



Energieffektiva elbyggnader

Jasmin Sundbäck

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	8416
Författare:	Jasmin Sundbäck
Arbetets namn:	Energieffektiva elbyggnader
Handledare (AFRY)	Ing. Kai Tarvainen
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Uppdragsgivare:	AFRY Finland Oy
<p>Sammandrag:</p> <p>Energieffektiva lösningar är något samhället och företag satsar på för att kunna uppnå en utsläppsfri framtid. För byggnader finns lagar, stadgar och riktlinjer för hur de skall planeras och byggas för att vara så energieffektiva som möjligt. I dessa förordningar tas endast vissa typer av byggnader i beaktande. Elbyggnader på industriområden, som har en stor värmebelastning, planeras till viss del med samma förordningar som byggnader med obetydlig värmebelastning. Finns det någon bakomliggande orsak till detta eller är elbyggnader bortglömda då förordningarna stiftats?</p> <p>Elbyggnader använder sig av frikyla och återanvänd värme i den mån det finns att få, men utöver det har energieffektiviteten inte beaktats i någon större grad. Jag har i detta examensarbete försökt ta reda på de åtgärder som ytterligare kunde minska på energianvändningen i elbyggnader. Som referens har jag använt mig av en existerande elbyggnad som befinner sig på Sköldviks industriområde i Borgå. Energianvändande komponenter i denna byggnad utöver ställverken är endast tilluftsaggregatet, cirkulationsluftsaggregatet och kylaggregatet. Dessa enheters enda uppgift är att upprätthålla övertryck och rätt temperatur i elbyggnaden. Energianvändningen kunde därmed minskas till exempel om byggnaden vore tätare och konstruktionen släppte igenom mera värmeenergi. Med teoretiska formler beräknade jag energibesparingen ifall sämre U-värden för väggar användes och ifall tilluftens temperatur uppvärmdes mindre under vinterhalvåret. Dessutom beräknade jag med AHUiQ dimensioneringsprogram energin som sparas ifall tilluftsvolymen minskas med 20%. För att hållas till enkla beräkningar tog jag i beaktande endast el- och serviceutrymmen även om elbyggnaden också innehåller andra utrymmen. Dessutom tog jag inte i beaktande dörrarnas inverkan på värmeöverföringen.</p> <p>Resultatet visar att alla förändringsalternativen nog sparar energi i det klimatet som förekommer i Sköldvik. Vad den totala inbesparade energimängden är blev omöjlig att definiera med den data jag hade att tillgå.</p>	
Nyckelord:	U-värde, elbyggnad, energieffektivitet, passiv kyla
Sidantal:	45
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	02.05.2022

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och miljöteknik
Identification number:	8416
Author:	Jasmin Sundbäck
Title:	Energieffektiva elbyggnader
Supervisor (AFRY)	B.Sc. Kai Tarvainen
Supervisor (Arcada):	M.Sc. Kim Rancken
Commissioned by:	AFRY Finland Oy
<p>Abstract:</p> <p>Energy-efficient solutions are something society and businesses are investing in to achieve a zero-emission future. For buildings, there are laws, regulations and guidelines on how they should be designed and built to be as energy efficient as possible. These regulations only take certain types of buildings into account. Electricity buildings on industrial sites, which have a high heat load, are planned to some extent with the same regulations as buildings with insignificant heat loads. Is there an underlying reason for this, or are electrical buildings forgotten when the regulations are drawn up?</p> <p>Electric buildings make use of free cooling and reused heat whenever possible, but beyond that energy efficiency has not been taken into account to any great extent. In this thesis I have tried to find out the measures that could further reduce the energy use in electrical buildings. As a reference I have used an existing electrical building located in the Kilpilahti industrial area in Porvoo. The only energy consuming components in this building besides the switchgear are the supply air unit, the circulation air unit and the cooling unit. The only function of these units is to maintain overpressure and the right temperature in the electrical building. The energy consumption could thus be reduced if the building was more airtight, and the structure allowed more heat energy to pass through. Using theoretical formulas, I calculated the energy savings if worse U-values for the walls were used and if the supply air temperature were heated less during the winter months. In addition, I used the AHUiQ sizing software to calculate the energy saved if the supply air volume was reduced by 20%. In order to keep the calculations simple, I considered only the electrical and service rooms, even though the electrical building also contains other spaces. In addition, I did not take into account the impact of doors on heat transfer.</p> <p>The results show that all the options for action are likely to save energy in the climate that prevails in Kilpilahti. What the total amount of energy saved is became impossible to define with the data I had available.</p>	
Keywords:	U-value, electrical building, energy efficiency, passive cooling
Number of pages:	45
Language:	Swedish
Date of acceptance:	02.05.2022

INNEHÅLL

SAMMANDRAG

ABSTRACT

FIGURER

TABELLER

FÖRKORTNINGAR

FÖRORD

1	INLEDNING	7
1.1	Elbyggnader och specialregler för dessa	8
2	BERÄKNINGSMETOD	11
2.1	Termodynamik	12
2.1.1	Värmeöverföring	12
2.1.2	Adiabatisk blandning av luft	16
2.2	Mollier diagram och andra beräkningsmetoder	17
3	ELBYGGNAD MX's BESKRIVNING	18
3.1	VVS-aggregat	19
3.1.1	Tilluftsaggregat	19
3.1.2	Cirkulationsluftsaggregat	20
3.1.3	Kylaggregat	21
3.2	Begränsningar	24
3.3	El- och serviceummens dimensioner och börvärden	24
4	ENERGIBESPARINGS ALTERNATIV FÖR MX	25
4.1	U-värdets inverkan på kylbehovet	26
4.2	Minskning av tilluftsvolymer	27
4.3	Lägre tilluftstemperatur under vinterhalvåret	28
5	RESULTAT	29
5.1	Kylbehovet med olika U-värden	29
5.2	Tilluftsvolymerens inverkan på energianvändning	35
5.3	Lägre tilluftstemperatur	36
6	SLUTSATS	39

Källor	40
--------------	----

BILAGA 1. Elbyggnad MX från sidan

BILAGA 2. Elbyggnad MX framifrån

BILAGA 3. Planritning på andra våningen av elbyggnaden MX

BILAGA 4. Allmän info om Aurora Kilpilahti Oy's elbyggnader

FIGURER

Figur 1. Värmeenergins överföring från en kropp till vätska eller gas (Cengel s.14). ...	14
Figur 2. Totala värmeenergin från konvektion och strålning (Cengel s.130).....	15
Figur 3. Blandning av två olika luftmassor (Science Direct).	17
Figur 4. Tilluftsaggregatet.	19
Figur 5. Cirkulationsaggregatet.	21
Figur 6. Kylaggregat (Uniflair s.20).	22
Figur 7. Kylprocessen både med kompressor och frikyla (Laitinen et al. 2016 s.6).....	23
Figur 8. Kylenergiebehovet för elrum med olika U-värden.	30
Figur 9. Kylbehovet per månad med olika U-värden.	31
Figur 10. Temperaturvariation per månad.	31
Figur 11. Värmeenergin genom konstruktionen då $U = 0,26$	32
Figur 12. Värmeenergin genom konstruktionen då $U = 0,65$	32
Figur 13. Värmeenergin genom konstruktionen då $U = 0,81$	33
Figur 14. Antal timmar som utetemperaturen ligger under $+7^{\circ}\text{C}$ och frikyla kan användas.	34
Figur 15. Kylenergiebehovet för månaderna maj-oktober.	35
Figur 16. Tilluftsaggregatets energiförbrukning.	36

TABELLER

Tabell 1. Tillåtna temperaturer för olika utrymmen (Säkötiety 2017 s.3).	9
Tabell 2. Föroreningar som orsakar korrosion (Säkötiety 2017 s.5).....	10
Tabell 3. Blandade luftens temperatur då tilluften är $+10^{\circ}\text{C}$ och volymflöde 2,5/h.	37
Tabell 4. Blandade luftens temperatur då tilluften är $+5^{\circ}\text{C}$ och volymflöde 2,5/h.	37
Tabell 5. Blandade luftens temperatur då tilluften är $+10^{\circ}\text{C}$ och volymflöde 2,0/h.	38

FÖRKORTNINGAR

VVS	Värme, ventilation och sanitet
COP	Coefficient of Performance
LCC	Life cycle cost
IDA ICE	IDA Indoor Climate and Energy
Pa	Pascal

FÖRORD

I detta examensarbete undersöks vilka alternativ det finns att minska på energiförbrukningen för elbyggnade. Energieffektivitet är mer relevant än någonsin då strävan till en utsläppsfri värld är hög. Därför finns det ett behov att se över ifall planering av elbyggnader med dagens direktiv verkligen är de mest energieffektiva.

Innan jag påbörjade detta examensarbete hade jag ingen uppfattning om vad en elbyggnad är eller hur den planeras. Mycket bakgrundsinformation måste skaffas innan jag kunde bilda en uppfattning om vad arbetet handlade om. Det mest utmanade var att få fram pålitliga resultat. Färdigt utvecklade simuleringsprogram kunde inte ge de svar jag behövde då de VVS-lösningar som användes i detta fall inte hör till standardlösningarna. Dessutom var det svårt att få tag på ursprungliga data så jag måste tillämpa den informationen jag hade på bästa sätt.

Även om det stundvis varit svårt att hitta den information jag varit ute efter så har detta arbete lärt mig väldigt mycket. Jag har utvecklats som VVS-planerare och känner att jag har förmågan att ta an utmanade arbetsuppgifter även i framtiden.

Examensarbetet har gjorts för AFRY Finland Oy för att få fram information huruvida nya riktlinjer för planering av elbyggnader bör stiftas. Jag vill tacka alla mina kollegor på

AFRY Finland Oy som har besvarat mina otaliga frågor och stött mig under hela processen.

Helsingfors 26.04.2022

Jasmin Sundbäck

1 INLEDNING

Klimatförändringen är något som berör hela världen på flera olika sätt. För Finlands del innebär det bland annat att värmeböljorna blir vanligare och längre, mer nederbörd, vektorburna infektionssjukdomar och andra hälsoproblem. (Institutet för hälsa och välfärd 2021) Klimatförändringen hotar till stor del livet på jorden, vilket kan leda till katastrofala följder. Därför är det ytterst viktigt att människornas produktion och utsläpp av växthusgaser minskas rejält eller upphör totalt. (WWF)

År 2020 stod energisektorn för 72% och industriprocessen för 11% av de totala växthusgasutsläppen i Finland (Tilastokeskus 2021). Utvecklingen mot utsläppsfria lösningar har ökat kraftigt och företag har satt ambitiösa mål för att uppnå målen som lagts upp både globalt och lokalt. Fast många åtgärder har gjorts på flera plan krävs det ytterligare innovativa lösningar för att kunna minska den globala uppvärmningen.

I detta examensarbete undersöker jag ifall det går att minska energiförbrukningen för elbyggnader på industriområden. Som det framgick tidigare har energi- och industrisektorn stora utsläpp i Finland och det är därför viktigt att hitta bättre lösningar inom dessa områden.

Elbyggnaden, som använts som modell i detta examensarbete, befinner sig på industriområdet i Sköldvik, Borgå. Industriprocessen i Sköldvik pågår dygnet runt med undantag under driftstopp perioder. Processerna är beroende av oavbruten eltillförsel, vilket elbyggnadernas komponenter står för. Elbyggnaden är uppdelad i olika el- och automatisrum och ingen byggnad är lik en annan, eftersom de alltid planeras specifikt för något ändamål.

Aurora Kilpilahti Oy sköter om eldistributionen på Sköldviks industriområde och deras distributionsvolym ligger på 1,8 TWh. Från stamnätet kommer det ström till sköldviksområdet med en spänning på 110 kV. I huvudtransformatorerna konverteras spänningen till 10 kV och fortsätter därefter i distributionsnätet. Distributionstransformatorer konverterar därefter ström till lågspänning vid platser där det behövs. Ifall av att stamnätet av någon orsak skulle upphöra att fungera så finns det även 12 reserv dieselgeneratorer på området. I 10 kV distributionsnätet finns det ca. 100 elbyggnader som innehåller bland annat distributionstransformatorerna och ställverk. (Bilaga 4) Dessa byggnader är utspridda runt om på Sköldviks industriområde som är 1300 hektar stort (Vaskinen 2016 s.2).

1.1 Elbyggnader och specialregler för dessa

Transformator-, el- och automationsutrymmen kan vara placerade på olika ställen beroende på industrins behov och ägarens önskemål. Dessa utrymmen är oftast placerade intill varandra. Skillnader förekommer om de är placerade inne i själva industribyggnaden eller i en skild byggnad på området. Om de placeras inne i industribyggnaden kan det hända att de inte får plats vid ytterväggen, vilket medför att tex. naturlig ventilation och kylning inte kan användas på samma sätt, som om de skulle vara placerade i en skild byggnad. Detta ökar naturligtvis på användningen av mekanisk ventilation och kyla, vilket i sin tur ökar på energikonsumtionen (Sähkötieto ry 2017 s.4). I exemplet som ingår i detta examensarbete är transformatorerna och elkomponenterna belägna i en skild byggnad och därav fokuserade jag endast på elbyggnaders energieffektivering.

Elström, som kommer till elbyggnaderna, försörjer industriprocessen och andra förnödenheter på området. Extra energi går dock åt till VVS-aggregaten som skapar rätt omgivning för elkomponenterna och ökar därmed på energianvändningen för industrier. Beroende på elkomponenten finns det olika krav på hurudan omgivning de kräver för att kunna fungera felfritt och maximera dess livslängd. Inte ett enda VVS-aggregat skulle behövas ifall komponenterna klarade av utomhusklimatet. Temperaturen och luftkvaliteten är de två viktigaste orsakerna till att komponenterna isoleras med tak, väggar och golv från omkringliggande omgivning (se tabell 1 & 2). För att skapa rätt omgivning för

elkomponenter räcker inte enbart en byggnad utan det krävs mekanisk ventilation, nedkylning, uppvärmning och filtrering av luften.

Då olika komponenter kräver olika omgivningar resulterar det i att elbyggnaden delas in i olika rum. I tabell 1 framgår vilka krav olika komponenter har och utifrån dessa krav planeras vilka VVS-lösningar som krävs. Transformatorerna skiljer sig från andra komponenter i en elbyggnad eftersom de inte är lika känsliga och det rekommenderas till och med att ha naturlig ventilation för dessa om bara möjligt (Sähkötieto ry 2017 s.3).

Tabell 1. Tillåtna temperaturer för olika utrymmen (Sähkötieto ry 2017 s.3).

Taulukko 1. Eri tiloissa sallitut lämpötilat.

Tila	Maksimi-lämpötila	Minimi-lämpötila	Käyttö-lämpötila	Huomautuksia	Ylipaine	Suodatustarve
Muuntajatilat luokka 01	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	100 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Muuntajatilat luokka 10K1	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	88 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Muuntajatilat luokka 20K1	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	77 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Muuntajatilat luokka 30K1	Huom. 1a	Huom. 2	20 °C	63 % jatkuva kuormitus	Huom. 3	
Pääkeskustila	40 °C	5 °C	15...28 °C	Suosittelava kosteus 20 % – 85 %	Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Kaapelitilat tai vastatilat	40 °C	5 °C	10...30 °C	Kaapelien kuormitus!		Huom. 6
Moottorigeneraattoritilat	35 °C	5 °C	10...30 °C			Huom. 6
Akustotilat	25 °C	15 °C	20 °C	SFS-EN 50272-2 Tarkista tilan räjähdysvaarallisuus		Huom. 6
UPS-tilat	30 °C	15 °C	20 °C		Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Automaattitilat yleensä	30 °C	15 °C	25 °C	Suosittelava kosteus 20 % – 75 %	Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Tietokonetilat yleensä	27 °C	20 °C	22 °C	toleranssi yksi aste Suositeltava kosteus 45 % – 55 % huom 7	Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Invertteri- ja tasavirtakäytöt	25 °C	15 °C	18...22 °C		Huom. 3	Huom. 4 tai 5
Erillinen kompensointitila	40 °C	5 °C	15...25 °C			Huom. 4 tai 5

- Lämpötilat positiivisia lukuja.
- Huom. 1. IEC 61 330 mukainen koteloitiluokka.
- Huom. 1a. Maksimiarvon määrää muuntajan lämpeneminen.
- Huom. 2. Mitä alhaisempi sen parempi. Ympäriällä olevat tilat otettava huomioon.
- Huom. 3. Tarvittaessa pieni ylipaineistus ympäristöön nähden. Suosituksena on 20 Pa ylipaine.
- Huom. 4. Mekaaninen suodatus.
- Huom. 5. Tarvittaessa kemiallinen suodatus.
- Huom. 6. Harkinnan mukaan.
- Huom. 7. Energian säästön takia voidaan käyttää korkeampia lämpötiloja. Tiloihin sijoitettavien laitteiden maksimi käyttölämpötila tulee tällöin sallia korotetun lämpötilan.

Där människor vistas är det viktigt att syrerik luft tillförs konstant och koldioxidhaltig luft förs ut från byggnaden. Elkomponenter kräver ventilation av helt andra orsaker, nämligen för att minska korrosion. Föroreningar som skapar korrosion på elledande material framgår i tabell 2. Då halten av dessa föroreningar är för stor, som det oftast är på

industriområden, krävs det att luften filtreras med kemiska filter. Luften tas in genom ett ventilationsaggregat innehållande kemiskt filter och förs därefter in i rummen. Byggnaden är aldrig helt lufttät och därmed kommer också en del förorenad luft in i rummen genom väggar, ifall inte byggnaden har övertryck. Övertryck bildas med hjälp av tilluftsaggregatet på så vis att det förs in mera luft i byggnaden än vad det försvinner från den. Rekommendationen är ett övertryck på 20 Pa gentemot omgivningen (se tabell 1). På detta sätt kan det försäkras om att all luft till byggnaden har filtrerats från föroreningar innan den kommer i kontakt med elkomponenter. Ingen frånluftsmaskin krävs för utrymmen där människor inte vistas.

Tabell 2. Föroreningar som orsakar korrosion (Sähkötieto ry 2017 s.5).

Korroosiota aiheuttavat epäpuhtaudet	Luokka			
	Pitoisuus ppb (mm ³ /m ³)			
	1	2	3	X
Rikkivety (H ₂ S)	< 3	< 10	< 50	< 50
Rikkidioksidi (SO ₂)	< 10	< 100	< 300	< 300
Kloori (Cl ₂)	< 1	< 2	< 10	< 10
Typen oksidit (NO _x)	< 50	< 125	< 1250	< 1250
Otsoni (O ₃)	< 2	< 25	< 100	< 100
Vastaava oksidifilmin paksuus kuparilevyllä (A), yhden kk:n altistumisaika	< 300	< 1000	< 2000	< 2000

Relativa fuktigheten spelar viktig roll för känsliga elkomponenter. I tabell 1 rekommenderas fuktreglering endast för vissa utrymmen, men komponenttillverkaren kan även rekommendera fuktreglering till andra utrymmen. För låg relativ fuktighet skapar elektrostatisk laddning som kan urladdas om två föremål med olik laddning kommer i kontakt med varandra. En kraftig urladdning kan skada komponenten (Airtec). För hög luftfuktighet ökar däremot risken för kondensbildning ifall temperaturen av någon orsak sjunker. Ifall kondensvatten kommer i kontakt med elkomponenter kan korrosionen bli till och med flera tusentals gånger snabbare än i normalfall och förkortar därmed

livslängden för komponenterna. Korrosionen slutar dock genast när temperaturen stiger och vattnet avdunstar. (Heinonen & Lahtinen 2007 s.44)

Förutom ren luft och rätt fuktighet kräver elkomponenter även en ganska exakt rumstemperatur då de är igång. Deras prestanda sjunker om temperaturen avviker mycket från sitt börvärde. Då elkomponenterna inte är igång tål de större temperaturskillnader som framgår i tabell 1 som maximi- och minimivärden. För att skapa rätt temperatur krävs det både värme- och kylaggregat. Hurdana värme- och kylaggregat som används bestäms alltid projektvis.

Miljöministeriet har sedan 1975 haft bestämmelser om vilka U-värden olika utrymmen skall ha på väggar, tak, golv, dörrar och fönster (Ympäristöministeriö 2018 s.6). Miljöministeriets senaste bestämmelse uppdatering för U-värden är från år 2017. I miljöministeriets förordning räknas upp U-värden för tre olika byggnadsändamål: kalla/varma utrymmen, delvis uppvärmd byggnad och byggnader som räknas som fritidsboende (Finlex 2017: 24§). I detta fall räknas elbyggnader då till delvis uppvärmd byggnad och skall enligt miljöministeriet byggas med följande U-värden:

- Vägg: $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Golv och tak mot det fria: $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Golv mot kryprum: $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Golv mot mark: $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fönster och dörr: $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

2 BERÄKNINGSMETOD

I detta kapitel presenteras alla de beräkningsmetoder som använts för att komma fram till resultatet. Jag har använt mig av litteratur som presenterar allmänna fysiska lagar och sedan gjort beräkningarna i Excel enbart med att använda formlerna som presenteras härnäst.

2.1 Termodynamik

Termodynamik är läran om energi och dess omvandling mellan olika former. Energi förekommer i olika former som till exempel kinetisk, kemikalisk, magnetisk, potential, elektrisk, mekanisk och termisk. Ett system kan innehålla många olika former av energi och summan av dessa utgör systemets totala energi. Internationella enheten för energi är joule (J). (Cengel 2002 s.6)

Termodynamikens första lag handlar om energins bevarande. Lagen säger att energi varken kan skapas eller förstöras utan att den enbart kan ändra form. Detta innebär att systemets slutgiltiga energi kan beräknas om mängden energi som förs in och lämnar systemet är känd. (Cengel s.11)

$$E_{in} - E_{ut} = \Delta E_{system} \quad E = \text{energi [J]}$$

Termodynamikens andra lag säger att värme alltid överförs från ett varmare system till ett kallare (Cengel s.17).

2.1.1 Värmeöverföring

Med termodynamikens lagar kan man beräkna mängden energi som överförs från ett system till ett annat, men det framgår inte hur lång tid det tar. Ingenjörer och andra yrkesgrupper är oftast intresserade av hur lång tid det tar för till exempel värme att överföras och därför har värmeläran skapats. Värmeöverföring baserar sig på termodynamikens lagar men tar i beaktande även tiden. Enheten för värmeöverföring är watt (J/s) och betecknas i formler med \dot{Q} . Den drivande kraften i värmeöverföring är temperaturskillnaden. Utan temperaturskillnad överförs heller ingen värmeenergi (Cengel s.2)

Värme kan överföras på tre olika sätt: konduktion (ledning), konvektion (strömning) och värmestrålning. Konduktion sker i fasta ämnen, gaser och vätskor. Värmen överförs bland annat genom vibrationer och kollisioner av molekyler. Hur mycket värmeenergi som överförs genom konduktion genom tex. en vägg beror på geometrin, tjockleken, och

materialen på väggen samt temperaturskillnaden på vardera sidan om väggen (Cengel s.17–18). Konduktionen beräknas med Fouriers lag.

Fouriers lag:

$$\dot{Q}_{kond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad \dot{Q} = \text{värmeenergi [W]}$$

k = termisk konduktivitet [W/mK]
 A = väggens area [m^2]
 T_1 = temperatur på väggens inre yta [K]
 T_2 = temperatur på väggens yttre yta [K]
 Δx = väggens tjocklek [m]

Konvektion sker mellan fasta ytor och gas eller vätska som omringar den fasta ytan. Gasen eller vätskan måste vara i rörelse för att konvektion skall ske och ju mer rörelse desto mer överförs värme genom konvektion. Konvektion beräknas med Newtons lag för kylning. (Cengel s.26)

Newtons lag för kylning:

$$\dot{Q}_{konv} = hA(T_s - T_\infty) \quad \dot{Q} = \text{värmeenergi [W]}$$

h = luftens konvektionsförmåga [W/m^2K]
 A = ytans area [m^2]
 T_s = ytans temperatur [K]
 T_∞ = omgivningens temperatur [K]

Värmestrålning överförs från en varm kropp genom elektromagnetiska vågor. Denna form av värmeöverföring kräver inget medium till skillnad från konvektion och konduktion. Alla kroppar med en temperatur över absoluta nollpunkten har värmestrålning. Värmestrålning kan beräknas med Stefan-Bolzmanns lag ifall kroppen omringas av gas, som till exempel atmosfären. (Cengel s.27)

Stefan-Boltzmanns lag:

$$\dot{Q}_{strål} = \varepsilon \sigma A(T_s^4 - T_\infty^4) \quad \dot{Q} = \text{värmeenergi [W]}$$

ε = emissionskoefficient

σ = Stefan-Boltzmanns konstant [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$]

T_s = Ytans temperatur [K]

T_∞ = omgivningens temperatur [K]

Då värme överförs från eller till ett rum genom väggar, tak och golv sker det genom alla tre värmeöverförings sätten. I figur 1 illustreras hur värmen överförs genom en vägg och vidare till omringande luften.

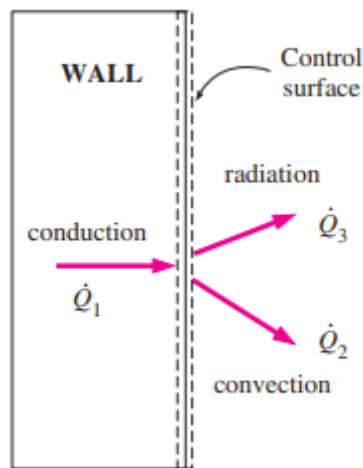


FIGURE 1-17

Figur 1. Värmeenergins överföring från en kropp till vätska eller gas (Cengel s.14).

U-värdet anger hur mycket värmeenergi som förflyttar sig genom byggnadskonstruktionen från den varmare till den kallare sidan. U-värdet har enheten $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ och kan härledas från konduktion, konvektion och värmestrålnings formlerna.

Följande formler härleder U-värdet.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{kond} &= kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \\ &= \frac{T_1 - T_2}{R_{kond}}\end{aligned}$$

$$R_{kond} = \frac{x}{kA} \text{ [K/W]}$$

R_{kond} står för materialets konduktions resistans (Cengel s.129). Alltså ju högre resistans materialet har desto mindre värme överförs genom fasta kroppen.

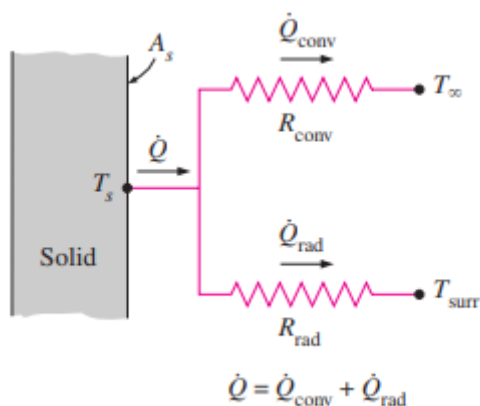
På samma sätt kan R_{konv} och $R_{strål}$ räknas ut från Newtons lag för kylning och Stefan-Boltzmanns lag (Cengel s.130). R_{konv} står för konvektions resistans och $R_{strål}$ för strålnings resistans.

$$\dot{Q}_{konv} = hA(T_s - T_\infty) = \frac{T_s - T_\infty}{R_{konv}} \quad R_{konv} = \frac{1}{hA} \quad [\text{K/W}]$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{strål} &= \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_\infty^4) \\ &= h_{strål} A (T_s^4 - T_\infty^4) \\ &= \frac{T_s - T_\infty}{R_{strål}} \end{aligned} \quad R_{strål} = \frac{1}{h_{strål} A} \quad [\text{K/W}]$$

Från och till en fast kropp överförs värme både i form av konvektion och strålning. Detta är illustrerat i figur 2. För att underlätta beräkningen av termiska resistansen på vardera sidan om väggen, kan man kombinera konvektions- och strålningsvärmen till ett och samma värde. (Cengel s 130.) Detta sker med att kombinera h och $h_{strål}$ från \dot{Q}_{konv} och $\dot{Q}_{strål}$.

$$h_{komb} = h + h_{strål} \quad h_{komb} = \text{kombinerad värmeöverföringskoefficient.}$$



Figur 2. Totala värmeenergin från konvektion och strålning (Cengel s.130).

När alla resistanser är kända kan den totala resistansen uträknas och därmed den totala värmeöverföringskoefficienten, som med andra ord även kallas U-värdet. Värmeöverföringskoefficienten räknas ut enligt formeln nedanför. (Cengel s.132)

$$R_{tot} = R_{komb1} + R_{kond} + R_{komb2} = \frac{1}{h_{komb1}A} + \frac{x}{kA} + \frac{1}{h_{komb2}A}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{tot}} &= \frac{h_{komb1}A}{1} + \frac{kA}{x} + \frac{h_{komb2}A}{1} \\ &= A \left(h_{komb1} + h_{komb2} + \frac{k}{x} \right) \end{aligned}$$

$$h_{komb1} + h_{komb2} + \frac{k}{x} = \text{totala värmeöverföringskoefficienten} = U\text{-värdet [W/m}^2\text{K]}$$

Då U-värdet är känt går det att beräkna hur mycket värmeenergi som överförs från luften på ena sidan av konstruktionen, till luften på andra sidan av konstruktionen.

Värmeenergi genom väggen:

$$\dot{Q} = UA\Delta T \quad \dot{Q} = \text{värmeenergi [W]}$$

$$U = \text{värmeöverföringskoefficient [W/m}^2\text{K]}$$

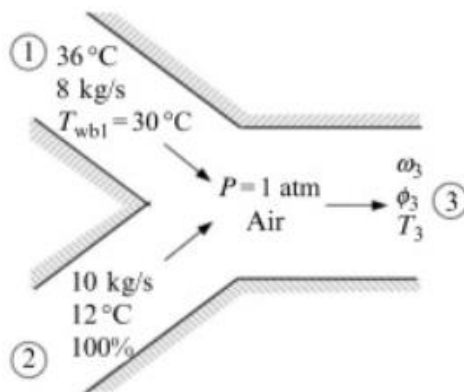
$$A = \text{area [m}^2\text{]}$$

$$\Delta T = \text{skillnaden i temperatur [K]}$$

2.1.2 Adiabatisk blandning av luft

Ordet adiabatisk betyder i en fysikalisk process något som sker utan värmebyte med omgivningen (Svensk ordbok 2021). Adiabatisk blandning innebär alltså att blandningsprocessen sker utan värmebyte med omgivningen. Då två olika luftmassor blandas med varandra och blandningens slutgiltiga temperatur och luftfuktighet skall beräknas, används oftast den adiabatiska beräkningsmetoden för att underlätta beräkningen.

Följande storheter måste vara kända för de luftmassor som ingår i blandningsprocessen: temperatur, entalpi/relativ luftfuktighet och volymflödet/massflödet.



Figur 3. Blandning av två olika luftmassor (Science Direct).

För att få fram luftens temperatur, entalpi och massflöde efter blandningen används form-
ler som grundar sig i termodynamikens första lag.

Massflödets bevarande i torr luft: $\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$

Energins bevarande: $\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$

H_2O bevarande i luften: $\dot{m}_1 \omega_1 + \dot{m}_2 \omega_2 = \dot{m}_3 \omega_3$

(Science Direct)

2.2 Mollier diagram och andra beräkningsmetoder

Mollier diagrammet kallas det diagram som beskriver egenskaperna hos en gas (Swegon). Detta diagram används av ingenjörer för att illustrera uppvärmnings-, kylnings- och befruktningssprocesser för luft. Det förekommer både i pappersformat och som datorprogram. Datorprogramsversionen, som kallas Mollier Sketcher, kan bland annat användas till beräkning av energimängden för uppvärmning/kylning av luften, specifika densiteten och entalpin (IV-produkt).

Energimängden som behövs för att värma luften, samt energimängden som avges från luften då den kyles, kan beräknas med värmemängdformeln (Jansson 2006 s.120). Denna formel tar dock inte i beaktande luftens fuktighet och den energi som frigörs, då luften

kyls under mättnadsgränsen och vatten börjar kondenseras. För att beräkna energimängden för denna process används ångbildningsformeln (Jansson 2006 s.120). Energimängden som behövs för att kyla luften, kan med dessa formler räknas ut för hand, men är även en inbyggd egenskap i Mollier Sketcher, som gör beräkningen mycket snabbare.

Värmemängd

$$Q = mc\Delta t$$

m = massa [kg]
 c = specifik värmekapacitet [kJ/kgK]
 Δt = skillnaden i temperaturen [K]

Ångbildning

$$Q = rm$$

r = specifika ångbildningsvärme [kJ/kg]
 m = massa [kg]

3 ELBYGGNAD MX'S BESKRIVNING

I detta examensarbete har jag använt som exempel elbyggnaden MX, som befinner sig på Sköldviks industriområde i Borgå. Elbyggnader skiljer sig till en del från varandra. Denna byggnad innehåller följande utrymmen, som även syns i bilaga 1 och 2:

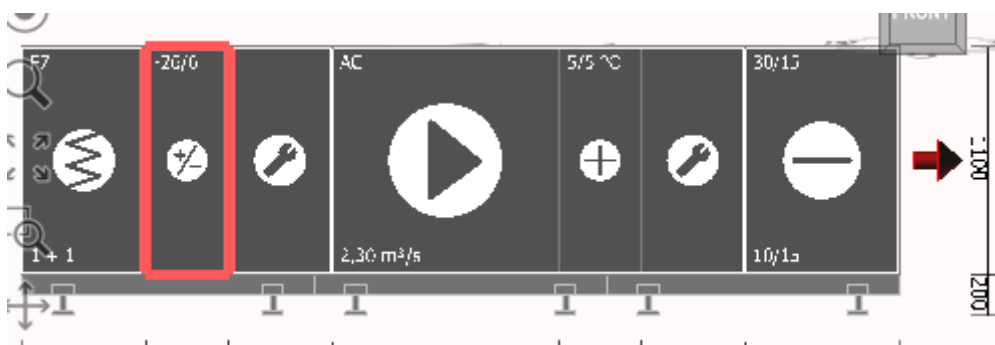
- Elrum med ställverk och frekvensomvandlare
- Servicerum med ställverk
- Transformatorrum med transformatorer
- Ackumulatorrum med ackumulatorer
- UPS rum med UPS apparatur
- VVS-rum med tilluftsaggregat, cirkulationsluftsaggregat och kyl-/värmebatterier
- Kabelrum
- Kompensationsrum

3.1 VVS-aggregat

VVS-aggregaten är de som skapar rätt omgivning för ställverken och apparaturen i byggnaden. Vilka aggregat som installeras i byggnaden bestäms alltid projektvis. I byggnaden MX finns ett tilluftsaggregat, cirkulationsaggregat och kylaggregat. Alla aggregat är kopplade ihop i VVS-rummet så, att tilluften blandas med cirkulationsluften, varefter den kyls och förs först därefter via kanaler till de olika utrymmen. Tilluftsaggregatet samt cirkulationsluftsaggregatet är placerade i VVS-rummet, medan kylaggregatet är placerad utomhus på en plåtå.

3.1.1 Tilluftsaggregat

Tilluftsaggregatet, som är avbildad i figur 4, har till uppgift att upprätthålla 20 Pa övertryck i elrummen. Hur många m^3/s luft som behövs för att upprätthålla övertrycket beror på hur tät byggnaden är. Ju mer luft konstruktionen läcker, desto större volym ersättande luft behövs per tidsenhet. I intervjun med DI Suihkonen framgick det, att tätheten i byggnaderna varierar från land till land. I Finland räknas det med att elbyggnaders luftläckage ligger på maximum 2,5/h. Detta betyder att 2,5 gånger utrymmets volym per timme läcker genom konstruktionen. Alltså dimensioneras tilluftsensheterna till samma volymmängd, så att den kan ersätta luftläckage med ny ren luft.



Figur 4. Tilluftsaggregatet.

Tilluftsaggregatet består av följande delar från vänster till höger:

- Filter. Detta filter grovfiltrerar luften från smuts och andra partiklar.

- Värmeåtervinning. Värmeåtervinning används på vintern då tilluften skall värmas upp till +10°C. Denna värme fås från spillvärmen som produceras av elkomponenterna.
- Servicedel.
- Fläkt. Fläktens uppgift är att kompensera tryckförlusterna i kanalen och föra luften ända fram till rummen.
- Elektriskt värmebatteri. Används ifall att värmeåtervinningsenergin inte är tillräcklig för att värma upp luften, eller då det är driftstopp och spillvärme inte finns att få.
- Servicedel
- Kylbatteri. Kyler luften till +15°C under den varma årstiden. Kylan förs till batteriet via köldbärarvätska. Själva kylan produceras i ett skilt kylaggregat.
- Efter tilluftsaggregatet kommer kemiska filtret som renar luften från de kvarstående luftföroreningarna. Denna del syns inte i figur 4.

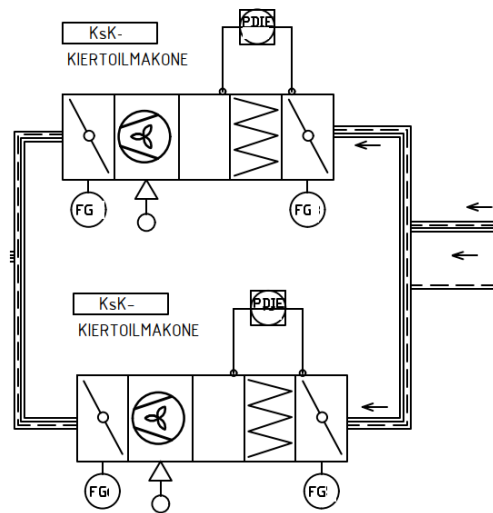
3.1.2 Cirkulationsluftsaggregat

Cirkulationsluftsaggregatet har till uppgift att kyla eller värma rummen, beroende på situationen. Hur ett rum kyles ner kan genomföras på två olika sätt. Antingen genom att kylbatteriet är placerat fysiskt i det rummet som behöver kylas, eller sedan är kylbatteriet i ett separat rum och färdig nerkyld luft förs till rummet via kanaler. Själva kylprocessen är likadan, nämligen uppvärmd luft förs till kylbatteriet där den avger värme till köldbärarvätskan. (Suihkonen 2022)

I MX används ett cirkulationsluftsaggregat som befinner sig i VVS-rummet. Enheten cirkulerar rummens luft med ett konstant flöde genom ett kylbatteri, som även det befinner sig i VVS-rummet. Denna lösning har många fördelar:

- Den sparar utrymme i de rum där elapparaterna och ställverken finns.
- Det finns ingen risk för att kondensvatten kommer i kontakt med känsliga elapparater då kylprocessen sker i ett skilt utrymme.

- Om röret, som innehåller köldbärarvätska, av någon orsak skulle börja läcka finns det ingen risk att elkomponenter och ställverk skulle förstöras eftersom rören och kylbatterierna inte befinner sig i samma rum.
- För serviceändamål är det enklare om enheterna befinner sig centralt på samma ställe. Arbetsförhållandena blir då också bättre för den som utför servicearbetet.



Figur 5. Cirkulationsaggregatet.

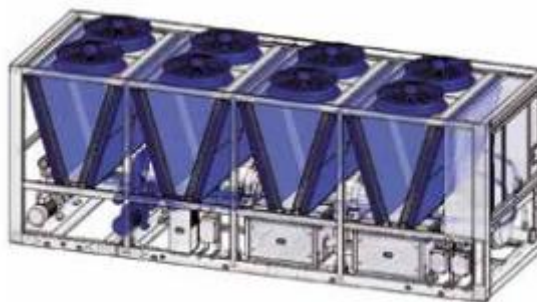
I figur 5 är cirkulationsluftsaggregatet avbildat som används i MX. Den består av två delar för att försäkra kyla även om en av delarna skulle sluta fungera. Värmebelastningen i MX är så stor att temperaturen stiger snabbt i rummen om ständig kyla inte fås. Enheten består av spjäll, grovfilter, fläkt och ljuddämpare. Efter ljuddämparen blandas tilluften in med cirkulationsluften och först därefter kommer kylbatteriet som kyler luften. Även elektriska värmebatterier finns installerade i kanalerna efter kylbatteriet för situationer då luften är för kall.

3.1.3 Kylaggregat

I kapitel 2 framgick att värme alltid överförs från ett varmare system till ett kallare. Då man vill att det motsatta skall hända, till exempel då man vill kyla ett rum under sommartid, måste energi användas. Det vanligaste sättet att producera kyla är med

kompressionsteknologi. Hela 90% av all kyla produceras just med denna teknologi (Laitinen et al. 2016 s.11). Beroende på temperatur och tryck, förekommer ämnen i fast-, vätske- och gasform. Då ett ämne byter form, binder eller avger det mycket energi utan att dess temperatur förändras. Den här naturliga processen av formändring kan människan skapa genom konstgjord tryckförändring, med hjälp av energi. Då trycket ökar stiger kokpunkten och då trycket minskar sjunker kokpunkten. Med hjälp av en kompressor och expansionsventil kan trycket ändras i systemet och värme kan på detta sätt antingen tas upp från- eller avges till andra system. På detta sätt kan värme överföras från ett kallare system till ett varmare. (Kapanen 2020)

Även i MX används kompressionsteknologi för att skapa kyla och aggregatet är avbildad i figur 6. Kylaggregatet är placerad utomhus på en plåt eftersom den tål både kyla och värme. Denna lösning sparar på utrymme i VVS-rummet. För att enheten skall vara miljövänligare har den även ett inbyggt system med frikyla. Frikyla innebär att kyla kan produceras passivt utan någon extra energiförbrukning.

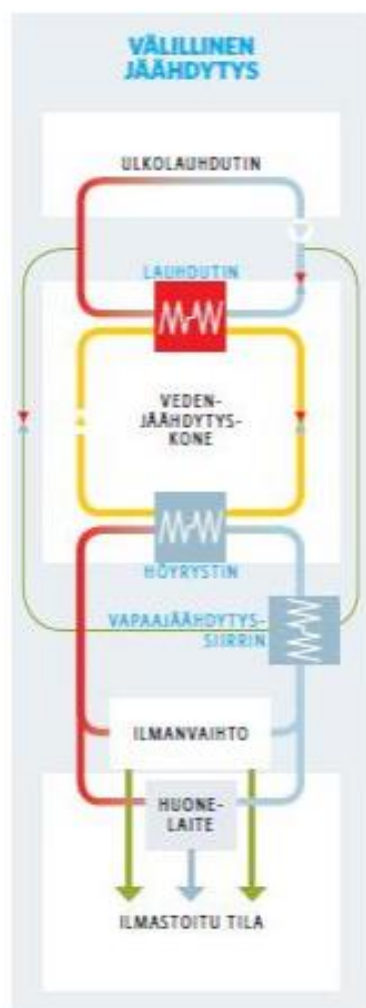


Figur 6. Kylaggregat (Uniflair s.20).

I figur 7 är det ritat ett schema på hur kylprocessen går till. Den nedersta kretsen föreställer köldbärarvätskan, som går mellan kylbatterierna och kylaggregatet. Gula kretsen och kretsen ovanför den tillhör båda själva kylaggregatet. Alla tre kretsar skils åt med värmewäxlare. I gula kretsen befinner sig expansionsventilen och kompressorn. Systemet används under varma perioder, då värme skall föras från det kallare systemet till det varmare. När utetemperaturen sjunker under $+7^{\circ}\text{C}$ kan kylaggregatet på MX övergå till frikyla (Tarvainen 2022). Då kopplas den gula kretsen ifrån och endast det översta och understa kretsen är igång. Frikyla innebär i det här sammanhanget, att uteluften kyler

köldbärarvätskan, som i sin tur kyler rummen. Den enda energi som går åt i denna process är pumparnas förbrukade energi. Pumparna har till uppgift att cirkulera vätskan i kretsarna.

I MX finns det två stycken kylaggregat för att försäkra oavbruten kyla, ifall att ena aggregatet skulle gå sönder. Båda aggregaten är i användning hela tiden men de producerar kyla med 50% effekt. Om det ena aggregatet går sönder producerar det andra kyla med 100% effekt. (Tarvainen 2022)



Figur 7. Kylprocessen både med kompressor och frikyla (Laitinen et al. 2016 s.6).

3.2 Begränsningar

I bilaga 1 och 2 framgår alla utrymmen som MX har. I beräkningarna tog jag dock bara i beaktande el- och servicerummen. Orsakerna till att jag inte tog i beaktande övriga rum är:

- Transformatorrummen: De har naturlig ventilation och ingen mekanisk kylning/uppvärmning, vilket betyder att ingen extra energi går åt.
- Ackumulatorrummet: Övertycksluftens mängd skiljer sig från de övriga utrymmena. Dessutom har rummet eget frånluftsaggregat som saknas från de övriga rummen. För en enklare uträkning tas detta rum inte i beaktande.
- UPS- rummet: Värmebelastningen är okänd och kan därför inte tas med i beräkningen.
- Kabelrummen: De är i direkt kontakt med uteluften och har därmed ingen ventilation, kylning eller uppvärmning, som skulle förbruka energi.
- VVS-rummet: Tilluften blandas inte med cirkulationsluften och gör därför uträkningarna mer invecklade om rummet skulle beaktas.

För att få enkla och någorlunda jämförbara resultat, kom jag fram till att göra beräkningar endast på el- och servicerummen, som ligger på andra våningen (se bilaga 3). Byggnaden MX har inga fönster och jag har också valt att inte ta med dörrarnas inverkan för enkelhetens skull.

3.3 El- och servicerummens dimensioner och börvärden

I MX innehåller både el- och servicerummen ställverk samt frekvensomvandlare. Därför skall rummen planeras, enligt tabell 1, med kategori; frekvensomvandlare och likströmbruk.

Krav för el- och servicerummen blir då enligt tabell 1:

- Rumstemperatur: Börvärdet $+20^{\circ}\text{C}$, $\pm 2^{\circ}\text{C}$
Max. temperatur $+25^{\circ}\text{C}$
Min. temperatur $+15^{\circ}\text{C}$

- Kemiska filter
- 20 Pa övertryck

Sammanlagda värmebelastningen i dessa rum har fått från ritningarna av Aurora Kilpi-lahti Oy. Enligt ritningarna är totala värmebelastningen i el- och servicerummen 71,8 kW.

När det kommer till ytterväggarnas dimensioner har jag inte haft tillgång till exakta värden, utan jag har utgått från flera olika ritningar och gjort upp en egen modell. I min modell är totala arean 386 m^2 och volymen 1659 m^3 . Detta kan skilja sig en del från de verkliga värdena. Formen på min byggnad motsvarar dock formen som syns i bottenritningen i bilaga 3.

U-värden för konstruktionen är i enighet med lagen som anger U-värden för delvis uppvärmda byggnader.

U-värden för MX är därmed:

- U-vägg: $0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$
- U-golv mot uteluft: $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
- U-tak: $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$

4 ENERGIBESPARINGS ALTERNATIV FÖR MX

VVS-aggregaten är de enda som förbrukar energi i MX förutom självaste elkomponenterna. Därför har jag valt att studera olika alternativ där energianvändningen för VVS-aggregaten skulle kunna minskas. Alternativen är säkert många, men jag har valt att fokusera på hur man kan öka på användningen av passiv kylning. Dessutom valde jag att studera hur minskning av tilluftsvolymen sparar energi.

4.1 U-värdets inverkan på kylbehovet

Miljöministeriet har skärpt på bestämmelserna för U-värden med tiden. Med lägre U-värde kan värme bättre hållas kvar på den sidan av utrymmet som människan vill. I kalla utrymmen bör värmen hållas på utsidan och i varma utrymmen däremot på insidan. Men hur relevant är det att ha ett litet U-värde för elbyggnader som, på grund av sin enorma spillvärme, behöver avlägsna mycket värmeenergi? Jag valde då att undersöka vilken betydelse olika U-värden har på totala kylbehovet. Vilket är det mest optimala U-värdet för att minska maximalt på den aktiva kylningen?

För att få fram information om U-värdets inverkan på kylbehovet hade jag två alternativ. Antingen skulle jag använda mig av IDA ICE simuleringsprogrammet, som gör uträkningar för mig om jag lägger in all relevant data, eller sedan skulle jag själv räkna med hjälp av teoretiska formler. IDA ICE tar i beaktande den senaste forskningen och solens inverkan på kylbehovet (Equa). Detta gjorde att jag beslöt mig för att börja med simuleringsprogrammet. Efter en tid insåg jag dock, att jag inte får ut all data som jag behövde från IDA ICE. Jag beslöt då att börja räkna med teoretiska värden istället.

På miljöministeriets sidor finns dokument på vilka U-värden som byggnader har haft sedan 1949 talet. Jag valde att jämföra två olika U-värden för väggar från historien med det U-värde som används idag. Detta för att se vilket som egentligen lämpar sig bäst för elbyggnader. U-värden jag valde är från år 1949 och 1985. Deras respektive U-värden är $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$ och $0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Ympäristöministeriö 2018 s.5–7). För golv och tak beslöt jag mig för att behålla, för alla beräkningar, det U-värdet som är från år 2017 bestämmelser. U-värdet på tak och golv är därför $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$.

För att kunna beräkna mängden värmeenergi, som förflyttas genom konstruktionen, behövs förutom U-värdet även totala arean och temperaturskillnaden mellan in och utsidan av byggnaden. Denna formel presenterades i kapitel 2.

Arean av väggar, golv och tak räknade jag ihop från de bottenritningar jag fått från Aurora Kilpilahti Oy. Väggarnas totala area blev 408 m^2 och takets samt golvets respektive area blev 386 m^2 . För att få ett så realistiskt resultat som möjligt, bestämde jag mig för att

ladda ner temperaturdata från meteorologiska institutets hemsida. Jag valde att ladda ner temperaturdata från år 2021, då värmeböljan varade rätt länge och det är något som troligen kommer att förekomma mer ofta i framtiden till följd av klimatförändringen. Överraskande har meteorologiska institutet en mätstation på själva sköldviksområde. Därför fick jag helt exakt data för det område jag studerar i detta examensarbete. Det går att välja temperaturdata med 10 min mellanrum eller med en timmes mellanrum. Jag valde en timmes mellanrum. Med denna temperaturdata kunde jag räkna ut hur många kWh som går ut/in genom konstruktionerna på årsnivå och månads nivå.

Då det blev sammanlagt 8760 temperaturvärden, bestämde jag mig för att räkna allt i Excel och där göra grafer som illustrerar de resultat jag fick. Jag gjorde beräkningarna 3 gånger, ett för var U-värde. Till sist räknade jag skillnaden mellan värmebelastningen och värmeförlusterna, för att komma till den årliga kylenergin som behövs.

4.2 Minskning av tilluftsvolymen

Om byggnaden vore tätare skulle mindre luft försvinna ut genom konstruktionen, vilket i sin tur skulle leda till att mindre tilluft behövdes. Mindre tilluft betyder mindre tilluftsbilaga med mindre fläkt, värmebatteri och kylbatteri. Jag ville undersöka, ifall man med tätare byggnad och på så sätt med mindre tilluftsvolym, kunde minska energikonsumtionen och hur mycket i så fall. Vanligtvis planeras till elrum en tilluftsvolym på 2,5 gånger rummets totala volym i timmen. För MX, som är modell i detta arbete, betyder det en tilluftsvolym på $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Jag undersökte hur mycket energi som skulle sparas om tilluften minskades till 2,0 gånger rummets totala volym i timmen. I detta fall betyder det att tilluften i stället för $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$ skulle vara $0,92 \text{ m}^3/\text{s}$.

För att beräkna hur mycket energi som går åt för att tillsätta de respektive luftflöden till rummet, använde jag mig av Recairs dimensioneringsprogram AHUiQ. Dimensioneringsprogrammet har ett eget LCC program, som räknar ut den totala förbrukningen av elenergi. I detta fall går elenergi endast åt till att hålla igång fläkten och till att kyla luften då uttemperaturen överstiger $+15 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.3 Lägre tilluftstemperatur under vinterhalvåret

Under vinterhalvåret uppvärms uteluften till $+10^{\circ}\text{C}$ i tilluftsaggregatet. Värmen fås från elrummens spillvärme, så ingen extra energi går åt till det. Det som förundrade mig var, att tilluftsvolymen inte är tillräckligt stort för att den slutgiltiga temperaturen, efter att tilluften och cirkulationsluften blandats, skulle ligga vid $+15^{\circ}\text{C}$. $+15^{\circ}\text{C}$ är börvärdet på tilluften som förs in till elrummen. Alltså måste luften ännu kylas innan den förs till elrummet. Jag undersökte hur mycket kylenergi som skulle sparas, om tilluftstemperaturen istället skulle värmas till $+5^{\circ}\text{C}$. Det jag dock först måste ta reda på var om det finns någon minimigräns på den inkommande luftens temperatur.

Enligt Kähärä (2022) är värme- och kylbatterierna de enda komponenterna i tilluftsaggregatet som kan ta skada av allt för kall luft då de innehåller vätskor. Så länge som vätskan i batterierna inte fryser spelar det ingen roll vilken temperatur luften, som går igenom tilluftsaggregatet, har. Vätskan, som flödar i kyl- och återvinningsbatteriet i MX, har en glykolblandning på 40%. En sådan blandning fryser vid temperaturen -25°C (Glysofor).

Kemiska filtret, som kommer efter tilluftsaggregatet, kan också ha krav på lufttemperaturen som går igenom den. Jag kontaktade Erikson (2022), som jobbar på ett företag som gör kemiska filter i Finland, och enligt honom fungerar kemiska filter bra ända ner till minus 26°C .

Tilluftsaggregatets komponenter tycks inte begränsa tilluften till minimum $+10^{\circ}\text{C}$, så jag intervjuade ännu Suihkonen (2022) om saken. Enligt honom måste tilluften på vintern vara så varm, att det inte i något skede kan bildas kondensvatten och därefter is i kanalerna. Kondensation torkar ytterligare den redan torra luften och is kan medföra stockning av kanalen. Båda är ickeönskvärda konsekvenser som medförs av kondensation.

Enligt intervjuerna borde det inte finnas någon orsak till att tilluftstemperaturen på vintern skulle kunna var $+5^{\circ}\text{C}$ istället för $+10^{\circ}\text{C}$. Det viktigaste är att hålla luften på plus sidan så att isbildning inte kan ske.

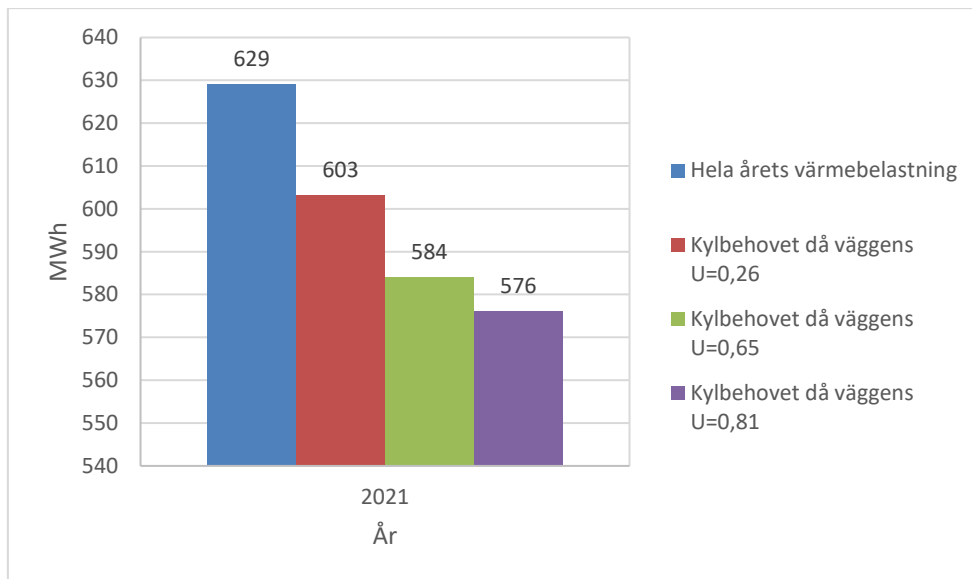
För att försäkra mig om att ingen kondensation sker, då $+5^{\circ}\text{C}$ varm luft blandar sig med $+20^{\circ}\text{C}$, använde jag Mollier Sketcher. Från denna programvara fick jag även densiteterna för de respektive lufttemperaturerna.

5 RESULTAT

I detta kapitel presenteras resultaten jag fick från mina uträkningar i Excel och AHUiQ dimensioneringsprogrammet.

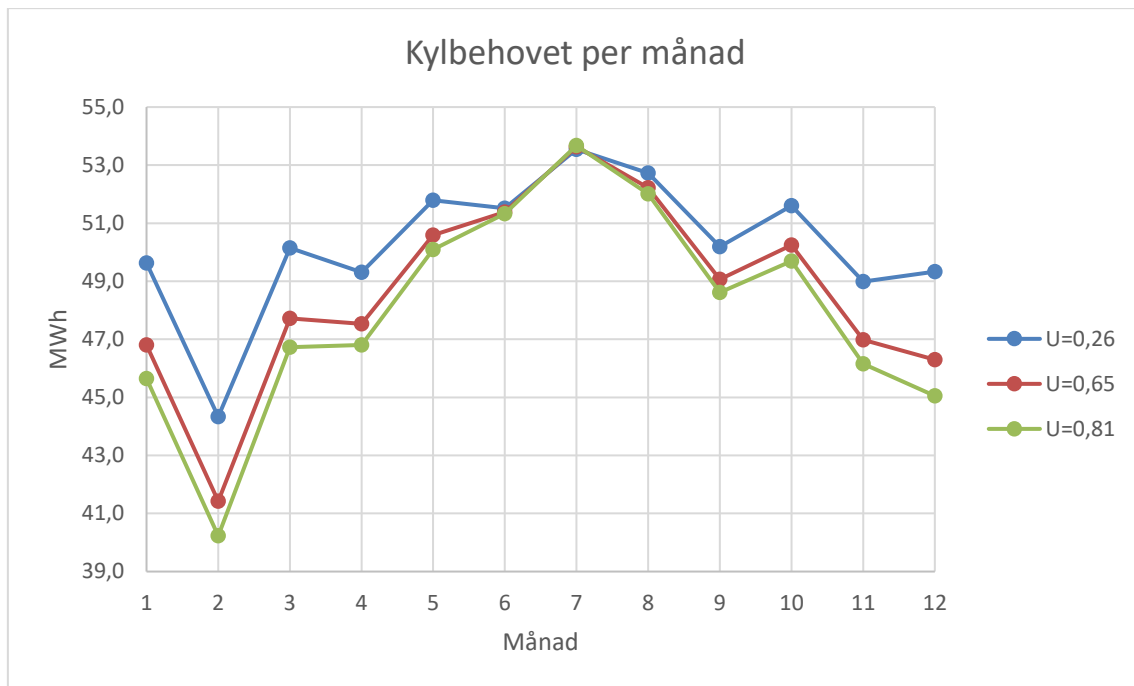
5.1 Kylbehovet med olika U-värden

I figur 8 presenteras hur stor den årliga inre värmebelastningen är och hur mycket värmeenergi som måste avlägsnas mekaniskt med de olika U-värden. Energiskillnaden som blir mellan inre värmebelastningen och mekaniska kylbehovet, är den värmeenergi som naturligt kyler rummet med värmeöverföring genom konstruktionen. Den röda balken, som representerar det U-värde konstruktionen har för tillfället, kräver 27 MWh mer kyla i året än om den skulle ha en vägg med U-värdet 0,81. Jag vill poängtera här, att jag inte tagit i beaktande den verkliga elektriska energin som går åt att producera den behövda kylenergin. Detta på grund av att COP kan variera stort mellan olika kylaggregat. Figuren representerar då bara en kylmaskin med COP 1, alltså 1MWh el producerar 1MWh kyla. Ifall COP är högre minskar den faktiska elförbrukningen.

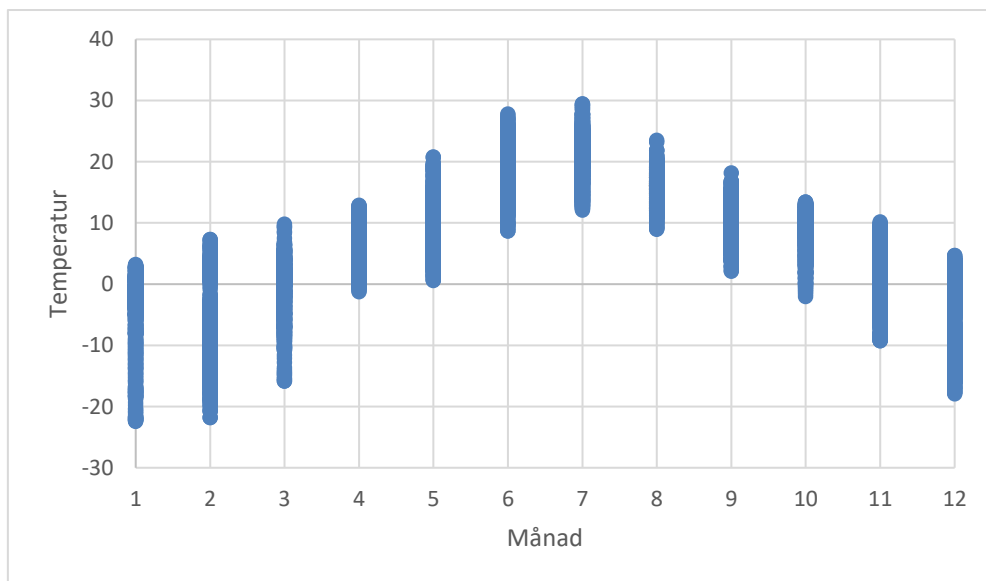


Figur 8. Kylenergibehovet för elrum med olika U-värden.

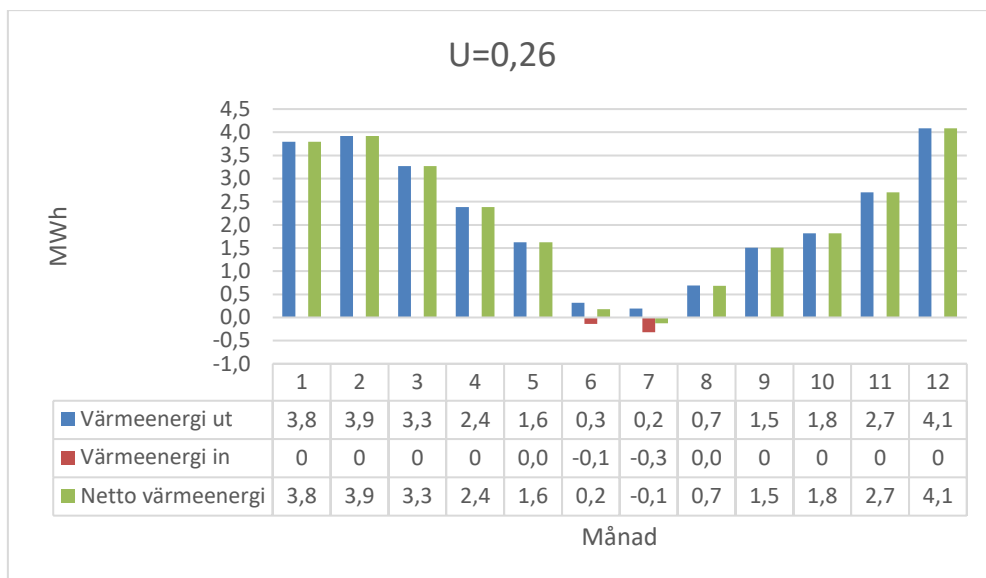
För att få en bättre bild av kylbehovet fördelat per månad lagade jag figur 9. Figur 10 visar däremot, mellan vilka temperaturer uteluften har varierat mellan, per månad under år 2021. Genom att jämföra figur 9 och 10 drog jag den slutsatsen, att ju kallare utetemperatur det är, desto större inverkan har olika U-värden på kylbehovet. I juli, då utetemperaturen ligger mellan 11–30°C, är det ingen skillnad vad för U-värde väggen har, om innetemperaturen bör hållas vid +20°C. Orsaken till detta framgår i figur 11–13, där jag har framställt värmeenergin som går ut från byggnaden, jämfört med värmeenergin som kommer in i byggnaden med de olika U-värden. Då U-värdet är högre överförs mera värmeenergi genom konstruktionen. Ifall temperaturen är lägre ute än inne överförs mera värmeenergi ut från byggnaden med ett högre U-värde. Med samma princip kommer mer värme överföras utifrån in om utetemperaturen är högre ut än inne. Detta gör att den totala kylenergin som behövs i juli är nästan lika mycket oberoende av U-värde.



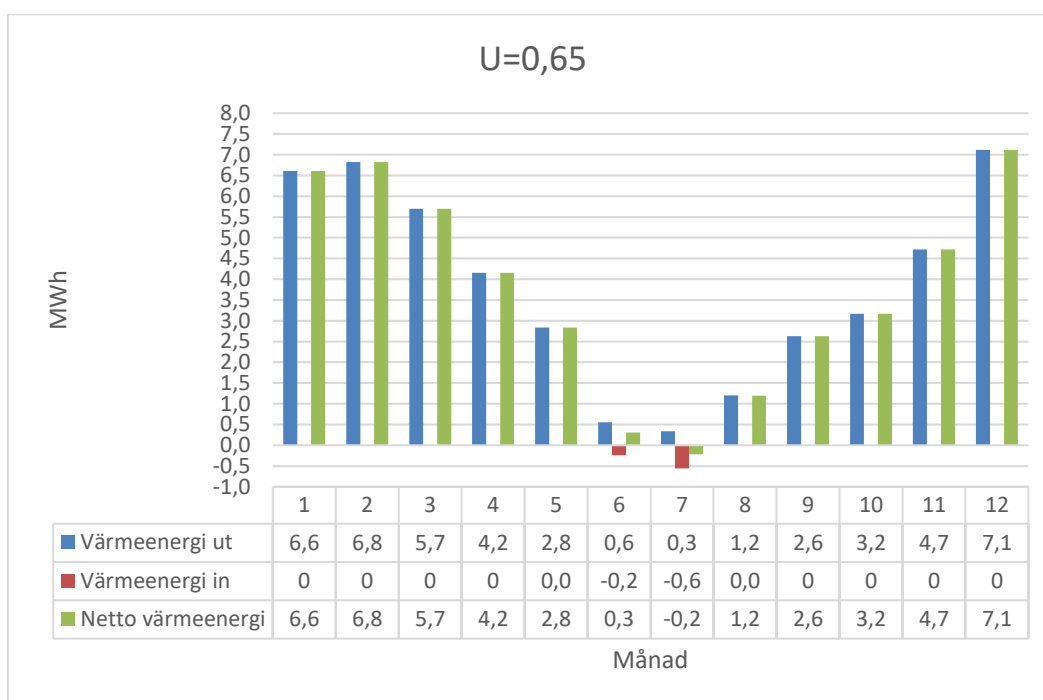
Figur 9. Kylbehovet per månad med olika U-värden.



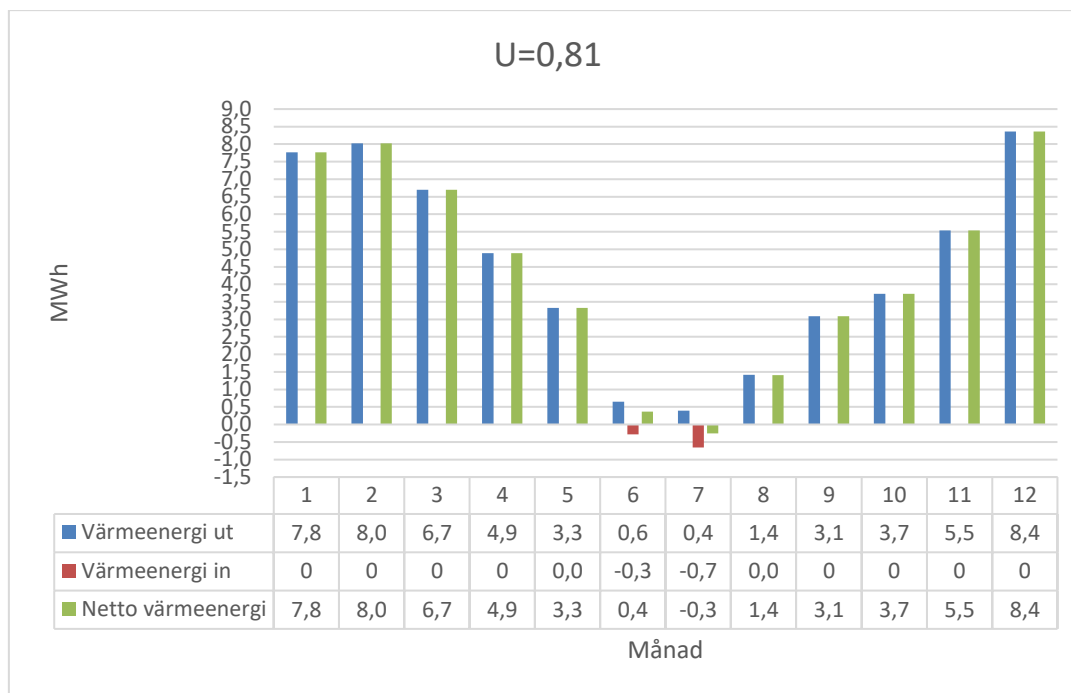
Figur 10. Temperaturvariation per månad.



Figur 11. Värmeenergin genom konstruktionen då $U = 0,26$.



Figur 12. Värmeenergin genom konstruktionen då $U = 0,65$.



Figur 13. Värmeenergin genom konstruktionen då $U = 0,81$.

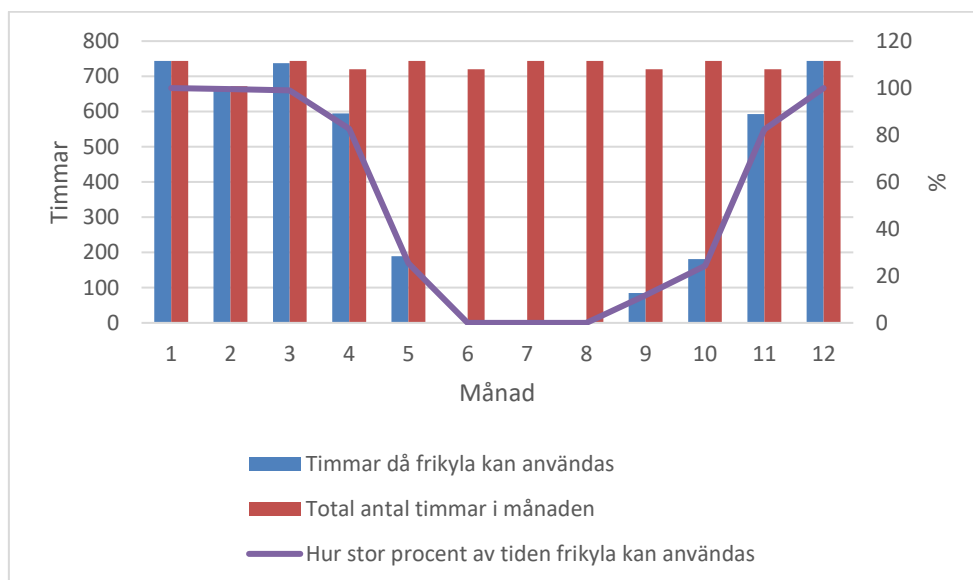
U-värdet spelar stor roll då skillnaden mellan ute och inne temperaturen är stor, medan U-värdets betydelse minskar då temperaturskillnaden mellan ute och inneluften är liten. Om utetemperaturen ligger till stor del under innetemperaturen, lönar det sig enligt dessa uträkningar att ha ett så stort U-värde som möjligt. Däremot om utetemperaturen till stor del ligger över innetemperaturen, lönar det sig att ha så lågt U-värde som möjlig för att stoppa värmeenergi från att överföras in i byggnaden.

Då jag räknade ihop antal timmar som utetemperaturen låg under $+20^{\circ}\text{C}$ år 2021, blev det 8009 h. Totala antalet timmar som utetemperaturen låg över $+20^{\circ}\text{C}$ var 736, vilket resulterar i att utetemperaturen låg vid exakt $+20^{\circ}\text{C}$ hela 15 h. Detta betyder att utetemperaturen i Sköldvik ligger under innetemperaturen ca 91% av tiden. Den här informationen visar, att med klimatet som Sköldvik har, är ett sämre U-värde på konstruktionen lönsammare och sparar energi.

I kapitel 4.1 kom det fram att kylaggregatet som används vid MX använder sig av frikyla, som startar då utetemperaturen sjunker under $+7^{\circ}\text{C}$. I figur 14 har jag framställt hur många timmar per månad som utetemperaturen ligger under $+7^{\circ}\text{C}$ och hur många procent detta är av hela månadens timmar. Det var endast 3 månader under år 2021 då ingen frikyla var

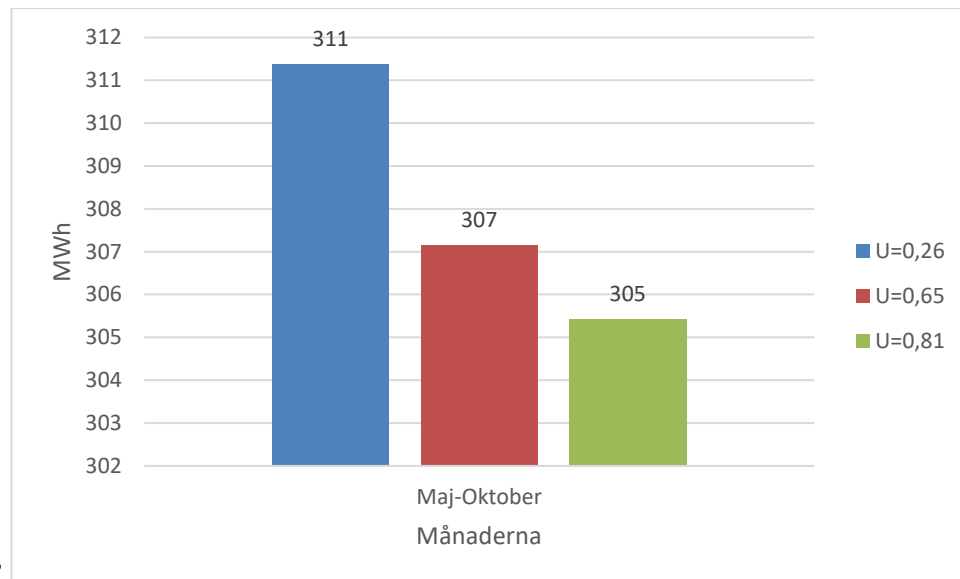
möjlig att få. I praktiken går frikylan inte igång genast då temperaturen sjunker under $+7^{\circ}\text{C}$, utan det är installerat en väntetid innan maskinen byter om till frikyla. I figur 14 framgår det att mellan januari-april och november-december ligger utetemperaturen under $+7^{\circ}\text{C}$ mellan 90–100% av tiden. Dessa är exakt samma månader, som har den största inverkan på kylbehovet mellan de olika U-värden i figur 9.

Frikylavätskan cirkulerar i kretsen med hjälp av pumpar och kylningen effektiveras med fläktar i kondensorn. Pumparna och fläktarna är de enda komponenterna i kretsen som konsumerar energi. Hur mycket de konsumerar har jag inte lyckats få fram till detta examensarbete. Om jag försummar elenergin som pumparna och fläktarna använder, innebär det att kylning av rummet under januari-april och november-december, sker i princip helt med frikyla och ingen förbrukas.



Figur 14. Antal timmar som utetemperaturen ligger under $+7^{\circ}\text{C}$ och frikyla kan användas.

Då jag endast håller kvar månaderna maj-oktober i beräkningen, som inte kan utnyttja frikyla, så behövs det ändå 6 MWh mindre kyla om U-värdet är 0,81 istället för 0,26. Detta framgår från figur 15.



Figur 15. Kylenergibehovet för månaderna maj-oktober.

5.2 Tilluftsvolymens inverkan på energianvändning

I figur 16 framgår energiförbrukningen för luftvolymerna 2,5/h och 2/h. Energi förbrukas endast av fläkten och kylbatteriet. AHUiQ dimensioneringsprogrammet räknar automatiskt ut energiförbrukning under ett års tid samt under hela aggregatets livstid. Dimensioneringsprogrammet använder väderdata från ett skottår varav timmarna för ett år är 8784 istället för 8760. Förbrukade energin för ett tilluftsaggregat beror på typen och tillverkaren. I detta fall skulle 3,56 MWh energi sparas om tilluften minskades med 20%.

Koneen tunniste		
Käyttöaika	TK sähkötila -20%	TK sähkötila
Vuodessa		
Puhaltimet	8784	8784 Tuntia
Jäähdytyspatterit	1571	1571 Tuntia
Kone päällä	8784	8784 Tuntia
Tarkastelujakson aikana		
Tarkastelujakso	20	20 Vuotta
Kone päällä	175680	175680 Tuntia
Lämpöenergia		
Vuodessa		
Puhaltimet	1,63	2,08 MWh
Tarkastelujakson aikana		
Jäähdytysenergia		
Vuodessa		
Jäähdytyspatterit	5,19	6,49 MWh
Yhteensä	5,19	6,49 MWh
Tarkastelujakson aikana		
Yhteensä	103,83	129,79 MWh
Sähköenergia		
Vuodessa		
Puhaltimet	8,13	10,39 MWh
Tarkastelujakson aikana		

Figur 16. Tilluftsaggragatets energiförbrukning.

5.3 Lägre tilluftstemperatur

För tillfället värms tilluftstemperaturen upp till $+10^{\circ}\text{C}$ på vintern. I kapitel 4.3 framgick att det bästa är att hålla tilluftstemperaturen på plus sidan, så att det inte i något skede kan bildas kondens och is i tilluftskanalen. Därav bestämde jag mig för att undersöka, hur mycket energi det sparas om tilluftstemperaturen värmdes endast till $+5^{\circ}\text{C}$ under vinterhalvåret. Värmeenergin för uppvärmning av tilluften kan försummas, eftersom det sköts med spillvärme och medför därmed ingen extra energiförbrukning.

I tabell 3 och 4 har jag räknat ut, med hjälp av energibevarings formlerna, vilken temperatur luftblandningen har om två olika lufttemperaturer blandas. Luftvolymen är den samma i båda tabellerna men tilluftstemperaturen är olika. Från tabellerna framgår, att då tilluftstemperaturen sänks till $+5^{\circ}\text{C}$, så är blandningens temperatur $0,71^{\circ}\text{C}$ lägre än om tilluftstemperaturen är $+10^{\circ}\text{C}$.

Tabell 3. Blandade luftens temperatur då tilluften är +10°C och volymflöde 2,5/h.

	Temperatur °C	Relativ fukt. %	Entalpi kJ/kg	Luftflöde m ³ /s	Densitet kg/m ³	Massflöde kg/s
Cirkulations- luft	20	30	31,1	7,54	1,2	9,05
Övertrycks- luft	10	99	29,1	1,15	1,24	1,43
Blandnings- luft	18,64	35,8	30,8			10,47

Tabell 4. Blandade luftens temperatur då tilluften är +5°C och volymflöde 2,5/h.

	Temperatur °C	Relativ fukt. %	Entalpi kJ/kg	Luftflöde m ³ /s	Densitet kg/m ³	Massflöde kg/s
Cirkulations- luft	20	30	31,1	7,54	1,2	9,05
Övertrycks- luft	5	99	18,4	1,15	1,26	1,45
Blandnings- luft	17,93	35	29,3			10,50

Det framgår även i tabell 3 och 4 att blandningens massflöde varierar lite enligt lufttemperaturen. Jag avrundade båda massflödena till 10,5 kg/s för att kunna räkna ut energin som sparas. För att räkna ut hur mycket energi det krävs att kyla 10,5 kg luft med 0,71°C, använde jag värmemängdformeln. Jag kollade även upp hur många timmar om året, som temperaturen ligger under +5°C. Detta för att få en inblick i hur många MWh som sparas i året, om tilluften värms 5°C mindre. År 2021 var totala antalet timmar 3974h.

Energien som går åt att kyla luftmassan med 0,71°C:

$$Q = 10,5 \text{ kg/s} * 1 \text{ kJ/kgK} * 0,71 \text{ K} = 7,5 \text{ kW}$$

Totala energin för ett år:

$$7,5 \text{ kW} * 3974 \text{ h} = 29,8 \text{ MWh}$$

I tabell 5 och 6 har jag gjort samma beräkningar som i tabell 3 och 4. Den enda ändringen är, att i dessa tabeller är tilluftflödet endast 2/h. Ju mindre tilluftsflöde, desto mindre är kyleffekt på den slutgiltiga blandningen. I detta fall är temperaturskillnaden mellan de två olika sluttemperaturerna endast 0,58°C.

Tabell 5. Blandade luftens temperatur då tilluften är +10°C och volymflöde 2,0/h.

	Temperatur °C	Relativ fukt. %	Entalpi kJ/kg	Luftflöde m ³ /s	Densitet kg/m ³	Massflöde kg/s
Cirkulations-luft	20	30	31,1	7,54	1,2	9,05
Övertrycks-luft	10	99	29,1	0,92	1,24	1,14
Blandnings-luft	18,88	34,9	30,9			10,19

Tabell 6. Blandade luftens temperatur då tilluften är +5°C och volymflöde 2,0/h.

	Temperatur °C	Relativ fukt. %	Entalpi kJ/kg	Luftflöde m ³ /s	Densitet kg/m ³	Massflöde kg/s
Cirkulations-luft	20	30	31,1	7,54	1,2	9,05
Övertrycks-luft	5	99	18,4	0,92	1,26	1,16
Blandnings-luft	18,30	34,2	29,7			10,21

Energien som går åt att kyla luftmassan med 0,58°C:

$$Q = 10,2 \text{ kg/s} * 1 \text{ kJ/kgK} * 0,58 \text{ K} = 5,9 \text{ kW}$$

Totala energin för ett år:

$$5,9 \text{ kW} * 3974 \text{ h} = 23,4 \text{ MWh}$$

6 SLUTSATS

I miljöministeriets förordning, från år 2017, är det givet U-värden för tre olika scenarion. Dessa tre är: för utrymmen där man vill hålla värmen/kylan inne i byggnaden, för byggnader som är delvis uppvärmda och för fritidsbostäder. I inget av alternativen finns det en rekommendation för utrymmen med mycket spillvärme som måste avlägsnas från utrymmet. Enligt beräkningarna i detta examensarbete tyder resultatet på att elbyggnader på industriområden borde ha egna direktiv gällande U-värdet. I elbyggnaden, som betraktades i detta arbete, togs spillvärmen inte tillvara i någon större grad. Därför är det motiverat att ha ett sämre U-värde än det som nu rekommenderas för att minska kylaggregatets elförbrukning.

Tilluftsvolymens minskning leder till mindre fläkt- och kylenergi. Från energianvändningens synvinkel lönar det sig att minska tilluftsvolymen så mycket som möjligt. Även sänkning på tilluftens temperatur under vinterhalvåret sparar på energi.

Rent teoretisk kan alla tre ovanstående åtgärder spara upp till ca 60 MWh energi per år. Men eftersom det inte tagits i beaktande hur mycket energi kylmaskinen egentligen förbrukar så går det inte att dra några realistiska slutsatser för vad den egentliga energibesparingen är. Uträkningarna tyder ändå på att en energibesparing är möjlig med de åtgärder som presenterades. Även om verkliga inbesparingen endast skulle ligga på några MWh per år för en elbyggnad, blir det en relativt stor inbesparing då man tar i beaktande att det finns totalt ca. 100 elbyggnader på Sköldviks industriområde.

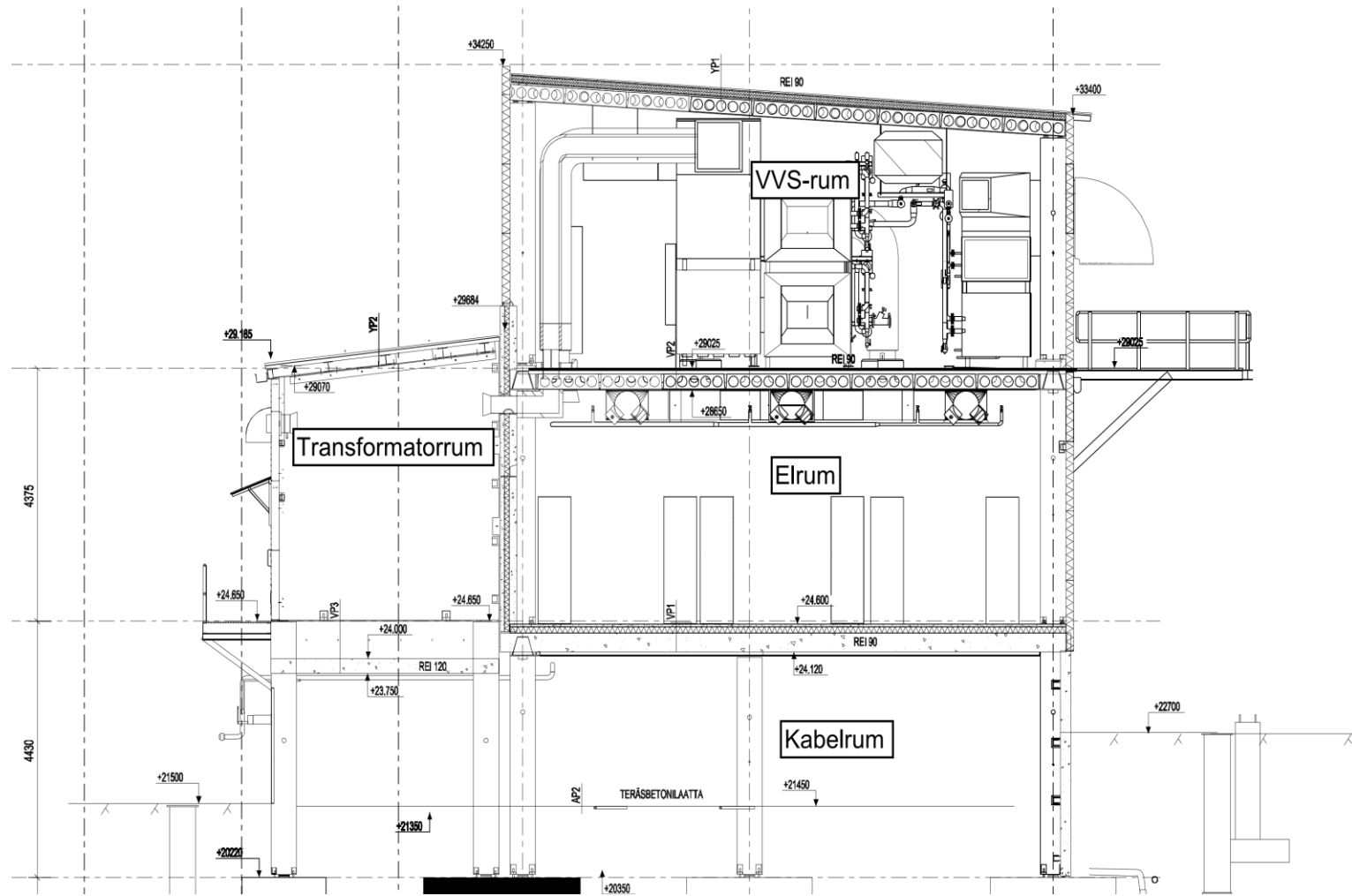
Denna studie är i och för sig snäv med tanke på att det tagits i beaktande endast en viss del från en enda elbyggnad. Solens och dörrarnas inverkan har också lämnats bort. Dessutom lönar det sig även att undersöka hur bra dessa lösningar passar några år framöver. Dessa beräkningar går ut på att beräkna det bästa alternativet till att släppa värme ut i luften med så lite elenergi som möjligt. Alltså kan denna lösning vara bra endast för byggnader som inte kan ta tillvara spillvärmen. En idé för fortsatt studie kunde vara att beräkna hur lönsamt det är, ur ekologisk och ekonomisk synvinkel, att ta tillvara denna spillvärme och använda den till något nyttigt.

KÄLLOR

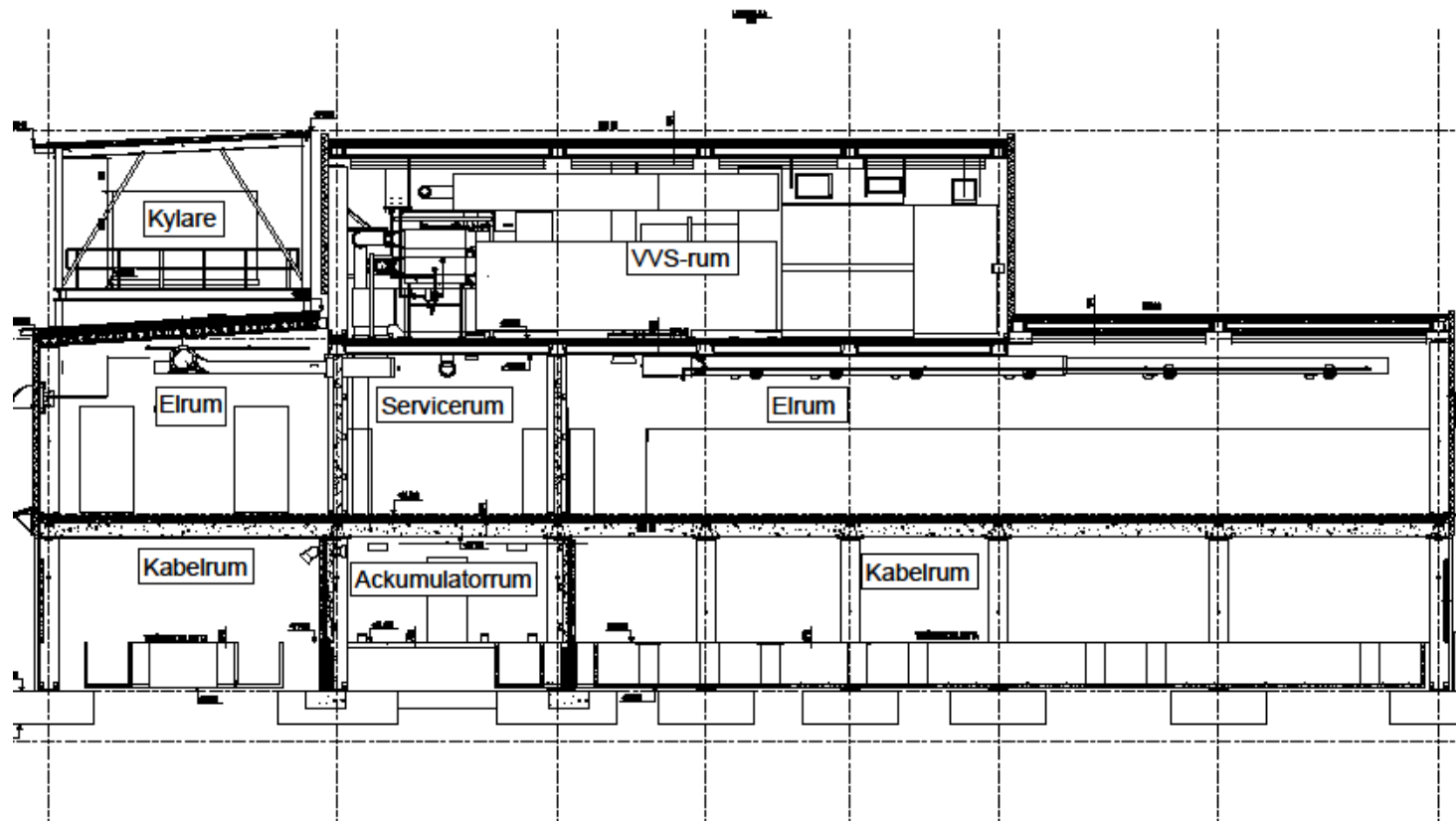
- Airtec, *Control humidity, decrease electrostatic discharges, and maintain uniform quality*. Tillgänglig: <https://airtecsolutions.com/applications/electronics> Hämtad: 11.04.2022.
- Cengel, Y., 2002, *Heat Transfer; A Practical Approach*, 2 uppl., McGraw-Hill.
- Equa, *IDA Indoor Climate and Energy*. Tillgänglig: <https://www.equa.se/se/ida-ice> Hämtad: 07.12.2021.
- Erikson, M., 2022, *Intervju om kemiska filter* [muntl.]. Transkriberad och bifogad till detta arbete: 19.01.2022.
- Finlex, 2017, *1010/2017; Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda*, Helsingfors.
- Glysofor, *Glysofor N; Glycols for cooling, air conditioning, and heating technology*, Tillgänglig: <https://www.glysofor.de/en/glysofor-n/> Hämtad: 22.11.2021
- Heinonen, R. & Lahtinen, R., 2007, *Corrosion and climatic effects in electronics*. Tillgänglig: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2007/P626.pdf> Hämtad: 21.03.2022
- Institutet för hälsa och välfärd, 2021, *Klimatförändringen*. Tillgänglig: <https://thl.fi/sv/web/miljohalsa/klimat-och-vader/klimatforandringen> Hämtad: 07.04.2022.
- IV-proukt, *Mollier Sketcher*, Tillgänglig: <https://www.ivprodukt.se/programvaror/mollier-sketcher> Hämtad: 15.04.2022.
- Jansson, N., 2006, *MAOLs TABELLER*, 10 uppl., Schildts Förlags Ab, Helsingfors.
- Kapanen, M., 2020, *Kylmäprosessi eli miten kylmä syntyy*. Tillgänglig: https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_2_2020/kylmaprosessi_eli_miten_kylma_syntyy Hämtad: 29.03.2022.
- Kähärä, A., 2022, *Intervju om tilluftsaggregat* [muntl.]. Transkriberad och bifogad till detta arbete: 16.02.2022.
- Laitinen, A., Rämä, M. & Airaksinen, M., 2016, *Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut*. Tillgänglig: https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf Hämtad: 02.02.2022.
- Science Direct, *Adiabatic mixing*, Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/adiabatic-mixing> Hämtad: 17.03.2022

- Suihkonen, J., 2022, *Intervju om tilluftstemperatur* [muntl.]. Transkriberad och bifogad till detta arbete: 22.03.2022.
- Svensk ordbok, 2021, Tillgänglig: <https://svenska.se/so/> Hämtad: 15.4.2022.
- Swegon, *Mollier diagram*, Tillgänglig: <https://www.swegon.com/guides/technical-guides/mollier-diagram/> Hämtad: 15.04.2022.
- Sähkötieto ry, 2017, *ST-kortti 53.61; Sählötilojen ilmanvaihto ja jäähdytys*.
- Tarvainen, K., 2022, *Intervju om frikyla* [muntl.]. Transkriberad och bifogad till detta arbete: 08.04.2022.
- Tilastokeskus, 2021, *Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2020*, Tillgänglig: https://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2021-05-21_kat_001_fi.html Hämtad: 30.03.2022.
- Uniflair, *High performance chillers*, Tillgänglig: <http://www.uniflair.co.uk/pdfs/Aquaflair%20May%2017-2.pdf> Hämtad: 14.03.2022.
- Vaskinen, K., 2016, *Neste Porvoon tuotantolaitokset*. Tillgänglig: https://isy.fi/wp-content/uploads/2019/04/Vaskinen_Neste-Porvoon-tuotantolaitokset.pdf Hämtad: 15.02.2022.
- WWF, *Klimatförändringarna*, Tillgänglig: <https://www.wwf.se/klimat/klimatforandringar/> Hämtad: 07.04.2022.
- Ympäristöministeriö, 2018, *Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkupe- räisiä suunnittelu-arvoja*, Energiatodistusoppaan 2018 liite 1.11.2018.

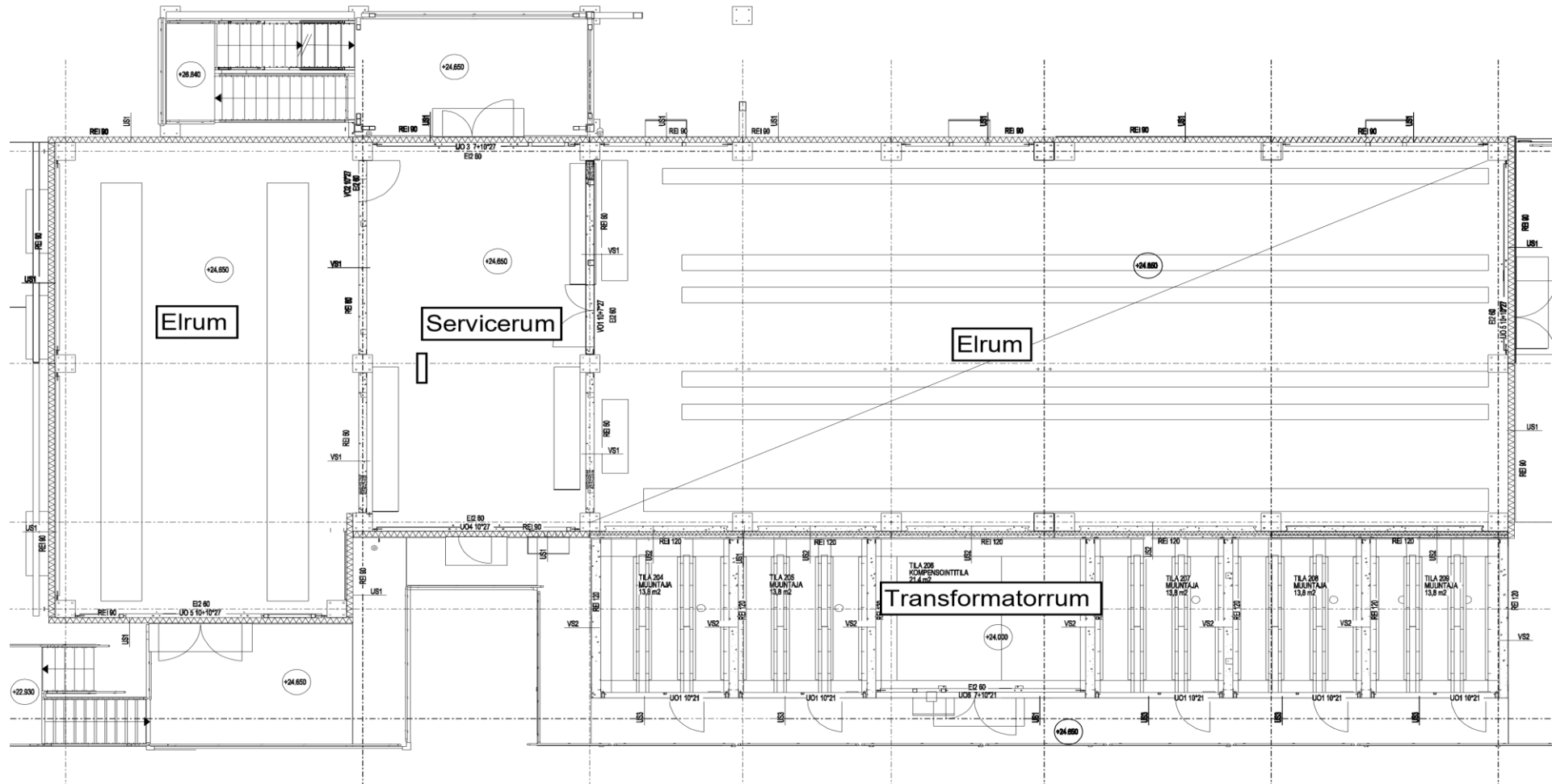
BILAGA 1. Elbyggnad MX från sidan



BILAGA 2. Elbyggnad MX framifrån



BILAGA 3. Planritning på andra våningen av elbyggnaden MX



BILAGA 4. Allmän info om Aurora Kilpilahti Oy's elbyggnader

LAITETIETOJA



- 110/10 kV:n asemia 6 kpl
- 10 kV:n jakeluverkko (kahdennettu)
- Muuntamoita on 10kV verkossa n 100 kpl



- Varavoiomadieselgeneraattoreita 12kpl (637-2500kVa)
- Päämuuntajia 110/10kV - 14 kpl
- Jakelumuuntajia - 259 kpl



- Katkaisijoita 1062 Kpl