



Uppvärmning av torgområde

Jonathan Flinck

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och miljöteknik
Identifikationsnummer:	7570
Författare:	Jonathan Flinck
Arbetets namn:	Uppvärmning av torgområde
Handledare (Arcada):	Kim Skön
Uppdragsgivare:	Arcada, Institution för energi- och materialteknik
<p>Sammandrag:</p> <p>Målet för examensarbetet var att utveckla en lämplig teoretisk modell för ett uppvärmt torgområde i stadsdelen Arabia i Helsingfors. Torget är placerat mellan huvudingångarna till yrkeshögskolan Arcada och yrkesinstitutet Practicum och det värms upp året om för att hålla marken snöfri. Därmed sjunker risken för halknings-skador och det medför också att fastighetsägaren slipper kostnader för transport av snö och sand från området. Uppvärmningen av Lejontorget sker via värmeslingor nedgrävda under markytan. Slingorna värms upp via en värmeväxlare kopplad till stadens fjärrvärmesystem. Uppvärmningssystemet är automatiserat och kör igång och kopplas bort beroende på temperaturen utomhus.</p> <p>Den utvecklade modellen utgår från att all värme rör sig från värmeslingorna upp mot markytan. Det betyder att all energi från värmeslingorna via värmeledningen till markytan är i balans med nedkylningen av ytan. Nedkylningen av markytan i modellen tar i beaktande konvektion, långvågstrålning, kortvågstrålning och snösmältning. Från systemet fås energiförbrukningen månadsvis. Tanken var att anpassa parametrar i den teoretiska modellen så att denna överensstämmer med den uppmätta energiförbrukningen. Därefter är det med hjälp av modellen möjligt att uppskatta ökning/minskning av energiförbrukningen vid ändring av den temperatur då uppvärmningssystemet kopplas bort.</p> <p>Då väderleksdata inte kommer från torgets exakta position och skuggningen och vindskyddet från de omkringliggande byggnaderna inte tas i beaktande, kommer energibehovet enligt modellen att avvika i viss omfattning från uppmätta förbrukningsvärden. Simuleringar med den utvecklade modellen visade att temperaturen där systemet kopplas bort, stopptemperaturen, hade en markant betydelse för den totala årliga energiförbrukningen.</p>	
Nyckelord:	Uppvärmning, torg, värmeslinga, energibehov, teoretisk modell
Sidantal:	50
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

INNEHÅLL

1	Inledning.....	8
2	Teori.....	9
2.1	Värmeöverföring.....	10
2.2	Värmeledning.....	11
2.3	Konvektion.....	12
2.4	Strålning.....	13
2.4.1	<i>Långvågig strålning.....</i>	<i>14</i>
2.4.2	<i>Kortvågig strålning.....</i>	<i>15</i>
2.5	Snösmältning.....	15
2.6	Ytans energibalans.....	16
2.7	Graddagar.....	17
3	Lejontorgetts uppvärmningssystem.....	18
3.1	Värmeväxlare.....	19
3.2	Ventiler och automation.....	20
3.3	Rör och fördelare.....	21
3.4	Grunden.....	23
3.5	Brunnar.....	24
4	Beräkning av värmeåtgång.....	25
4.1	Modell för värmeförluster för uppvärmda uteplatser.....	25
4.2	Excel modellens beräkningar.....	30
4.2.1	<i>Fasta värden.....</i>	<i>30</i>
4.2.2	<i>Exempel beräkning för en timme.....</i>	<i>31</i>
4.2.3	<i>Flödesschema för fall 1 under en månad.....</i>	<i>34</i>
5	Resultat.....	35
5.1	Vintern 2017 - 2018.....	35
5.1.1	<i>Oktober 2017.....</i>	<i>37</i>
5.1.2	<i>November 2017.....</i>	<i>39</i>
5.1.3	<i>December 2017.....</i>	<i>40</i>
5.1.4	<i>Januari 2018.....</i>	<i>42</i>
5.1.5	<i>Februari 2018.....</i>	<i>44</i>
5.1.6	<i>Mars 2018.....</i>	<i>45</i>

6 Slutsats	47
Källor	49
Bilagor	50

Figurer

Figur 1. Bild på Lejontorget (Egen bild)	9
Figur 2. Värmeöverföring [2] via termodynamik räkna ut hur mycket energi som släpps fri då en varm dryck svalnar från 70°C till 20°C.....	10
Figur 3. Värmeledning, Δx står för väggens tjocklek, A för arean, T för temperaturen och Q för energin. [2]	12
Figur 4. Konvektion [2]	13
Figur 5. Strålning [2]	14
Figur 6. Kortvågstrålning absorbering och reflektion [2].....	15
Figur 7. Energiinteraktion vid Lejontorget's markyta.	17
Figur 8. Arcadas huvudingång vid lejontorget.	19
Figur 9. Korsflöde [2].	20
Figur 10. Förenklad version av ett typiskt uppvärmningssystem för snösmältning [1]...	21
Figur 11. Värmeslingornas placering under jorden, skannad originalritning.....	22
Figur 12. Installation av värmeslingor [1]	23
Figur 13. Grundens alla lager. För varje punkt vad lagret består av och dess tjocklek.	24
Figur 14. Egen bild på brunnar vid Lejontorget's upphöjda del.....	25
Figur 15. Exempel för modellens kalkyler via ett flödesschema.	34
Figur 16. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under oktober 2017.	38
Figur 17. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i oktober.	38
Figur 18. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under november 2017.	39
Figur 19. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i november.	40
Figur 20. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under december 2017.	41
Figur 21. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i december.....	41

Figur 22. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under januari 2018.....	43
Figur 23. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i januari.	43
Figur 24. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under februari 2018.....	44
Figur 25. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i februari.....	45
Figur 26. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under mars 2018.	46
Figur 27. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i mars.	47

Tabeller

Tabell 1. Graddagar för jämförelseperioden 1981 – 2010, 2017 och 2018 [8].....	17
Tabell 2. Graddagarnas kvot för jämförelseperioden 1981 - 2010 och vintermånaderna 2017 - 2018.....	18
Tabell 3. Värmeväxlarens uppgifter.	19
Tabell 4. Energibehov för snösmältning. [7][9]	30
Tabell 5. Fasta värden för uppvärmningssystemet.	30
Tabell 6. Exempel beräkning för en timme.	31
Tabell 7. Resultat samt jämförelse mellan energibehovet för uppmätta, fall 1 och finjustering av fall 1.....	36
Tabell 8. Vintermånadernas mellan 2017 och 2018 medeltemperatur, medelvindhastighet och totala nederbörden.....	37
Tabell 9. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i oktober.	38
Tabell 10. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i november.....	40
Tabell 11. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i december.	41
Tabell 12. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i januari.	43
Tabell 13. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i februari.	45
Tabell 14. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i mars.....	47

Beteckningar

$$1 \text{ MW} = 1\,000 \text{ kW} = 1\,000\,000 \text{ W}$$

$$1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ l}$$

$$273,15 \text{ K} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

A	arean [m^2]
c_{pis}	isens specifika värmekapacitet [$\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$] (2090 $\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ [14, s. 177])
h_c	faktor för vindnedkylning
$h_{snö}$	höjden på snöansamlingen [m]
$m_{snö}$	snöns massa [kg]
q_{tot}	energibehovet per ytenhet [Wh/m^2]
\dot{q}_{konv}	konvektionen [W/m^2]
\dot{q}_{LS}	den totala långvågstrålningen [W/m^2]
\dot{q}_{LSin}	långvågsstrålningen mot ytan [W/m^2]
\dot{q}_{LSut}	långvågsstrålningen från ytan [W/m^2]
$\dot{q}_{snö}$	är effektbehovet som krävs för att värma snön till den punkt då den börjar smälta [W/m^2]
$\dot{q}_{smältning}$	issmältningen (snö) för vatten [W/m^2]
\dot{q}_{tot}	totala summan av effekten per area [W/m^2]
\dot{Q}	energibehovet för att nå jämvikt [Wh]
S_{is}	isens smältenergi [J/kg] (333000 J/kg [14, s. 177])
t	tiden [h]
$t_{smältning}$	längden på avfrostningscykeln [s]
T_a	atmosfärens temperatur [K]
$T_{snö}$	temperaturen på snöansamlingen [$^\circ\text{C}$]
T_u	luftens temperatur utomhus [$^\circ\text{C}$]
T_y	ytans temperatur [$^\circ\text{C}$]
v_h	vindens hastighet [m/s]

$\rho_{snö}$	snöns densitet [kg/m ²]
ε_g	emissiviteten för granit [0,9]
σ	Stefan-Boltzmanns konstant 5,68 · 10 ⁻⁸ [W/(m ² ·K ⁴)].
$\rho_{snö}$	densiteten på snön [kg/m ³]

1 INLEDNING

Lejontorget är ett cirka 800 m² stort torg, som befinner sig mellan huvudingångarna till yrkeshögskolan Arcada och yrkesinstitutet Practicum. Torget har fått sitt namn av de tre lejon som är placerade i en cirkel i mitten av torget. Den delen av torget är upphöjd och värms inte upp. Platsen i fråga befinner sig i stadsdelen Arabia som ligger i nordöstra delen av Helsingfors. I det här examensarbete jämförs energibehovet för att hålla den granittäckta ytan av Lejontorget uppvärmd under de kallare månaderna av året. Metoden som används för att kunna jämföra med de avlästa förbrukningsvärdena är kalkyler baserade på olika vetenskapliga artiklar, böcker och information från nätet med Excel som verktyg.

Vilken är fördelen med att värma upp gator, torg och andra allmänna platser? Enligt Uponor, en av världens ledande leverantörer av bygg- och miljötekniksystem, förebygger uppvärmda ytor halkningsskador och andra farliga situationer som kan uppstå då det finns is och snö på vägen. Dessutom kräver de här uppvärmda platserna varken sand, salt eller snöskottning, vilket betyder att grunden inte slits. Det medför också att fastighetsägaren slipper kostnader för transport av snö och sand från området. [1]

Den uppvärmda ytan av Lejontorget är 640 m² och är formad som ett ”U” runt den upphöjda delen. Lejontorget värms upp med en blandning som består av 40 procent glykol och 60 procent vatten som cirkulerar i rören under ytan. Vätskan får sin värme från Helens fjärrvärmesystemet. Glykolblandningen hettas upp till 40 °C före den börjar sin cirkulation till Lejontorget och kyls ner till 25 °C. Maximal uppvärmningseffekt för systemet är 200 kW och cirkulationspumpen har en effekt på 2,2 kW. Under ytan finns det PEX-rör som transporterar den varma vätskan och avger värmen för att hålla markytan vid 5 °C då utemperaturen är mellan 2 °C och -5 °C och vid 1 °C då utemperaturen är mellan -5 °C och -10 °C. Anläggningen går igång då lufttemperaturen sjunker under 2 °C och stängs av då den sjunker under -10 °C.

Den kalkyl som används är en samling av formler från olika vetenskapliga källor. Målet är att få en så exakt uppskattning som möjligt med användningen av Excel som ett av verktygen för uträkningen. För att få pålitlig väderleksdata används det meteorologiska

institutets avläsningar för luftens temperatur, vindhastigheten, nederbörden samt långvägiga och kortvägiga strålningen mot ytan med upplösningen en timme.

Målet med arbetet är att uppskatta energiförbrukningen för uppvärmda gatuområden, i det här fallet Lejontorget genom att:

- 1) Utveckla en lämplig teoretisk modell
- 2) Beräkna förbrukningen med modellen
- 3) Med hjälp av modellen försöka uppskatta ökning/minskning av energiförbrukningen vid ändring av stoptemperatur.
- 4) Jämföra modellernas värden med varandra och med den uppmätta energiförbrukningen.



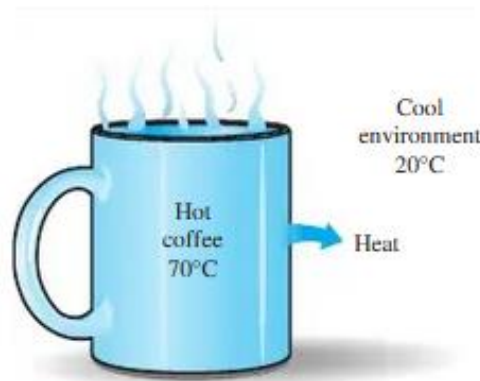
Figur 1. Bild på Lejontorget (Egen bild)

2 TEORI

Energi finns i många olika former men i det här arbetet är vi intresserad av dess form som värme. Det är allmän kunskap att då man lämnar en varm dryck att stå i rumstemperatur så kyls den ner med tiden. Detta sker på grund av vad som kallas värmeöverföring. Två medier som befinner sig i olika temperaturer strävar alltid till att bli i jämvikt med varandra. Det varmare mediet ger alltid energi ifrån sig till det svalare. [2, s. 2]

Genom termodynamik kan man räkna ut mängden energi som avges via värmeöverföring för vilket slutet system som helst. Man får exakta energibehov men inte hur länge det kommer att ta. I värmeöverföring tar man också i beaktande hur lång tid det tar för den varma vätskan att kylas ner. Temperaturskillnad är ett måste för värmeöverföringens möjlighet. Hastigheten på hur snabbt värme överförs beror på hur stor skillnaden i temperaturen är. Ju större skillnaden är desto snabbare sker värmeöverföringen. [2, s. 2]

Samma princip gäller i detta arbete då man beräknar ut hur mycket energi det går åt att hålla Lejontorget's yta snöfri och ytans temperatur beständigt på den positiva sidan. Det kan man göra genom beräkning av ytans energiströmbalans, de vill säga, att lika mycket energi som avlägsnas via värmeförlust måste uppvärmningssystemet värma upp för att ytan skall vara i balans.



Figur 2. Värmeöverföring [2] via termodynamik räkna ut hur mycket energi som släpps fri då en varm dryck svalnar från 70°C till 20°C.

2.1 Värmeöverföring

Den vetenskapen som fokuserar på hur snabbt värme flyttas mellan två objekt med olika temperatur heter värmeöverföring. Med värmeöverföring är det möjligt att beräkna det hur länge och hur mycket energi det går åt för att få två medier i olika temperatur att nå jämvikt. Värme kan överföras på tre olika sätt:

1. Värmeledning
2. Konvektion
3. Strålning

Alla tre metoder kräver att det finns en temperaturskillnad mellan medierna, samt att värme överförs från det varmare mediet till det kallare. [2, s. 17]

Värmeöverföringsapparater så som värmeväxlare, boilers och solfångare är designade på basis av värmeöverföringsanalys för att uppnå den maximala effekten. Det finns ändå två problem man råkar ut för (1) hastigheten och (2) storleken. Där hastighetsproblemet är den maximala värmeöverföringshastigheten man kan uppnå. Storleksproblemet däremot betonar betydelsen av systemets storlek för att kunna avge tillräckligt med värme utifrån den specifika hastigheten och den angivna temperaturskillnaden. [2, s. 4]

Första lagen av termodynamik är att energi inte kan förstöras eller skapas under en process, den kan endast ändra form. Därför måste varje bit av energin redovisas för under en process. Genom det får man den totala energin i ett system subtraherat med den totala energin som lämnar systemet vilken ger en produkt på den totala ändringen av energi i systemet. [2, s. 11]

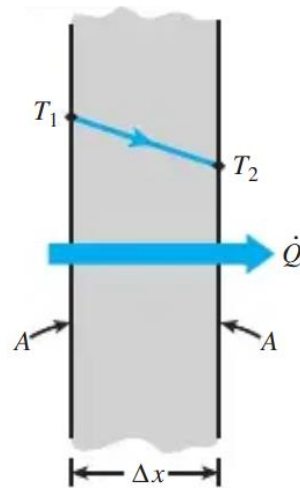
$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{ut} = \Delta \dot{E}_{system} \quad (1)$$

2.2 Värmeledning

Värmeledning kan ske i fasta ämnen, vätskor eller gaser. I fasta ämnen avger de mer laddade partiklarna ifrån sig energi till de kringliggande oladdade. I vätskor och gaser avges energin via molekylernas kollisioner och under deras slumpmässiga rörelse. Det betyder att om man värmer upp en spik med en tändsticka på den ena ändan så värms hela spiken upp via värmeledning. [2, s. 17-18]

Hastigheten på värmeledning genom ett medium beror på geometrin hos mediet, dess tjocklek, materialet i mediet, samt temperaturskillnaden i mediet. Det är känt att om man täcker en varmvattentank med glasull (ett isolerande material) minskar hastigheten på förlusten av värme från tanken. Ju tjockare isolering, desto mindre värmeförlust. Det är också känt att en varmvattentank förlorar värme i en snabbare takt när temperaturen i rummet där tanken befinner sig sänks. Vidare, ju större tank, desto större yta och därmed takten på värmeförlusten. [2, s. 17-18]

Värmeledning betyder värmeledningsförmågan hos ett visst material eller substans. Hur bra materialet i fråga är på att leda värme mäts via värmeledningsförmågan $W/(m \cdot K)$. Granitplattor leder till exempel bättre värme än gräs. Därför smälter snön snabbare från granitplattor än från det närliggande gräset. [2, s. 17-18]

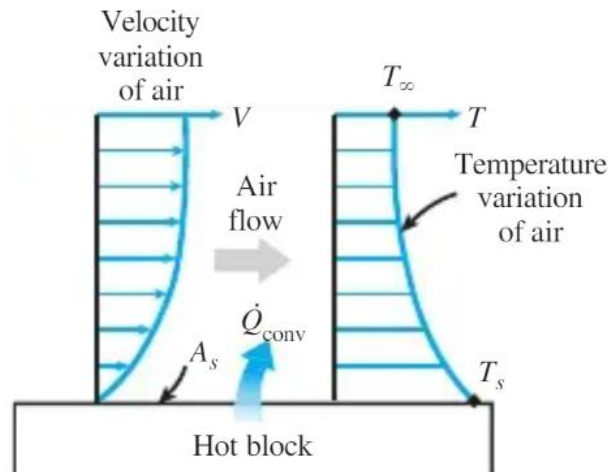


Figur 3. Värmeledning, Δx står för väggens tjocklek, A för arean, T för temperaturen och Q för energin. [2]

2.3 Konvektion

Konvektion är energiöverföringen mellan en fast yta och den intilliggande vätskan eller gasen som är i rörelse, alltså de kombinerade effekterna av värmeledning och vätskans rörelse. Ju snabbare vätskans rörelse är, desto större blir värmeöverföringen. Då det uppstår en temperaturskillnad mellan den fasta ytan och gasen eller vätskan som omger den, överförs värmen från ytan med konvektion. [2, s. 25-26]

Naturlig konvektion innebär att det enbart finns skillnad i temperaturen eller densiteten som utför värmeöverföringen. Om det däremot tillkommer hjälp av utomstående kraft som en fläkt, vind eller pump kallas det påtvingad konvektion. [2, s. 25-26]



Figur 4. Konvektion [2]

2.4 Strålning

Strålning är den energi som avges av materia i form av elektromagnetiska vågor (eller fotoner) till följd av förändringarna i atomernas eller molekylernas elektroniska konfigurationer. Till skillnad från värmeledning och konvektion, kräver överföring av värme genom strålning inte förekomsten av ett mellanliggande medium. Det sker ingen dämpning då det färdas genom ett vakuum. På detta sätt når solens energi jorden. [2, s. 27-29]

I detta arbete ligger fokus på termisk strålning, som är den form av strålning som avges av kroppar beroende på deras temperatur. Det skiljer sig från andra former av elektromagnetisk strålning såsom röntgenstrålar, gammastrålar, mikrovågor, radiovågor, och tv-vågor som inte är relaterade till temperaturen. Alla kroppar vid en temperatur över absoluta nollpunkten avger termisk strålning. Värmestrålning handlar om en viss våglängd i strålningsspektret [2, s. 27-29]

σ är Stefan–Boltzmann-konstanten. Den idealiserade ytan vilken avger värmestrålning till omgivningen med maxhastighet kallas en svartkropp, och den strålning som avges av en svartkropp kallas svartkroppsstrålning. Strålningen som avges av alla verkliga ytor är mindre än den strålning som avges av en svartkropp vid samma temperatur, och uttrycks som:

$$\dot{Q}_{emit,max} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_y^4$$

Där ϵ är ytans emissivitet. Egenskapen emissivitet, vars värde ligger i intervallet:

$$0 \leq \epsilon \leq 1$$

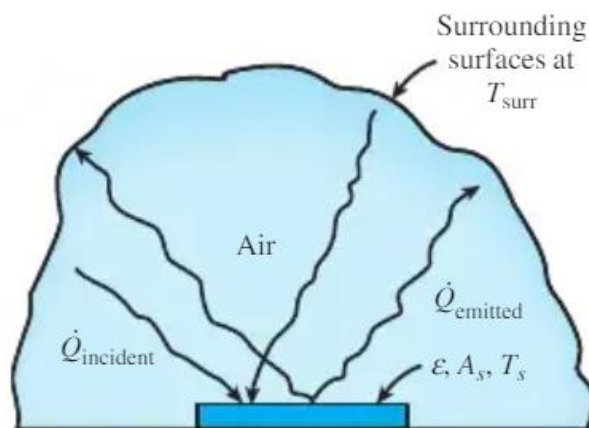
Det är ett mått på hur nära en yta approximeras en svartkropp. Där 0 innebär att all energi reflekteras bort från mediet och 1 betyder att all energi absorberas. [2, s. 27-29]

2.4.1 Långvågig strålning

Långvågig strålning är även känd som terrestrisk strålning. Den är en infraröd strålning med en våglängdsintervall mellan 3 och 100 μm och har en intensitetstopp på cirka 10 μm . Man kan mäta den terrestriska strålningen med hjälp av en pyrgeometer. Största delen av strålningen som emitteras av jorden blir absorberad av atmosfären. Det är här som växthusgaserna kommer in då vattenånga H_2O , koldioxid CO_2 , metan CH_4 och lustgas N_2O reflekterar tillbaka den utgående energin.

Den långvågiga strålningens flöde mäts i enheten W/m^2 . Mellan våglängdsområdet 3 μm och 10 μm överlappas spektrumet av både den utgående långvågstrålningen och den kortvågiga solstrålningen.

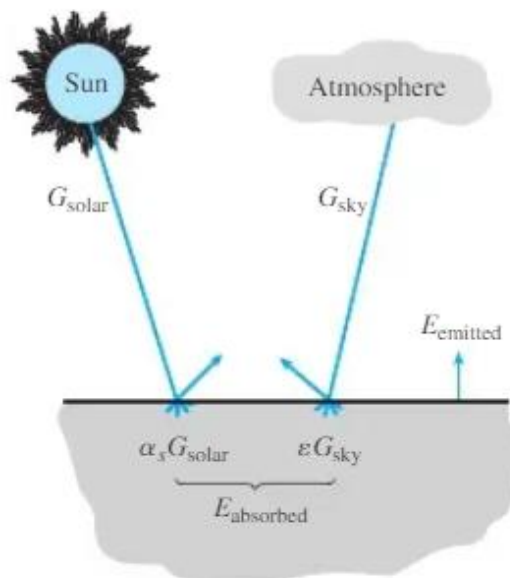
Det primära sättet som jorden förlorar energi på är via den utgående långvågsstrålningen. Den primära energigivaren är den inkommande kortvågiga solstrålningen. Beroende på hur dessa två är i balans med varandra blir det endera global uppvärmning eller nerkyllning av jordsystemet [3].



Figur 5. Strålning [2]

2.4.2 Kortvågig strålning

Kortvågig strålning är mera känd som solens strålning och är det synliga ljuset. Dess våglängdsområde ligger mellan 0,3 μm och 4 μm . Det är kortare till våglängden än långvågig strålningen, och innehåller mer energi. Ljuset kommer in genom vår atmosfär i form av ultraviolett (UV) ljus. Solen avger kortvågig strålning då den är extremt varm och har därför mycket energi att avge. Solens energi värmer moln och jordens yta som absorberar energin. Jorden i sin tur avger långvågig strålning eftersom jordens yta är betydligt svalare än solens och har då mindre energi att avge.



Figur 6. Kortvågstrålning absorbering och reflektion [2]

Solen kan avge i form av kortvågig strålning upp till 1050 W/m^2 vid ekvatorn under zenit. Strålningen blir betydligt lägre ju närmare polerna man kommer och beror på i vilken vinkel strålningen träffar ytan. [4]

2.5 Snösmältning

Det finns olika typer av snö. Om det är kallare är snön lättare och innehåller inte lika mycket vatten som då snön är varmare. Snön är alltså mera pudrig och fluffigare då det är kallare och tyngre samt klibbigare då det är varmare. Det återspeglar sig på snöns densitet. Då snön kan ha densiteten 20 kg/m^3 då det är kall och torr snö, $50 - 70 \text{ kg/m}^3$ då det är torr snö och $100 - 200 \text{ kg/m}^3$ om det är ny fuktig snö. [5, s. 73–74], [6, s. 48] Desto

mera snön väger desto mera energi behövs det för att den ska smälta till vatten. Enligt [7] kan man utgå från att 1 mm vatten är 10 mm snö.

Man kan även räkna ut snöns densitet via formeln tagen från [8]:

$$\rho_{snö} = \frac{m_{snö}}{h_{snö} \cdot 1m^2} \quad (1)$$

$\rho_{snö}$ snöns densitet [kg/m³]

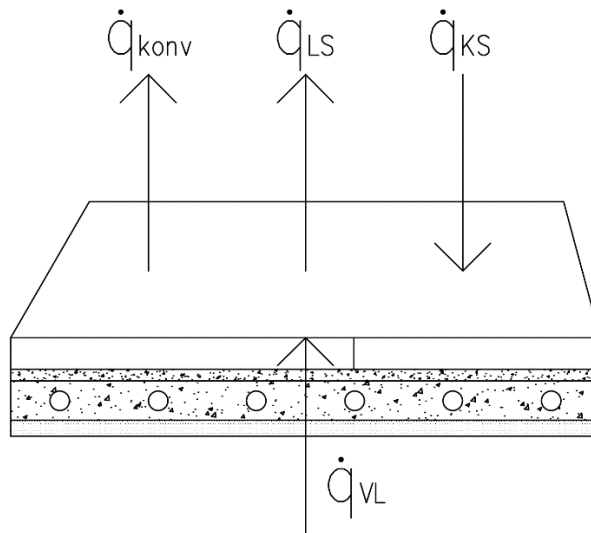
$m_{snö}$ snöns massa [kg]

$h_{snö}$ snöns höjd [m]

2.6 Ytans energibalans

Som tidigare avhandlat, så överförs värme via värmeledning, konvektion, och strålning. Värme ändrar ofta form med vilken den överförs från ett medium till ett annat. Till exempel så den värme vilken nått upp till den yttre ytan av marken i ett uppvärmt system på vintern konverteras bort av den kalla uteluften samtidigt som den utstrålas till den kalla omgivningen. I sådana fall kan det bli nödvändigt att hålla reda på energiinteraktionerna vid ytan. En yta innehåller ingen volym eller massa, och därmed ingen energi. Därför kan en yta ses som ett fiktivt system vars energiinnehåll förblir konstant under en process. Då kan energibalansen för en yta uttryckas som:

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$$



Figur 7. Energiinteraktion vid Lejontorget's markyta.

Där finns värmeledning genom marken till ytan, konvektion från ytan till uteluften, långvågstrålning från ytan till omgivningen och kortvågstrålning mot ytan [2, s. 13-14]. Där \dot{q}_{VL} är värmeledningen, \dot{q}_{konv} är konvektionen, \dot{q}_{LS} är långvågstrålningen och \dot{q}_{KS} är kortvågstrålningen:

$$\dot{q}_{VL} = \dot{q}_{konv} + \dot{q}_{LS} - \dot{q}_{KS}$$

2.7 Graddagar

Graddagstalet räknas genom att för varje månad addera ihop den dagliga skillnaden mellan temperaturen inomhus och utomhus. I allmänhet antas temperaturen inomhus vara +17 °C och som utetemperatur används dygnsmedeltalet. Graddagstalet för en månad är summan av graddagstalen för vart dygn och talet för ett år är summan av talen för var månad. Graddagstalet i medeltal för åren 1981 - 2010 används som jämförelsevärde, dvs. som graddagstal för ett så kallat normalår. [8]

Tabell 1. Graddagar för jämförelseperioden 1981 – 2010, 2017 och 2018 [8]

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Året
1981-2010	647	612	566	383	153	11	1	12	125	316	464	588	3878

2017	586	532	489	427	183	28	0	17	82	346	388	471	3549
2018	563	671	638	355	47	0	0	0	64	267	396	551	3552

Med hjälp av tabellerna ovan får man reda på om vintermånaderna mellan 2017 och 2018 varit svalare eller varmare än normalt. Det får man genom att dividera vintermånaderna mellan 2017 och 2018 med jämförelseperioden, alltså vintermånaderna åren 1981 - 2010. [8]

Tabell 2. Graddagarnas kvot för jämförelseperioden 1981 - 2010 och vintermånaderna 2017 - 2018.

Månad	Oct 2017	Nov 2017	Dec 2017	Jan 2018	Feb 2018	Mars 2018
Kvot	1,09	0,84	0,80	0,87	1,10	1,13

3 LEJONTORGETS UPPVÄRMNINGSSYSTEM

Uppvärmningssystemet bygger på att ta energi via en värmeväxlare från Helens fjärrvärmesystem och använda värmen till Lejontorget's cirkulerande varmvattensystem. Efter att vätskan värmts upp pumpas den genom systemet så att den varma vätskan transporteras till torget och delas upp till mindre rör för att distribuera värmen jämt över området, och på det viset hålla markytan uppvärmd och fri från is och snö. Under kretsgången kyls vätskan ner och cirkulerar tillbaka för att hettas upp igen. Det här är även ett automatiserat system som använder sig av sensorer som avläser lufttemperaturen. Med hjälp av avmätningarna stänger systemet av sig och slår på då temperaturen sjunker under den specifika avgivna temperaturen. Samma sak sker då temperaturen överskrider den högsta angivna temperaturen. Under den här temperaturintervallen värms torget upp.



Figur 8. Arcadas huvudingång vid lejongtorget.

3.1 Värmeväxlare

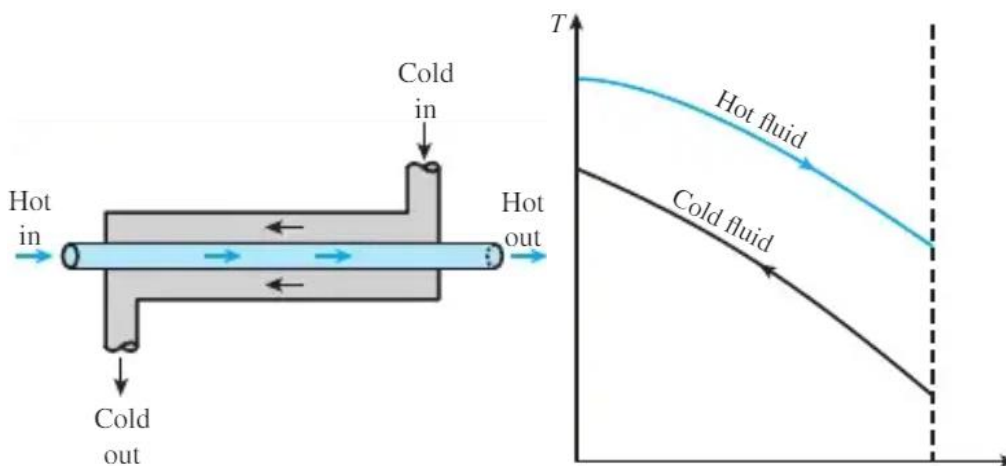
En värmeväxlare finns till för att överföra värmeenergi från ett medium till ett annat. I det här fallet från fjärrvärmenätet till Lejongtorget. Tillverkaren för värmeväxlaren WTT och modellen WP8M-50. Bolaget heter idag Onda Nordic Oy. Systemet fungerar så att den 80 °C varma fjärrvärmevätskan cirkulerar med en hastighet på 0,96 dm³/s i riktning mot den 25 °C varma vätskan som flödar med 3,5 dm³/s. Det här tillåter vätskan att avge mera energi då det är korsflöde, alltså att vätskorna rinner i varandras motsatta riktning. På det sättet avger fjärrvärmen effekten 200 kW till Lejongtorgets uppvärmningssystem. Det här innebär att fjärrvärmesidans vätska kyls ner till 30 grader och Lejongtorgets värms upp till 40 grader. Det här skulle inte vara möjligt om vätskorna skulle färdas åt samma riktning. Trycket är 1,6 MPa i alla rör och byggnadsmaterialet rostfritt stål.

Tabell 3. Värmeväxlarens uppgifter.

Värmeväxlare	Enhet	Uppvärmning av gata
--------------	-------	---------------------

Tillverkare		WTT	
Modell		WP8M-50	
Effekt	kW	200	
		Primär	Sekundär
Flöde	dm ³ /s	0,96	3,5
Temperaturer	°C	80 - 30	25 - 40
Tryckförlust	kPa	20	20
Planeringstryck	MPa	1,6	1,6

Vätskan som cirkulerar på lejonatorgets sida är en blandning av 40 procent propylen glykol och 60 procent vatten, vilket ger vätskan egenskapen att inte frysa förrän temperaturen -30 °C . Detta är vitalt, för att undvika att systemet går sönder. Om det endast skulle vara vatten med fryspunkten 0 °C skulle det bli isbildning under året kallaste dagar, som i sin tur skulle leda till att rören under jorden skulle spricka eftersom is är större i volym än vatten. Man räknar med att temperaturen i Helsingfors inte underskrider -26 °C .



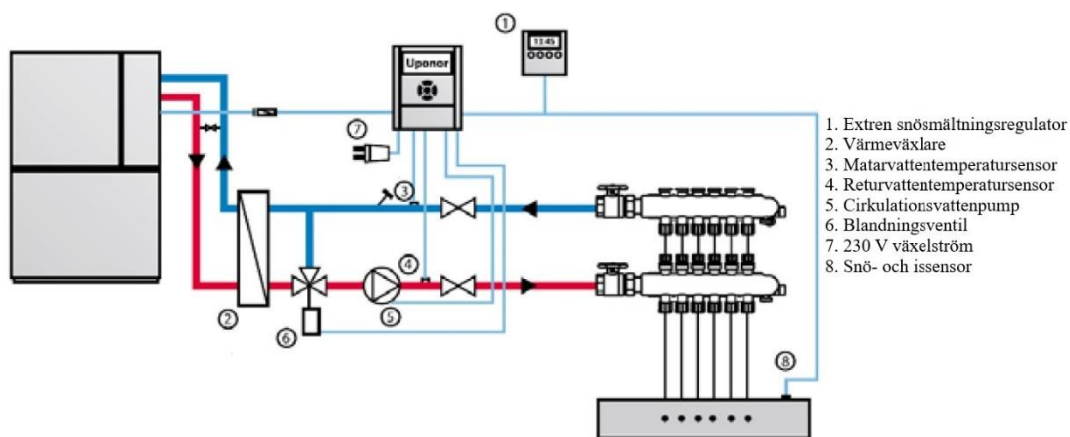
Figur 9. Korsflöde [2].

3.2 Ventiler och automation

För att kunna öppna, stänga och kontrollera flödet till uppvärmningssystemet behövs det ventiler. Huvudventilen för systemet är tillverkad av Siemens. Modellen är VVF-52.26-4 vilken är en styrventil. Styrventilen finns till för att kunna reglera värmen från

fjärrvärmens och klarar av höga temperaturer och fuktighet. Systemet strävar efter att hålla den uppvärmda vätskan vid 40 °C och den avsvälta vid 25 °C. Då det blir så svalt att vätsketemperaturen sjunker under 1 °C stänger systemet av sig.

Systemet är automatiserat så att pumpen slår igång då sensorerna avläser att temperaturen utomhus sjunker under 5 °C. Då temperaturen sjunker under 2 °C börjar själva uppvärmningen av Lejontorget's yta. Då temperaturen utomhus är mellan 2 °C och -5 °C håller uppvärmningssystemet Lejontorget's yta vid 5 °C. Då utomhustemperaturen sjunker under -5 °C och hålls över -10 °C strävar Lejontorget's uppvärmningssystem hålla Lejontorget's yta vid 1 °C.

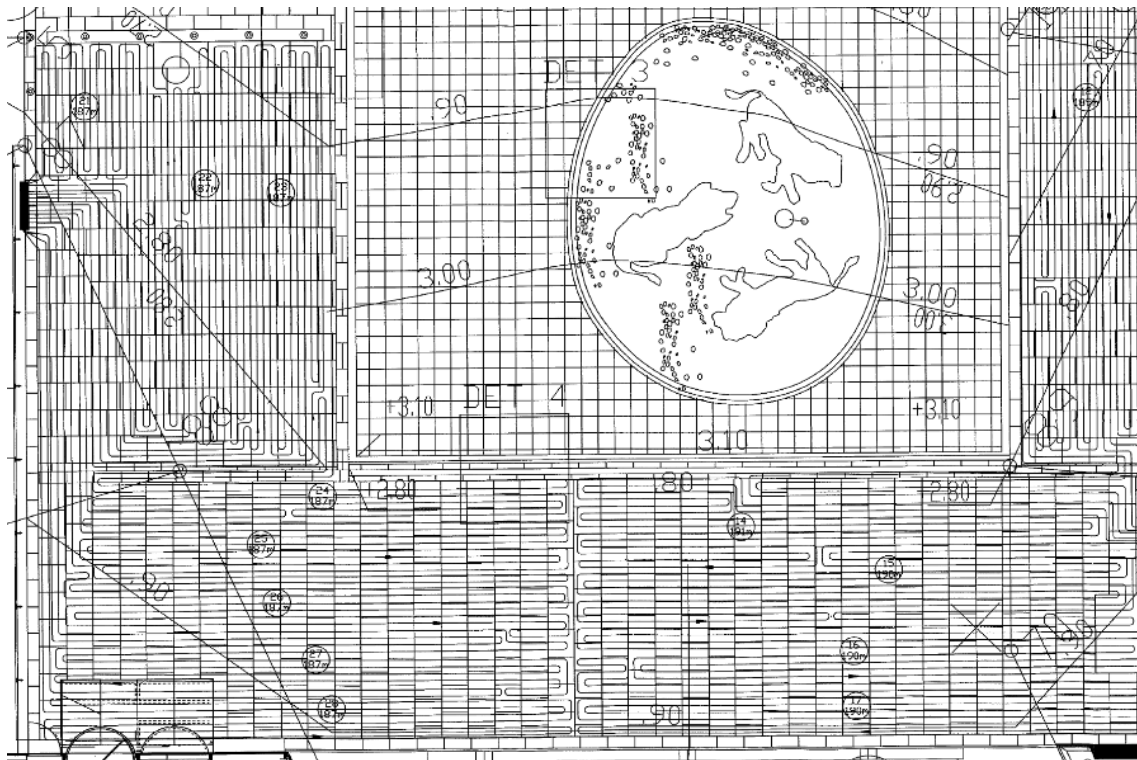


Figur 10. Förenklad version av ett typiskt uppvärmningssystem för snösmältning [1].

3.3 Rör och fördelare

För att kunna transportera den varma vätskan behövs det rör av olika storlekar och material som är lämpliga för ändamålet. Från tekniska rummet där värmeväxlaren befinner sig går det ut två rör i materialet Ecoflex vilka har inre diametern 110 mm under ytan till Lejontorget. Materialet används för varm-, bruks och kylvatten. Rören är lätta att installera då de är böjbara och väl isolerade, så det inte avger värme. De här två rören leder till sina egna fördelare. Från den ena kommer det ut 8 slingor och från den andra 7 slingor. Slingorna är mellan 187 och 190 m långa. De har en diameter på 75 mm och är gjorda av PEX, polyeten. PEX används för sin korrosionsbeständighet och det är lätt att installera

PEX har en drifttemperatur mellan $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ och $90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vilket passar ypperligt till uppvärmningen av Lejontorget.



Figur 11. Värmeslingornas placering under jorden, skannad originalritning.

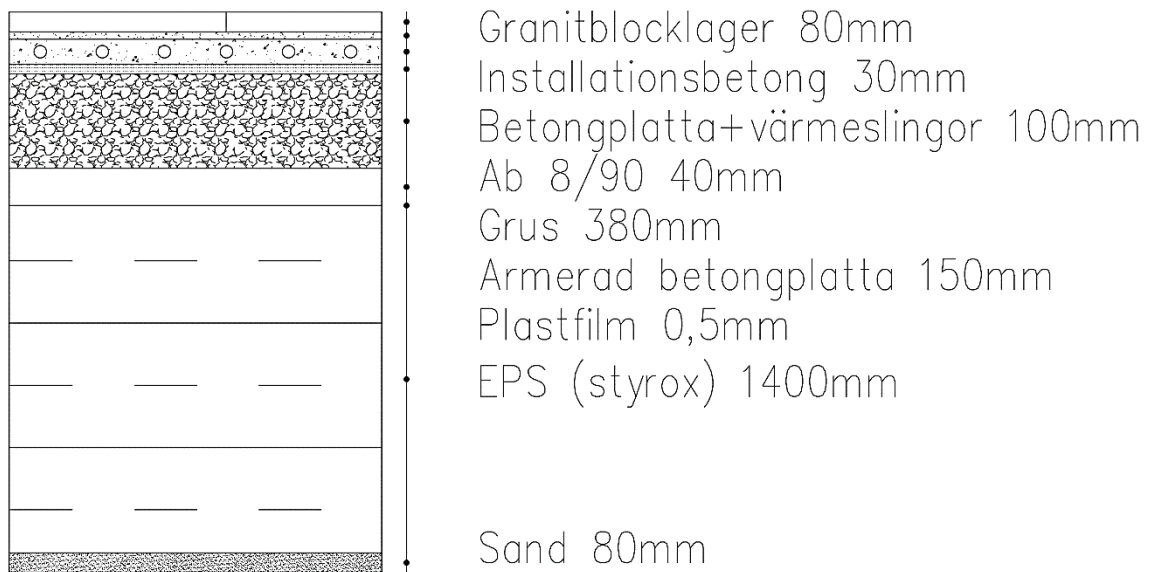
Slingorna är placerade 300 mm från varandra på ett djup av 210 mm från marknivå. Det här gör att slingorna jämt värmer upp marken runtomkring och framför allt ovanför så ytan har jämn temperatur. Djupet skyddar även slingorna från att ge ifrån sig sin värme för snabbt så att värmen kan nå hela Lejontorget's yta.



Figur 12. Installation av värmeslingor [1]

3.4 Grunden

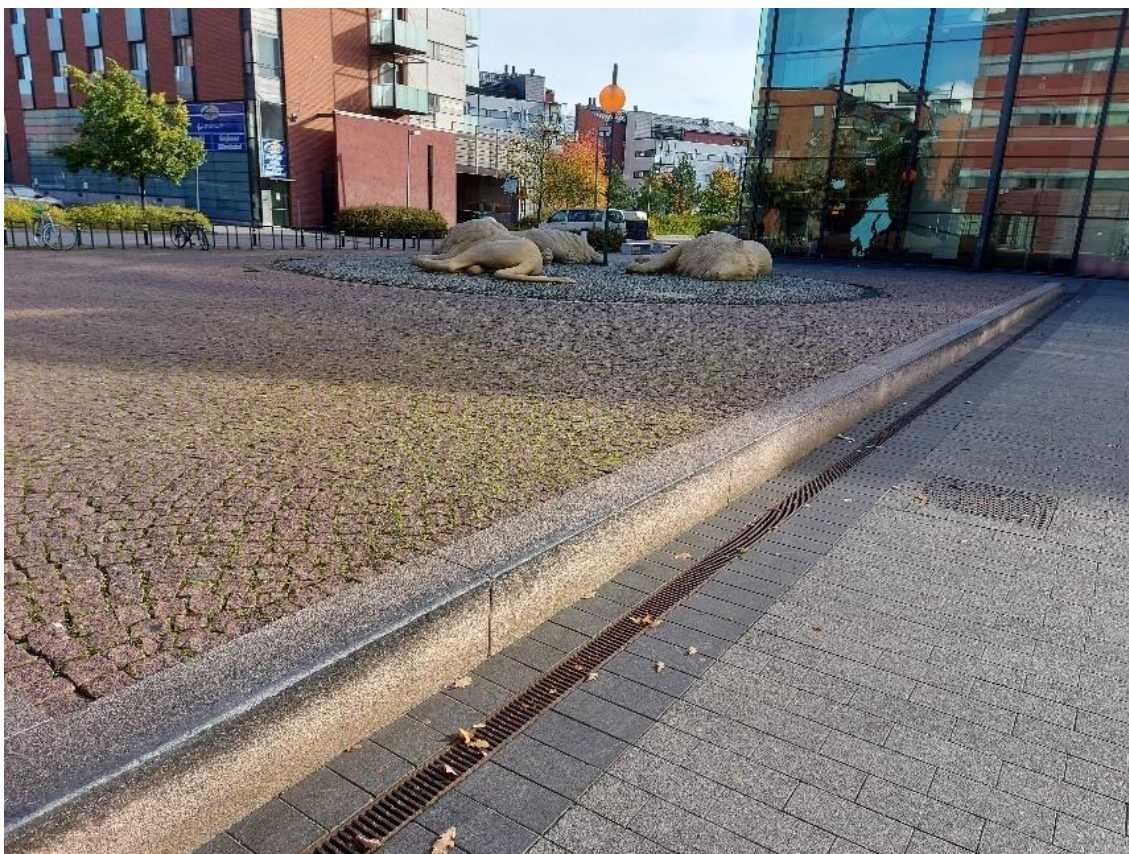
Det är viktigt att slingorna har bra och passande material runt sig som klarar av uppvärmningen. Man lägger grunden så att slingorna skall hållas på plats och att inte det bildas gropar som kan skada rören. Grundens översta lager har hög emissivitet, vilket betyder att granitblocken inte reflekterar bort värmen från solen och håller ytan varm istället. Grunden ger slingorna ett medium att värma upp och värmen sprider sig jämnt över mediet så att hela ytan värms jämt upp, och med samma princip skyddar grunden under kalla tider slingorna.



Figur 13. Grundens alla lager. För varje punkt vad lagret består av och dess tjocklek.

3.5 Brunnar

Eftersom det bildas en hel del vatten från den smälta isen och snön så behövs det brunnar för att föra bort vattnet. Brunnarna är placerade vid kanten av den upphöjda delen på Lejontorget's yta, så att marken syder mot brunnarna så vattnet rinner i rätt riktning och inte bilda pölar. Man gör så här för att undvika att vattnet fryser som temperaturen sjunker. Vattnet leds via regnvattensbrunnarna till det kommunala regnvattenssystemet.



Figur 14. Egen bild på brunnar vid Lejontorget's upphöjda del.

4 BERÄKNING AV VÄRMEÅTGÅNG

Modellen skapades för att kunna jämföra med de avlästa förbrukningsvärdena. Så samlades formler för en uträkning med Excel som verktyg. Med hjälp av vetenskapliga artiklar, böcker samt nätsidor samlades det ihop fakta och en uträkningsformel som lämpar sig för att få fram motsvarande reala värdena som mätts upp från värmeväxlarens energiförbrukning.

4.1 Modell för värmeförluster för uppvärmda uteplatser

För att få en så exakt uträkning som möjligt används intervallet en timme för lufttemperaturen ($^{\circ}\text{C}$), vindhastigheten (m/s), nederbörden (mm), långvågstrålning utåt (W/m^2) och kortvågigstrålning inåt (W/m^2). Väderdata är taget från meteorologiska institutets internetsidor, vilka är tillgängliga för allmänheten. För markens ytemperatur används de givna värden givan i systemets konstruktion- och VVS-plan. Emissiviteten, ε_y är tagna

ur källa [2]. σ är Stefan-Boltzmanns konstant som är ett fast värde vilket används i uträkningen gällande när den totala intensiteten som utstrålas över alla våglängder ökar när temperaturen ökar. Det här ger jämförbara värden med samma intervaller enligt vilket mätningarna är gjorda.

\dot{q}_{tot} står för det totala effektbehovet per ytenhet vilken har enheten W/m^2 . Vilket är den avgivna energin från ytan till luften som cirkulerar runt omkring. Det är den beräknade effekten per ytenhet som behövs uppvärmningen av lejontorget. Då man antar att värmeledningen är 100 procent mot markytan. Själva formeln för att kunna räkna ut det totala energibehovet är följande [9],[10]:

$$\dot{q}_{tot} = \dot{q}_{konv} + \dot{q}_{LS} + \dot{q}_{KS} + \dot{q}_{snö} + \dot{q}_{smältning} \quad (2)$$

\dot{q}_{tot}	är det totala effektbehovet [W/m^2]
\dot{q}_{konv}	är konvektionen [W/m^2]
\dot{q}_{LS}	är den totala långvågiga strålningen [W/m^2]
\dot{q}_{KS}	är den totala kortvågiga strålningen [W/m^2]
$\dot{q}_{snö}$	är effektbehovet som krävs för att värma snön till den punkt då den börjar smälta [W/m^2]
$\dot{q}_{smältning}$	är issmältningen (snö) för vatten [W/m^2]

För att få månadsenergibehovet, vilket jämförs med uppmätta energiförbrukningen, så multiplicera man effektbehovet per ytenhet med arean av lejontorget's uppvärmda del 640 [m^2]. Produkten energibehovet i [Wh]. Då man beräknat energibehovet för hela månaden så motsvarar det den energi som behövs för att kunna värma upp Lejontorget:

$$Q = A \cdot q_{tot} \quad (3)$$

Q	är energibehovet [Wh]
A	är arean [m^2]
q_{tot}	är energibehovet per ytenhet [Wh/m^2]

Formeln för att få reda på energibehovet per ytenhet [Wh/m²] för Lejontorget så behöver man veta det totala effektbehovet per ytenhet [W/ m²] och multiplicera \dot{q}_{tot} med tiden [h] för durationen då kalkylen sker.

$$q_{tot} = \dot{q}_{tot} \cdot t \quad (4)$$

\dot{q}_{tot} är det totala effektbehovet per ytenhet [W/ m²]

t är tiden [h]

Långvågsstrålning q_{LS} kan räknas ut genom att subtrahera den inkommande långvågstrålningen q_{LWin} från markytan utgående, ”netto”, långvågstrålningen q_{LSut} . Differensen ger effekten per ytenhet som värmer upp markytan om resultatet är negativ och kyler ned ytan om positiv [10].

$$\dot{q}_{LS} = \dot{q}_{LSut} - \dot{q}_{LSin} \quad (5)$$

\dot{q}_{LS} är den totala långvågstrålningen [W/m²]

\dot{q}_{LSut} är långvågsstrålningen från ytan [W/m²]

\dot{q}_{LSin} är långvågsstrålningen mot ytan [W/m²]

Man kan räkna ut q_{LSut} genom formel (5). Till uträkningen behöver man veta följande: ε_y vilket är emissiviteten för markens yta, i det här fallet granitstensblock. Granitblock har emissiviteten 0,9. σ , vilket är Stephan-Boltzmann konstant. Värdet för konstantent är $5,68 \cdot 10^{-8}$ [W/(m²·K⁴)]. T_y vilket står för temperaturen på markens yta. Då det inte finns mätdata från atmosfärens temperatur utgår vi ifrån att den är 0 °C enligt [11], vilket är 273,15 K. Formeln är följande [10]:

$$\dot{q}_{LSut} = \varepsilon_y \cdot \sigma \cdot (T_y + 273,15)^4 \quad (6)$$

\dot{q}_{LSut} är långvågsstrålningen från jorden [W/m²]

ε_y är emissiviteten för ytan

σ	är Stephan-Boltzmann konstant $5,68 \cdot 10^{-8} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K}^4\text{)]}$.
T_y	är ytans temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

\dot{q}_{LSin} tas från [12]. På det sättet får man en kalkyl med exakta värden.

\dot{q}_{LSin} tas från meteorologiska institutets uppmätningar [12]

Konvektionen \dot{q}_{konv} får man genom formeln nedan. Från källan [10].

$$\dot{q}_{konv} = h_c \cdot (T_y - T_u) \quad (7)$$

\dot{q}_{konv}	konvektionen [W/m^2]
h_c	är formeln som används för att räkna ut nedkylningen av vinden [13]
T_u	är luftens temperatur utomhus [$^{\circ}\text{C}$]

h_c är konvektiv värmeöverföringskoefficient med enheten [$\text{W/ m}^2\text{C}$] får man genom formeln nedan där v_h är vindens hastighet [m/s] [11].

$$h_c = 4 + 4 \cdot (v_h) \quad (8)$$

v_h är vindhastigheten [m/s]

Eftersom det inte fanns möjlighet att mäta den kortvågiga strålningen används Meteorologiska institutets mätningar för inkommande energi. Det gäller energin som kommer från solen. Man får timvis mätning av energin som kommer från solen som värmer upp Lejontorget's yta. Desto mera solen lyser och värmer upp ytan desto mindre energi krävs för uppvärmningen.

\dot{q}_{KS} tas från meteorologiska institutets uppmätningar

Genom $\dot{q}_{sn\ddot{o}}$ räknar man ut hur mycket energi det behövs per ytenhet för att värma upp snön till smältpunkten. Till det behöver man höjden på snön, snöns densitet, isens specifika värmekapacitet, temperaturen på snösamlingen samt tiden. Tidsintervallet gällande uträkningarna är alltid en timme [9].

$$\dot{q}_{sn\ddot{o}} = \frac{h_{sn\ddot{o}} \cdot \rho_{sn\ddot{o}} \cdot c_{p_{is}} \cdot (0 - T_{sn\ddot{o}})}{t_{sm\ddot{a}ltning}} \quad (9)$$

$\dot{q}_{sn\ddot{o}}$	är effektbehovet per ytenhet som krävs för att värma snön till den punkten till vilken den börjar smälta [W/m ²]
$h_{sn\ddot{o}}$	höjden på snöansamlingen [m]
$\rho_{sn\ddot{o}}$	är densiteten på snön [kg/m ³]
$c_{p_{is}}$	är isens specifika termiska kapacitet [J/kg·°C] (2090 J/kg·°C [14, s. 177])
$T_{sn\ddot{o}}$	är temperaturen på snöansamlingen [°C]
$t_{sm\ddot{a}ltning}$	är längden på avfrostningscykeln [s]

Kalkylen för $\dot{q}_{sm\ddot{a}ltning}$ är energikravet för att smälta snö till vatten. För kalkylen behöver man höjden på snön, snöns densitet, isens specifika smältvärme och tiden. Tiden är samma för alla uträkningar, en timme [9].

$$\dot{q}_{sm\ddot{a}ltning} = \frac{h_{sn\ddot{o}} \cdot \rho_{sn\ddot{o}} \cdot s_{is}}{t_{sm\ddot{a}ltning}} \quad (10)$$

$\dot{q}_{sm\ddot{a}ltning}$	är issmältningen (snö) till vatten [W/m ²]
s_{is}	är isens specifika smältvärme [J/kg] (333000 J/kg [14, s. 177])

Här nedan följer en tabell över energibehovet för att värma upp snö till smältpunkten. Därefter visas energibehovet för smältningen till vatten. Genom formlerna (8) och (9) och tidigare nämnd snöns densitet från litteratur får man följande värden. Vi utgår ifrån att 1

mm nederbörd motsvarar 10 mm snö enligt [7]. Tidsintervallet är 3 600 s, vilket är 1 h. Tabellen 4 används i Excelkalkylen för att beräkna energibehovet för att smälta snö.

Tabell 4. Energibehov för snösmältning. [7][9]

Storhet	Enhet	Värden					
		1,7	2,9	2,0	1,7	1,7	0,6
$\dot{q}_{snö}$	W/m ²	1,7	2,9	2,0	1,7	1,7	0,6
$\dot{q}_{smältning}$	W/m ²	18,5	46,3	64,8	92,5	13,8	185
$h_{snö}$	m	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$\rho_{snö}$	kg/m ³	20	50	70	100	150	200
$T_{snö}$	°C	-15	-10	-5	-3	-2	-0,5

4.2 Excel modellens beräkningar

I det här kapitlet behandlas konkret hur uträkningen i Excel ser ut och vilka logaritmer som behövs för att få en fungerande modell. Det framkommer var man sätter in temperaturen, vindhastigheten, nederbörden, den långvågiga strålningen inåt samt den kortvågiga strålningen i kalkylen. Slutligen behandlas vilka de fasta givna värdena är och hur man får en automatiserad modell.

4.2.1 Fasta värden

Själva systemet är automatiserat så att pumpen slår igång då sensorerna mäter att temperaturen utomhus sjunker under 5 °C. Då temperaturen sjunker under 2 °C är systemet programmerad att börja värma Lejontorget's yta till 5 °C. Det gör systemet ända tills temperaturen sjunker under -5 °C. Då ändrar den Lejontorget's ytemperatur till att hållas vid 1 °C. Lejontorget's uppvärmningssystem har en maxeffekt på 312,5 W/m² uträknad på arean 640 m², granitblocken har emissiviteten 0,9 och atmosfärens temperatur approximeras till 0 °C, vilket är 273,15 K [11].

Tabell 5. Fasta värden för uppvärmningssystemet.

Storhet	Värden		Enhet
T_u	2 - (-5)	-5 - (-10)	°C
T_y	5	1	°C
T_{atmo}	273,15	273,15	K
ϵ_y	0,9	0,9	

σ	5,68E-08	5,68E-08	W/(m ² K ⁴)
A	640	640	m ²
$\dot{q}_{\max, \text{system}}$	312,5	312,5	W/m ²
Start	2	-5,1	°C
Stop	-5	-10	°C

4.2.2 Exempel beräkning för en timme

Kalkylen är uppbyggd genom att räkna ut energibehovet för varje timme mellan vintermånaderna åren 2017 och 2018. Förutom de fasta värdena behövs även temperaturen, vindhastigheten, nederbörden, den långvågiga strålningen inåt samt kortvågiga strålningen i kalkylen. Exempelberäkningen är för perioden en timme. Med exemplet kan man få en bättre bild över hur man skulle beräkna en hel månad och addera ihop timmarnas värden, vilket skulle resultera till en hel månads energibehov. Värdena som används i exemplet får man ur tabell 4, 5 eller 6.

Tabell 6. Exempel beräkning för en timme.

Vindhastighet	Temperatur	Nederbörd	Långvågstrålning	Kortvågstrålning
4,8 m/s	-1,6 °C	0,4 mm	-302,2 W/m ²	-1,1 W/m ²

För att få det totala effektbehovet per ytenhet bör man följa följande formel:

$$\dot{q}_{tot} = \dot{q}_{konv} + \dot{q}_{LS} + \dot{q}_{KS} + \dot{q}_{snö} + \dot{q}_{smältning} \quad (2)$$

Man börjar med att räkna ut konvektionens effektbehov. Den får man genom att sätta in värdena i formel (6):

$$\dot{q}_{konv} = h_c \cdot (T_y - T_u) \quad (7)$$

$$\dot{q}_{konv} = (4 + 4 \cdot 4,8) [\text{W/m}^2\text{°C}] \cdot (5 - (-1,6)) [\text{°C}]$$

$$\dot{q}_{konv} = 153,12 [\text{W/m}^2]$$

Sedan räknar man ut hur mycket långvågstrålningen värmer upp eller kyl ner markytan genom följande formler:

$$\dot{q}_{LSut} = \varepsilon_y \cdot \sigma \cdot (T_y + 273,15)^4 \quad (6)$$

$$\dot{q}_{LSut} = 0,9 \cdot 5,68 \cdot 10^{-8} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)] \cdot (5 + 273,15)^4$$

$$\dot{q}_{LSut} = 306,0 [\text{W}/\text{m}^2]$$

$$\dot{q}_{LSin} \text{ tas från [12]}$$

$$\dot{q}_{LSin} = 302,2 [\text{W}/\text{m}^2]$$

$$\dot{q}_{LS} = \dot{q}_{LSut} - \dot{q}_{LSin} \quad (5)$$

$$\dot{q}_{LS} = 306,0 [\text{W}/\text{m}^2] - 302,2 [\text{W}/\text{m}^2]$$

$$\dot{q}_{LS} = -3,8 [\text{W}/\text{m}^2]$$

Kortvågstrålningen tas från [12]:

$$\dot{q}_{KS} = -1,1 [\text{W}/\text{m}^2]$$

Effektbehovet per ytenhet för snö till smältpunkten beräknas på följande sätt:

$$\dot{q}_{snö} = \frac{h_{snö} \cdot \rho_{snö} \cdot c_{p_{is}} \cdot (0 - T_{snö})}{t_{smältning}} \quad (9)$$

$$\dot{q}_{snö} = \frac{0,004 [\text{m}] \cdot 150 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \cdot 2090 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}\right] \cdot (0 - (-1,6)) [^\circ\text{C}]}{3600 [\text{s}]}$$

$$\dot{q}_{snö} = 0,5 [\text{W}/\text{m}^2]$$

Effektbehovet per ytenhet för att smälta snö till vatten beräknas på följande sätt:

$$\dot{q}_{smältning} = \frac{h_{snö} \cdot \rho_{snö} \cdot s_{is}}{t_{smältning}} \quad (10)$$

$$\dot{q}_{smältning} = \frac{0,004 \text{ [m]} \cdot 150 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot 333000 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg}} \right]}{3600 \text{ [s]}}$$

$$\dot{q}_{smältning} = 55,5 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Då man beräknat alla enskilda effektbehov per ytenhet så adderar man de med varandra och får det totala effektbehovet enligt följande:

$$\dot{q}_{tot} = \dot{q}_{konv} + \dot{q}_{LS} + \dot{q}_{KS} + \dot{q}_{snö} + \dot{q}_{smältning} \quad (2)$$

$$\dot{q}_{tot} = 153,1 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] + 3,8 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] + 1,1 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] + 0,5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] + 55,5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\dot{q}_{tot} = 214 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

Eftersom beräkningen sker under perioden en timme så multiplicerar man resultatet med en timme:

$$q_{tot} = \dot{q}_{tot} \cdot 1\text{h} = 214 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \cdot 1\text{h} \quad (4)$$

$$q_{tot} = 214 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \cdot 1\text{h}$$

$$q_{tot} = 214 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \right]$$

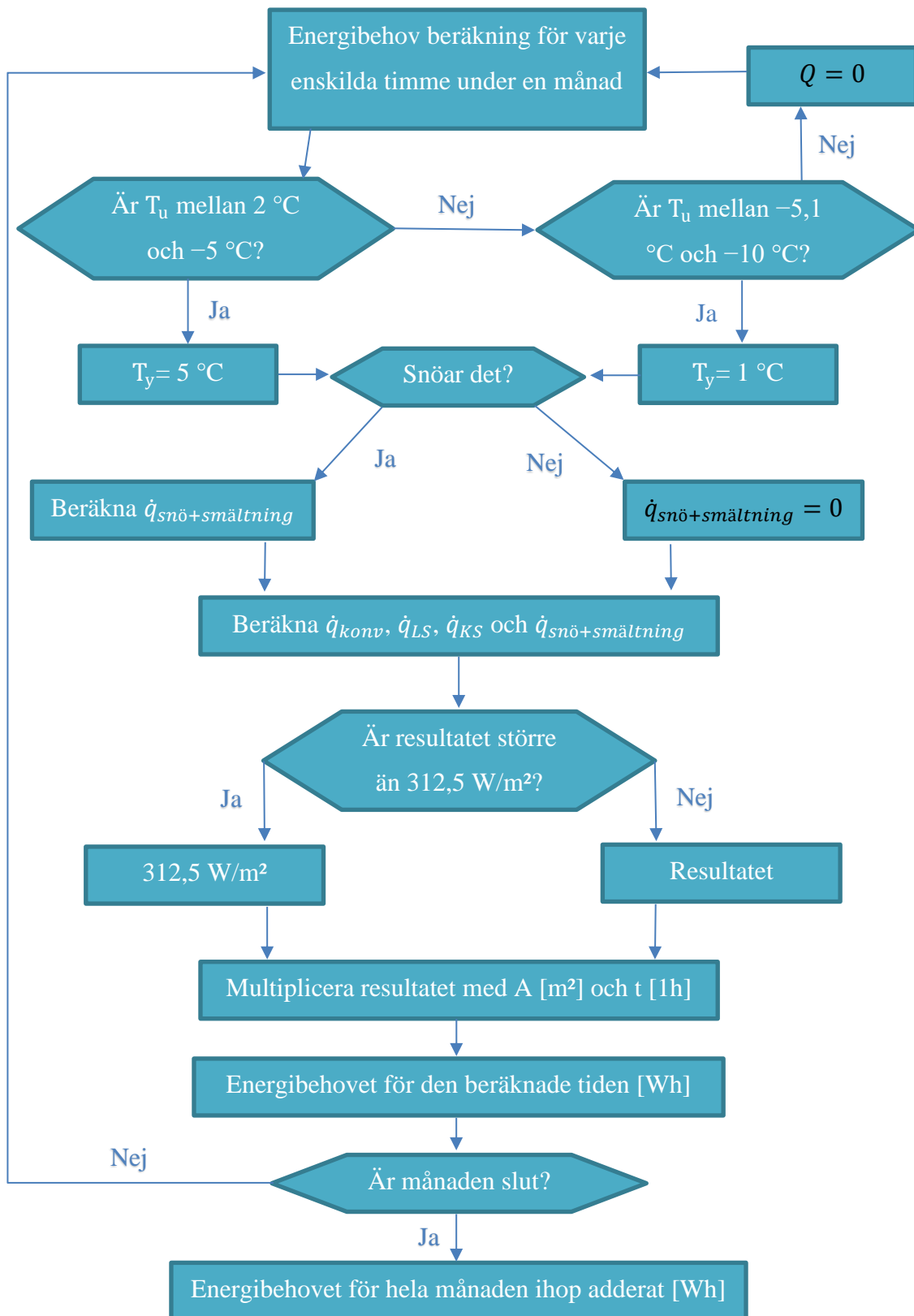
Energibehovet för Lejontorget får man via formel (3)

$$Q = A \cdot q_{tot} \quad (3)$$

$$Q = 640 \text{ [m}^2\text{]} \cdot 214 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} \right]$$

$$Q = 136\,940 \text{ Wh}$$

4.2.3 Flödesschema för fall 1 under en månad



Figur 15. Exempel för modellens kalkyler via ett flödesschema.

5 RESULTAT

Genom att sätta in alla värden i Excel och med hjälp av formlerna får man följande resultat. För själva uträkningen av energibehovet behöver man veta hur mycket det krävs för smältningen av snö, hur mycket värme som avges via konvektion, värmeledning och långvågig strålning, samt hur mycket den kortvågiga strålningen värmer. Det bör ta i beaktande att modellen är en känslig kalkyl och då temperaturen, vindhastigheten, nederbörden, den långvågiga strålningen inåt samt kortvågiga strålningen är taget från Meteorologiska institutet. Så kommer det alltid att finnas en avvikelse då värdena inte är mätta från Lejontorget's exakta position. En felmarginal på flera procent uppstår enkelt.

Själva idén med av att skapa en modell för energiförbrukningen för Lejontorget är för att få reda på hur mycket energiförbrukningen ändras om man istället går till väga enligt följande:

- Fall 1
 - Lejontorget's uppvärmningssystem sätts på och stängas av enligt projekterade temperaturvärden.
- Fall 2
 - Lejontorget's uppvärmningssystem stängas av då temperaturen utomhus sjunker till $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Fall 3
 - Lejontorget's uppvärmningssystem stängs av då temperaturen utomhus sjunker till $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sedan jämför man hur mycket energi man skulle spara (fall 2) eller tillägga (fall 3) jämfört med de kalkylerade värdena enligt värden givna i systemets konstruktions- och VVS-plan (fall 1) för varje dag. Då de faktiska värdena är uppmätta med en månads intervall så jämförs de nya värdena med en månads intervall.

5.1 Vintern 2017 - 2018

Kalkylerna i det här slutarbetet är räknade i Excel med intervallet en timme. Eftersom resultatet skulle blir för svårt att tyda i ett lättförståeligt diagram, så får man på så vis

ändra intervallet till en dag istället för en timme för varje månad. Dessa värden är insatta i diagram och tabeller för att göra det så lättförståeligt som möjligt och skapar en bättre bild över energibehovet mellan fall 1 och 3.

Eftersom det är en känslig kalkyl så kommer det att finnas en avvikelse mellan 9 och 35 procent från de uppmätta värdena, vilken man får genom procent skillnaden mellan modellens och uppmätta värdena. Det beror på att värden tagna från Meteorologiska institutet avviker från de verkliga temperaturerna, vindhastigheterna, nederbörden och kortvägiga strålningen vid Lejontorget. Delvis beror det på att en del av värdena är tagna från en annan position och då Lejontorget befinner sig mellan två byggnader som skuggar och skyddar mot vinden så uppstår felmarginal.

Om man tar i beaktande att Lejontorget yta inte alltid är +5 °C, och gör finjusteringar i Excel enligt följande. Där ytan i oktober och november skulle vara +4,5 °C, +3,5 °C under december, +3 °C i januari, +2,5 °C i februari och +5,5 °C i mars skulle avvikelsen i procent vara följande; 1 procent avvikelse för oktober, november, februari och mars, 3 procent för januari och 5 procent för december.

Tabell 7. Resultat samt jämförelse mellan energibehovet för uppmätta, fall 1 och finjustering av fall 1.

Månad	Enhet	Uppmätta	Fall 1	Finjustering
Oktober	MWh	18,92	21,00	19,06
November	MWh	22,82	25,60	23,10
December	MWh	39,35	56,15	41,44
Januari	MWh	43,95	58,61	45,24
Februari	MWh	36,48	45,33	36,95
Mars	MWh	44,75	40,88	44,26

För att få en bättre bild över månaderna i fråga så demonstrerar tabellen 8 medeltemperaturen, medelvindhastigheten och den totala nederbörden. Värdena är tagna från Excel kalkylen så de är exakta. I tabellen ser man att oktober månaden är den varmaste och februari den kallaste. Vindhastigheten skiljer sig inte mycket från månad till månad.

Medan nederbörden var betydligt högre under vinterns tre första månader jämfört med de 3 sista.

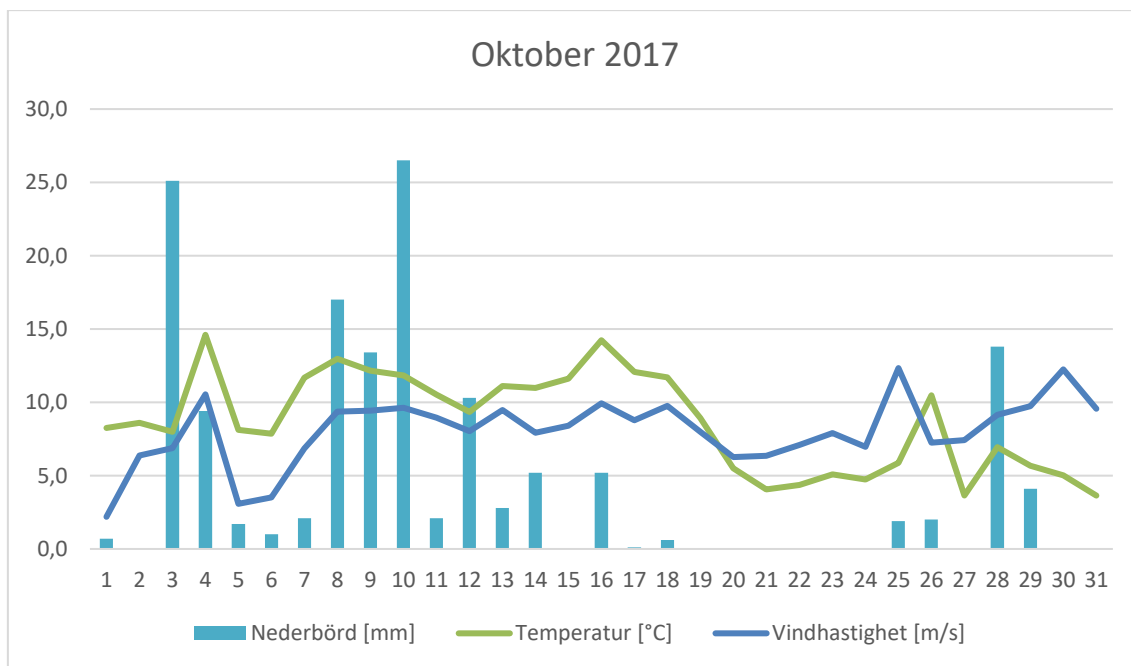
Tabell 8. Vintermånadernas mellan 2017 och 2018 medeltemperatur, medelvindhastighet och totala nederbörden.

Månad	Medeltemperatur [°C]	Medelvindhastighet [m/s]	Totalt nederbörd [mm]
Oktober	5,0	4,6	161,4
November	2,7	4,7	113,0
December	0,7	5,1	120,0
Januari	-1,1	4,6	46,4
Februari	-8,5	4,0	32,1
Mars	-4,7	4,3	21

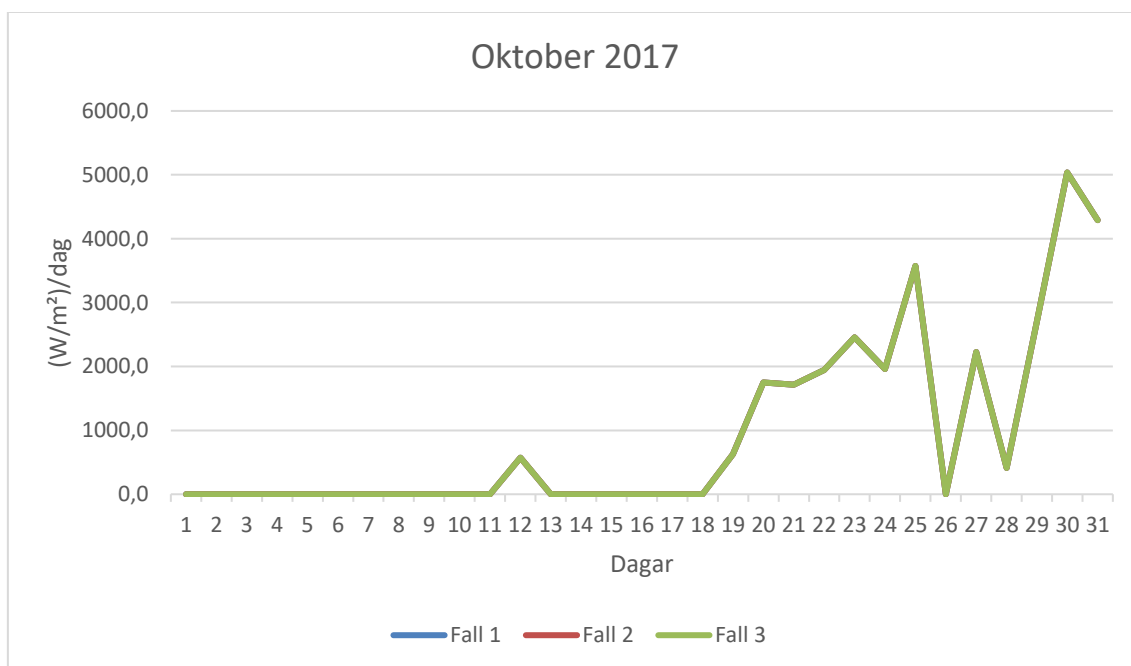
5.1.1 Oktober 2017

Det som är både intressant och ointressant med oktobermånaden är att energibehovet är lika stort mellan fall 1 och 3. Det anmärkningsvärda är kastet mellan de uppmätta värdena och modellens värden är 10 procent. Nederbörden kommer till största del endast i form av vatten och uppvärmningssystemet går inte ordentligt igång före den 19 oktober. Man kan även tyda ur figur 17 att Lejontorget's uppvärmningssystem körde igång den 12 under en dag och först den 19 började uppvärmningen mera konstant. Oktober har två högre pikar där energibehovet varit högt. Det beror båda dagarna på att det blåst mera än normalt.

Då man dividerar graddagarna för oktober 2017 med jämförelseperiodens får man 1,09. Det betyder att oktober varit varmare än normalt och hade medeltemperaturen 5 °C. Trots att nederbörden var rikligast den här månaden bestod den till största del av vatten och själva snösmältningen var ca 0,13 MWh för hela månaden. Lejontorget's yta värmdes också mycket upp av den kortvägiga strålningen.



Figur 16. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under oktober 2017.



Figur 17. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i oktober.

Tabell 9. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i oktober.

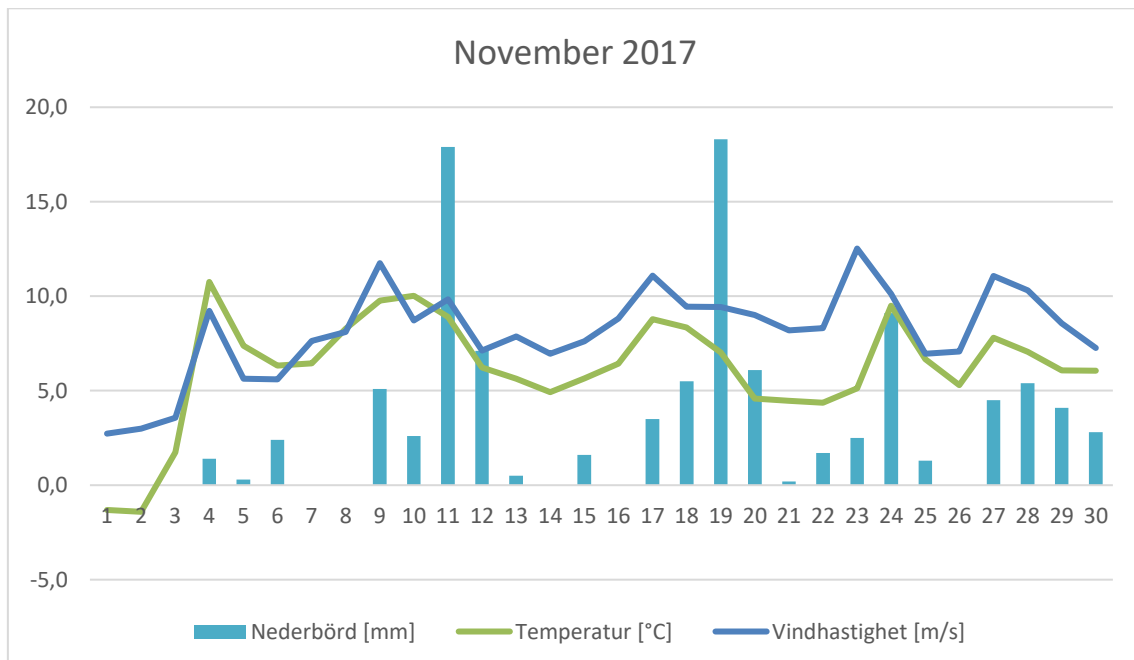
Månad	Enhet	Uppmätta	Fall 1	Fall 2	Fall 3

Oktober	MWh	18,92	21,00	21,00	21,00
---------	-----	-------	-------	-------	-------

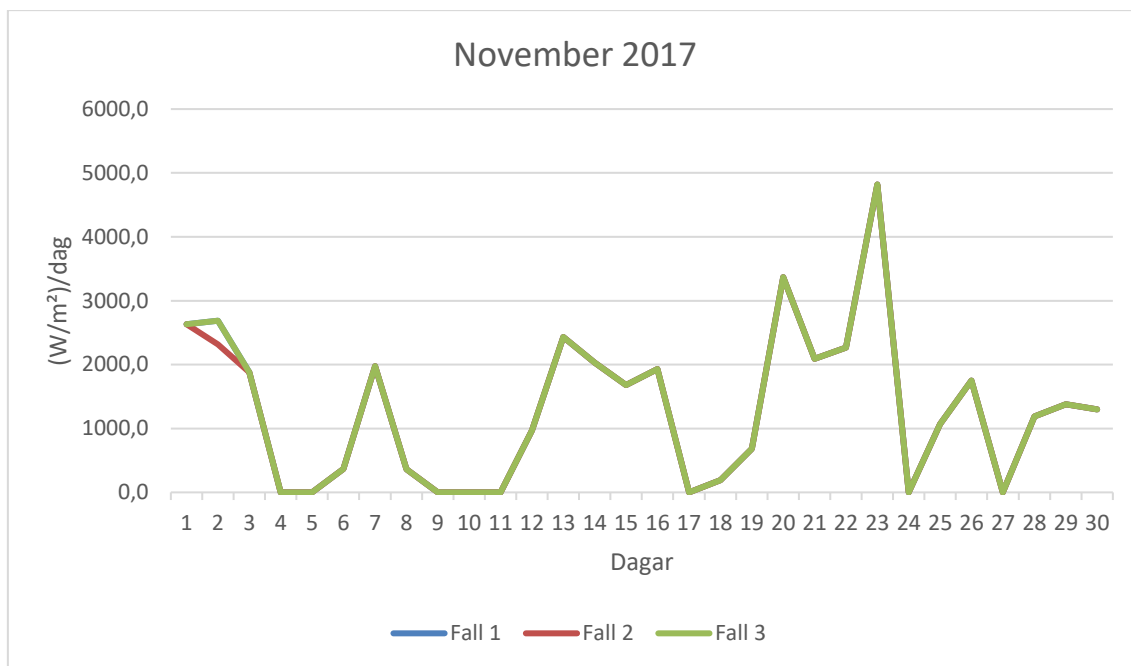
5.1.2 November 2017

Här sker samma fenomen som för oktober. Det sker ingen ändring mellan fall 1, 2 och 3 förutom på dag 2, fall 2 har en mindre energiförbrukning under den dagen. Felmarginalen med det uppmätta värdet är densamma som under oktober, 11 procent, vilket man kommer fram till genom att räkna ut den procentuella skillnaden mellan uppmätta värdena och modellens värden. Diagrammet över november har betydligt mera vågor jämfört med diagrammet över oktober. Denna månad har en högre pik. Piken tyder på att under den dagen var det svalare och blåst mera än normalt samt snöade, vilket man kan avläsa från figur 18.

Novembers graddagar dividerat med jämförelseperioden ger 0,84. Vilket indikerar att den varit svalare än normalt. Den totala energiförbrukningen för snösmältning var 0,61 MWh. Den kortvågiga strålningen var inte lika stark under november som i oktober.



Figur 18. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under november 2017.



Figur 19. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i november.

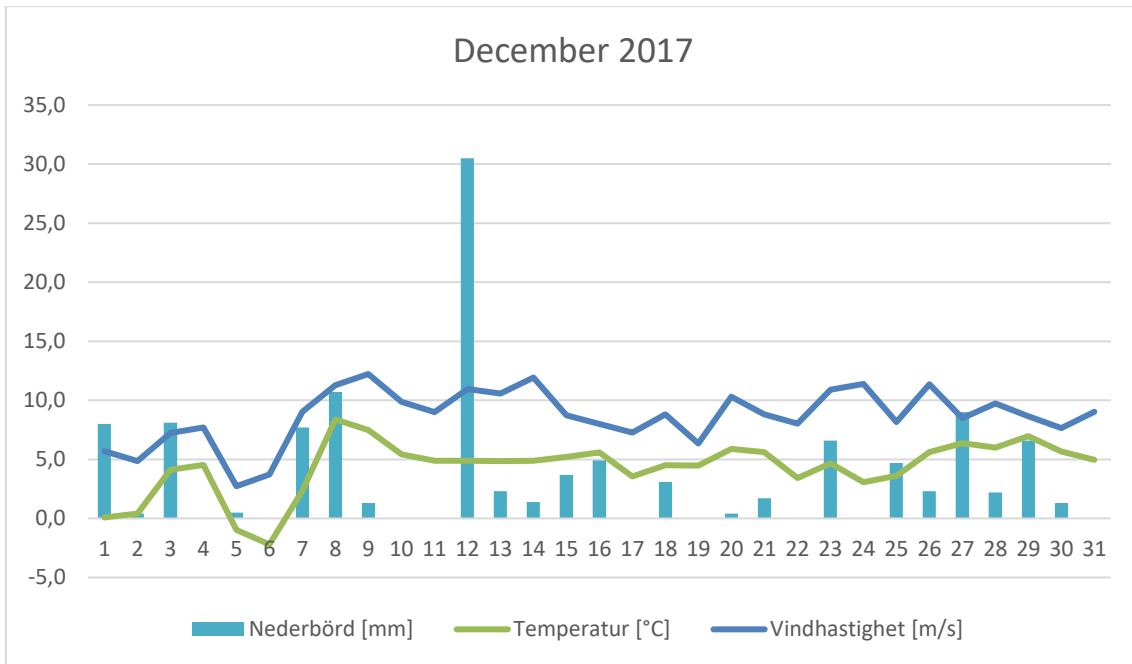
Tabell 10. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i november.

Månad	Enhet	Uppmätta	Fall 1	Fall 2	Fall 3
November	MWh	22,82	25,60	25,36	25,60

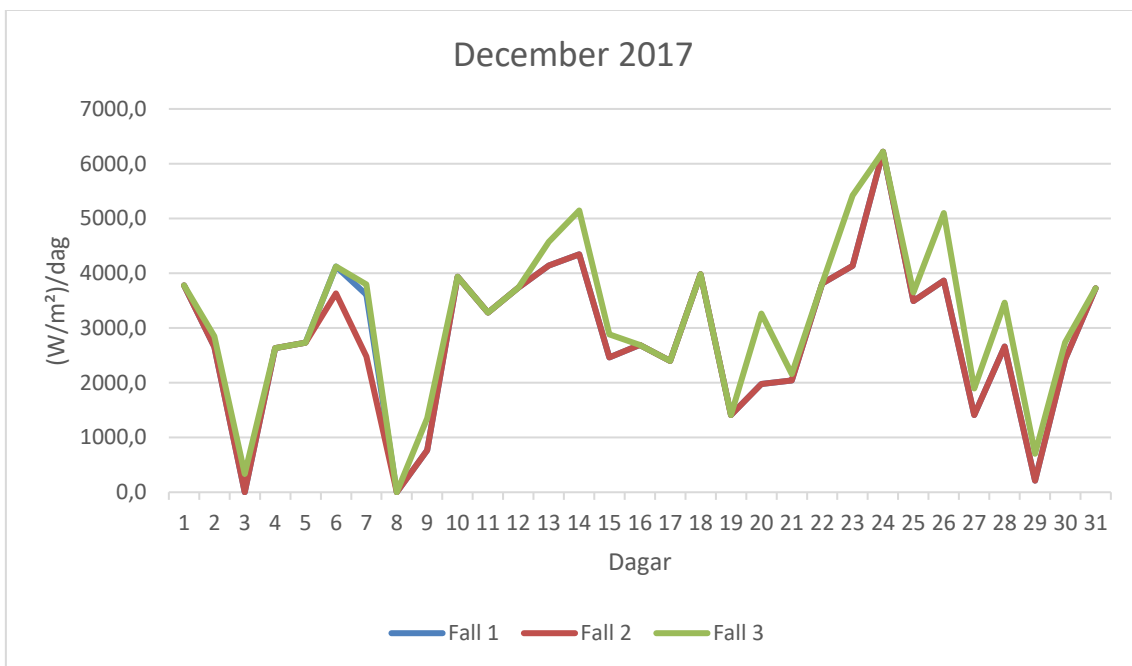
5.1.3 December 2017

Till skillnad från oktober och november så skiljer det sig mellan fall 2 till fall 1 och 3 i december. Det beror på att ytttemperaturen den här månaden flera gånger sjönk under -5 °C. Insparningar för fall 2 på ca 1,03 MWh gjordes eftersom uppvärmningssystemet stängs av vid -5 °C medan fall 1 och 3 stängs av vid lägre temperaturer. Avvikelsen mellan det uppmätta energibehovet och fall 1 är 35 procent.

Graddagarna för decembermånaden dividerat med jämförelseperioden ger 0,80. Alltså har denna månad varit svalare än normalt. Figur 20 visar att det endast under tre dagar var 5 °C eller varmare. Det innebär att uppvärmningssystemet var igång resten av månaden. Det totala energibehovet för snösmältning under denna månad var 1,41 MWh. Solen sken också betydligt mycket mindre under denna månad.



Figur 20. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under december 2017.



Figur 21. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i december.

Tabell 11. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i december.

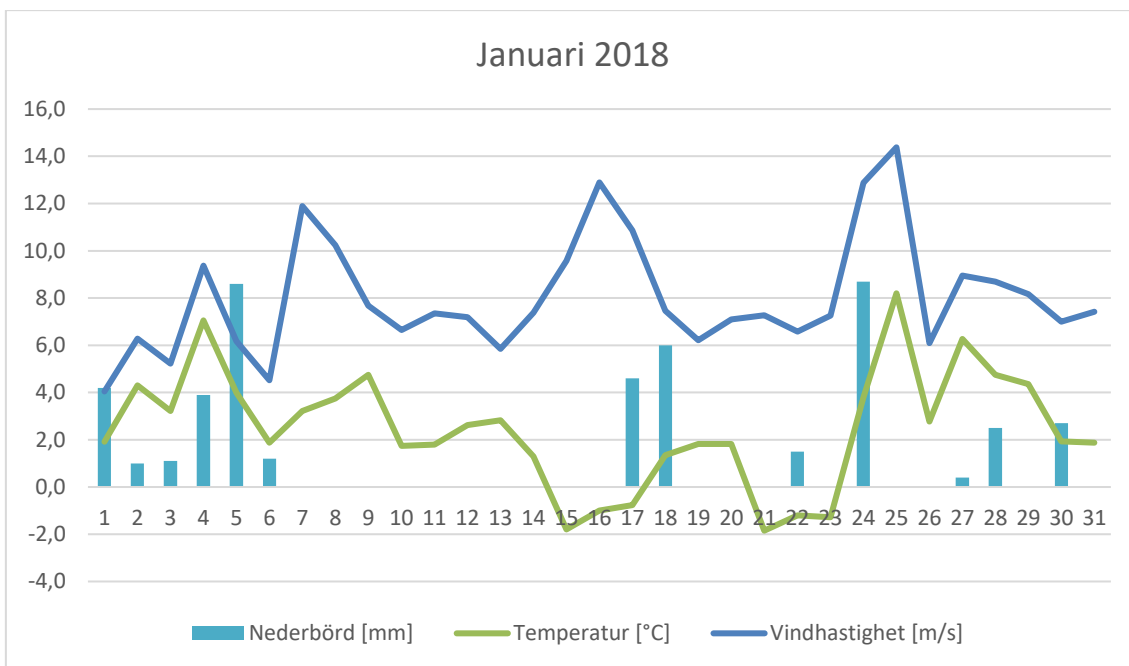
Månad	Enhet	Uppmätta	Fall 1	Fall 2	Fall 3

December	MWh	39,35	56,15	55,12	56,15
----------	-----	-------	-------	-------	-------

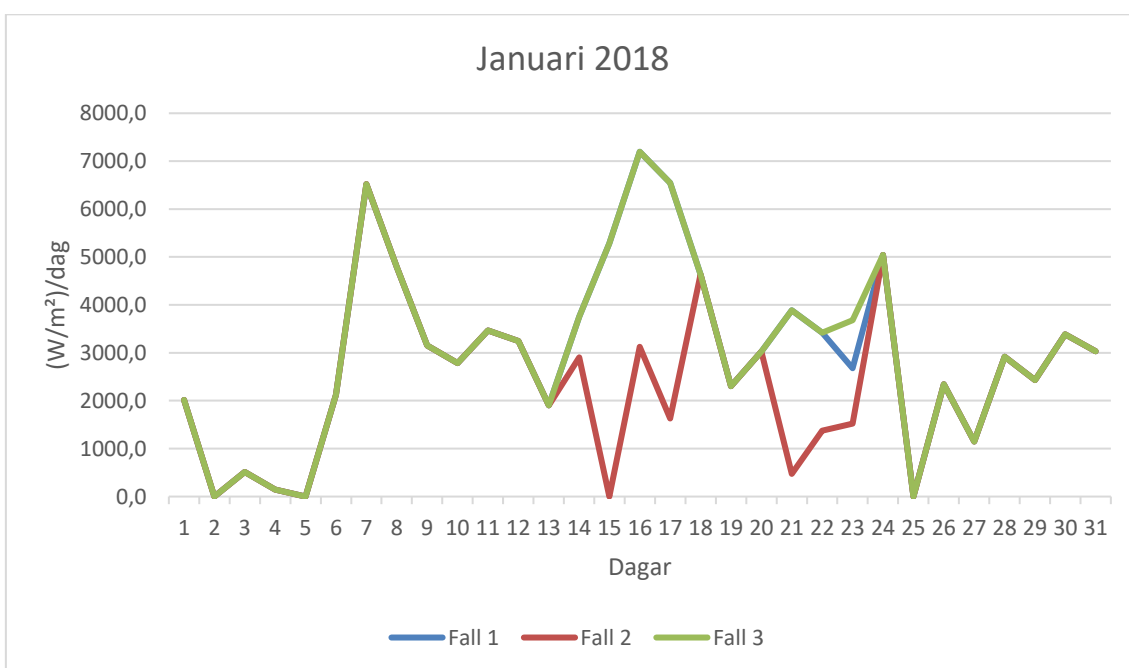
5.1.4 Januari 2018

Januari är den första månaden där det blir en betydande skillnad mellan fall 1, 2 och 3. Figur 23 visar att ända till den 13 så är fall 1, 2 och 3 lika men efter det splittrar sig fall 2 från fall 1 och 3 och kommer sedan samman mellan den 18 och 20. Skillnader uppstår i och med att temperaturen flera gånger sjunker under -5 °C den här perioden. Den 21 splittras fall 2 från fall 1 och 3 igen. Den 23 splittras även fall 2 och 3 från varandra för längden av en dag. Orsaken ligger i att uppvärmningssystemet stängs av först då temperaturen sjunker till -18 °C , och det syns i fall 3. Från den 24 till månadens slut finns inga skillnader mellan fallen. Avvikelsen mellan det uppmätta energibehovet och fall 1 är 29 procent. Medan om man jämför hur mycket man skulle spara energi via fall 2 i jämförelse med fall 1 så skulle det vara 13,9 MWh och den extra energiförbrukningen för fall 3 vara 0,64 MWh.

Graddagarna för januari dividerat med jämförelseperioden ger 0,87. Alltså har denna månad varit svalare än normalt. Man kan se på diagrammet att det visar en betydlig skillnad mellan dagarnas vindhastigheter och temperaturer. Topparna står för vindhastigheten på 13 m/s och temperaturer under -11 °C . Det totala energibehovet för snösmältning under denna månad var 2,85 MWh. Solen sken också betydligt mycket mindre under denna månad.



Figur 22. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under januari 2018.



Figur 23. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i januari.

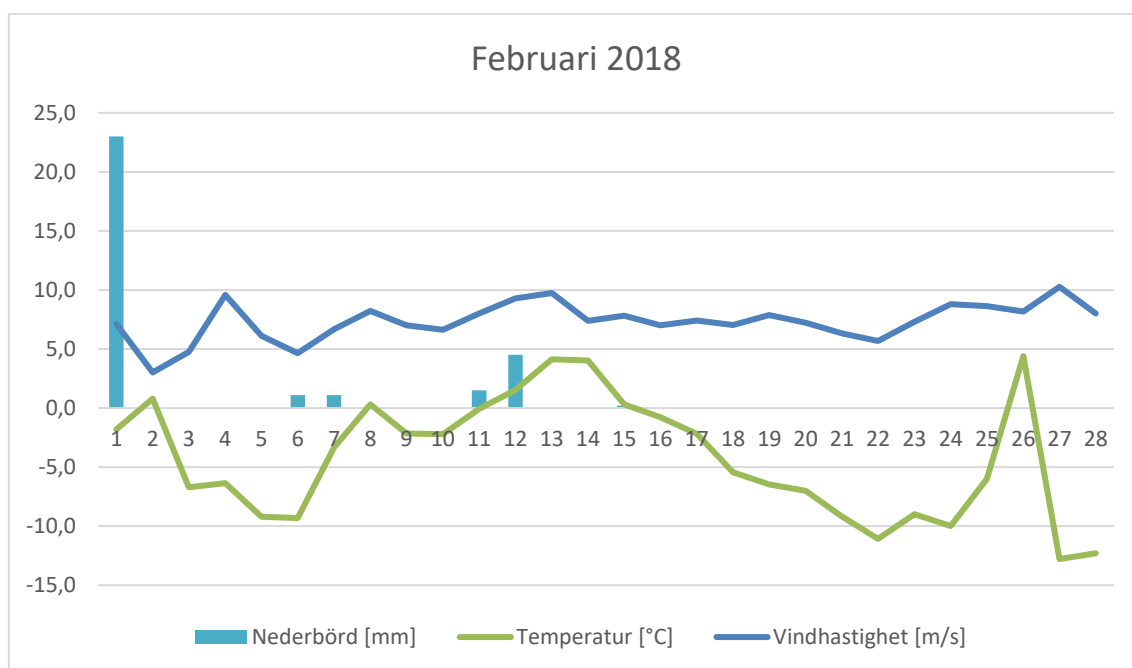
Tabell 12. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i januari.

Månad	Enhet	Uppmätta	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Januari	MWh	43,95	58,61	44,70	59,25

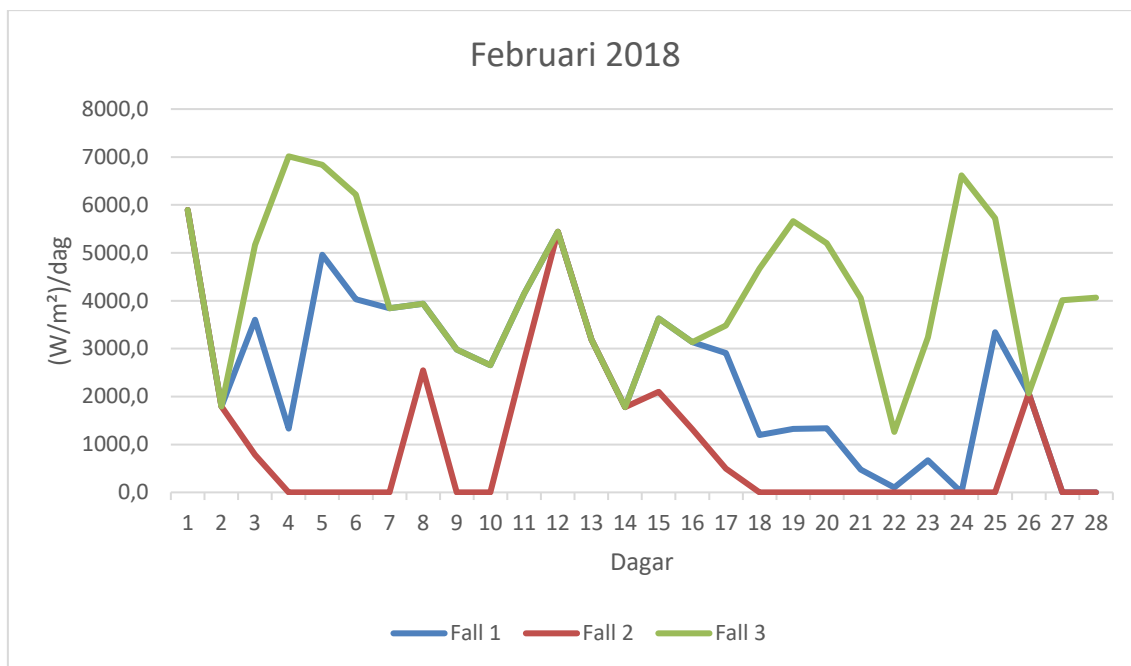
5.1.5 Februari 2018

Under månadens första dag snöade det mycket, vilket återspeglar sig på figur 25 för fall 1, 2 och 3. Medan redan efter dag två så går fall 1, 2 och 3 isär från varandra. Det beror på att temperaturen varierar mycket under denna månad, och avstängnings temperaturerna har en tydlig betydelse för energianvändningen. Då man under denna månad ser största skillnaderna mellan alla tre fallen i energibehovet. Då fall 1 avviker sig från det uppmätta värdet med 29 procent. Fall 2 sparar 27,34 MWh jämfört med fall 1 och fall 3 förbrukar 32,69 MWh mera energi.

Graddagarna för februari dividerat med jämförelseperioden ger 1,10. Alltså har denna månad varit varmare än normalt. Man kan se det på diagrammet då det i mitten av månaden varit varmare än under början och slutet av månaden i genomsnitt. Det totala energibehovet för snösmältning under denna månad var 3,81 MWh. Solen sken också betydligt mycket mindre under denna månad.



Figur 24. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under februari 2018.



Figur 25. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i februari.

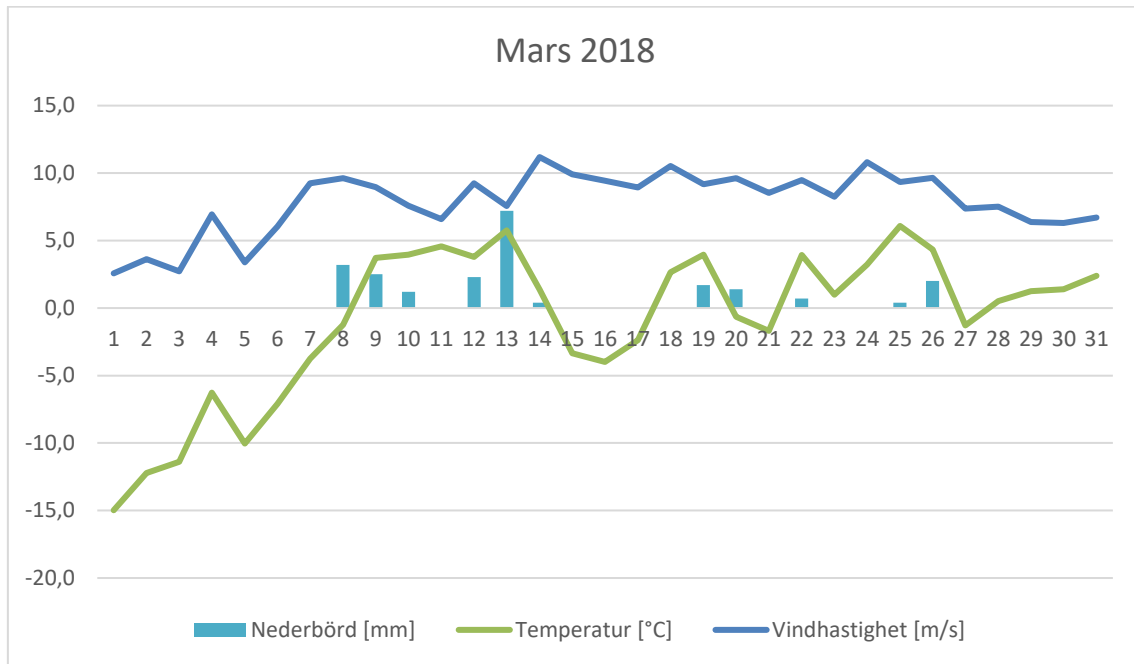
Tabell 13. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i februari.

Månad	Enhet	Uppmätta	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Februari	MWh	36,48	45,33	17,99	78,02

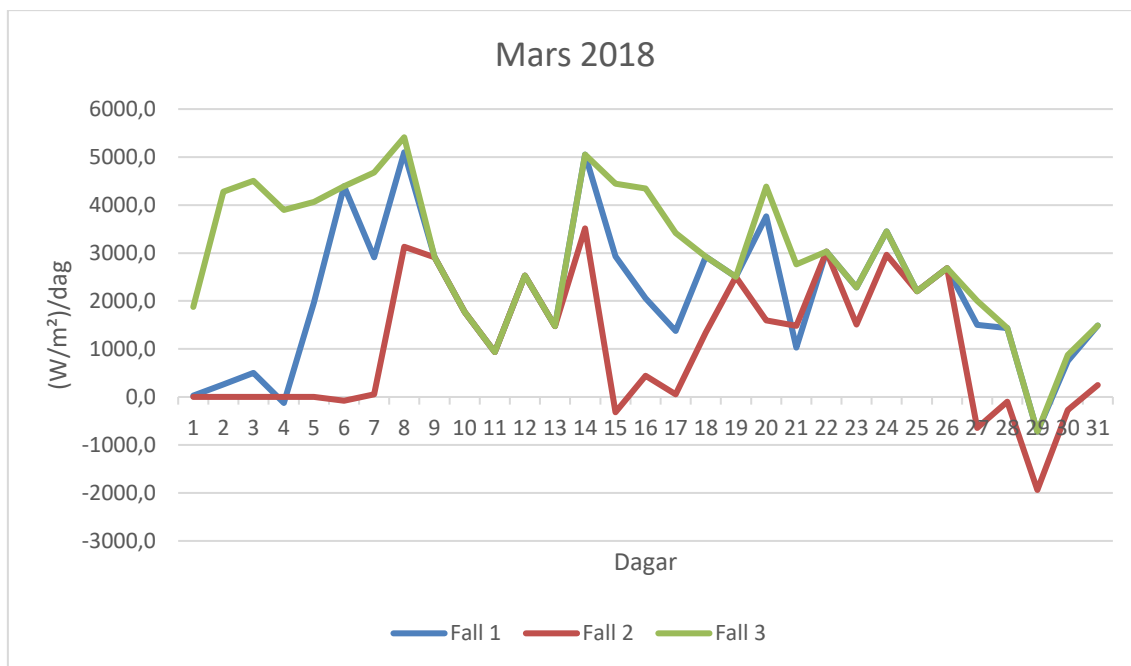
5.1.6 Mars 2018

Början på mars var kall men inom en dryg vecka så låg temperaturerna i medeltal på den positiva sidan och efter det går temperaturen i vågor. Vilket ger stora skillnader mellan fall 1,2 och 3. Då under den kallare perioden så går endast uppvärmningssystemet för fall 3 medan då temperaturen stiger för varje dag så startar även fall 1 och till sist startar även fall 2. Mellan den nionde och trettonde sammanfaller energiförbrukningen i fall 1 och 2. Efter den fjortonde börjar temperaturen gå i vågor och det uppstår skillnader. Under denna månad ser man i energibehovet stora skillnaderna mellan alla tre fallen liksom under februari. Fall 1 avviker sig från det uppmätta värdet med 9 procent. Fall 2 sparar 20,99 MWh jämfört med fall 1 och fall 3 förbrukar 17,22 MWh mera energi.

Graddagarna för marsmånaden dividerat med jämförelseperioden ger 1,13. Alltså har denna månad varit varmare än normalt. Även då början av månaden var kall med temperaturer under $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det totala energibehovet för snösmältning under denna månad var 1,16 MWh. Solen sken och den kortvågiga strålningen värmden så mycket på slutet av månaden att energibehovet gick till och med på den negativa sidan den 29, vilket är ett fel i kalkylen.



Figur 26. Medeltemperaturen, medelvindhastigheten och nederbörden under mars 2018.



Figur 27. Förhållande mellan de kalkylerade värdena i mars.

Tabell 14. Jämförelse mellan de kalkylerade värdena i mars.

Månad	Enhet	Uppmätta	Fall 1	Fall 2	Fall 3
Mars	MWh	44,75	40,88	19,89	58,10

6 SLUTSATS

Den i arbetet utvecklade matematiska modellen ser ut att följa den faktiska energiförbrukningen med förvånansvärt stor noggrannhet. Modellen lämpar sig bra för sitt syfte då den tar i beaktande konvektionen, strålningen och snösmältningen. Det här bevisar att det är möjligt att utveckla en teoretisk modell. Det framkommer att de dagar det blåst mera än normalt var mer energisnåla och de syns tydligt som pika för effektbehovet. Det här är intressant eftersom man antagit att snöfall eller kyla skulle förorsaka de högsta pikarna i fråga om effektbehov.

Det som väcker uppmärksamhet är att då man har en färdig kalkyl går det att justera temperaturen för igångkörning och nedstängning enligt behov. I enlighet med det kan man avgöra hur mycket energi man är villig att satsa på uppvärmningen och fotgängarnas

säkerhet. Orsaken till att Lejontorget värms upp är att man satsar på fotgängarnas säkerhet. Det är till största delen ungdomar som rör sig mellan Arcada och Practicum och då speciellt till och från skolornas respektive ingångar.

Finjusteringen visade också hur stor betydelse exakt data har, då 0,5 °C redan hade en tydlig inverkan på energibehovet för en månad. Om det skulle vara möjligt att få de värden som tagits från Meteorologiska institutet ersätta med värden uppmätta på Lejontorgets exakta position och dessutom ta skuggningen från omkringliggande byggnader i beaktande skulle slutresultatet ligga närmare de avlästa förbrukningsvärdena.

De största begränsningarna framkommer då det finns stora variationer i temperatur och vindhastighet beroende var de blivit uppmätta. Både Campus Gumtäkt och Kajsaniemi-parken har väderstationer och beroende på från vilken av dessa väderstationer värdena är uppmätta blir det märkbara skillnader i resultatet. Dessutom fungerar läroinrättningarna Arcada och Practicum som vindskydd och tidvis skuggar de torget. Alla ovannämnda faktorer borde tas i beaktande och användas i en mera utvecklad modell för uträkningar.

Då man räknar ihop hur mycket energi man skulle spara (fall 2) eller sätta till (fall 3) jämfört med fall 1 under en vinter får man följande:

- Fall 2 skulle minska energiförbrukningen med 63,50 MWh under vinterperioden.
- Fall 3 skulle öka energiförbrukningen med 55,31 MWh under vinterperioden.

Det är en ganska betydande mängd energi som kan sparas eller som ska läggas till då energiförbrukningen för fall 1 är 246,45 MWh under vinterperioden. En relevant fråga är om det i fall 2 skulle bli en egentlig inbesparing eftersom risken för halkningsskador skulle öka. Mängden snö vid skolornas ingångar skulle öka och lika så risken för olyckor med frakturer som följd. Skulle en uppvärmning av torget vid även svalare temperaturer förebygga halkningsskador till den grad att det skulle vara en bra investering? Slutligen beror allting på om systemet klarar av att smälta snön vid så låga temperaturer eller om det blir omöjligt vid sträng kyla.

KÄLLOR

- [1] *Lumensulatuksella turvallista kulkemista talvella*, (u.å.). Uponor. Tillgänglig: <https://www.uponor.fi/tuotejarjestelmat/lumensulatus> Hämtad: 20.10.2020
- [2] Çengel, Yunus A., and Afshin J. Ghajar., 2011, *Heat and mass transfer : fundamentals & applications*, 5 uppl., McGraw-Hill, New York.
- [3] *Climate and Earth's Energy Budget*, 14.1.2009, Earth observatory. Tillgänglig: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance> Hämtad: 22.10.2020
- [4] *Olika sorters strålning*, 18.7.2016, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/olika-sorters-stralning-1.5930> Hämtad: 20.10.2020
- [5] Ahvenisto, Ursula & Boren, Esa & Hjelt, Sven-Erik & Karjalainen, Tuija & Sirviö, Jarmo., 2002, *Geofysiikka : Tunne maapallosi*. WSOY, Porvoo.
- [6] Mustonen, Seppo., 1986, *Sovellettu hydrologia*, Vesiyhdistys ry, Helsinki.
- [7] *Paljonko lumisadetta vastaa 1 mm vettä?*, 21.1.2015, Foreca. Tillgänglig: <https://blogi.foreca.fi/2015/01/paljonko-lumisadetta-vastaa-1-mm-vetta/> Hämtad: 20.10.2020
- [8] *Graddagar* (u.å.), Ilmatiteen laitos. Tillgänglig: <https://sv.ilmatieteenlaitos.fi/grad-dagar> Hämtad: 22.10.2020
- [9] Ventä, S., 2014, *Sulanapidon tehonmitoitus*, examensarbete, Metropolia Ammattikorkeakoulu, Talotekniikan tutkinto-ohjelma
- [10] Anne D.W. Nuijten, Knut V. Høyland., 2017, *Cold Regions Science and Technology : Modelling the thermal conductivity of a melting snow layer on a heated pavement*, 40, s. 20-29.
- [11] *Sky temperature*, 9.10.2020, Design buildings wiki. Tillgänglig: https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Sky_temperature Hämtad: 20.10.2020
- [12] *Havaintojen lataus*, (u.å.), Ilmatiteen laitos. Tillgänglig: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus> Hämtad: 20.10.2020
- [13] Peterson Bengt-Åke, 2018, *Tillämpad byggnadsfysik*, 6 uppl., Studentlitteratur AB, Lund.
- [14] Tekniikan kaavasto., 2010, *Tammertekniikka*, Amk-kustannus Oy, Tampere.

BILAGOR

Lejontorget's uppvärmning fall 1

Lejontorget's uppvärmning fall 2

Lejontorget's uppvärmning fall 3

Lejontorget's uppvärmning finjustering