv DVUT	Avfrostning etc	VVX
geoFTX 1	-16	2200	36960	2100	37,3		52%	0,91	x	x	5 min	+2C / +6C	-4,4C / -14C	4,0C / 1,3C	-5,3C	Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 2	-16	3200	53760			388,9	52%	0,87	x	x	5 min	+5C / +6C	-3,0C / -12,5C	4,0C / 1,3C	-4,6C	Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 3	-15,5	1400	22680	495	45,8	353,6	58%	0,97	x	x	5 min	+1C	-2,8C / -10,8C	-	-6,0C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 4	-15,5	1800	29160	495	58,9	275,0	58%	0,82	x	x	5 min	+1C	-2,3C / -11,3C	-	-5,0C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 5	-18,1	560	10819	320	33,8	571,4	76%	0,92	x	x	10 min	+9C / +10C	-1,8C / -15,8C	3,5C / 1,0C	-2,8C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 6	-18,1	439	8481	416	20,4	947,6	68%	0,99	x	x	10 min	+8C ???	-3,8C / 15,8C	3,0C / 0,2C	-4,9C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 7	-16	800	13440	300	44,8	375,0	78%	???	x	x	1 tim	+3C / +4C	-3,2C / -12,5C	3,6C / -1,7C	-4,8C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 8	-16	???	48 kW	1600	30	???	???	???	x	x	1 tim	+5C / +6C	-7C / -11,8C	4,6C / 0C	-10C	Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 9	-16	1390				???	???	1,07	x	x	1 tim	+5C / +6C	-4,5C / -11,8C	4,5C / 1,8C	-7C	Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 10	-16	1980				???	???	2	x	x	1 tim	+5C / +6C	-5,0C / -11,8C	4,6C / 0C	-7,7C	Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 11	-16	???	???	1200	???	???	???	???	x	x	1 tim		-5,5C / -14C	5,0C / 0,0C	-6,5C	Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 12	-16	???	???		???	???	???	???	x	x	1 tim		-4,7C / -14C	5,0C / -1,0C	-5,7C	Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 13	-16	700	11760	420	28,0	600,0	78%	0,96	x	x	5 min	+3C / +5C	3,0C / -10C	3,8C / 2,0C	1,2C	4 ggr Tute<-10C, styrprob?	Alu
geoFTX 14	-16	710	11928	420	28,4	591,5	78%	0,73	x	x	5 min	+3C / +5C	2,8C / -11C	3,5C / 1,8C	0,8C	4 ggr Tute<-10C, styrprob?	Alu
geoFTX 15	-16	650	10920	420	26,0	646,2	78%	0,91	x	x	5 min	+3C / +5C	???	???	???	Mätdata saknas före 25 feb	Alu
geoFTX 16	-18,1	1700	32844	800	41,1	470,6	71%	0,99	x	x	10 min	+5C	-2,3C / -11C	4C / ???	???	Tute<-11C styrprob ???	Alu
geoFTX 17	-16	???	???	1400	???	???	???	???	x	x	1 tim	GeoFTX med frivärme från garage				En del avfrostrn	Plast
geoFTX 18	-16	???	???		???	???	???	???	x	x	1 tim					Ingen avfrostning	Plast
geoFTX 19	-16	???	???		???	???	???	???	x	x	1 tim					Avfrostrn under köldknäpp	Plast
geoFTX 20	-16	800	13440	200	67,2	250,0	32%	1,12	x	x	1 tim	+5C / +6C	-6C / -14C	3,5C / -2C	-7C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 21	-16	800	13440	200	67,2	250,0	32%	0,9	x	x	1 tim	+5C / +6C	-7C / -14C	3,5C / -2C	-8C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 22	-16	1100	18480	200	92,4	181,8	22%	1,00	x	x	1 tim	+5C / +6C	-7,5C / -12,6C	2C / -5C	-10C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 23	-16	1100	18480	200	92,4	181,8	22%	1,03	x	x	1 tim	+5C / +6C	-7,5C / -12,6C	2C / -5C	-10C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 24	-12,3	1370	16933	400	42,3	292,0	???	0,99		x	5 min	Steg 2 i värmning	Givare saknas	-	-	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 25	-12,3	2026	25041	400	63	197	???	1,07		x	5 min	Steg 2 i värmning	Givare saknas	-	-	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 26	-18,1	837	16171	402	40,2	480,3	64%	0,83		x	10 min	+9C / +10C	-1,2C / -14C	4,2C / 1,7C	-3,5C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 27	-18,9	790	16021,2	404	39,7	511,4	46%			x	5 min	0C / +4C	-2,5C / -12,5C	-	-5,0C	Bristfällig	Alu
geoFTX 28	-17,2	3500	63840	???	???	???	???	???		x	10 min					Bristfällig	

Tabell 4: Sorterad sammanställning av GeoFTX utifrån förvärmningstemperatur.

Sorterad sammanställning GeoFTX på förvärmningstemperatur											
	DVUT	Belastning borrhål DVUT	LPM/kbm	Effektivitet förvärmning	Luftflödes- balans	Styrn förv	Förvärmn. Till/vid	Borrh. Temp	Förv DVUT	Avfrostning etc	VVX
geoFTX 13	-16	28,0	600,0	78%	0,96	+3C / +5C	3,0C / -10C	3,8C / 2,0C	1,2C	4 ggr Tute<-10C, styrprob?	Alu
geoFTX 14	-16	28,4	591,5	78%	0,73	+3C / +5C	2,8C / -11C	3,5C / 1,8C	0,8C	4 ggr Tute<-10C, styrprob?	Alu
geoFTX 15	-16	26,0	646,2	78%	0,91	+3C / +5C	???	???	???	Mätdata saknas före 25 feb	Alu
geoFTX 5	-18,1	33,8	571,4	76%	0,92	+9C / +10C	-1,8C / -15,8C	3,5C / 1,0C	-2,8C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 26	-18,1	40,2	480,3	64%	0,83	+9C / +10C	-1,2C / -14C	4,2C / 1,7C	-3,5C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 7	-16	44,8	375,0	78%	???	+3C / +4C	-3,2C / -12,5C	3,6C / -1,7C	-4,8C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 6	-18,1	20,4	947,6	68%	0,99	+8C ???	-3,8C / -15,8C	3,0C / 0,2C	-4,9C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 3	-15,5	58,9	275,0	58%	0,82	+1C	-2,3C / -11,3C	-	-5,0C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 27	-18,9	39,7	511,4	46%	???	0C / +4C	-2,5C / -12,5C	-	-5,0C	Bristfällig	Alu
geoFTX 4	-15,5	45,8	353,6	58%	0,97	+1C	-2,8C / -10,8C	-	-6,0C	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 20	-16	67,2	250,0	32%	1,12	+5C / +6C	-6C / -14C	3,5C / -2C	-7C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 21	-16	67,2	250,0	32%	0,9	+5C / +6C	-7C / -14C	3,5C / -2C	-8C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 22	-16	92,4	181,8	22%	1,00	+5C / +6C	-7,5C / -12,6C	2C / -5C	-10C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 23	-16	92,4	181,8	22%	1,03	+5C / +6C	-7,5C / -12,6C	2C / -5C	-10C	Mycket avfrostrn, underdim förv	Alu
geoFTX 16	-18,1	41,1	470,6	71%	0,99	+5C	-2,3C / -11C	4C / ???	???	Tute<-11C styrprob ???	Alu
geoFTX 24	-12,3	42,3	292,0	???	0,99	Steg 2 i värmning	Givare saknas	-	-	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 25	-12,3	63	197	???	1,07	Steg 2 i värmning	Givare saknas	-	-	Ingen avfrostning	Alu
geoFTX 28	-17,2	???	???	???	???					Bristfällig	

Tabell 5: Sammanställning av förkylningstemperaturer.

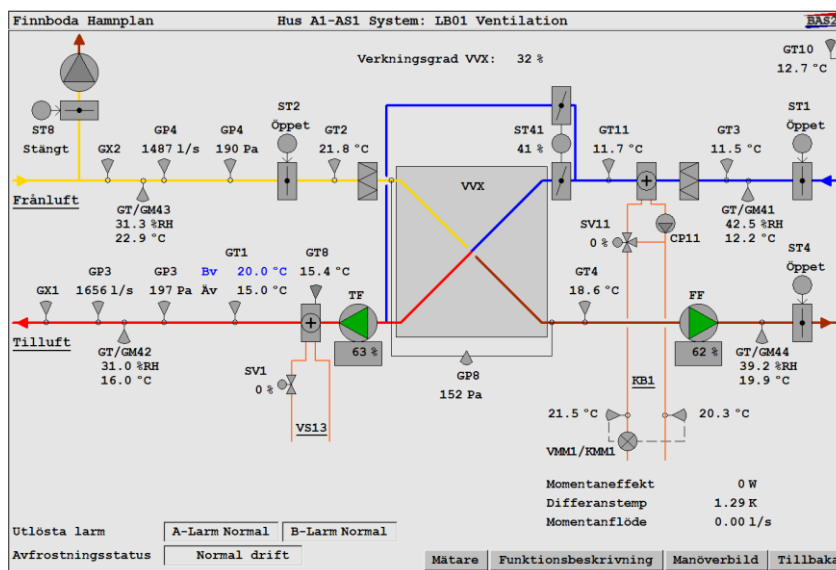
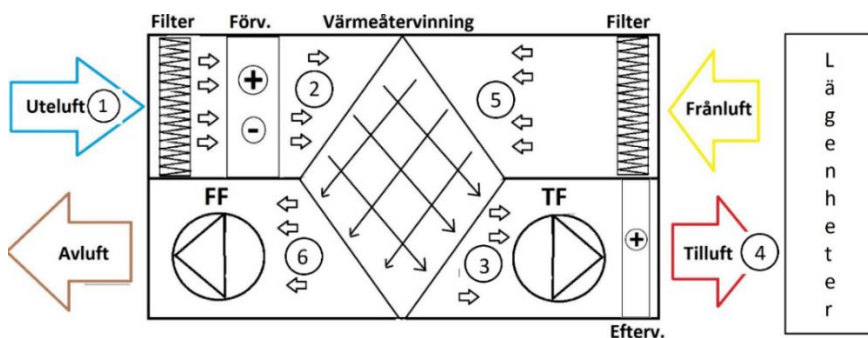
Sammanställning av temperaturer för förkylning GeoFTX										
	DVUT	Luftflöde	Förv.energi vid värmning till -2C	Borrhåls- längd	Belastning borrhål DVUT	LPM/kbm	Effektivitet förvärmning	Luftflödes- balans	Förkylning Till/vid	Borrh. Temp
geoFTX 1	-16	2200	36960	2100	37,3		52%	0,91	11C / 30-31C	??
geoFTX 2	-16	3200	53760			388,9	52%	0,87	11C / 30-31C	??
geoFTX 3	-15,5	1400	22680	495	45,8	353,6	58%	0,97	11C / 30-31C	??
geoFTX 4	-15,5	1800	29160	495	58,9	275,0	58%	0,82	11C / 30-31C	??
geoFTX 5	-18,1	560	10819	320	33,8	571,4	76%	0,92	18C / 35C	14 / 17C
geoFTX 6	-18,1	439	8481	416	20,4	947,6	68%	0,99	11 - 12C / 30C	14 / 17C
geoFTX 7	-16	800	13440	300	44,8	375,0	78%	???	11 - 12C / 30C	15 / 19C
geoFTX 8	-16	???	48 kW	1600	30	???	???	???	7C / 30C	15 / 19C
geoFTX 9	-16	1390				???	???	1,07	9C / 30C	15 / 17C
geoFTX 10	-16	1980				???	???	2	7C / 30C	15 / 18C
geoFTX 11	-16	???				???	???	???	10C / 30C	13 / 18C
geoFTX 12	-16	???	???	1200	???	???	???	???	10C / 30C	13 / 18C
geoFTX 13	-16	700	11760	420	28,0	600,0	78%	0,96	??	??
geoFTX 14	-16	710	11928	420	28,4	591,5	78%	0,73	??	??
geoFTX 15	-16	650	10920	420	26,0	646,2	78%	0,91	??	??
geoFTX 16	-18,1	1700	32844	800	41,1	470,6	71%	0,99	7C / 30C	15 / 18C
geoFTX 17	-16	???	???	1400	???	???	???	???	7C / 30C	13 / 15C
geoFTX 18	-16	???	???		???	???	???	???	7C / 30C	13 / 15C
geoFTX 19	-16	???	???		???	???	???	???	7C / 30C	13 / 15C
geoFTX 20	-16	800	13440		67,2	250,0	32%	1,12	7C / 30C	13 / 20C
geoFTX 21	-16	800	13440	200	67,2	250,0	32%	0,9	7C / 30C	12 / 21C
geoFTX 22	-16	1100	18480	200	92,4	181,8	22%	1,00	6C / 30C	13 / 22C
geoFTX 23	-16	1100	18480	200	92,4	181,8	22%	1,03	6C / 30C	13 / 21C

6. Mätningar för att verifiera GeoFTX

För att få en bra verifiering av funktionen hos ett GeoFTX-system behöver nedanstående signaler loggas (med 5-minuters tidsupplösning).

Tabell 6: Sammanställning av önskade mätdata.

UteluftsRF	T _{avl}	Tilluftsflöde	TF %
T _{efv}	T _{ute}	Frånluftsflöde	FF %
T _{evvx}	FrånluftsRF	Tillluftstryck	SV1 %
T _{till}	KB1fram	Frånluftstryck	Sv11 % / CP11
T _{från}	KB1retur	GP8 över VVX	ST41 %



7. Råd och rekommendationer för GeoFTX

Nedanstående råd och rekommendationer för GeoFTX utgår från det underlag som har inhämtats (insamlade data) i denna förstudie.

Tabell 7: Utifrån Tabell 1 och Figur 6 bör man vid 80 % verkningsgrad minst förvärma till T_{efv} vid T_{ute}

T_{ute}	-20°C	-15°C	-10°C	-5°C	0°C
T_{efv}	-5°C	-3,6°C	-2°C	0°C	2°C

För att minska risken för avfrostning (brukarberoende) och ”spikar” på värmeeffektbehovet bör inkommande uteluft till ventilationsaggregatet förvärmas till temperaturer enligt tabell 7. Detta innebär för Stockholm, som har DVUT(1 dygn) = -16°C, ett behov på förvärmning från -16°C till -4°C.

Det ger ett dimensionerande förvärmningseffektbehov per kubikmeter tilluftsflöde på minst

$$12^{\circ}\text{C} * 1,2 * 1,0 = 14,4 \text{ kW/m}^3 \text{ tilluftsflöde.}$$

Förvärmningen bör vara i drift när $T_{ute} < +3^{\circ}\text{C}$ med konstant KB-flöde och effektivitet. Detta för att förvärmningen ska klara mellanliggande driftfall och att kondens lättare ska avdunsta i VVX.

För att ha god kontroll på GeoFTX bör följande loggas:

- Utomhustemperaturen (T_{ute})
- FrånluftsRF
- Tryckfall över VVX
- Temperaturen efter förvärmningen (T_{efv})

Det går att ta ut 30 - 40 W/löpmeter aktivt borrhål med en 40 mm U-rörskollektor. Detta innebär att man behöver minst $14\,400 / (30 - 40) = 360 - 480$ löpmeter aktivt borrhål per m^3 tilluftsflöde. Detta fördelas lämpligen på två borrhål på 180 – 240 m.

Förvärmningsbatteriet bör placeras i ventilationsaggregatet mellan uteluftsfiltret och värmeväxlaren samt bör ha fronthastigheten 1,0 - 1,5 m/s.

Temperaturfallet på köldbärarvätskan i förvärmningsbatteriet bör vara runt $3,5^{\circ}\text{C}$ (3 - 4°C), vilket ger ett köldbärarflöde per kubikmeter tilluftsflöde på i storleksordningen

$$14\,400 / (0,96 * 4\,300 * 3,5) = 1,0 \text{ liter/sek, m}^3 \text{ luft.}$$

Detta innebär att i fallet med tilluftsflöde $1 \text{ m}^3/\text{s}$ erfordras två borrhål på 180 – 240 m, vilket ger köldbärarflödet 0,5 liter/sek, borrhål (30 liter/min).

Det är möjligt att med förkylning sänka uteluftstemperaturen från ca 30°C till 20°C , så att man erhåller en sval tilluft i ventilationsaggregatet. Vilken temperatur som erhålls i lägenheterna beror på vilken isolering tilluftssystemet har mellan ventilationsaggregatet och lägenheterna.

8. Förslag på fortsatt arbete

Här nedan lämnas några förslag till fortsatt arbete.

Initiera att frånluftsRF och T_{ute} loggas för bostadsFTX i flerbostadshus med information om flerbostadshuset och dess brukare

Detta för att få en bättre bild om hur fuktalstringen ser ut i olika flerbostadshus samt risk för avfrostningscykler. Nya mätdata kan besvara frågorna:

- Vilken betydelse har det om det huvudsakligen är barnfamiljer eller ”personer 55+” som bor i flerbostadshuset?
- Vad är det som ger huvuddelarna av fuktalstringen i flerbostadshus?
- Vilken typ av tvätt- och torkutrustning finns i lägenheter/flerbostadshus och vilken fuktalstring ger de? Är det skillnad om det finns tvättstuga i lägenheterna respektive gemensam tvättstuga?

Ta fram nytt underlag för ett större antal flerbostadshus för att få bättre underlag om sambandet mellan frånluftsRF och utomhustemperatur

Detta kan ge en kurva liknande W. Fisks diagram (figur 6), men nyttja tryckfallet över VVX som indikator för kondensering/påfrysning.

Utvärdering av nya flerbostadshus med goda möjligheter till mätning av luftflöden, luftflödesbalans, frånluftsRF, etc.

Här kan man analysera hur energianvändning påverkas i nya energieffektiva flerbostadshus. Detta för att Frånlufts-RF påverkar avfrostningen under vintern, vilket påverkar energianvändningen.

Förbättra KB-temperaturen från borrhålen

KB-temperaturen från borrhålen är viktig för GeoFTX eftersom den påverkar temperaturen efter förvärmningsbatteriet. Vad kan göras för att höja KB-temperaturen från borrhålet och minska pumpenergin? Hur påverkar typen av borrhålskollektor, vilken temperatur som kan erhållas från borrhålet vid kortvarigt (något/några dygn) med högre effektuttag?

Vilka för- och nackdelar har plast-VVX?

I plastvärmväxlare fäster inte kondens och frost på värmväxlarytor på samma sätt som i aluminiumvärmväxlare. Plastväxlare har haft avfrostningscykler men vid en något lägre uteluftstemperatur än för aluminiumväxlare. Vilka andra för och nackdelar finns med plast-VVX?

9. Referenser

BELOK Driftanalys (2011) <http://belok.se/verktyg-hjalp/driftanalys/>

Fisk, W. et.al (1984): Onset of freezing in residential air-to-air heat exchangers, LBL-18025,

Javed, S. (2018), Comparison of Performance and Effectiveness of Vertical Borehole Heat Exchanger Collectors, Chalmers, Building Services Engineering, 2018

Javed, S. (2021), Privat kommunikation 2021-10-20

Jensen, Lars (2010), Fukttillskott i frånluft, Rapport TVIT--10/7049 LTH 2010

Kempe, P. (2017): Utvärdera HSB-FTX för flerbostadshus - Funktion, energi- och effektbesparing Slutrapport Projekt 41003-1, Energimyndigheten
<https://www.bebostad.se/library/3362/slutrapport-projnr-41003-1-utvaerdera-hsb-ftx-foer-flerbostadshus.pdf>

Beskrivning av bilagor

I bilagor återges mätdata i de flesta fall med olika typer av diagram från BELOK Driftanalys. Totalt är det mätdata från ca 50 bostadsFTX av olika typer som har erhållits från de fastighetsägare som har bidragit till förstudien, tidigare analyser av GeoFTX (HSB-FTX), men även FTX utan förvärmning, samt med elektrisk förvärmning.

Det finns även ett FTX-aggregat som har förvärmning med värme (växlare med KB-krets kopplad till förvärmningsbatteri), men de har problem med loggningen. Därför finns ingen mätdata att analysera för det systemet.

Den redovisade mätdatan har erhållits från respektive fastighetsägare. I vissa fall saknas en temperaturgivare eller en tryckgivare, som skulle ha gett en bättre bild av hur ventilationsaggregatet fungerar.

Bilagorna utgör en "mätdatabas" som hänvisas till i rapporttexten.

Tidsupplösningen varierar mellan tim-data, 10-min-data och 5-min-data och det finns angivet i sammanställningen över GeoFTX-anläggningar, Avsnitt 5 Tabell 3

Förstudien bygger på material erhållet från respektive fastighetsägare samt tillgängligt material från tidigare studie (Kempe 2017). I förstudien har inte funnits tid att analysera "konstigheter"/avvikelser i mätdata eller att på plats kontrollera hur installationerna ser ut.

Bilaga 1 Fukttillskott i flerbostadshus

Det finns få undersökningar av frånlufts-RF och uppfuktning dX (g/kg luft) i flerbostadshus.

Fukttillskott i frånluft, Lars Jensen, Rapport TVIT--10/7049 LTH 2010

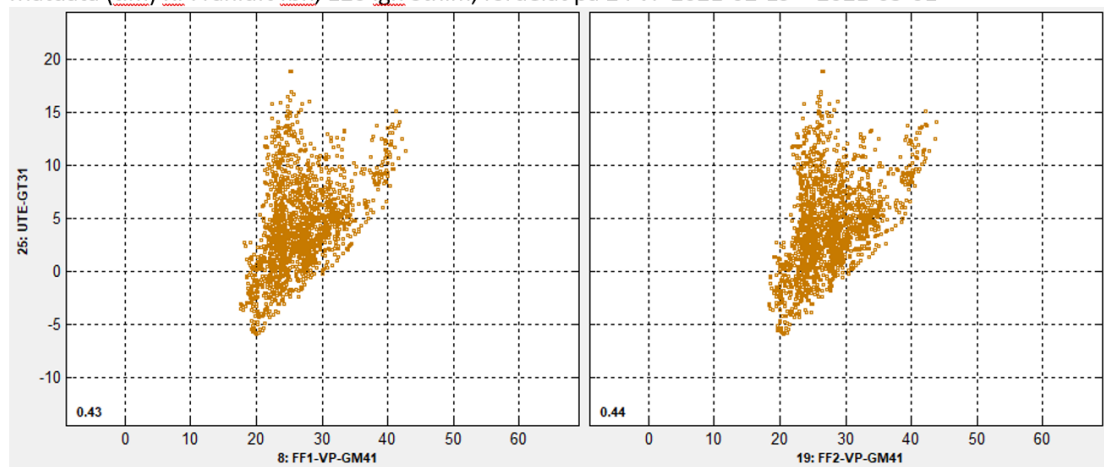
Mätningarna har genomförts under minst 365 dygn under 2008 och 2009 och finns tidigare beskrivna och bearbetade av Bagge, Johansson och Lindstri (2009) och (2010). Mätintervall var 30 min. De arton husen var fördelade på fyra orter Karlstad 5 st, Kiruna 5 st, Malmö 4 st och Sundsvall 4 st. Alla arton flerbostadshus var försedda med frånluftsventilation och frånluftsvärmepump. Mätningarna ingår i ett forskningsprojekt vars syfte är att undersöka om ventilationsflödet i ett flerbostadshus kan regleras efter personbelastningen för att minska energianvändningen och att få fram bra data på fukttillståndet i ett flerbostadshus för att kunna göra en bättre och säkrare fuktdimensionering och energiberäkningar. Personbelastningen i husen mättes indirekt med hjälp av CO_2 . Fukttillståndet i flerbostadshusen mättes med temperatur och relativ luftfuktighet i frånluften och uteluften.

Huvudslutsats för fukttillskott Medelvärde och standardavvikelse för fukttillskottet för alla hus blev 1,67 g/kg respektive 0,60 g/kg. Sannolikheten för att fukttillskottet är högre än 2, 2,5 och 3 g/kg kan med antagande om att fukttillskottet är normalfördelat kan beräknas till 0,29, 0,08 respektive 0,01.

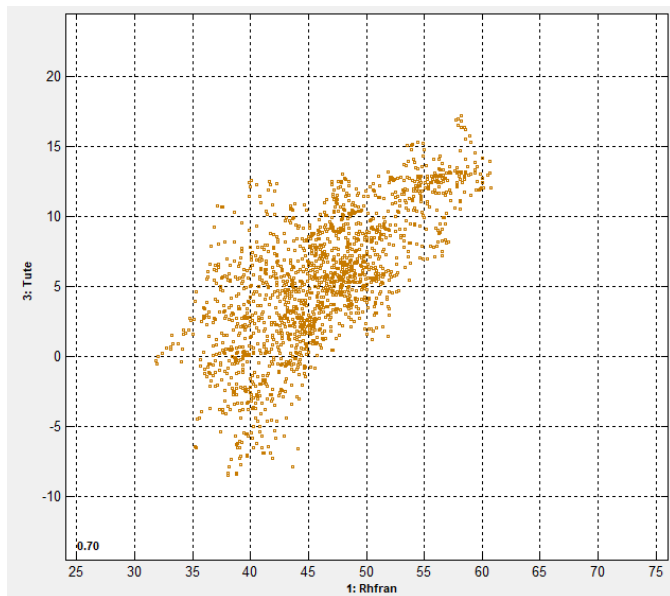
Det finns ett behov av mer mätdata av frånlufts-RF när kallt ute, för att kunna rita upp fler diagram liknande det nedan.

Vid fråga efter frånlufts-RF-mätdata erhöles mätdata från två flerbostadshus.

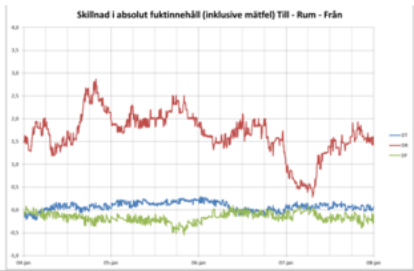
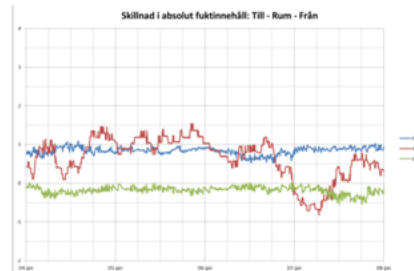
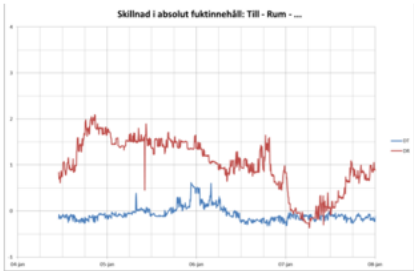
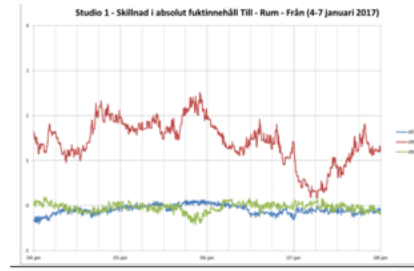
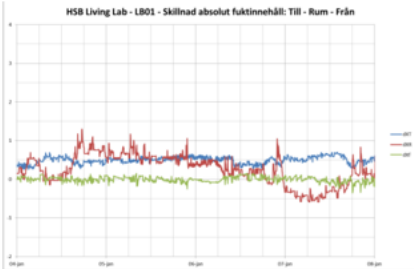
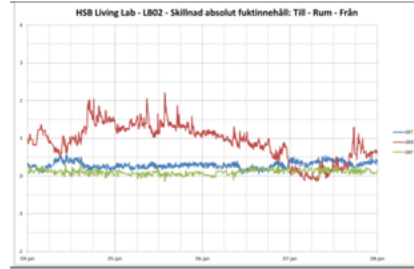
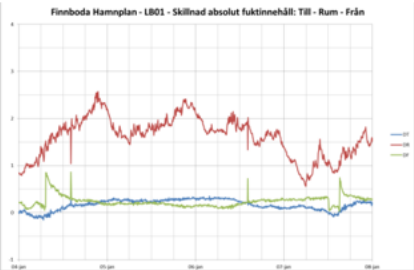
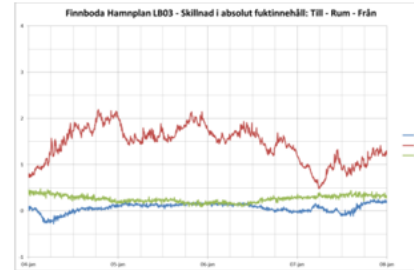
Mätdata (tim) R_f Frånluft fbh, 120 lgh Sthlm, fördelat på 2 FVP 2021-02-19 – 2021-05-01



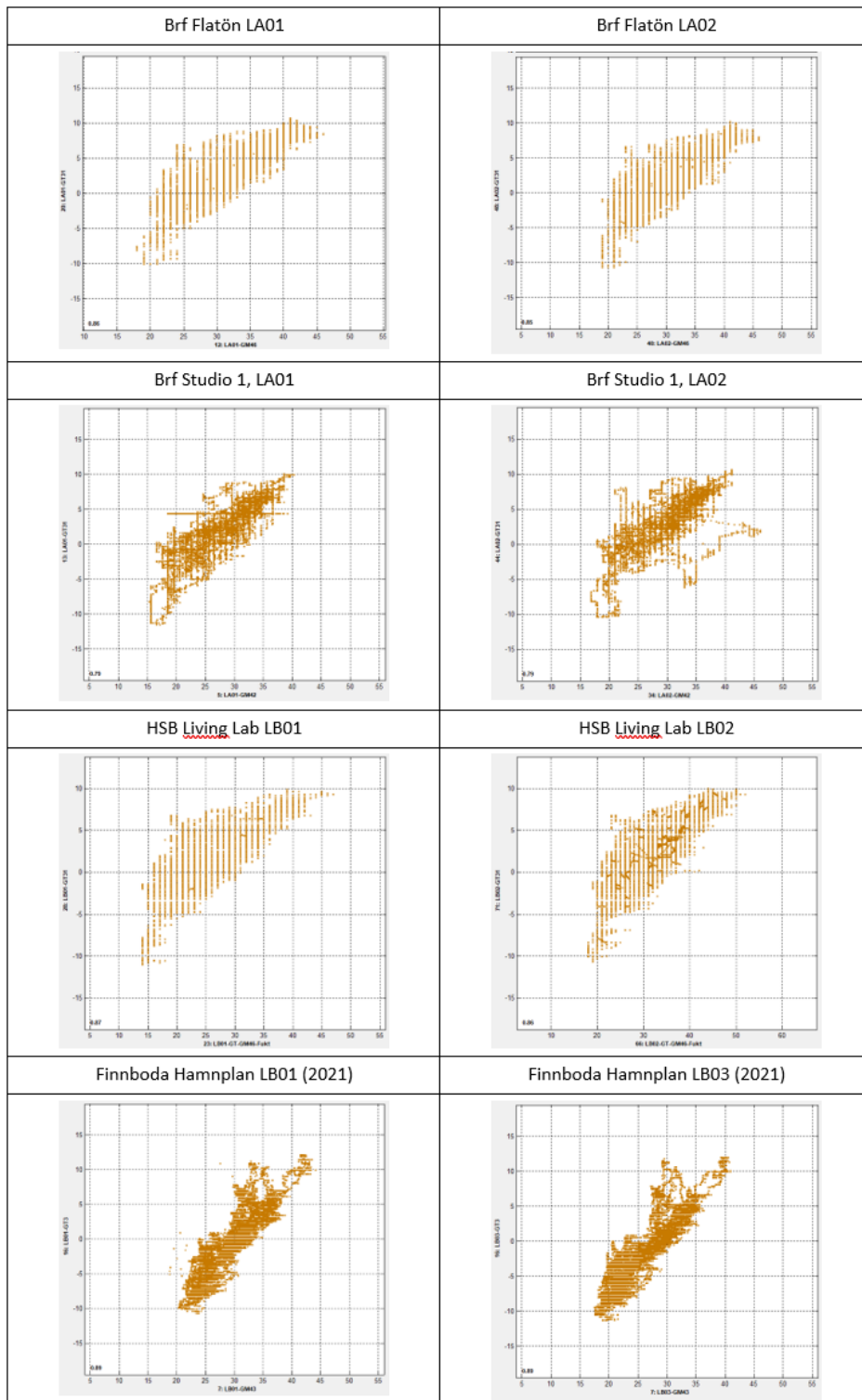
Mätdata 25 lägenheter Sthlm okt-dec 2013 Dennis Johansson och Hans Bagge, LTH.
Rotor ger fuktåterföring, därav så hög RF-mätdata i frånluften.



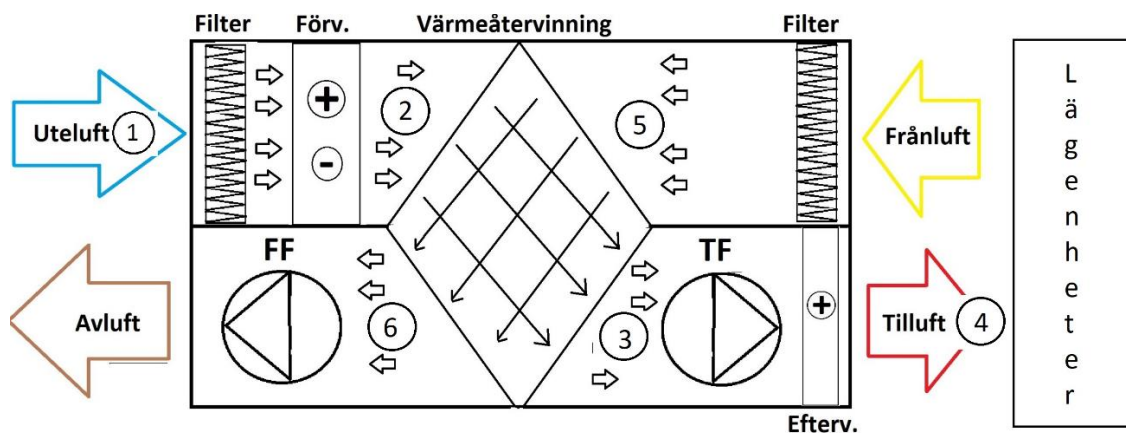
RF och fukttillskott mättes upp i 8 HSB-FTX-aggregat med Temp/RF-givare i Ute-, Till-, Från- resp. Avluftskanalerna. ”Utvärdera HSB-FTX för flerbostadshus - Funktion, energi- och effektsparning”, Per Kempe 2017.

Brf Flatön LA01  4 – 7 jan: dXT 0,08; dXR 1,67; dXF -0,16 [g/kg] Dec – feb: dXT -0,02; dXR 1,31; dXF -0,04 [g/kg]	Brf Flatön LA02  4 – 7 jan: dXT 0,84; dXR 0,66; dXF -0,18 [g/kg] Dec – feb: dXT 0,78; dXR 0,28; dXF -0,11 [g/kg]
Brf Studio 1, LA01  4 – 7 jan: dXT -0,08; dXR 0,93 [g/kg] Dec – feb: dXT -0,21; dXR 0,59 [g/kg]	Brf Studio 1, LA02  4 – 7 jan: dXT -0,09; dXR 1,42; dXF -0,04 [g/kg] Dec – feb: dXT -0,23; dXR 1,10; dXF 0,05 [g/kg]
HSB Living Lab LB01  4 – 7 jan: dXT 0,49; dXR 0,26; dXF -0,01 [g/kg] Dec – feb: dXT 0,49; dXR 0,07; dXF -0,02 [g/kg]	HSB Living Lab LB02  4 – 7 jan: dXT 0,29; dXR 0,92; dXF 0,11 [g/kg] Dec – feb: dXT 0,38; dXR 0,65; dXF 0,15 [g/kg]
Finnboda Hamnplan LB01  4 – 7 jan: DT 0,17; DR 1,61; DF 0,23 [g/kg] Dec – feb: DT -0,13; 1,16; DF 0,31 [g/kg]	Finnboda Hamnplan LB03  4 – 7 jan: dXT 0,07; dXR 1,45; dXF 0,26 [g/kg] Dec – feb: dXT -0,20; dXR 1,10; dXF 0,36 [g/kg]

Frånlufts-RF vs T_{ute} för de 8 FTX, som var del i rapporten Utvärdera HSB-FTX för flerbostadshus - Funktion, energi- och effektbesparing, Per Kempe 2017. Figurerna ser lite olika ut p.g.a. RF med 1 decimal eller utan.



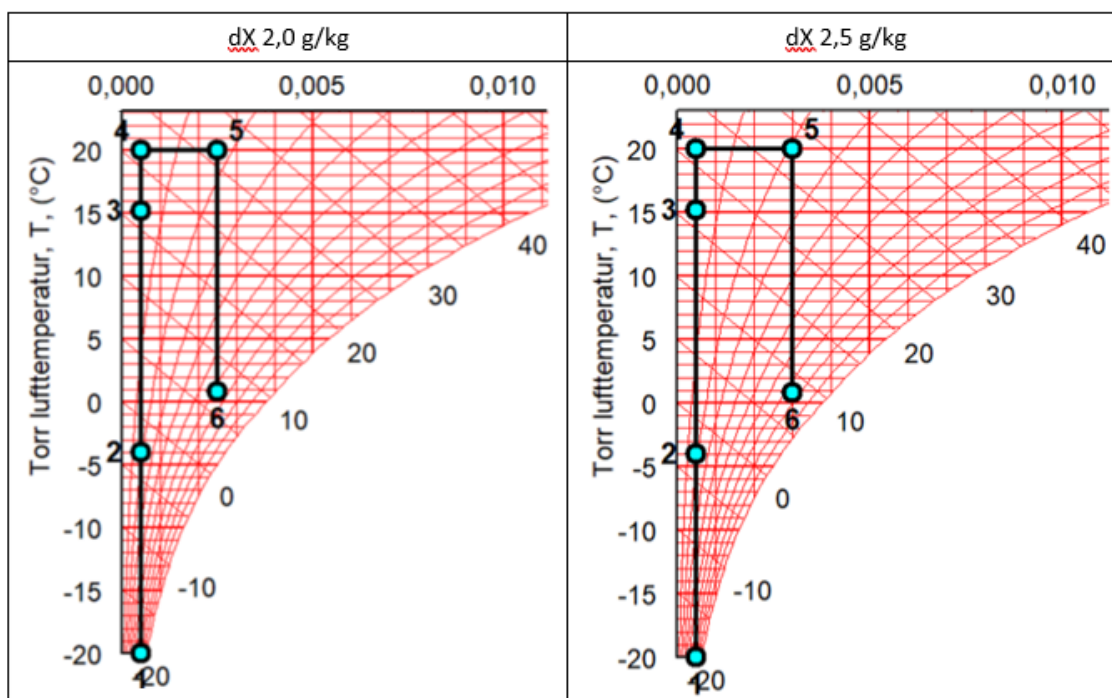
Bilaga 2 Mollier-diagram för GeoFTX, olika Tute

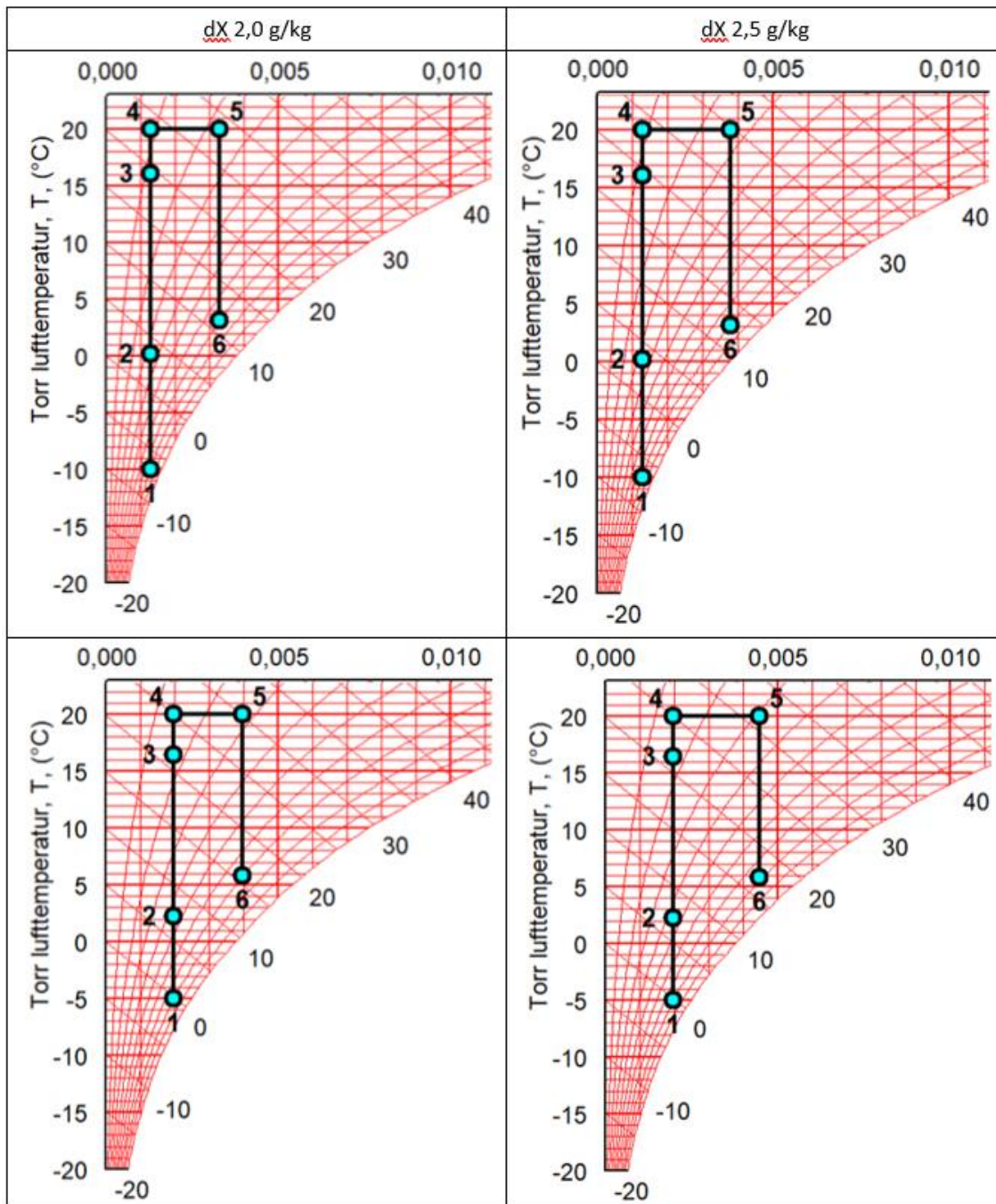


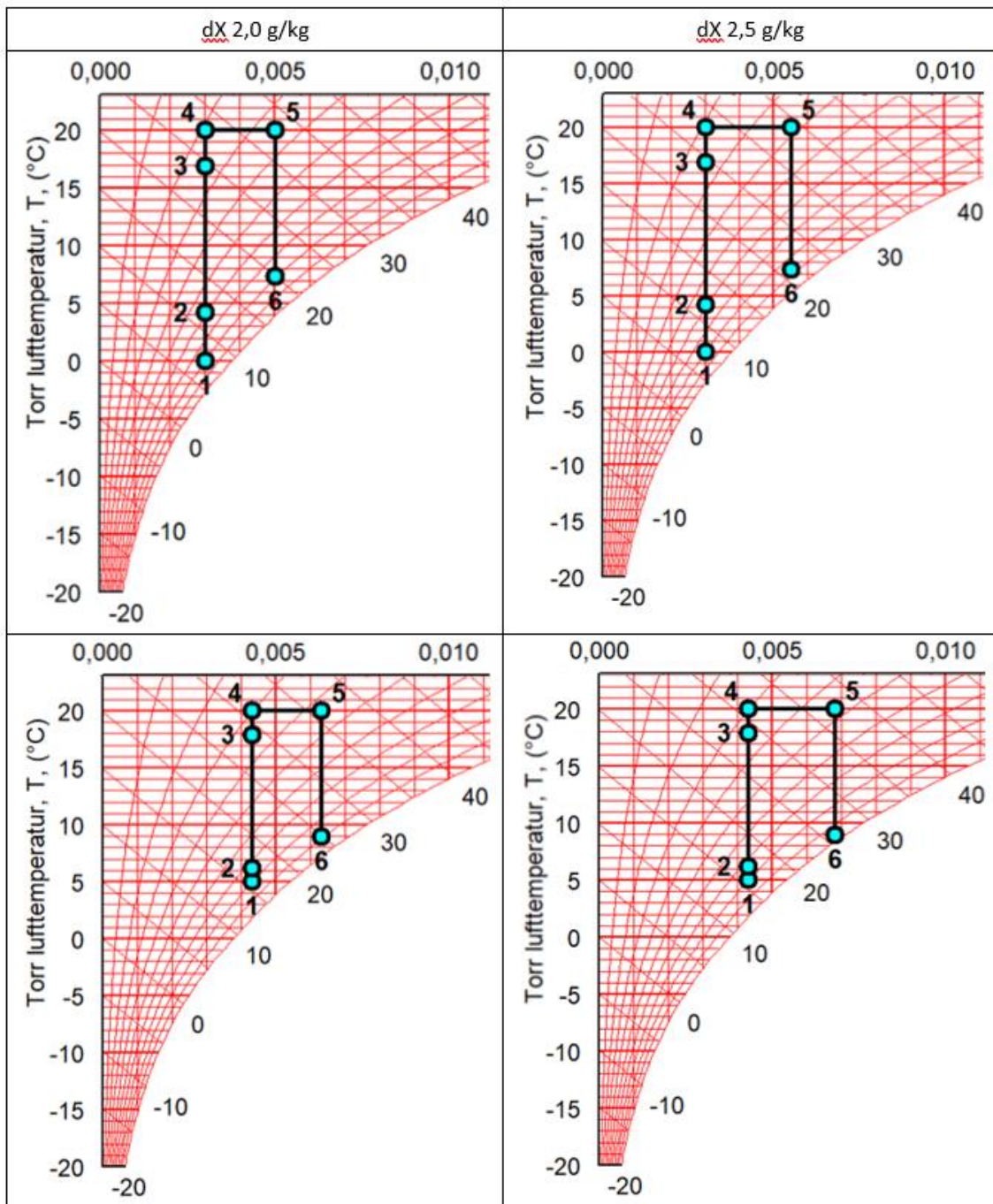
X-köping DVUT(1 dygn) -20°C och årsmedeltemperatur 7°C bör uteluften förvärmas till -4°C när T_{ute} är -20°C för liten risk för avfrostning och vara i drift när T_{ute} är under $+5^{\circ}\text{C}$, för att ev. fukt i VVX ska avdunsta och minska avfrostning risken. Två fukttillskott används $2,0\text{ g/kg}$ luft respektive $2,5\text{ g/kg}$ luft (dimensionerande). Mollier-diagram för utetemperaturer -20°C , -10°C , -5°C , 0°C , $+5^{\circ}\text{C}$ med Ute-RF 80 %. Luftflödesbalans.

För dX $2,5\text{ g/kg}$ ger frånlufts-RF 21% för vilken inkommande utetemperatur bör överstiga -5°C (valt -4°C).

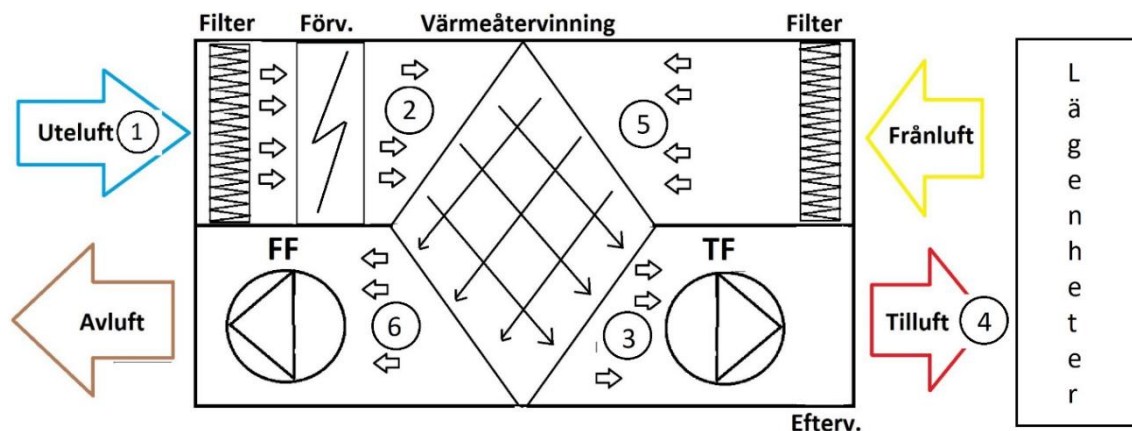
Mollier-diagrammen för GeoFTX är uppritade med Mollier Sketcher 2.1b, IV Produkt.





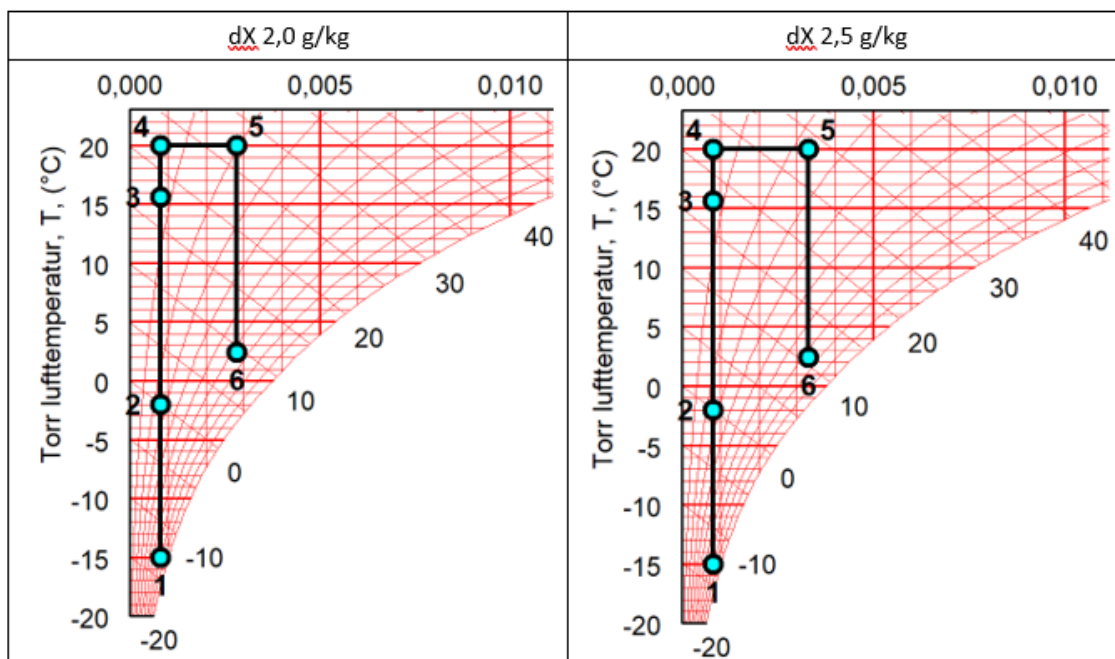


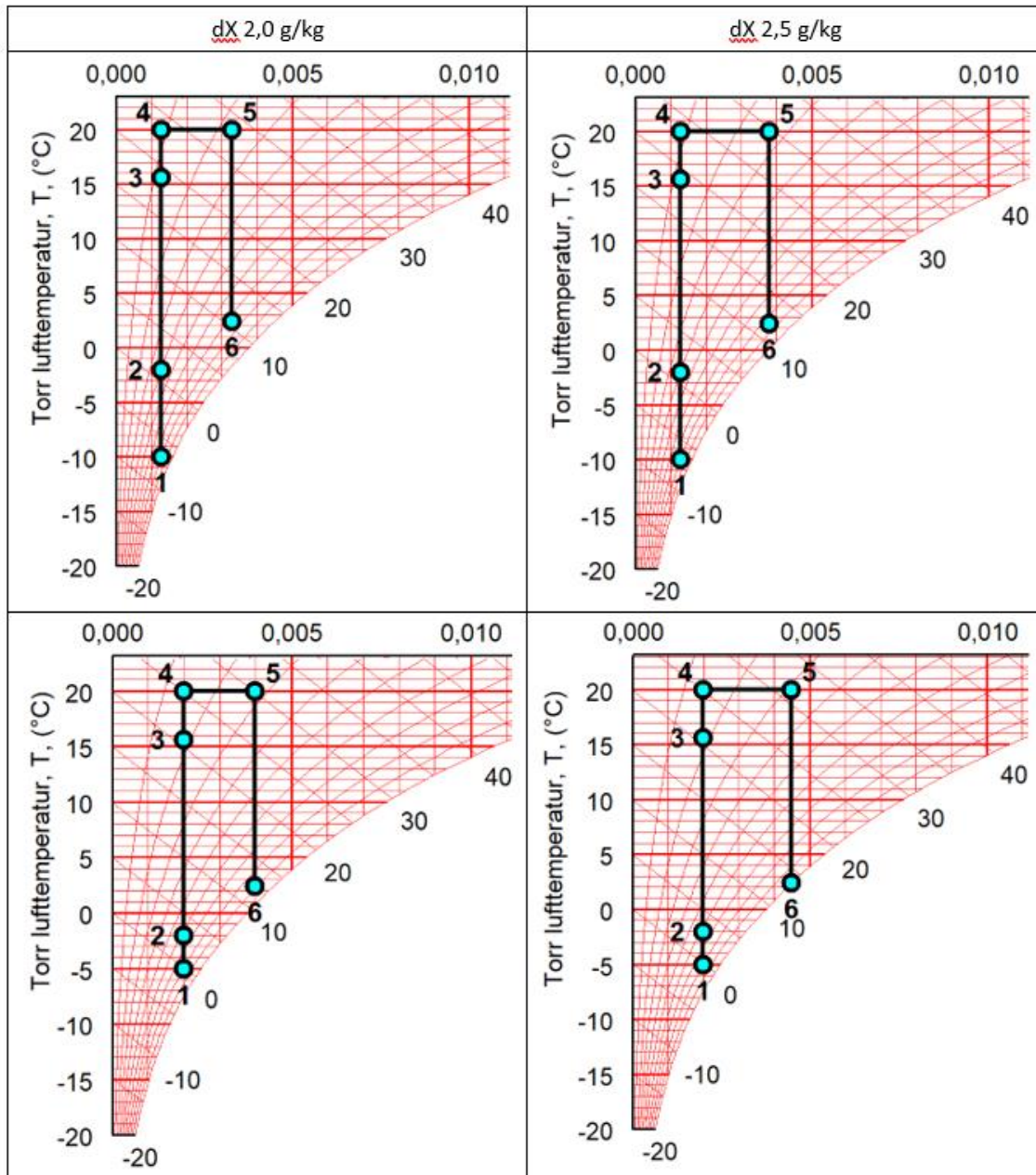
Bilaga 3 Mollier-diagram – Elförvärmning till -2°C

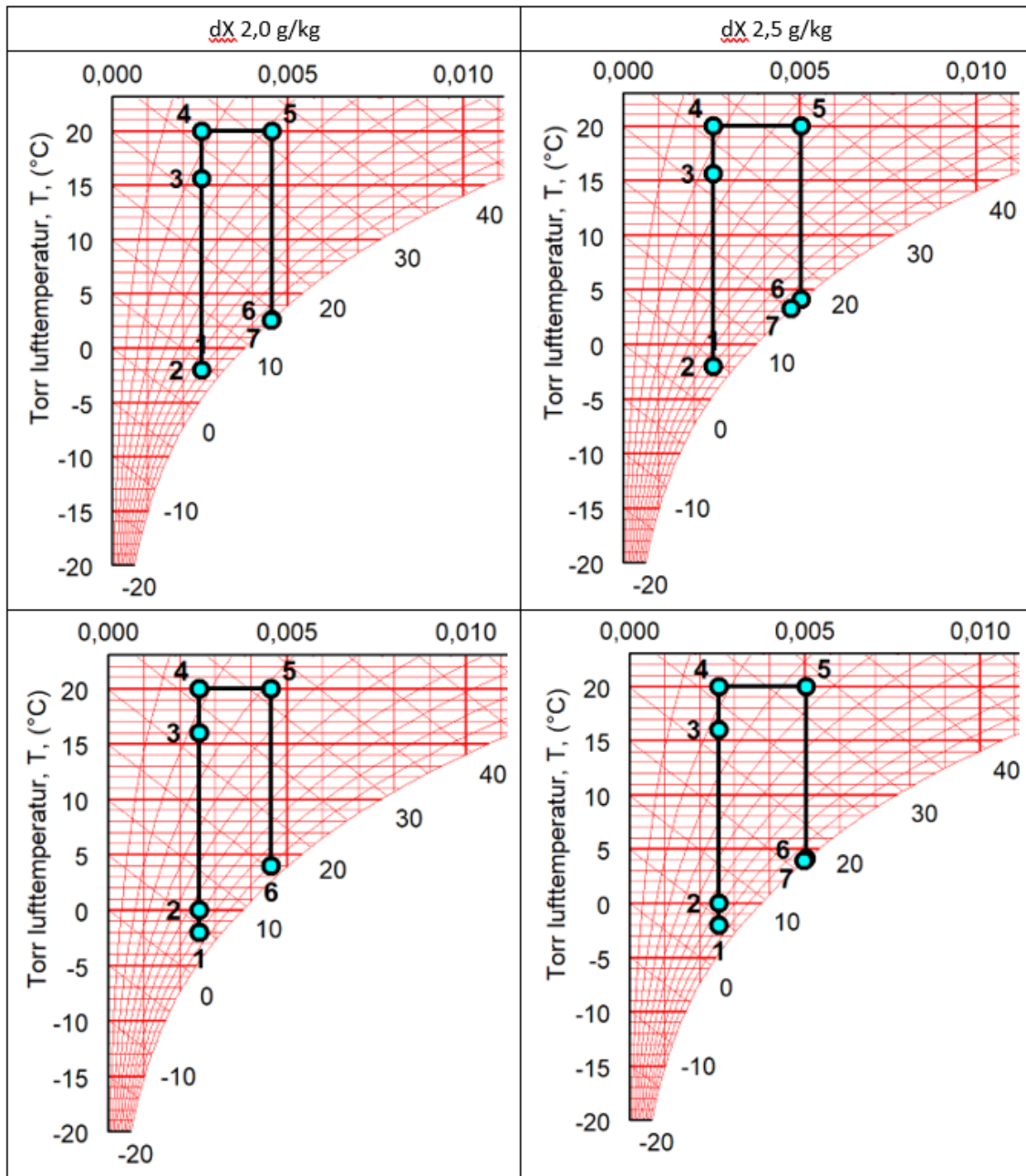


Ventilationsaggregat utan eftervärme och med elektrisk förvärmning för att tilluftstemperaturen inte ska bli för kall.

Z-köping DVUT(1 dygn) -15 °C. och uteluften förvärmas till -2°C för att försöka undvika avfrostning och kall tilluft. Två fukttillskott används 2,0 g/kg luft respektive 2,5 g/kg luft (dimensionerande). Mollier-diagram för utetemperaturer -15°C, -10°C, -5°C, -2°C, 0°C med Ute-RF 80 %. Luftflödesbalans.

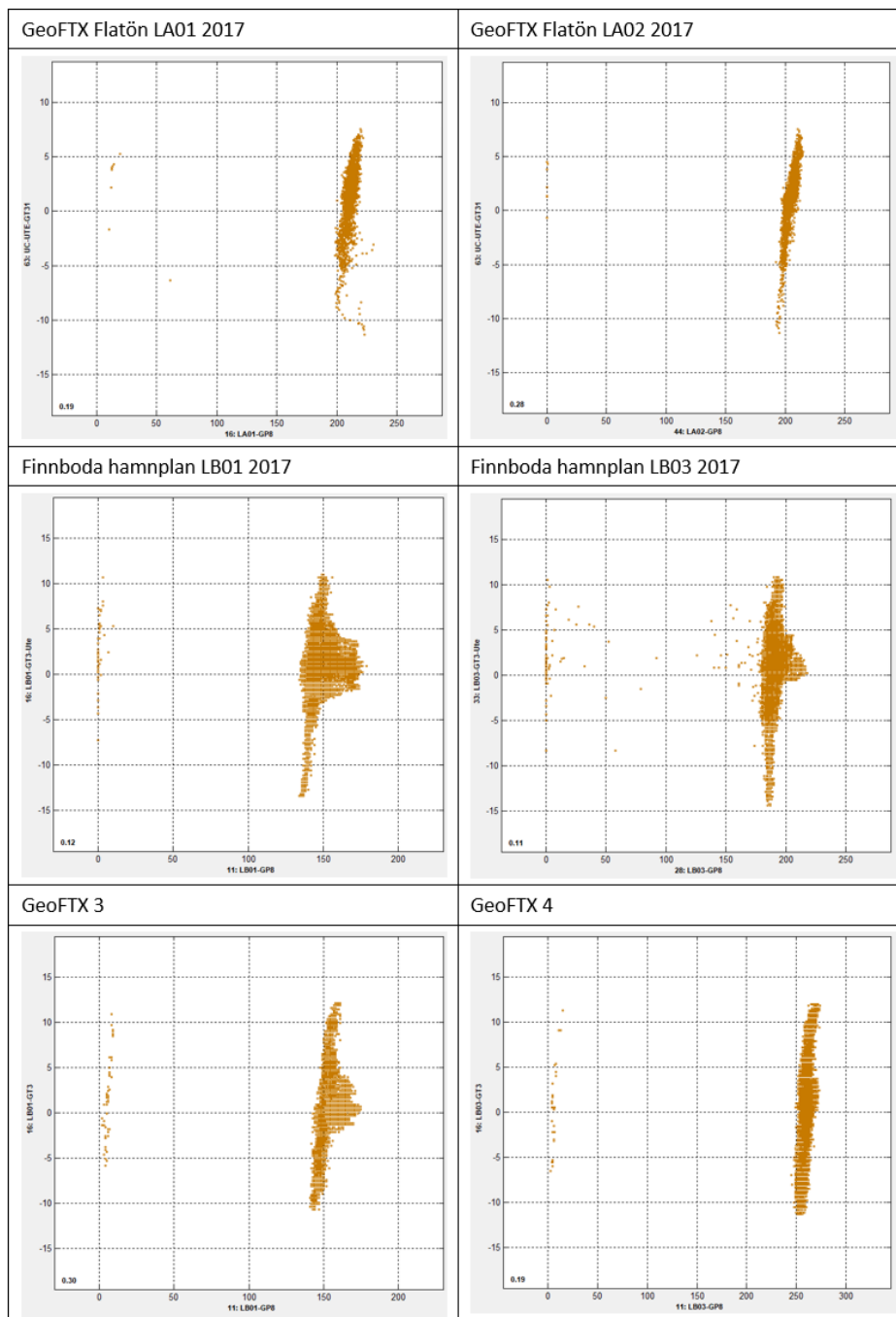




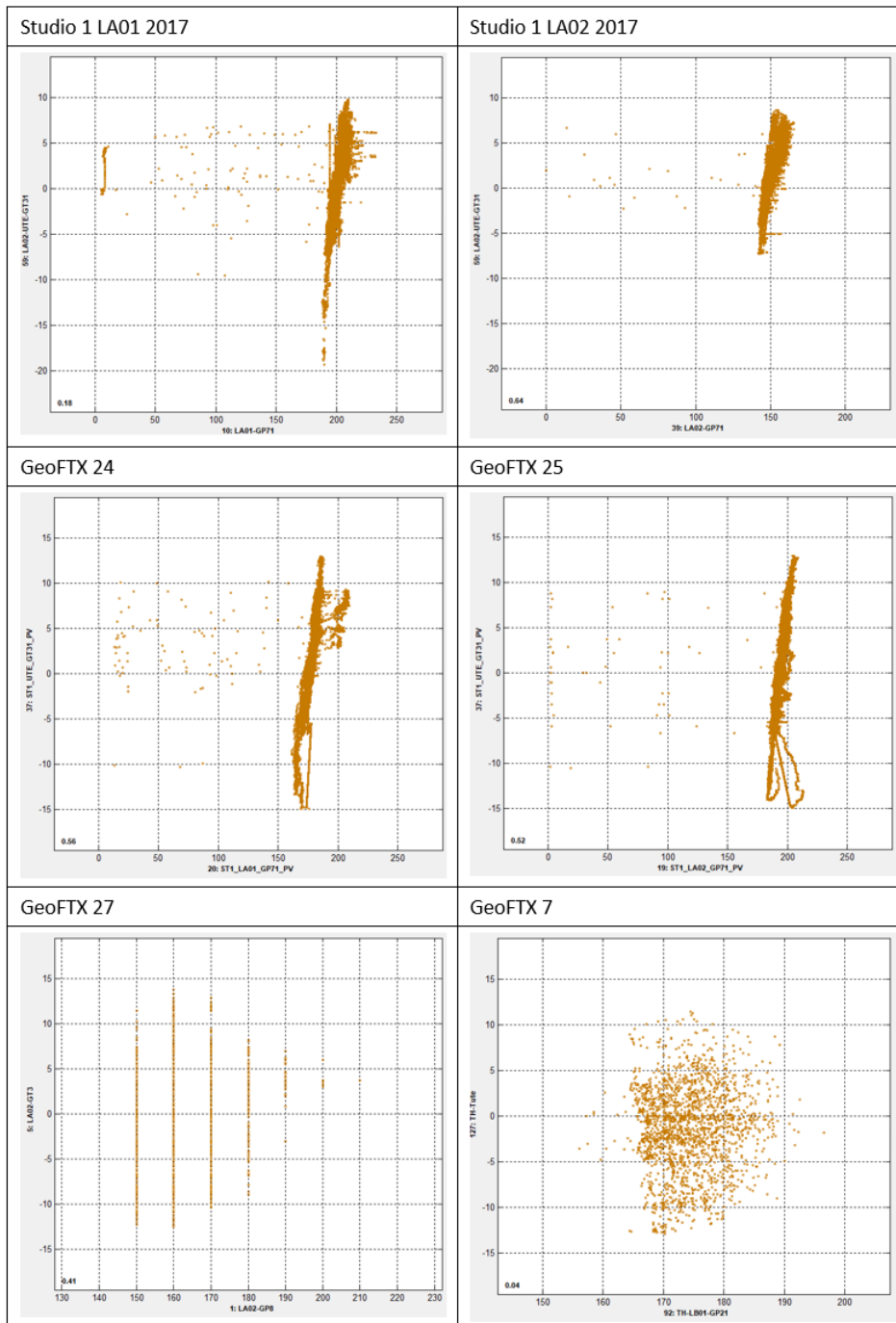


Elförvärmning till -2°C fungerar när T_{ute} är under -5°C däröver bör man förvärma till 0°C - -1°C och särskilt om värmeåtervinningen har en verkningsgrad över 80 %.

Bilaga 4 Tryckfall över VVX vs T_{ute} , vinter

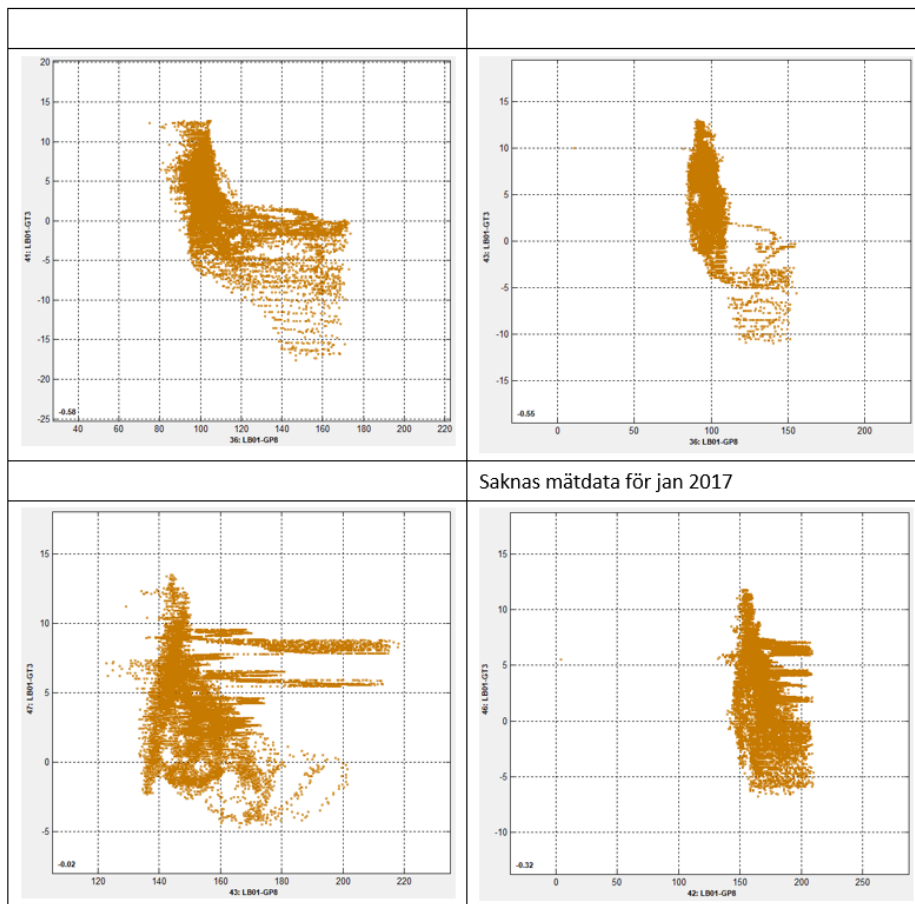


Vi kan se att Finnboda hamnplan LB01 och LB03 samt GeoFTX 3 tryckfall över VVX ökar vid $T_{ute} -2^{\circ}\text{C} - +5^{\circ}\text{C}$. Dvs precis innan förvärmningen kommer in och höjer inkommande utelufts temperatur. Om förvärmningen skulle starta vid $+4^{\circ}\text{C}$ skulle man undvika detta.



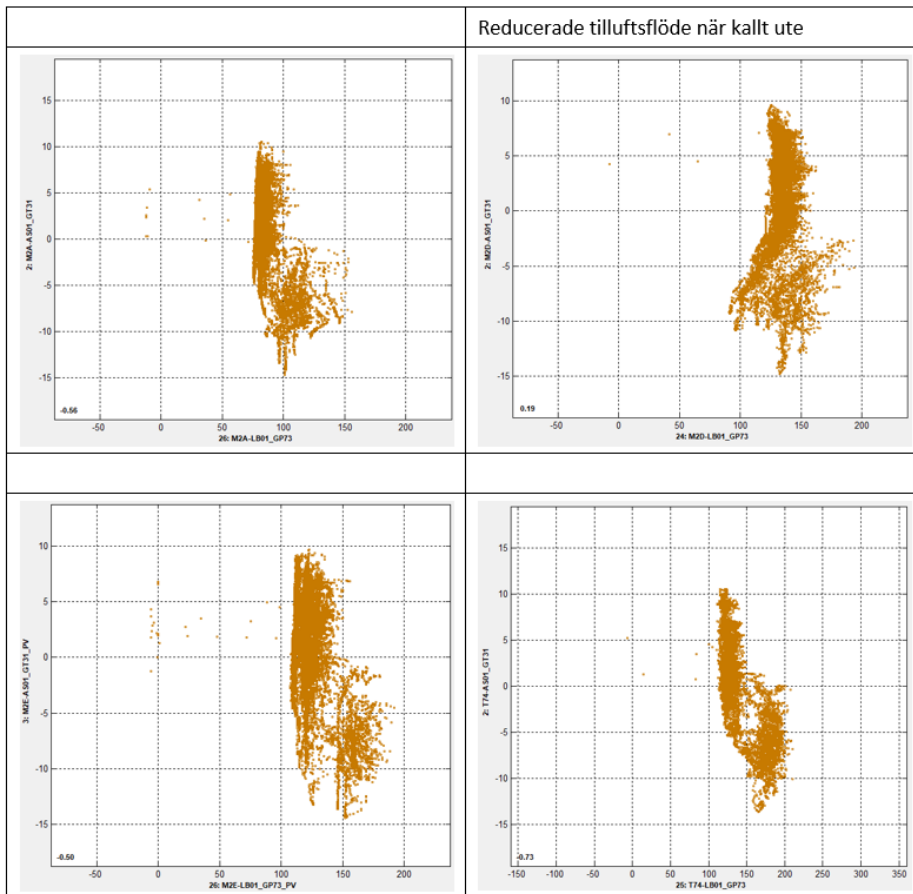
Diagrammet för GeoFTX 27 har upplösningen 10 Pa på GP8-mätdata. Därav linjerna i diagrammet.

FTX utan förvärmning (12–16 lägenheter) vintern 2016–2017. 4 flerbostadshus i södra delen av Sverige.



Tryckfallet börjar öka för inkommande utetemperatur under $+2^{\circ}\text{C}$.

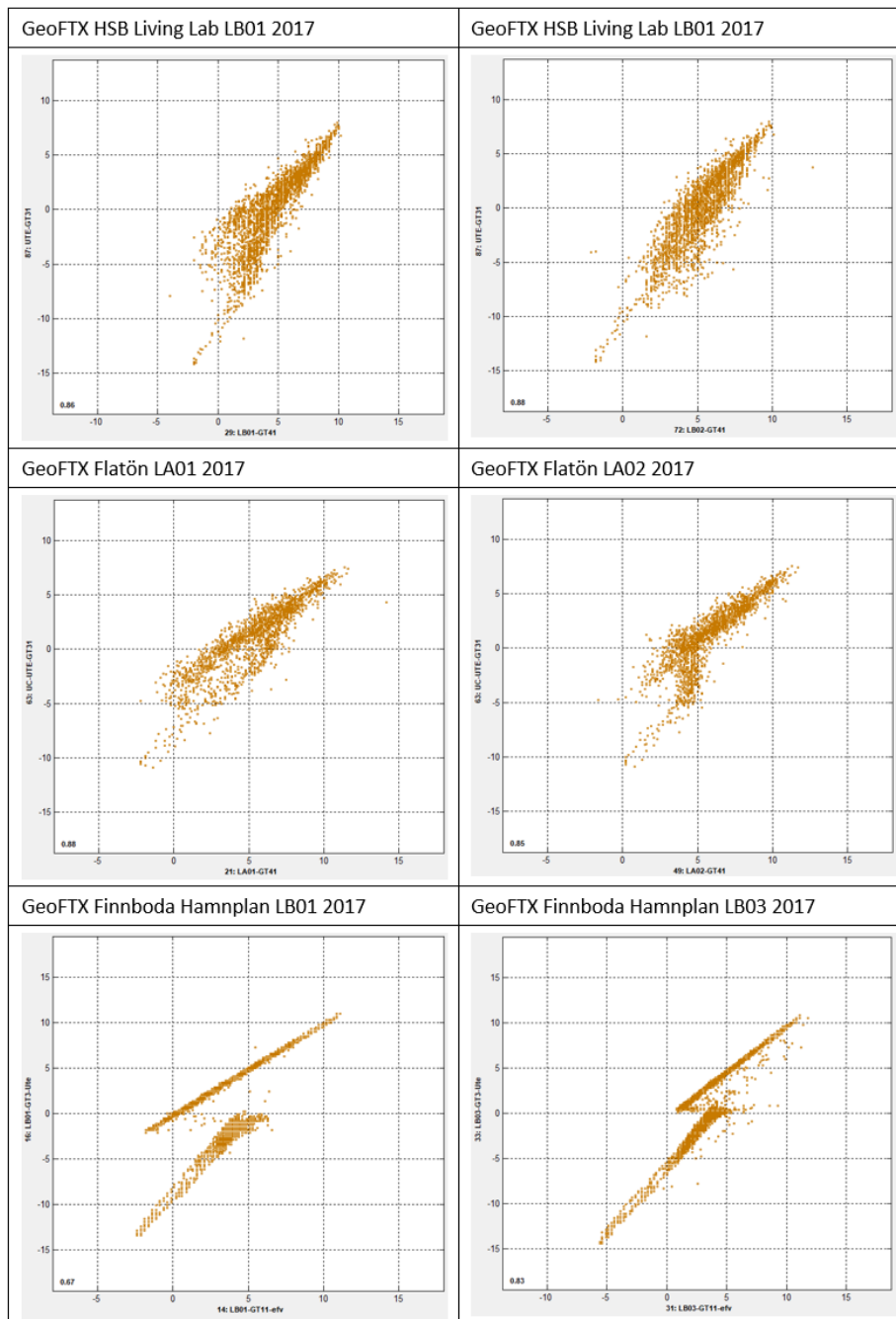
FTX med elförvärmning till -2°C



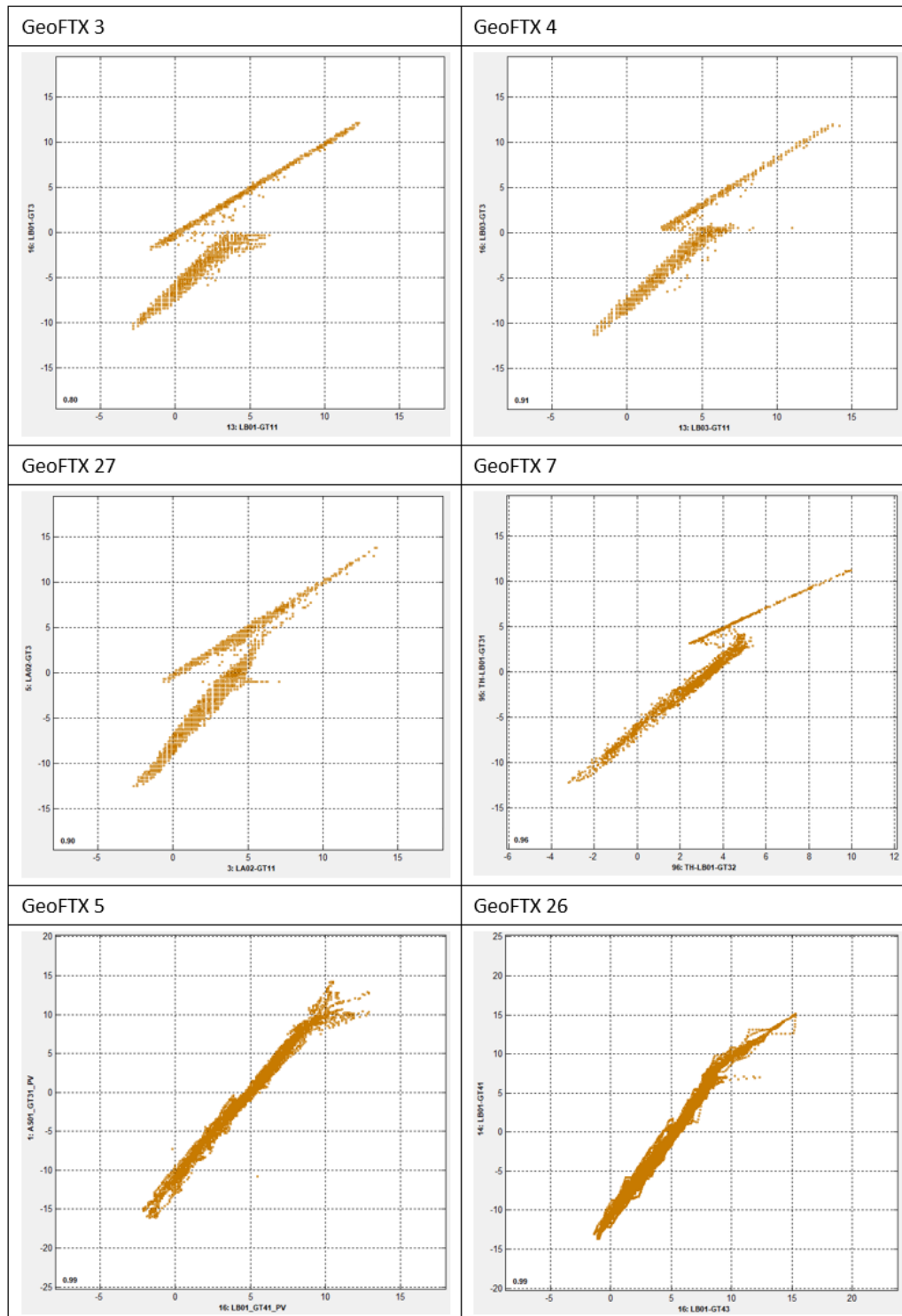
Tryckfallet börjar öka för temperaturen för inkommande uteluft är under +2°C och har en ökande miniminivå under -5°C. De flesta av dessa VVX erhåller avfrosthingscykler.

Bilaga 5 Korskorrelation T_{efv} vs T_{ute} , vinter

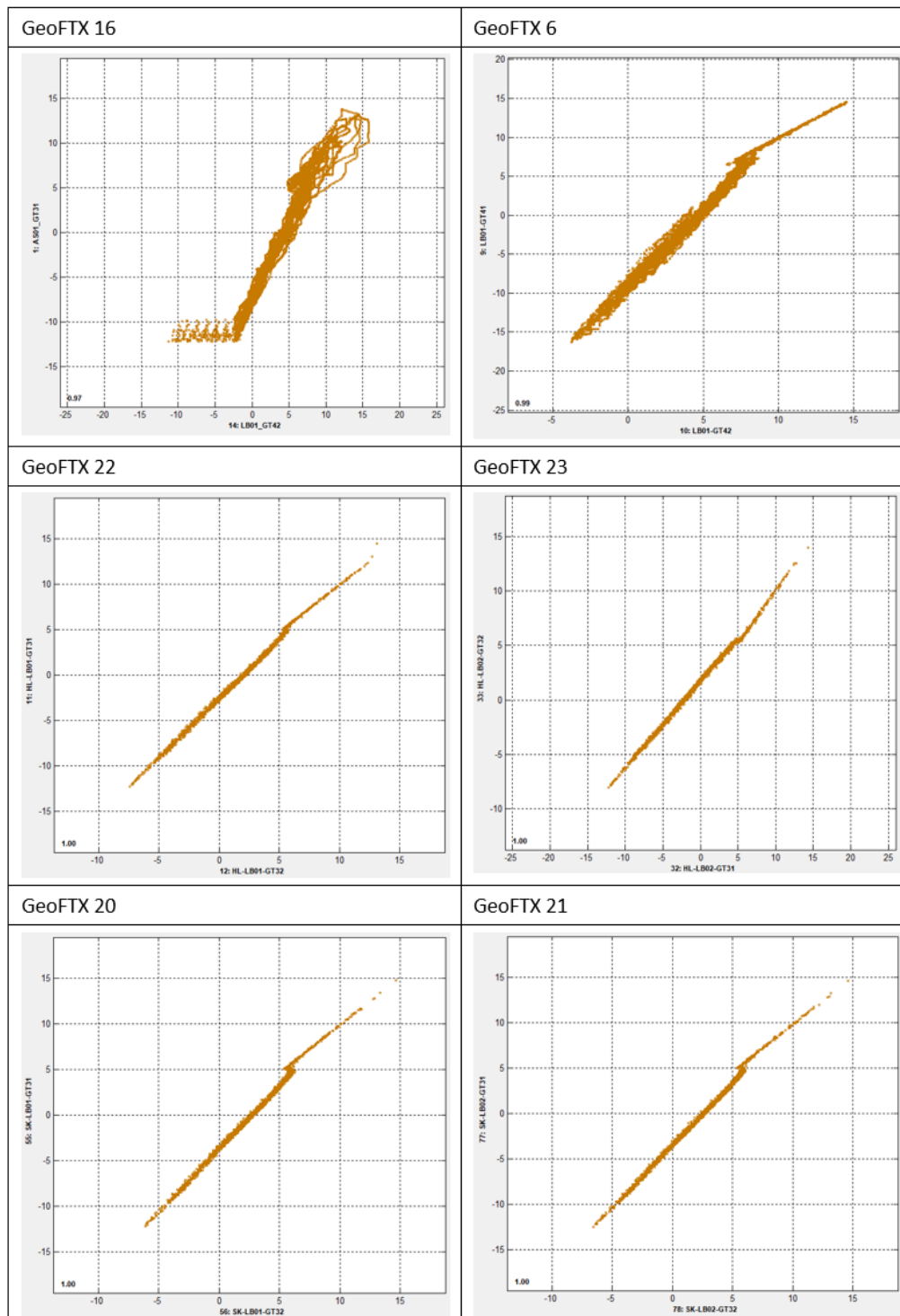
T_{efv} - Uteluftstemperatur efter förvärmning



HSB Living Lab och Flatön har geoförvärmningen som ett andra steg för att erhålla önskad tilluftstemperaturen, för att spara eftervärmeenergi. Finnboda Hamnplan styr sin förvärmning mot utomhustemperaturen.



GeoFTX 3 och 4 styr mot $T_{ute} +1^{\circ}\text{C}$
 GeoFTX 27 och 7 styr mot $T_{ute} +3^{\circ}\text{C}$
 GeoFTX 3 och 4 styr mot $T_{ute} +9^{\circ}\text{C}$



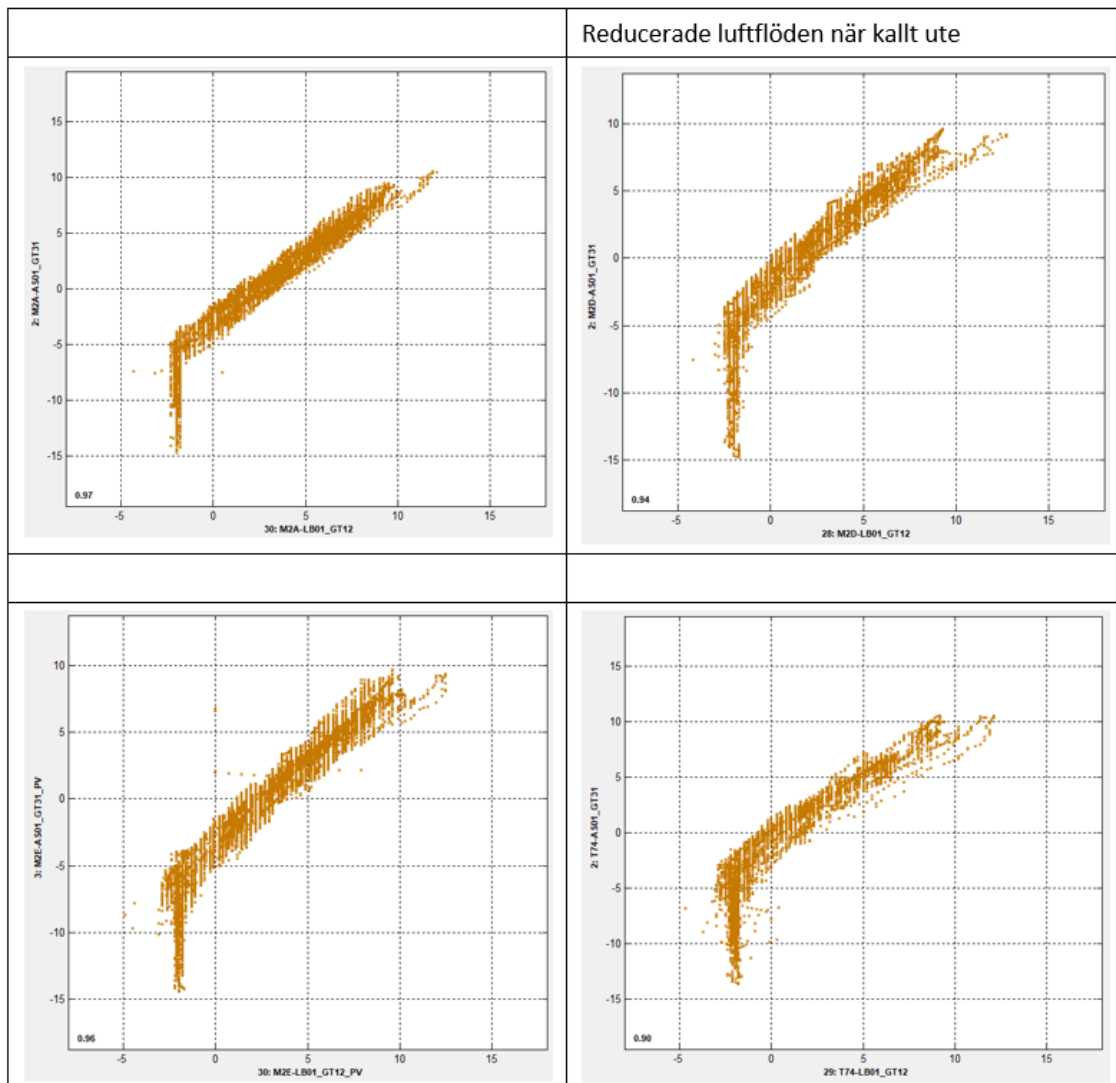
GeoFTX 16 och 6 styr mot $T_{ute} + 7^{\circ}\text{C}$

GeoFTX 22 och 23 styr mot $T_{ute} + 5^{\circ}\text{C}$

GeoFTX 20 och 21 styr mot $T_{ute} + 5^{\circ}\text{C}$

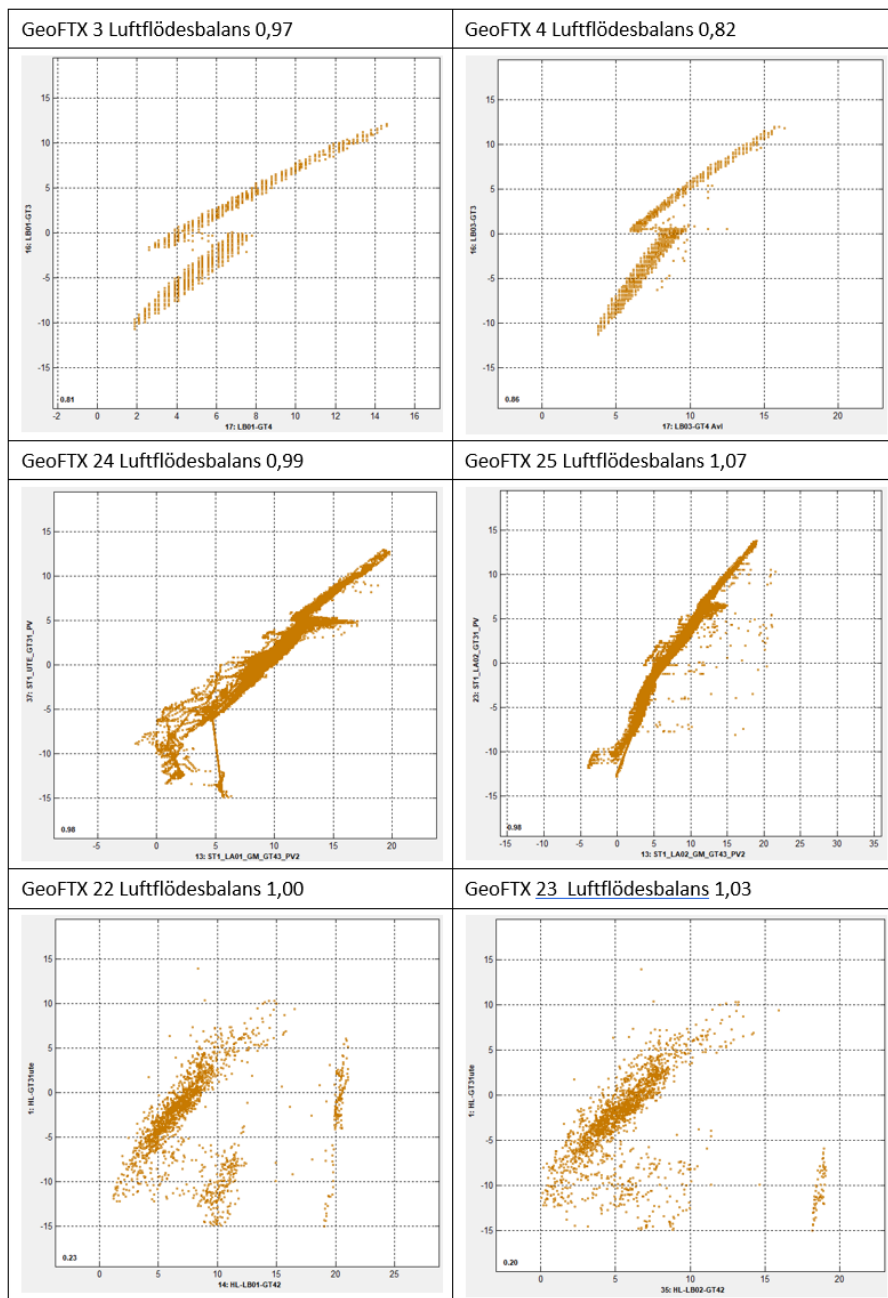
GeoFTX16 har problem med förvärmningen/KB-flödet vid T_{ute} under -11°C .

FTX med elektrisk förvärmning till -2°C



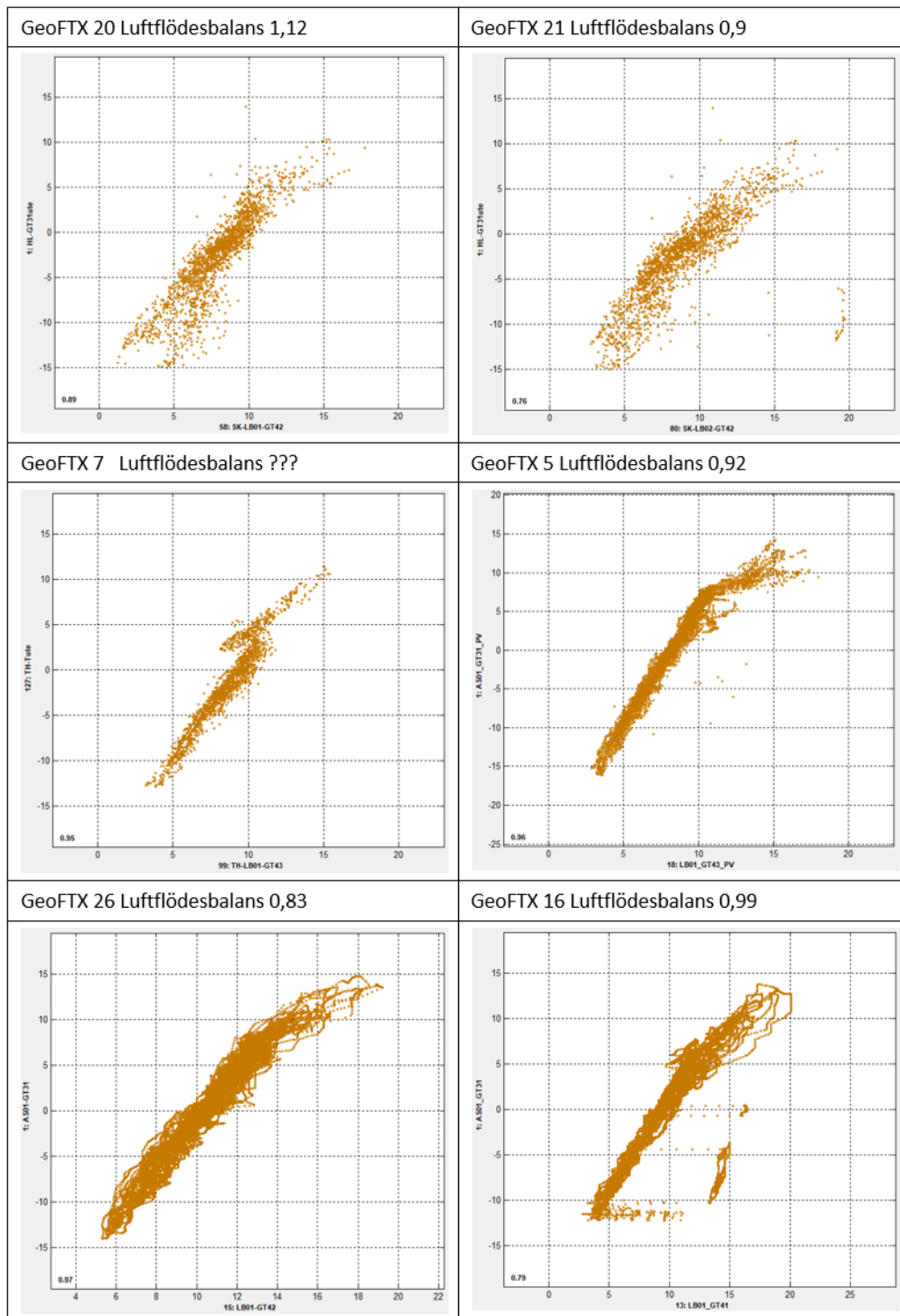
Elektrisk förvärmning håller sin temperatur relativt väl till -2°C.

Bilaga 6 Korskorrelation avluftstemperatur vs T_{ute} , vinter



GeoFTX 22, 23 är underdimensionerade och erhåller högre avluftstemperaturer p.g.a. avfrostningar.

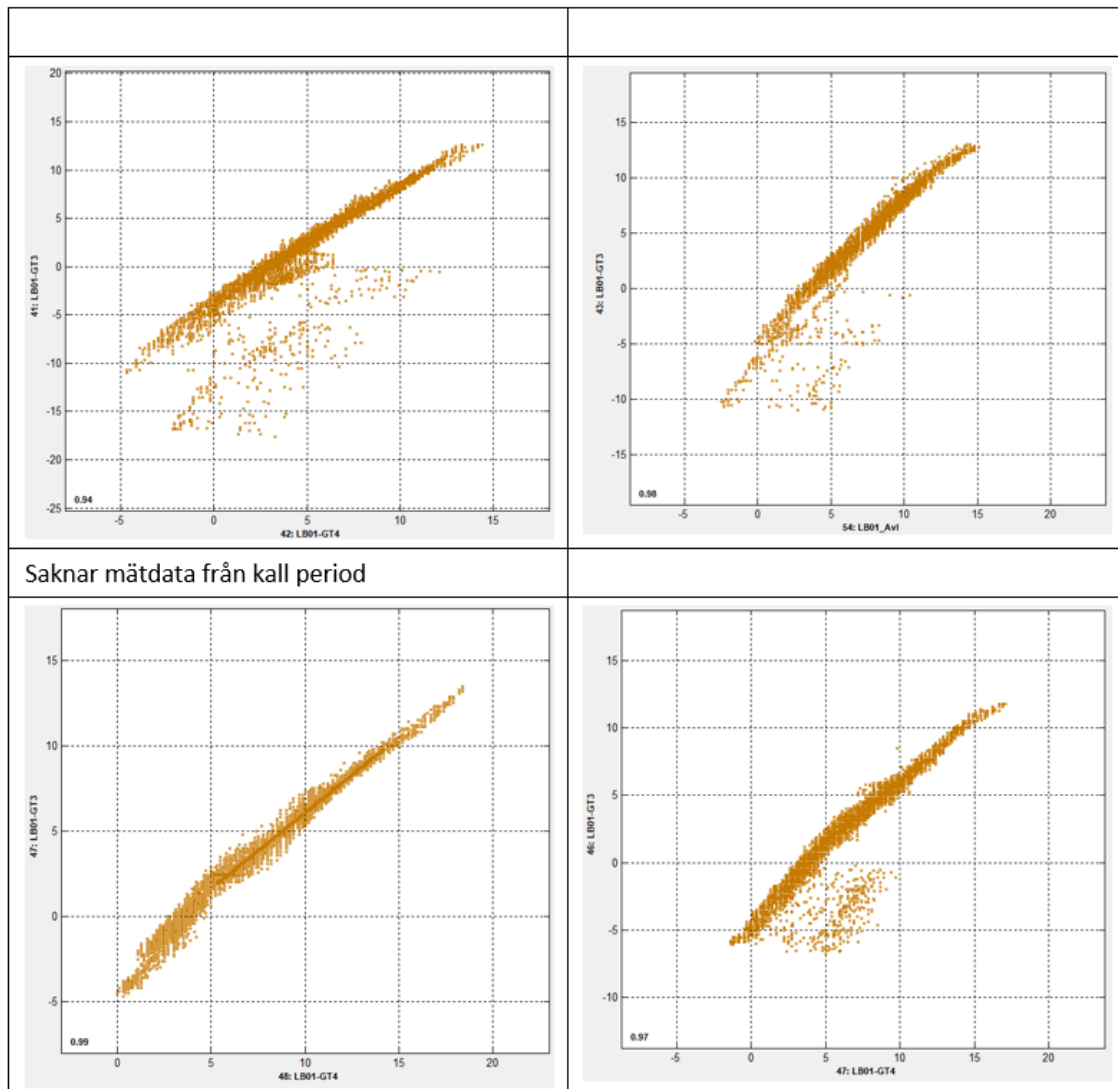
GeoFTX 4 Luftflödesbalans 0,82, som har underskott på tilluft får varmare avluft än GeoFTX 3 med 0,97.



GeoFTX 26 har en hög avluftstemperatur p.g.a. luftflödesbalansen 0,83.

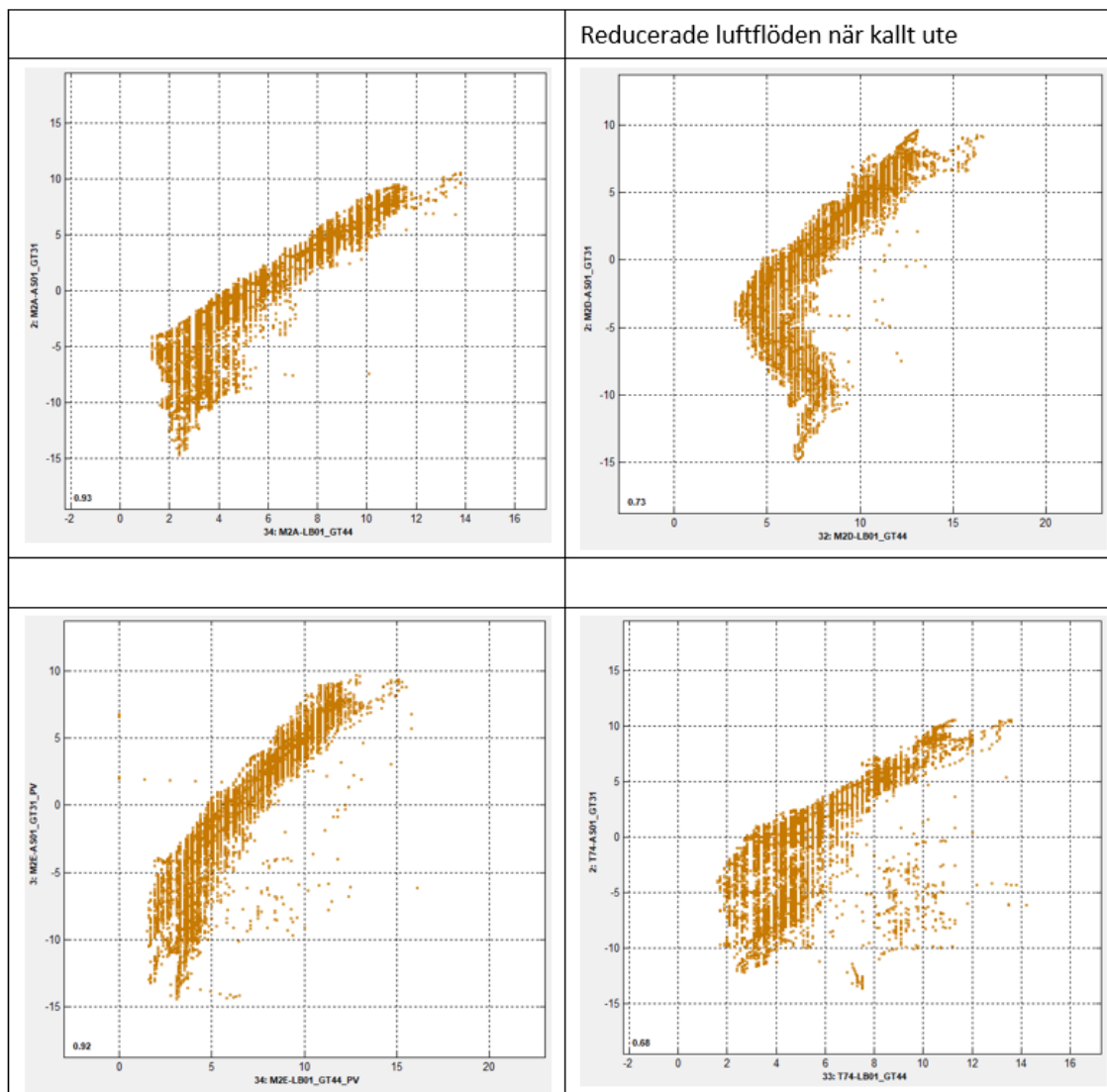
GeoFTX 16 har problem med KB-flödet när T_{ute} är -11°C .

FTX utan förvärmning



Har högre avluftstemperatur när dt är kallt ute p.g.a. för kall inkommande uteluft i värmeväxlaren, så att frånluftsfukten kondenserar och fryser i VVX.

FTX med elförvärmning till -2°C

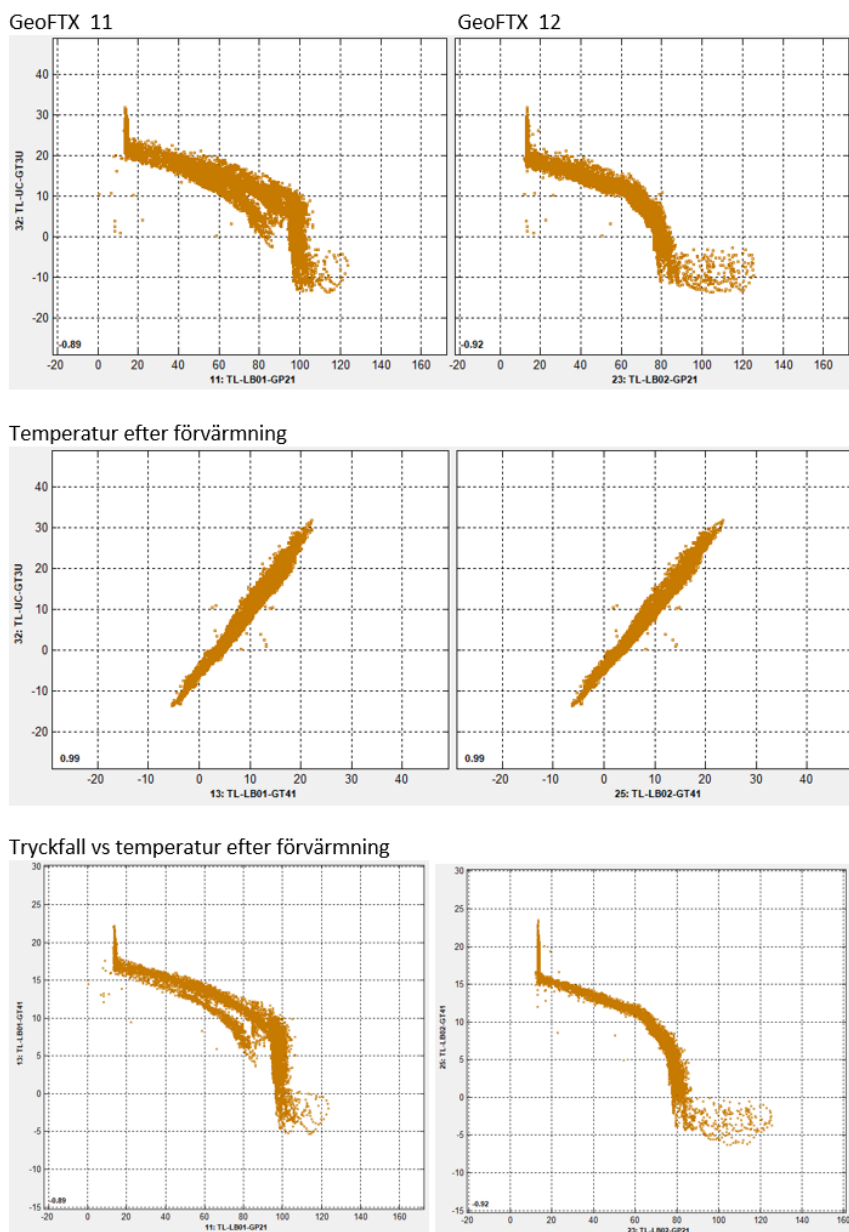


De elförvärmda FTX har avluftstemperaturer ner mot 1–2°C förutom den med reducerade luftflöden som erhåller en avluftstemperatur upp mot 6–9°C.

När tilluftsflödet sänks så att luftflödesbalansen sjunker, läcker det in uteluft i lägenheterna som tar värme från lägenheterna för att värmas upp till rumstemperatur.

När avluftstemperaturen är 1–2°C och inkommande uteluftstemperatur -2°C blir VVX-plåtens temperatur -0,5°C - 0°C, vilket innebär att fukt som kondenserar fryser på VVX-plåten.

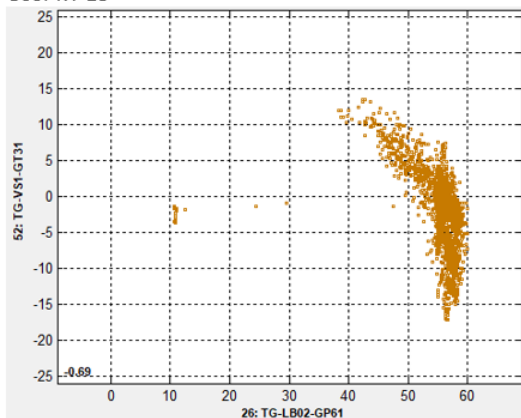
Bilaga 7 Tryckfall över plast-VVX vs T_{ute} med förvärmning (Polykarbonat eller liknande)



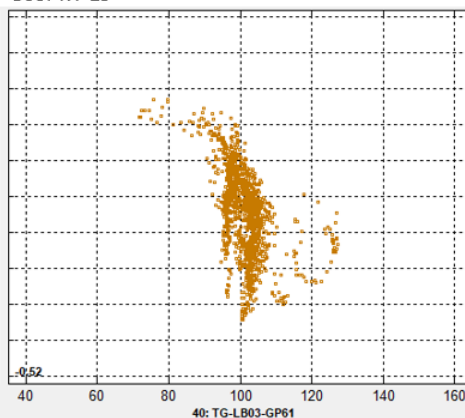
Vid utomhustemperaturer mellan -5°C och -13°C (efter förvärmning mellan 0°C och -5°C) ökar tryckfallet på grund av kondensering/frost men det verkar inte fästa på ytan, därmed byggs det inte upp något högre tryck.

Om avfrostningen har gått in någon gång går inte att se i mätdata eftersom den har timupplösning och avfrostningsförloppet kan vara snabbare.

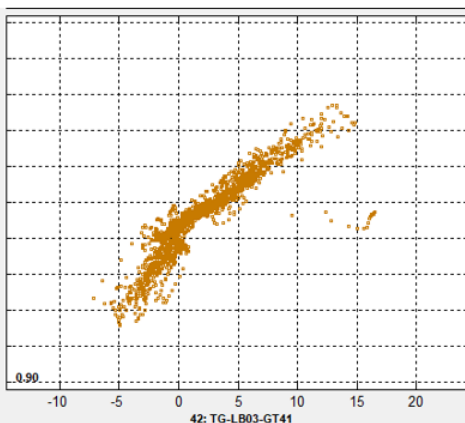
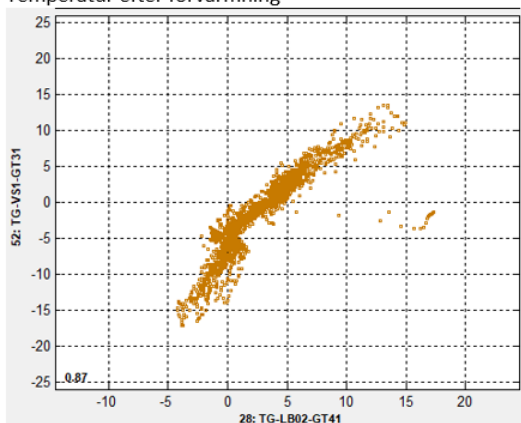
GeoFTX 18



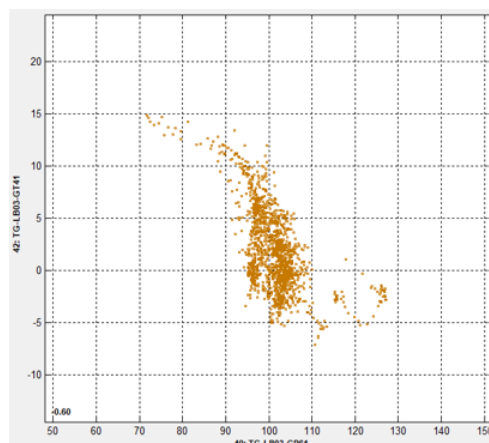
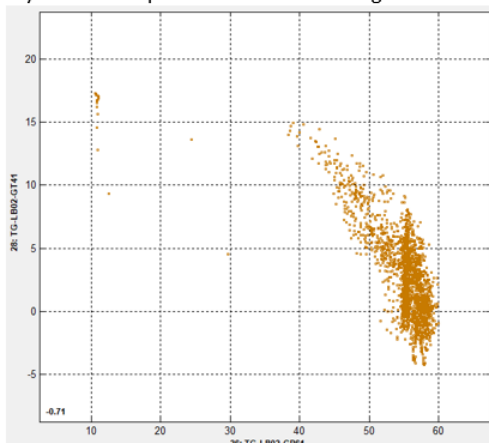
GeoFTX 19



Temperatur efter förvärmning

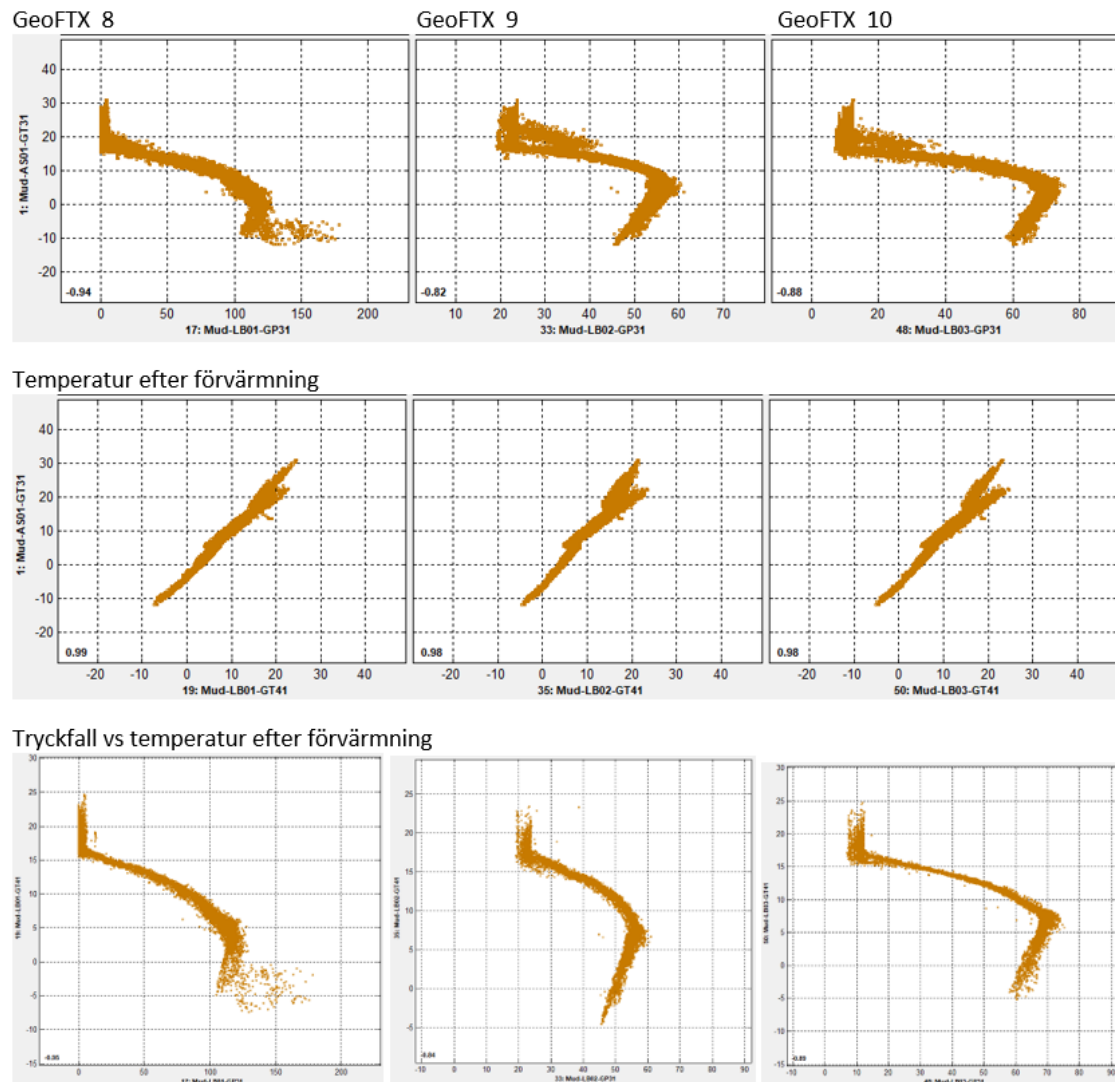


Tryckfall vs temperatur efter förvärmning



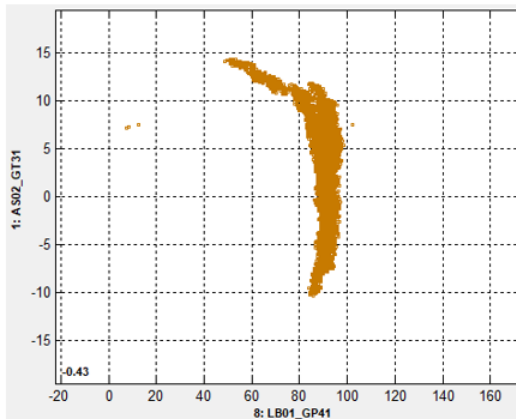
Vid utomhustemperaturer mellan -5°C och -17°C ökar tryckfallet på grund av kondensering/frost, men det verkar inte fästa på ytan så att det byggs upp högre tryck därmed startar inte avfrostningen.

Om avfrostningen har gått in någon gång går inte att se i mätdata eftersom den har timupplösning och avfrostningsförloppet kan vara snabbare.

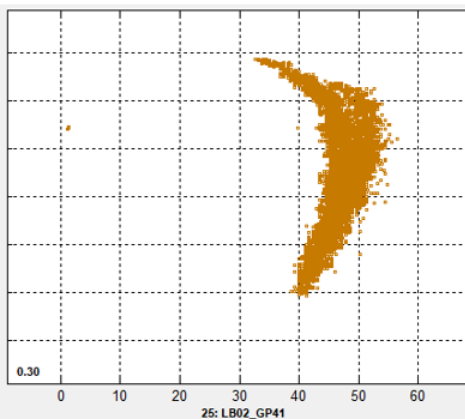


Vid utomhustemperaturer mellan -5°C och -12°C ökar tryckfallet på grund av kondensering/frost, men det verkar inte fästa på ytan och därmed byggs det inte upp något högre tryck. Om avfrosthningen har gått in någon gång går inte att se i mätdata eftersom den har timupplösning och avfrosthningsförloppet kan vara snabbare.

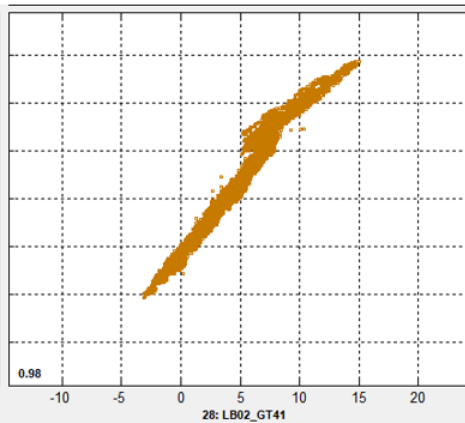
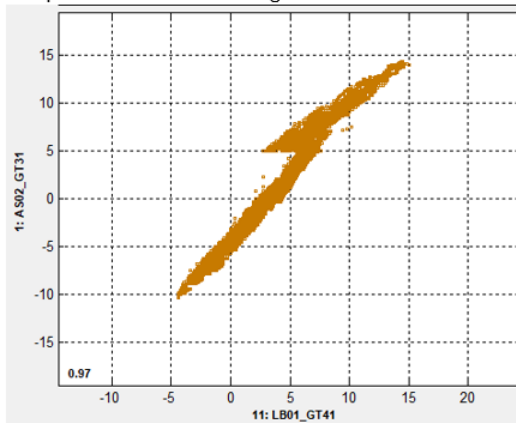
GeoFTX 1



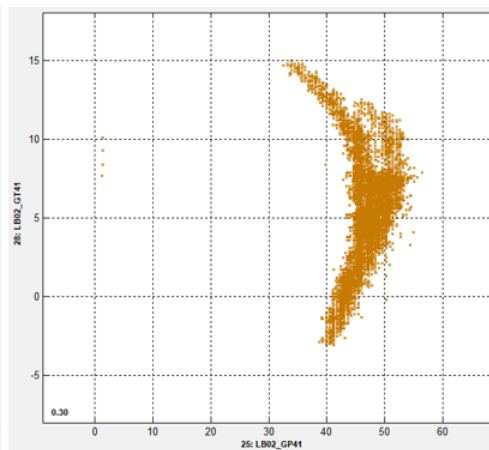
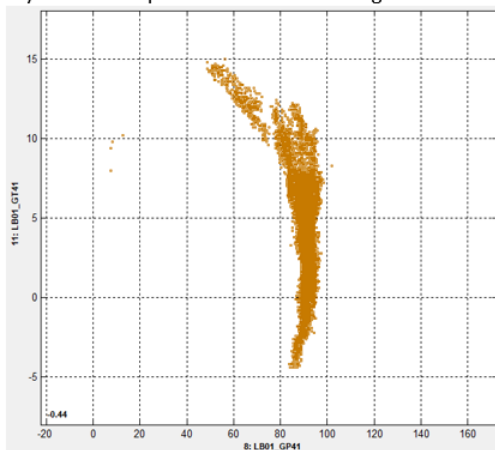
GeoFTX 2



Temperatur efter förvärmning



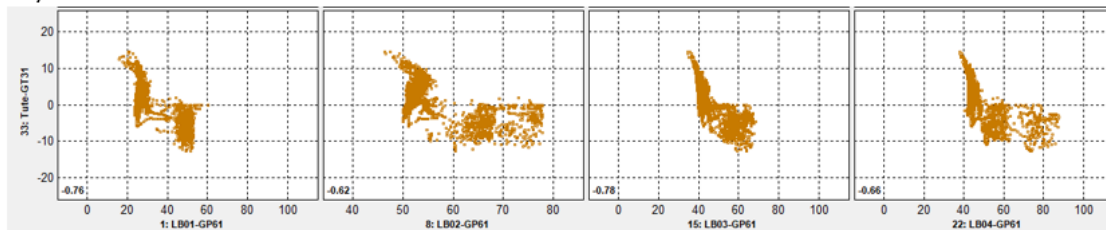
Tryckfall vs temperatur efter förvärmning



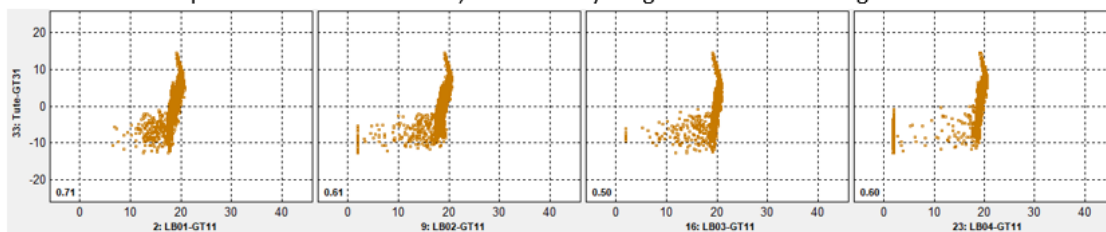
För dessa två GeoFTX börjar förvärmningen vid +5°C / +8°C och här kan ingen tryckökning p.g.a. frost/kondensering ses. Här är samplingsintervallet 5 minuter, så om avfrostningscykler har förekommit borde de kunna ses.

Bilaga 8 Tryckfall över plast-VVX vs T_{ute} utan förvärmning (Polykarbonat eller liknande)

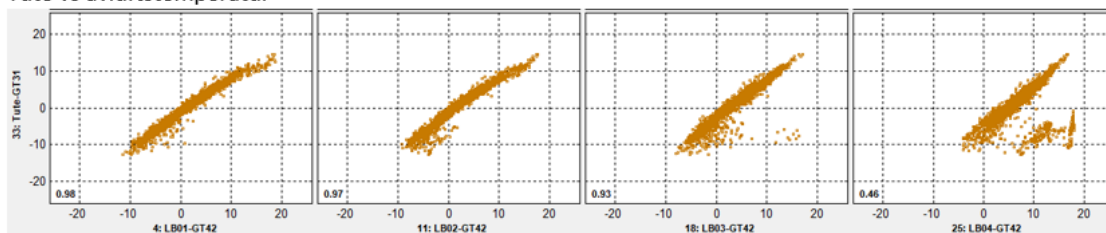
Tryckfall över växlare vs T_{ute}



T_{ute} vs tilluftstemperatur utan eftervärmare, men med styrning av värmeåtervinningen

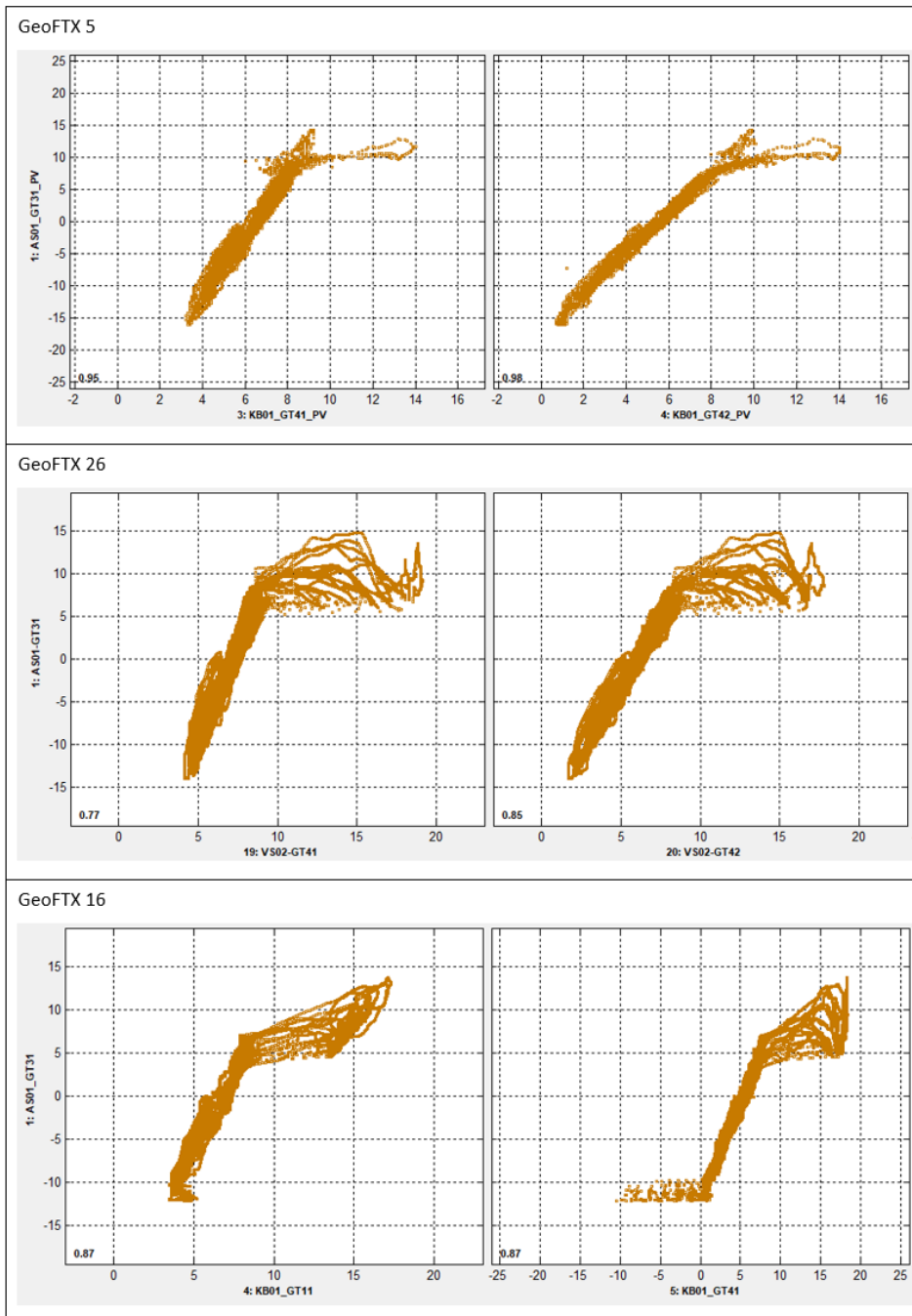


T_{ute} vs avluftstemperatur



I diagrammen högst upp kan man se att tryckfallet över växlaren bygger upp vid temperaturer på inkommande uteluft mellan 0°C och -12°C , och att temperaturen efter VVX (tilluftstemperaturen) en del timmar ligger mellan 5°C och 15°C .

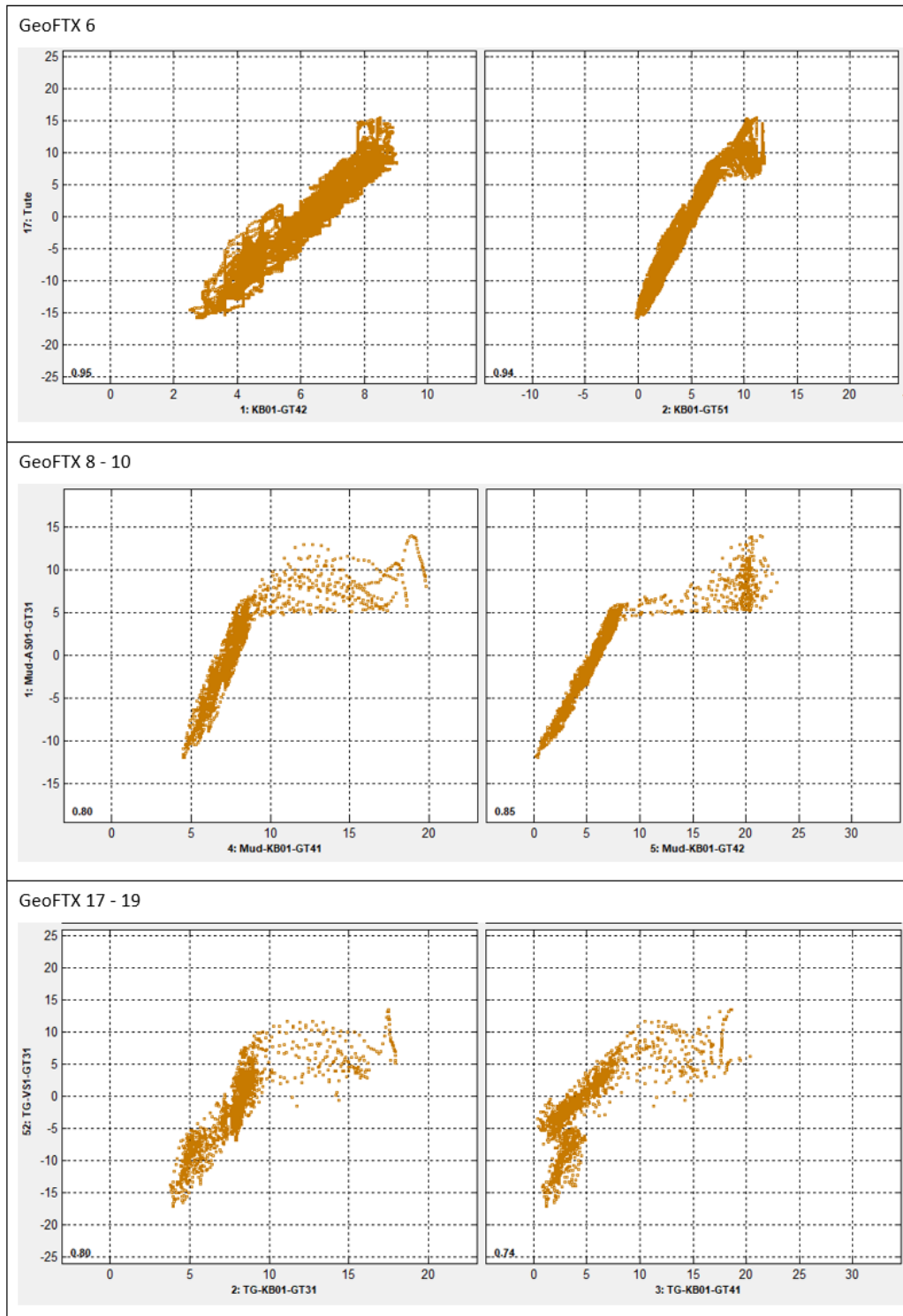
Bilaga 9 Borrhålstemperaturer under vintern



GeoFTX 5 förvärmer när T_{ute} är under $+9^{\circ}\text{C}$.

GeoFTX 6 förvärmer när T_{ute} är under $+7^{\circ}\text{C}$.

GeoFTX 16 förvärmer när T_{ute} är under $+5^{\circ}\text{C}$ och har problem med KB-flödet när T_{ute} är runt -11°C .

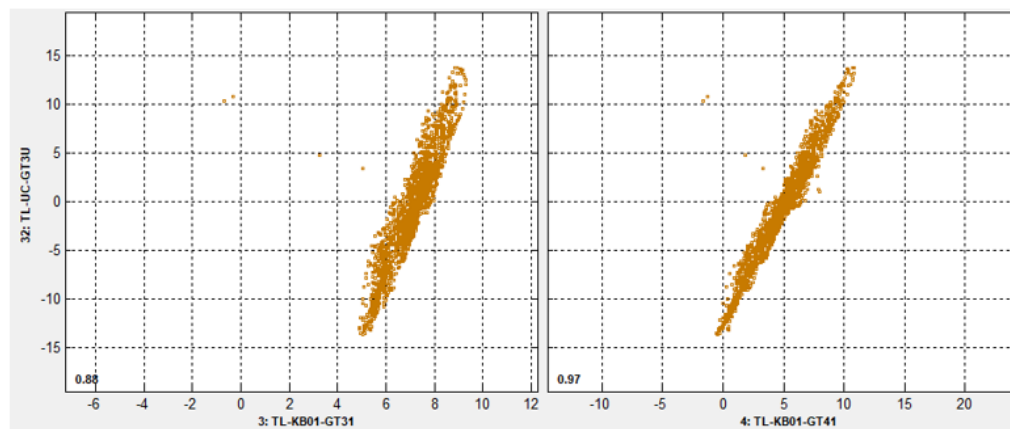


GeoFTX 6 förvärmer när T_{ute} är under $+9^{\circ}\text{C}$.

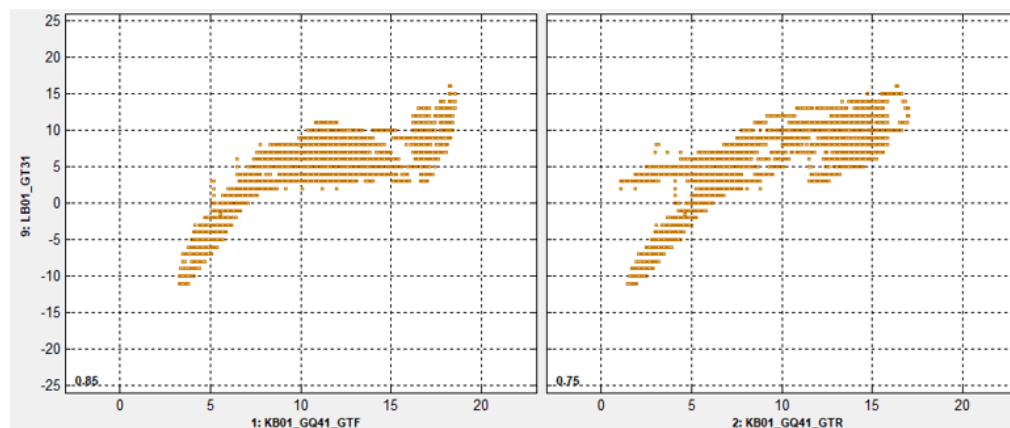
GeoFTX 8 – 10 förvärmer när T_{ute} är under $+5^{\circ}\text{C}$.

GeoFTX 17 – 19 förvärmer när T_{ute} är under $+5^{\circ}\text{C}$.

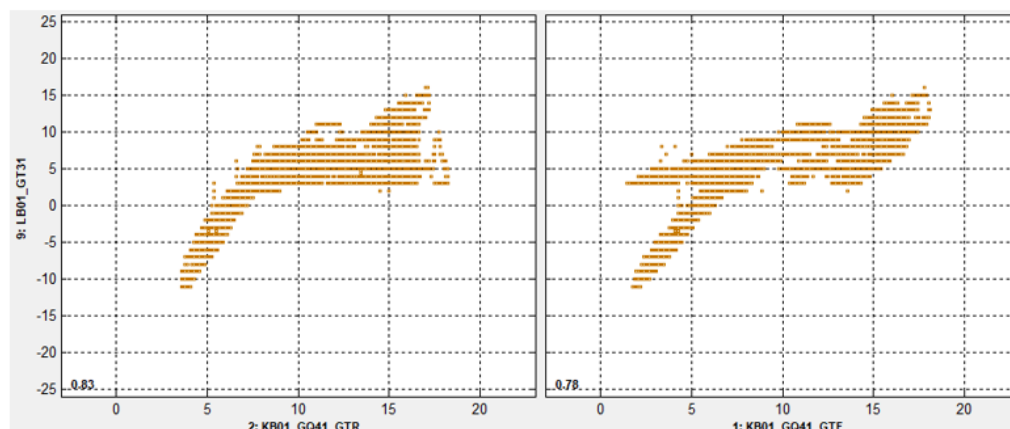
GeoFTX 11 - 12



GeoFTX 14



GeoFTX 13

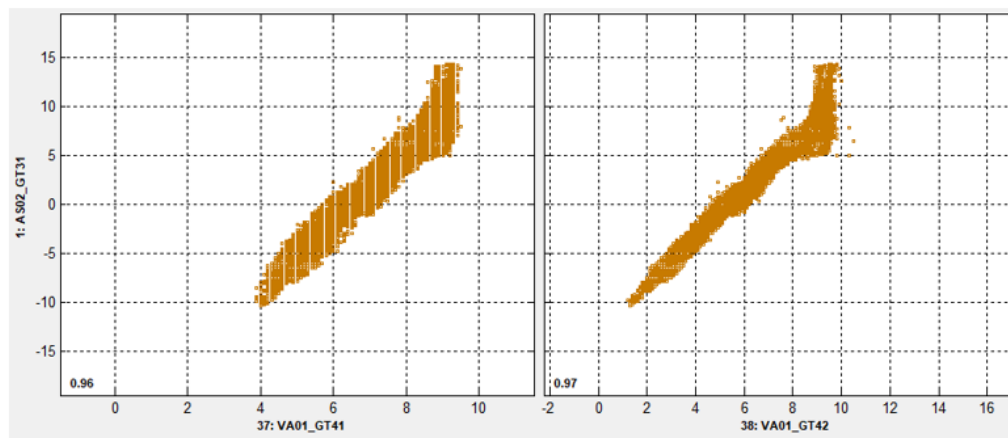


GeoFTX 11 – 12 förvärmer när T_{ute} är under $+10^{\circ}\text{C}$.

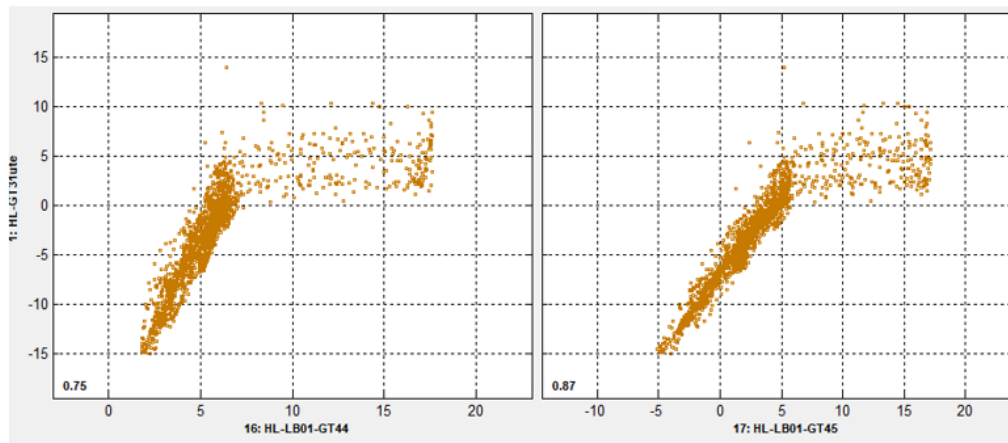
GeoFTX 13–14 förvärmer när T_{ute} är under $+5^{\circ}\text{C}$.

Diagrammen är randiga p.g.a. att inga decimaler är loggade mätdata för T_{ute} .

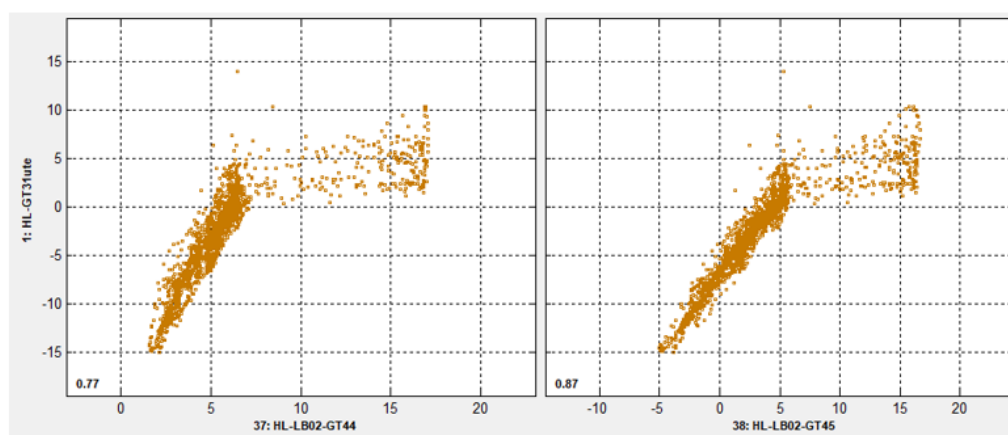
GeoFTX 1 - 2



GeoFTX 22



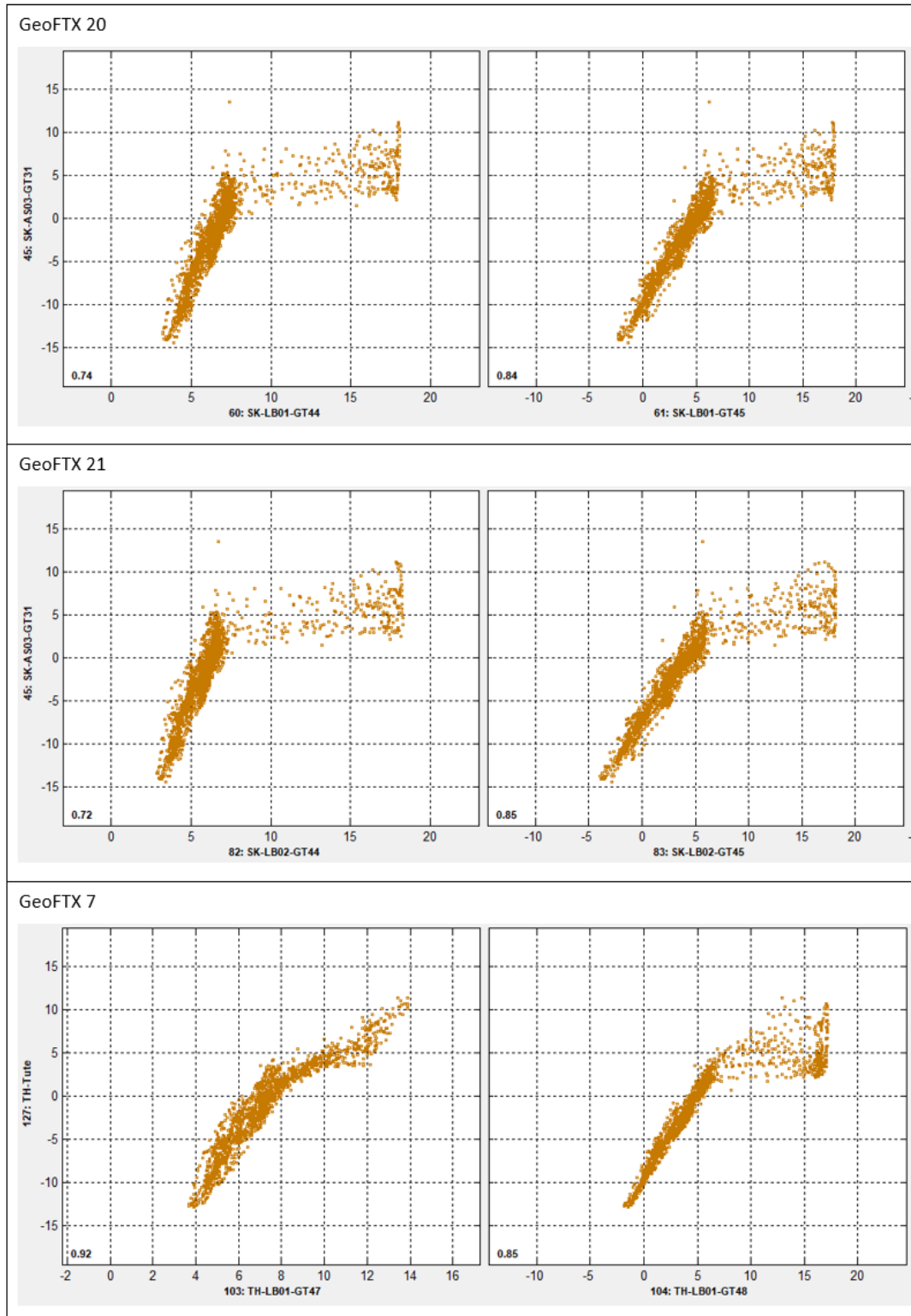
GeoFTX 23



GeoFTX 1 – 2 förvärmer när T_{ute} är under $+7^{\circ}\text{C}$.

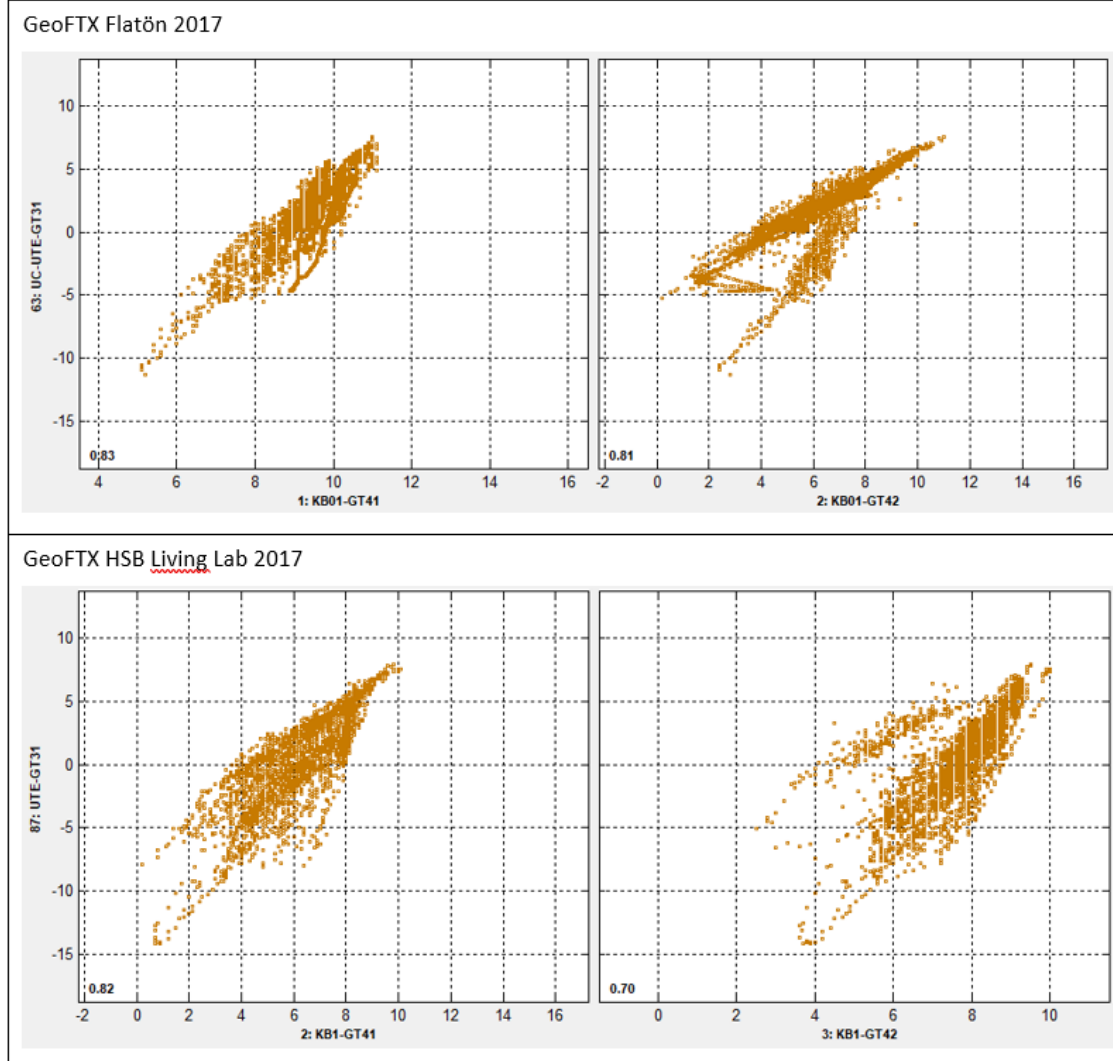
GeoFTX 22 förvärmer när T_{ute} är under $+5^{\circ}\text{C}$.

GeoFTX 23 förvärmer när T_{ute} är under $+3^{\circ}\text{C}$.



GeoFTX 20 – 21 förvärmer när T_{ute} är under $+5^{\circ}\text{C}$.

GeoFTX 7 förvärmer när T_{ute} är under $+3^{\circ}\text{C}$.



Diagrammen ovan avser installationer av GeoFTX som har förvärmningen som ett andra steg i värmningen av uteluften till önskad tilluftstemperatur. Detta för att minimera behovet av eftervärme.

Det ger en något trögare styrning mot önskad tilluftstemperatur.

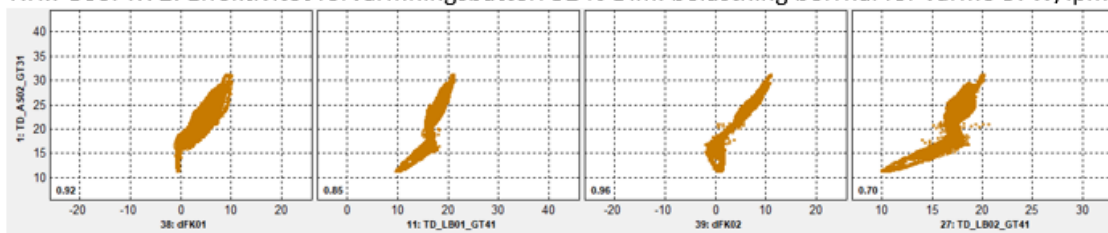
Bilaga 10 Förkylning (återladdning)

Mätdata från 23 GeoFTX.

KB-temp ej loggade eller har fel i loggning för GeoFTX 1–4

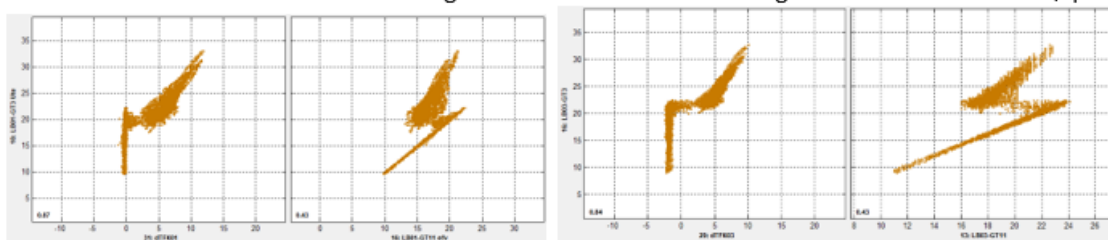
T.V.: GeoFTX 1: Effektivitet förvärmningsbatteri 52 % Dim. belastning borrhål för värme 37W/lpm

T.H.: GeoFTX 2: Effektivitet förvärmningsbatteri 52 % Dim. belastning borrhål för värme 37W/lpm



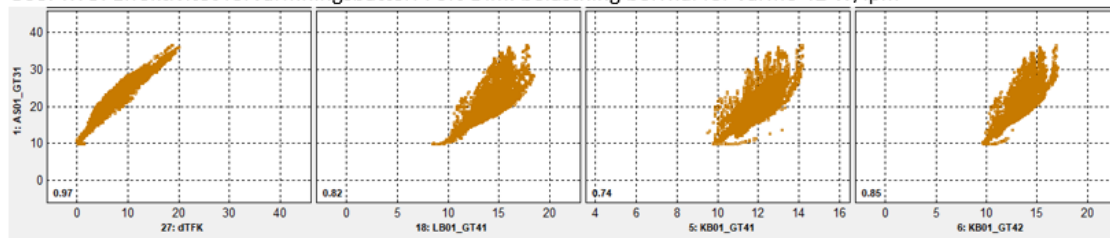
T.V.: GeoFTX 3: Effektivitet förvärmningsbatteri 58 % Dim. belastning borrhål för värme 46W/lpm

T.H.: GeoFTX 4: Effektivitet förvärmningsbatteri 58 % Dim. belastning borrhål för värme 59W/lpm

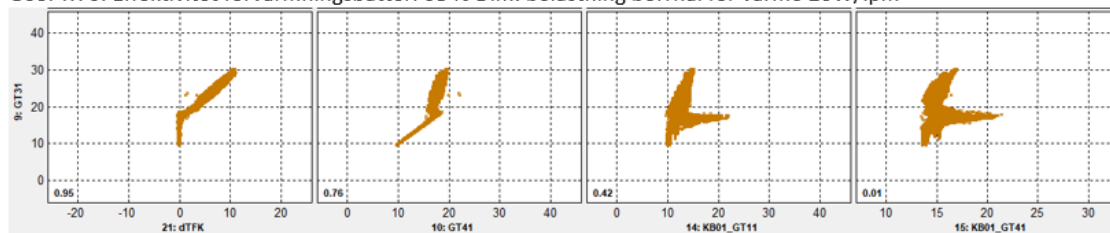


GeoFTX 1 – 4 kylvr ca 11°C vid T_{ute} 30 - 31°C.

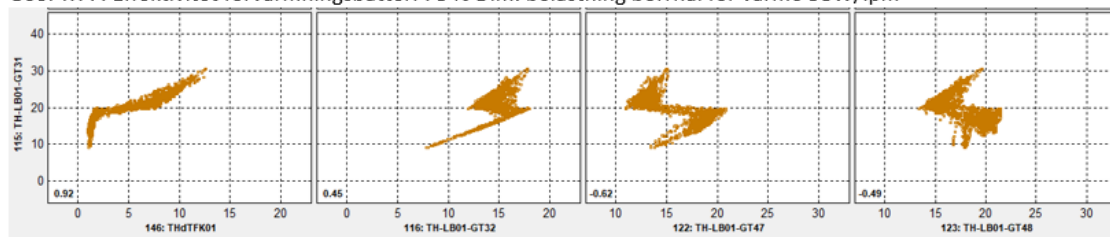
GeoFTX 5: Effektivitet förvärmningsbatteri 76% Dim. belastning borrhål för värme 42 W/lpm



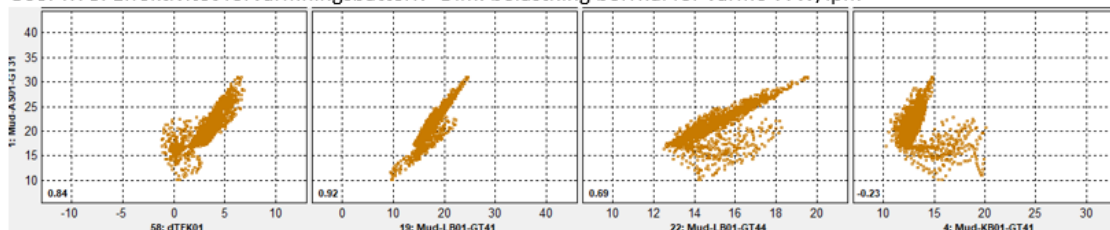
GeoFTX 6: Effektivitet förvärmningsbatteri 68 % Dim. belastning borrhål för värme 26W/lpm



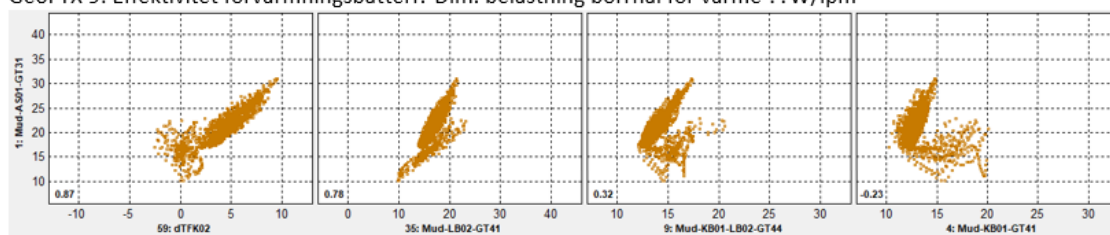
GeoFTX 7: Effektivitet förvärmningsbatteri 78 % Dim. belastning borrhål för värme 58W/lpm



GeoFTX 8: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



GeoFTX 9: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



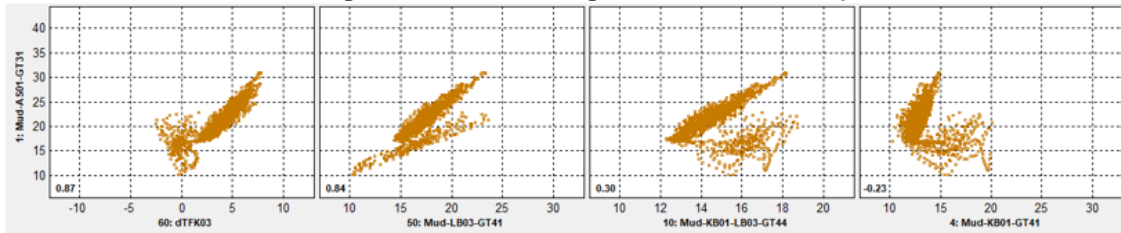
GeoFTX 5 kylvärme ca 18°C vid 35°C, KB-temperaturer 14 / 17°C

GeoFTX 6 och 7 kylvärme 11 - 12°C vid 30°C, KB-temperaturer 14 / 17°C resp. 15 / 19°C

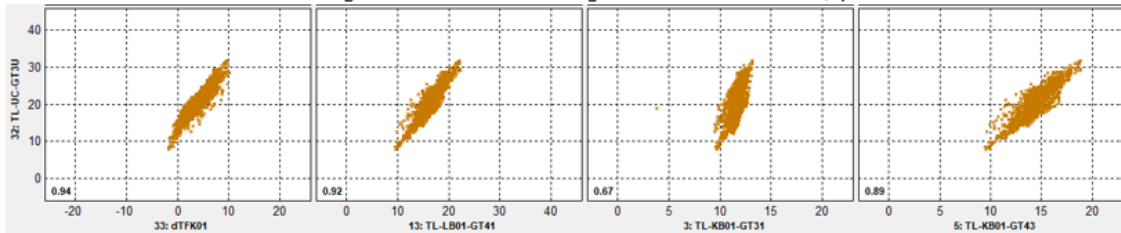
GeoFTX 8 kylvärme ca 7°C vid 30°C, KB-temperaturer 15 / 19°C

GeoFTX 9 kylvärme ca 9°C vid 30°C, KB-temperaturer 15 / 17°C

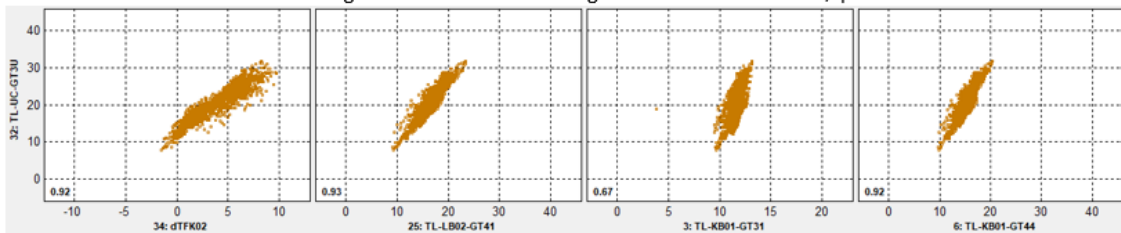
GeoFTX 10: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



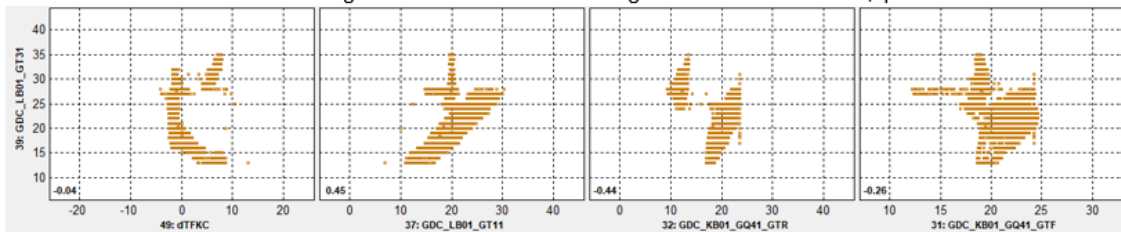
GeoFTX 11: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



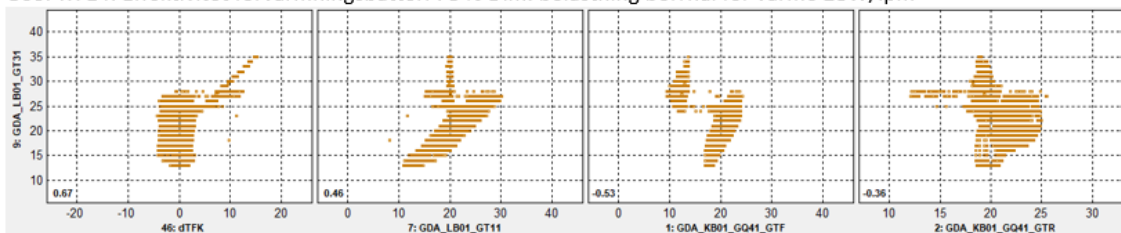
GeoFTX 12: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



GeoFTX 13: Effektivitet förvärmningsbatteri 78 % Dim. belastning borrhål för värme 28W/lpm

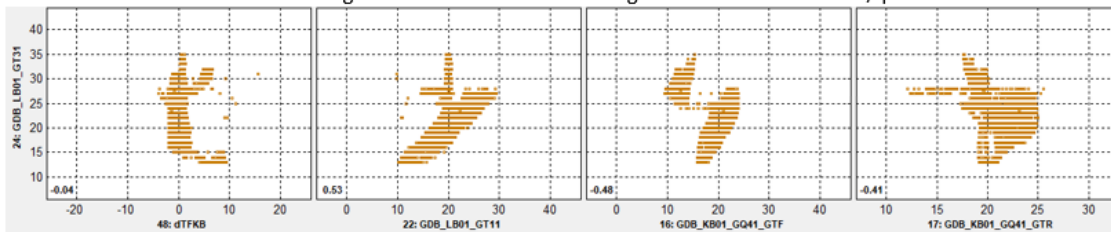


GeoFTX 14: Effektivitet förvärmningsbatteri 78 % Dim. belastning borrhål för värme 28W/lpm

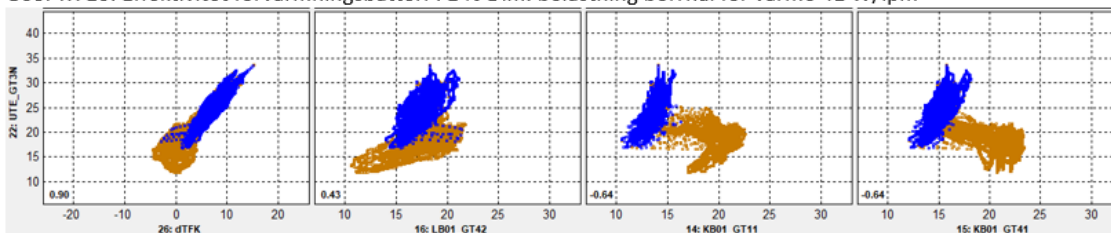


GeoFTX 10 och 12 kyler 7°C vid 30°C, KB-temperaturer 15 / 18°C resp. 13 / 20°C
 GeoFTX 11 kyler ca 10°C vid 30°C, KB-temperaturer 13 / 18°C
 GeoFTX 13 och 14 konstig funktion

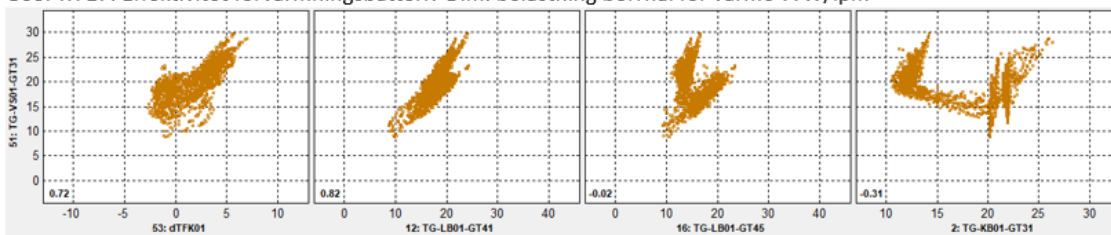
GeoFTX 15: Effektivitet förvärmningsbatteri 78 % Dim. belastning borrhål för värme 26W/lpm



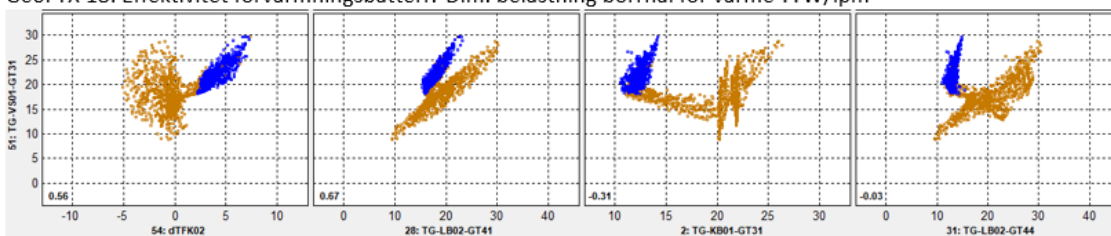
GeoFTX 16: Effektivitet förvärmningsbatteri 71 % Dim. belastning borrhål för värme 41 W/lpm



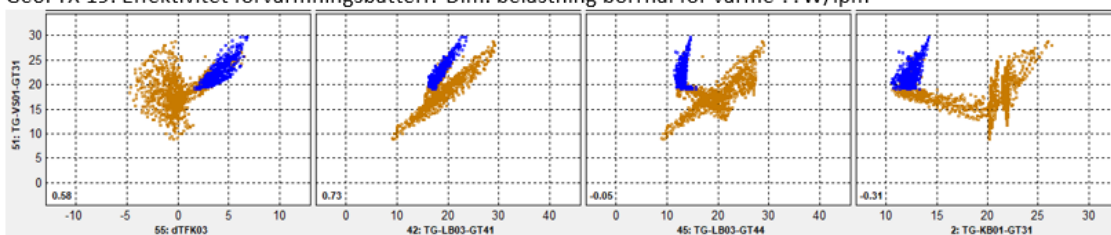
GeoFTX 17: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



GeoFTX 18: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



GeoFTX 19: Effektivitet förvärmningsbatteri? Dim. belastning borrhål för värme ??W/lpm



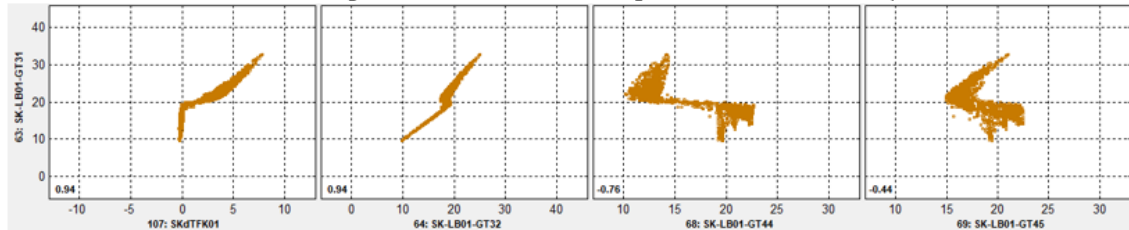
GeoFTX 15 konstig funktion

GeoFTX 16 och 17 kylv 7°C vid 30°C, KB-temperaturer 15 / 18°C resp. 13 / 15°

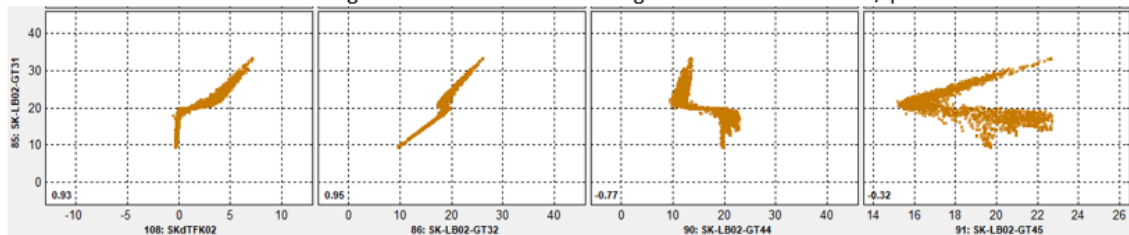
GeoFTX 18 och 19 kylv 7°C vid 30°C, KB-temperaturer 13 / 15°C

GeoFTX 20 - 23 är underdimensionerade.

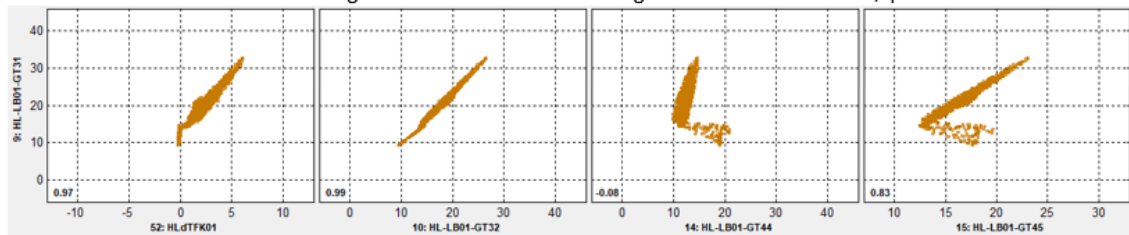
GeoFTX 20: Effektivitet förvärmningsbatteri 32 % Dim. belastning borrhål för värme 67W/lpm



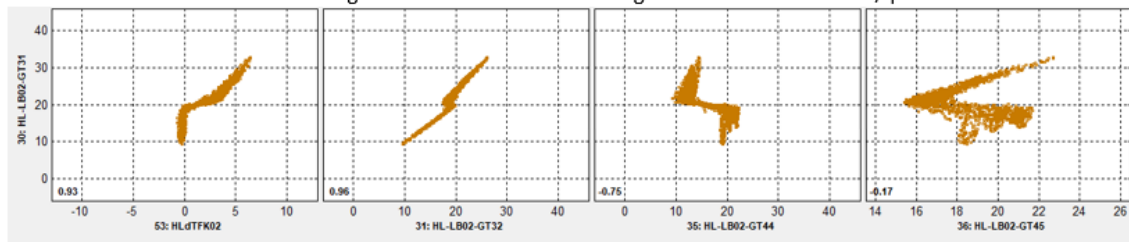
GeoFTX 21: Effektivitet förvärmningsbatteri 32 % Dim. belastning borrhål för värme 67W/lpm



GeoFTX 22: Effektivitet förvärmningsbatteri 22 % Dim. belastning borrhål för värme 92W/lpm



GeoFTX 23: Effektivitet förvärmningsbatteri 22 % Dim. belastning borrhål för värme 92W/lpm



GeoFTX 20 och 21 kylv 7°C vid 30°C, KB-temperaturer 13 / 20°C resp. 12 / 21°C
GeoFTX 22 och 23 kylv 6°C vid 30°C, KB-temperaturer 13 / 22°C resp. 13 / 21°C