



Livscykelkostnadsanalys på dagens fönster

Fallstudie: Tuusulan Rykmentinpuisto

John Eriksson

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och Miljöteknik
Identifikationsnummer:	22078
Författare:	John Eriksson
Arbetets namn:	Livscykelkostnadsanalys på dagens fönster
Handledare (Arcada):	Kaj Karumaa
Uppdragsgivare:	Oy PQR Consult Ab
<p>Sammandrag:</p> <p>Fastigheters energiförbrukning är ett aktuellt ämne. Då vi går mot ett miljövänligare och ett koldioxid neutralt samhälle så bör vi noggrant syna de sätt vi förbrukar alla former av energi på. Därför har jag valt att göra ett examensarbete om ett ämne som berör fastigheters energieffektivitet. Vi vill kunna kontrollera det inomhusklimat som vi skapar innanför väggarna av en fastighet och vi vill göra det på ett energieffektivt sätt. En stor del av energin som förbrukas i våra fastigheter är värmeenergi. En stor del av den värmeenergin går förlorad genom fönstren. Jag har i detta examensarbete forskat i teorin bakom värmeöverföringen som sker genom fastighetens skal. Jag har även öppnat upp hur denna allmänna teori berör de egenskaperna som finns i dagens fönstermodeller och hur man betecknar dessa egenskaper. Ett fönster bör släppa in solljus men också fungera som en barriär mot de yttre elementen. För att minska på värmeförlusterna är det viktigt att ett fönster isolerar så bra som möjligt, det vill säga hindrar värmeöverföringen genom sig själv. Den solenergi som kommer in i fastigheten tillsammans med solljuset är önskvärd eftersom vi ändå värmer upp fastigheten, men den är inte önskad då temperaturen stiger för mycket. Det är alltså även viktigt att välja en fönstermodell som skyddar fastigheten från alltför mycket solenergi. I detta examensarbete har jag jämfört tio stycken fönstermodeller. Jag har med simulationsprogrammet IDA ICE simulerat vilken inverkan dessa fönster har på energiförbrukningen i ett nio våningar högt bostadshus. Modellen för dessa simulationer är baserad på ett energicertifikat räknat för denna fastighet tidigare i år. Efter att ha analyserat resultaten från samtliga simulationer så har jag kommit fram till vilka fönstermodeller som skulle ha den största inverkan på energiförbrukningen i just denna fastighet. I examensarbetet presenterar jag denna skillnad i energiförbrukning även som en skillnad i ekonomisk inbesparingspotential över fönstrens förväntade livslängd. Jag har också jämfört hur de olika modellerna påverkar inomhusklimatet i fastigheten. Eftersom skillnaderna i inbesparingspotentialen är små så är det min rekommendation att det väljs en fönstermodell som framför allt skapar det bästa möjliga inomhusklimatet i fastigheten.</p>	
Nyckelord:	Energieffektivitet, fönster, solskydd, livscykelkostnader
Sidantal:	42+10
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	29.05. 2019

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi- och Miljöteknik
Identification number:	22078
Author:	John Eriksson
Title:	Livscykelkostnadsanalys på dagens fönster
Supervisor (Arcada):	Kaj Karumaa
Commissioned by:	Oy PQR Consult Ab
Abstract:	
<p>The energy consumption in buildings is a current topic. As we go towards an environmentally friendly and carbon-neutral society, we should take a careful look at the ways we consume all forms of energy. Therefore, I have chosen to do a thesis on the energy efficiency of buildings. We want to be able to control the indoor climate that we create inside the walls of our buildings and we want to do it in an energy efficient way. A large part of the energy consumed in our buildings is heat energy. A large part of that heat energy is lost through the windows. In this thesis I have researched the theory behind the heat transfer that takes place through the building's shell. I have also discussed how this general theory deals with the properties that exist in today's windows and how to correctly represent these properties. A window should let sunlight in but also act as a barrier to the outer elements. In order to reduce the heat losses, it is important that a window can insulate as well as possible, which means it prevents heat transfer through itself. The solar energy that enters the building, together with the sunlight, is desirable while we are heating the building, but it is not desired if the temperature rises too much. It is therefore also important to choose a window model that protects the building from too much solar energy. In this thesis I have compared ten windows models. With the simulation program IDA ICE, I have simulated what impact these windows have on the energy consumption in a nine-story high-rise residential building. The model for these simulations is based on an energy certificate calculated for this property earlier this year. After analyzing the results from all the simulations, I have shown which window models would have the greatest impact on the energy consumption in this particular building. In this thesis I present this difference in energy consumption also as a difference in financial saving potential during the life expectancy of the windows. I have also compared how the different windows affect the indoor climate in the building. Since the differences in the saving potential are small, it is my recommendation that a window model be chosen that primarily creates the best possible indoor climate in the building.</p>	
Keywords:	Energy efficiency, windows, solar shading, life cycle costs
Number of pages:	42+10
Language:	Swedish
Date of acceptance:	29.05. 2019

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Energi- och Miljöteknik
Tunnistenumero:	22078
Tekijä:	John Eriksson
Työn nimi:	Livscykelkostnadsanalys på dagens fönster
Työn ohjaaja (Arcada):	Kaj Karumaa
Toimeksiantaja:	Oy PQR Consult Ab
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Kiinteistöjen energiankulutus on ajankohtainen aihe. Kun siirrymme kohti ympäristöystävällisempää ja hiilidioksidineutraalia yhteiskuntaa, meidän on huolellisesti tarkasteltava tapoja, joilla kulutamme kaikenlaista energiaa. Siksi olen päättänyt tehdä opinnäytetyön, joka koskee kiinteistöjen energiatehokkuutta. Haluamme hallita sitä sisäilmastoa, jonka luomme kiinteistön seinien sisälle, ja haluamme tehdä sen energiatehokkaalla tavalla. Suuri osa kiinteistöissämme kulutetusta energiasta on lämpöenergiaa. Suuri osa siitä lämpöenergiasta katoaa ikkunoista läpi. Tässä opinnäytetyössä olen tutkinut talon kuoren läpi tapahtuvan lämmönsiirron taustalla olevaa teoriaa. Keskustelen myös siitä, miten tämä teoria vaikuttaa nykyisten ikkunamallien ominaisuuksiin ja miten nämä ominaisuudet määritetään. Ikkunan pitäisi päästää auringonvaloa lävitseen, mutta sen on myös oltava este ulkoisille elementeille. Lämpöhäviöiden vähentämiseksi on tärkeää, että ikkuna eristää mahdollisimman hyvin, toisin sanoen estää lämmönsiirron itsensä läpi. Auringonvalon kanssa saapuva aurinkoenergia on toivottu silloin kun vielä lämmitämme rakennusta, muttei silloin kun lämpötila nousee liikaa. Siksi on myös tärkeää valita ikkunamalli, joka suojaa rakennusta liialta aurinkoenergialta. Tässä opinnäytetyössä olen verrannut kymmenen ikkunamallia. IDA ICE simulointiohjelmalla olen simuloinut mitä vaikutuksia näillä ikkunoilla on yhdeksänkerroksisen asuinrakennuksen energiankulutukseen. Näiden simulaatioiden perusmalli perustuu tälle kiinteistölle aiemmin tänä vuonna laadittuun energiasertifikaattiin. Analysoituani kaikkien simulaatioiden tulokset olen voinut raportoida siitä, mitkä ikkunamallit vaikuttavat eniten energiankulutukseen tässä rakennuksessa. Opinnäytetyössäni esitän tämän eron energiankulutuksessa myös erona taloudellisessa säästöpotentiaalissa ikkunoiden elinkaaren aikana. Olen myös verrannut, miten eri ikkunamallit vaikuttavat kiinteistön sisäilmastoon. Suositukseni on, koska erot säästöpotentiaalissa ovat pieniä, että valitaan ikkunamalli, joka ensisijaisesti luo parhaan mahdollisen sisäilmaston kyseisessä rakennuksessa.</p>	
Avainsanat:	Energiatehokkuus, ikkunat, aurinkosuojaus, elinkaarikustannukset
Sivumäärä:	42+10
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	29.05. 2019

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord	8
1 Introduktion	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Överensstämmelse med utbildningens vision	10
2 Teori	11
2.1 Termodynamik.....	11
2.1.1 <i>Konduktion</i>	12
2.1.2 <i>Konvektion</i>	13
2.1.3 <i>Värmestrålning</i>	13
2.1.4 <i>Teoretiska U-värdet</i>	14
2.2 Fönsters tekniska egenskaper	16
2.2.1 <i>Praktiska U-värdet</i>	18
2.2.2 <i>g-värde</i>	18
2.2.3 <i>T_v-värde</i>	19
2.3 Solskydd	20
2.4 Kostnads kalkyl.....	22
3 Objektbeskrivning	24
3.1 Projektet Tuusulan Rykmentinpuisto.....	24
3.2 Fönstertyper	27
4 Arbetsmetoder	28
4.1 Insamlandet av information	28
4.2 IDA ICE.....	29
4.3 Microsoft Excel	33
5 Resultat	33
6 Diskussion	37
6.1 Rekommendation	42
Källor	43

BILAGAFÖRTECKNING

Bilaga 1. Stadsplan för området Rykmentinpuisto

Bilaga 2. IDA ICE simulationsresultat för modeller med endast norra fasadens fönster ändrade

Bilaga 3. IDA ICE simulationsresultat för modeller med endast södra fasadens fönster ändrade

Bilaga 4. IDA ICE simulationsresultat för modeller med endast öst och väst fasadernas fönster ändrade

Bilaga 5. IDA ICE simulationsresultat för de olika fönstermodellerna (hela fastigheten)

Bilaga 6. Energicertifikat för fastigheten Tuusulan Rykmentinpuisto As Oy Tornin ja Kipinä

FÖRKORTNINGAR

°C	Grader Celsius
Finlands ByggBS	Finlands byggbestämmelsesamling
IDA ICE	IDA Indoor Climate and Energy
m ²	Kvadratmeter
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percent Dissatisfied
VVS	Värme, ventilation och sanitet

FÖRORD

Detta examensarbete kommer att redogöra för energi- och kostnadseffektiviteten hos olika fönstermodeller, med mål att ta fram den information som behövs för att göra ett motiverat val av fönstermodell för ett höghus i Tusby. Examensarbetet har gjorts som uppdrag för Oy PQR Consult Ab för att stöda det pågående VVS-planeringsarbetet i fastigheten, samt för att fungera som ett hjälpmedel vid planering av liknande projekt.

Jag vill rikta ett stort tack till företaget Oy PQR Consult Ab för all hjälp och vägledning jag har fått, speciellt till Eetu Laaksonen som gav mig idén för detta examensarbete och som har fungerat som min mentor det gångna året. Jag vill också tacka mina handledare Kaj Karumaa och Kim Skön från Yrkeshögskolan Arcada.

Största tacken går till min familj. Min hustru Veronica Eriksson har stött mig och hjälpt mig på alla sätt hon har förmått. Utan henne skulle jag inte ens ha börjat studera på denna linje, och ännu mindre skrivit detta examensarbete. Veronica, du är mitt allt.

Sist men absolut inte minst så vill jag tacka min far Sam Eriksson. Han har varit min förebild. Han har fått mig att tänka som en problemlösare och inte endast som en frågeställare. Han fick sin examen från Tekniska Läroverket exakt 40 år sen och han har alltid varit ingenjören i mitt liv. Nu följer jag i hans fotspår.

Helsingfors, 20.05. 2019



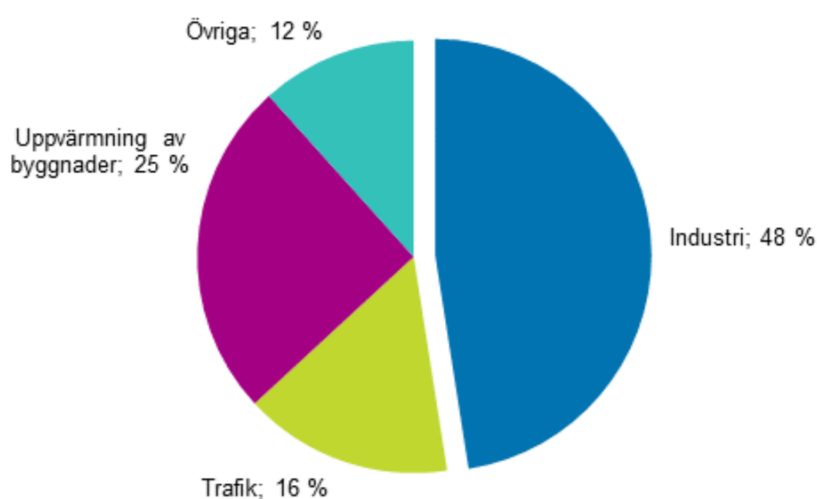
John Eriksson

1 INTRODUKTION

1.1 Bakgrund

Finland har förbundit sig att minska växthusgasutsläppen med 80–95 procent från nivån år 1990 fram till år 2050. Just nu bildas ungefär tre fjärdedelar av växthusgaserna som ett resultat av energiproduktionen och energiförbrukningen. (Huttunen 2017 s.13) Våra fastigheter står för cirka 25% av energiförbrukningen i vårt samhälle idag, enligt figur 1. Fastigheterna byggs för att skapa ett passande inomhusklimat som lämpar sig fastighetens ändamål. För att åstadkomma det klimatet så måste vi förbruka energi. Energin går åt att ventilerar, värma upp både luften och vattnet som förs in i fastigheten, samt för att torka upp fukt i både luften och på fastighetens inre ytor. En stor del av inomhusvärmens, cirka 35%, förloras vi genom öppningar i fastigheten, och majoriteten av öppningarna är fönster (Energi- & klimatrådgivningen 2018). Fönster är viktiga för att få in solljus, solenergi och för att människor ska trivas. Fönster behövs alltså, men vi vill förstås göra dem så effektiva som möjligt för att förminska värmeförlusterna och det ekologiska fotavtrycket. (Pilkington 2018 s.13)

Figurbilaga 14. Slutförbrukning av energi enligt slutförbrukningssektor 2018*



*Preliminär.

Figur 1. Energiförbrukning i Finland. (Statistikcentralen 2019a)

Mitt examensarbete handlar om energi- och kostnadseffektiviteten hos dagens fönster. Via min praktikplats på Oy PQR Finland Ab som VVS-planerare har jag kommit i kontakt med ett nybygge i Tusby. Jag har valt att jämföra olika sorters fönstermodeller som kunde installeras i den fastigheten, i avseende om hur energieffektiva de är och vilka skillnader det är i de ekonomiska inbesparningarna över fönstrens förväntade livslängd. Informationen om fönstrens tekniska egenskaper är givna till mig av en fönsterleverantör vald av konstruktören. Genom att göra ett väl informerat val av energieffektiva fönster redan i byggnadsskedet så kan konstruktören göra inbesparingar i energikostnaderna över en längre tid.

I mina beräkningar har jag tagit i beaktande både den värmeenergi som fönstren läcker ut och den solenergi som de släpper in. Fastigheten i fråga har inget aktivt kylsystem, så det är viktigt att fönstren inte alstrar för mycket värme sommartid samtidigt som det är förstås viktigt att de vintertid läcker ut så lite värme som möjligt.

Idén för detta examensarbetet fick jag av min avdelningschef och mentor Eetu Laaksonen på Oy PQR Consult Ab. Jag valde detta ämne för att i det möts teorierna bakom energieffektivitet, termodynamik och livscykelkostnader. Detta ämne gav mig möjligheten att arbeta med sådana verktyg som är viktiga inom VVS-planering, såsom simuleringsprogrammet IDA ICE (Indoor Climate and Energy), och att agera med verkliga kunder som ville ha hjälp med sitt projekt. Resultaten i arbetet kommer att utgöra grunden för deras beslut gällande de fönster som installeras i fastigheten i fråga.

1.2 Överensstämmelse med utbildningens vision

Energieffektivitet är en viktig del av vår utbildning på Energi- och Miljöteknik linjen vid Yrkeshögskolan Arcada. De beslut vi gör i våra framtida jobb ska skapa grunden för en energisnålare värld. Vi bör kunna både minska på energiförlusterna samt effektivera de processer som vi handskas med. Genom att föreslå de mest energieffektiva fönstren så kan jag dra ner på den energimängden som används just i denna fastighet. Denna hållbara utveckling är precis den sortens tänkande som vi har fått lära oss i vår utbildning och är alltså i linje med den vision som Yrkeshögskolan Arcada har.

2 TEORI

2.1 Termodynamik

Termodynamik är läran om värmeöverföring. Värme är en form av energi som kallas termisk energi. När termisk energi förflyttas från ett medium till ett annat så sker vad vi kallar för värmeöverföring. Denna termiska energi strävar alltid till att gå från ett varmare medium till ett kallare. Detta fenomen kallas termodynamikens andra huvudsats. Det är mot denna huvudsats som vi motarbetar då vi värmer upp våra fastigheter och får dem att hållas varmare än deras omgivning. Uppvärmningen kan ske med värmepumpar som, med hjälp av yttre energier, flyttar termisk energi från ett kallare medium till ett varmare, det vill säga mot termodynamikens andra huvudsats. (Cengel 2002 s.2 ff.)

Vi betecknar den termiska energimängden med Q och den har SI-enheten joule [J]. Inom termodynamiken är vi även intresserade av hur snabbt denna värmeöverföring sker, det vill säga hur snabbt kan den termiska energin flyttas från ett medium till ett annat. Vi betecknar denna överföring med \dot{Q} och den har SI-enheten joule per sekund [J/s], som även kan omskrivas som watt [W]. (Cengel 2002 s.9)

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt$$

Värmeöverföring kan delas upp i tre olika former, konduktion (ledning), konvektion (strömning) och värmestrålning (Cengel 2002 s.17–29).

- Konduktion är överföring av termisk energi från mera termiskt laddade partiklar till mindre termiskt laddade partiklar. Konduktion, även kallad termisk ledning, kan ske även utan att materialet rör på sig.
- Konvektion är värmeöverföring från ett fast medium till en fluid, eller från en fluid till en annan fluid. Det krävs att fluiden (en gas eller vätska) rör på sig, med andra ord strömmar, för att konvektion ska kunna ske.
- Värmestrålning är elektromagnetisk strålning som sker oberoende av mediet och kan ske även i vakuum.

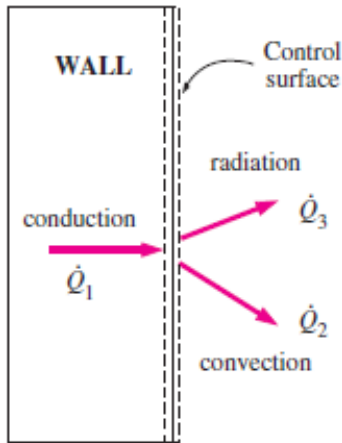


FIGURE 1-17
Energy interactions at the outer wall surface of a house.

Figur 2. Värmeöverföring i en yttervägg.

(Cengel 2002 s.14)

Vi kan se i figur 2 att energin som överförs genom en yttervägg gör så i alla tre ovan nämnda former. Först leds den termiska energin genom den fasta väggen genom konduktion \dot{Q}_1 . Sen fortsätter den utanför väggen via både konvektion \dot{Q}_2 och strålning \dot{Q}_3 . Enligt termodynamikens första huvudsats gäller att energi inte kan förstöras eller skapas, endast omformas. Därför gäller $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$. (Cengel 2002 s.14)

2.1.1 Konduktion

Konduktion är värmeledning genom ett fast objekt eller mellan två fasta objekt som är i direkt kontakt med varandra. Värmeledningen kan ske utan att objekten är i rörelse. Hastigheten med vilket värmen kan överföras beskrivs med hjälp av Fouriers lag. (Cengel 2002 s.18)

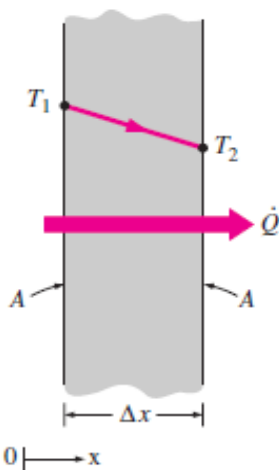


FIGURE 1-21
Heat conduction through a large plane wall of thickness Δx and area A .

Figur 3. Värmeledning genom en vägg.

(Cengel 2002 s.18)

Fouriers lag:

$$\dot{Q}_{cond} = k * A * \frac{T_1 - T_2}{\Delta x}$$

där:

A = väggens area [m^2]

k = termisk konduktivitet [$W/m * \square$]

T_1 = temperaturen på väggens inre yta [\square]

T_2 = temperaturen på väggens yttre yta [\square]

Δx = väggens tjocklek [m]

2.1.2 Konvektion

Konvektion är värmeöverföring mellan två medier som kräver att iallafall det ena mediet är i rörelse, alltså strömmar. Oftast beskriver man konvektion med en varm yta som avger värme till luften, eller värmeutjämningen i en gas eller vätska. Fluidens rörelsehastighet påverkar dess förmåga att ta emot värmeenergi och är medräknad i dess konvektionskoefficient. Konvektionen beskrivs med Newtons lag för värmeöverföring. (Cengel 2002 s.26)

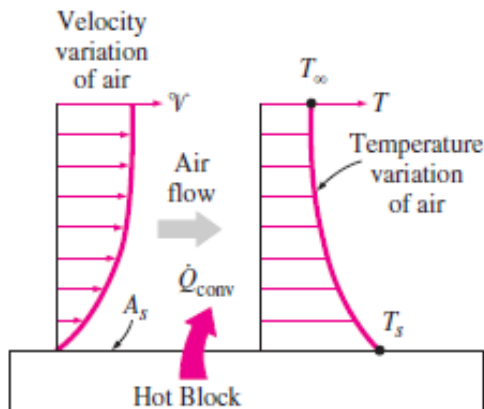


FIGURE 1-31
Heat transfer from a hot surface to air by convection.

Figur 4. Konvektion från en varm yta.
(Cengel 2002 s.26)

Newtons lag för värmeöverföring:

$$\dot{Q}_{conv} = h * A * (T_s - T_{\infty})$$

där:

A = varma ytans area [m²]

h = luftens konvektionsförmåga [W/m²*°C]

T_s = ytans temperatur [°C]

T_∞ = omgivningens temperatur [°C]

2.1.3 Värmestrålning

Varma kroppar strålar värme konstant. Denna elektromagnetiska strålning kräver inget medium för att sprida ut sig utan kan även gå genom vakuum. Ett gott exempel på värmestrålning är vår sol som värmer upp jorden. Strålningsmängden och hastigheten varierar enligt kroppens materiella egenskaper, och beskrivs i Stefan-Boltzmanns lag. (Cengel 2002 s.28)

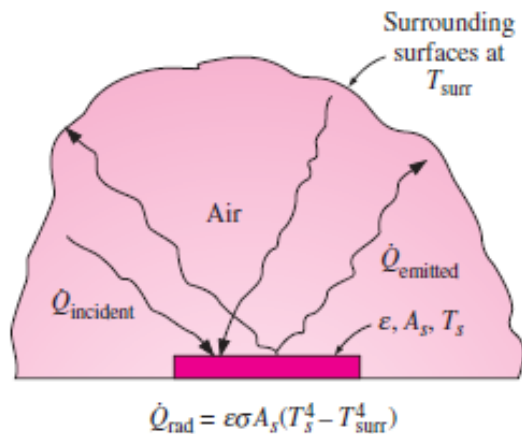


FIGURE 1–36

Radiation heat transfer between a surface and the surfaces surrounding it.

Stefan-Boltzmanns lag:

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_s^4 - T_{surr}^4)$$

där:

A = varma ytans area [m²]

ϵ = emissionskoefficienten ($0 \leq \epsilon \leq 1$)

σ = Stefan-Boltzmanns konstant

($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

T_s = ytans temperatur [K]

T_{surr} = omgivningens temperatur [K]

Figur 5. Värmestrålning från en varm yta.

(Cengel 2002 s.29)

2.1.4 Teoretiska U-värdet

Vi vill att en fastighets klimatskal ska vintertid bromsa så mycket som möjligt värmeöverföringen av den lagrade värmen inne i fastigheten till omvärlden. Vice versa vill vi att klimatskalet ska sommartid bromsa oönskad värme från att tränga sig in i fastigheten. Ett materials förmåga att bromsa värmeöverföringen genom sig själv kallas isolationsförmåga eller termisk resistans. För samtliga byggnadsmaterial, så som väggar och fönster, ges en koefficient för materialets förmåga att överföra värme. Vi vill ha bästa möjliga isolation. Därför önskar vi ha material med minsta möjliga värmegenomgångskoefficient. Det angivna värdet för värmegenomgångskoefficienten kallas för U-värde och det har SI-enheten watt per kvadratmeter och grader [W/m²·K]. Ett lägre U-värde betyder att en mindre mängd energi har passerat materialet under samma tid, alltså att materialet har isolerat bättre. (Finlands ByggBS 2017 s.2)

U-värdet består av variabler som beskriver materialets totala värmeöverföringsförmåga, och inkluderar bland annat dess termiska resistans. Enligt formlerna tidigare så är variablerna som påverkar värmeöverföringen \dot{Q} bland annat väggens tjocklek och termiska konduktivitet, den termiska konvektionen och materialets emissionskoefficient. Dessa värden kan slås ihop och vi kommer till U-värdet. (Cengel 2002 s.129 ff.)

Termisk resistans i själva väggen, R_{cond}

$$\dot{Q}_{cond} = k * A * \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = \frac{k * A}{\Delta x} * (T_1 - T_2)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cond}} \text{ där } R_{cond} = \frac{\Delta x}{k * A}$$

(enligt Cengel 2002 s. 129, formel 3 – 5)

Termisk resistans i luften kring väggen, R_{conv}

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv} * A * (T_s - T_\infty) = \frac{h_{conv} * A}{1} * (T_s - T_\infty)$$

$$\dot{Q}_{conv} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{conv}} \text{ där } R_{conv} = \frac{1}{h_{conv} * A}$$

(enligt Cengel 2002 s. 130, formel 3 – 8)

Termisk resistans i värmestrålningen, R_{rad}

$$\dot{Q}_{rad} = \epsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_{surr}^4) = h_{rad} * A * (T_s - T_{surr})$$

$$\dot{Q}_{rad} = \frac{T_s - T_{surr}}{R_{rad}} \text{ där } R_{rad} = \frac{1}{h_{rad} * A}$$

(enligt Cengel 2002 s. 130, formel 3 – 10)

$$\text{och } h_{rad} = \epsilon * \sigma * (T_s^2 + T_{surr}^2) * (T_s + T_{surr})$$

(enligt Cengel 2002 s. 130, formel 3 – 11)

Vi kan sedan kombinera h_{conv} och h_{rad} till $h_{combined}$ för att lättare räkna med termiska resistansen på var sida om väggen (enligt Cengel 2002 s.130, formel 3–12).

Nu är det möjligt att räkna ihop den totala termiska resistansen för vårt material:

$$\dot{Q}_{total} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}}$$

(enligt Cengel 2002 s. 131, formel 3 – 15)

där

$$R_{total} = R_{combined1} + R_{cond} + R_{combined2} = \frac{1}{h_{combined1} * A} + \frac{\Delta x}{k * A} + \frac{1}{h_{combined2} * A}$$

(enligt Cengel 2002 s. 132, formel 3 – 16)

Vi ser att arean A är gemensam för alla termiska resistanserna. Den går att lösa ut enligt

$$R_{total} = \left(\frac{1}{A}\right) * \left(\frac{1}{h_{combined1}} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_{combined2}}\right)$$

$$U * A = \frac{1}{R_{total}}$$

(enligt Cengel 2002 s. 133, formel 3 – 19)

U-värdet, tillsammans med arean, beskriver alltså byggmaterialets termiska resistans, som i sin tur omfattar materialets tjocklek, konduktivitet, emissionskoefficient och luftens antagna konvektionsförmåga.

Vi kan nu räkna med byggmaterialets angivna U-värde och få värmeöverföringen:

$$\dot{Q} = U * A * \Delta T$$

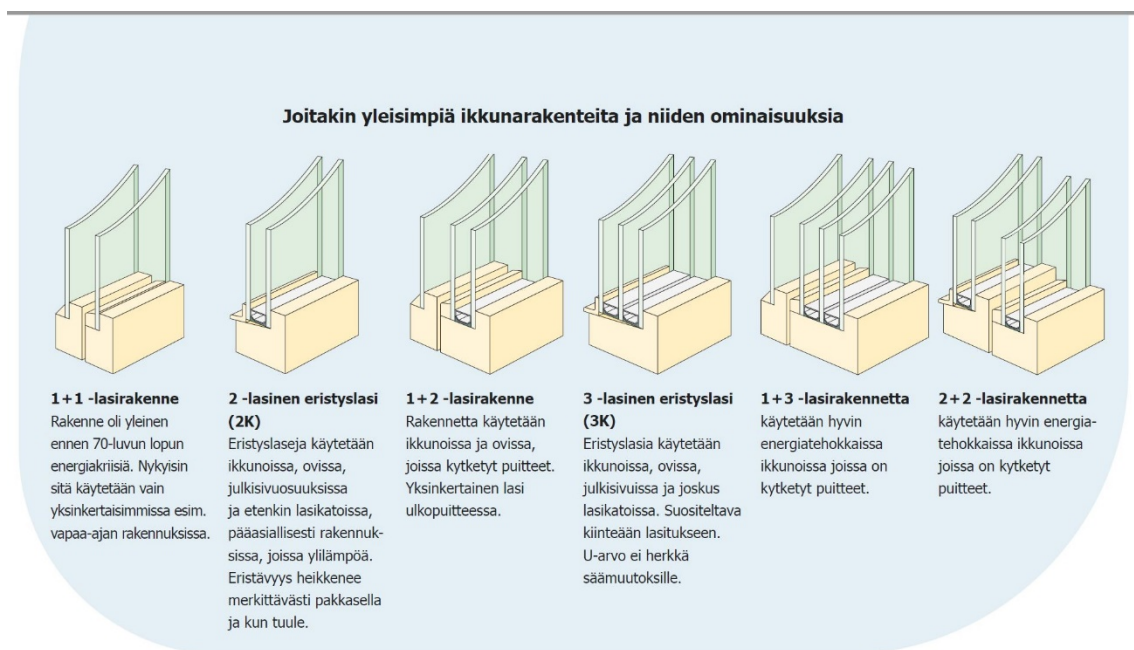
(enligt Cengel 2002 s. 132, formel 3 – 18)

där ΔT är skillnaden mellan temperaturen inne och ute.

2.2 Fönsters tekniska egenskaper

Fönster är inte endast en mur mot kall luft utan också en öppning genom vilket solenergi och synligt ljus kan komma in i fastigheten. Därför är det viktigt att våra fönster är utrustade på ett sådant sätt att de skapar det önskade inomhusklimatet utan onödiga energiförluster.

Dagens fönster är byggda med flera glasrutor, så kallade floatglas, i samma ram eller ramar. De vanligaste fönstren i Finland idag är sådana med totalt tre glas i två ramar (se fig. 6). Då talar man oftast om 1+2 fönster, eftersom utifrån sett så har första ramen en glasruta, andra ramen har två glasrutor och mellan ramarna finns det ett utrymme för persienner. Allt allmännare blir även 2+2 fönster, där det finns två glasrutor i båda ramarna. Fördelen med att ha flera glasrutor i samma ram är att man kan ha värmeisolerande gas mellan rutorna, och man kan ha flera tekniska lösningar installerade var i egen glasruta. Till exempel vill man ofta ha en kondensationsförebyggande yta på den yttersta floatglaset i energisnåla fönster. Kondensation på yttersidan av fönstren är närmast ett problem på våren och hösten då det är fuktigt ute, eller i fastigheter nära fuktkällor och öppet vatten. Då den yttersta rutan inte längre värms upp så mycket av spillvärme att ytan hålls ovanför dagpunkten så kondenserar fukten i luften på rutan. (Pilkington 2018 s.77) Andra möjliga tekniska egenskaper är brandfasta fönster och skyddsfönster. Mera information med dessa egenskaper hittar man bland annat i publikationen *Lasifakta* av Pilkington. (Pilkington 2018)



Figur 6. De vanligaste kombinationerna av fönsterglas. (Pilkington 2018)

De tekniska egenskaperna som detta examensarbete fokuserar på är värmeisolering och solskydd. Dessa egenskaper är representerade med U-värdet och g-värdet.

2.2.1 Praktiska U-värdet

Vi bekantade oss redan med det teoretiska U-värdet i föregående kapitel. Det är ett av fönsterfabrikören uppmätt värde som berättar hur väl fönstret isolerar, det vill säga bromsar värmeöverföringen genom sig själv. U-värdet ges i SI-enheten watt per kvadratmeter och grader [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]. Enligt Finlands Byggbestämmelsesamlings Energiprestanda förordning är $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ det högsta tillåtna U-värde för fönster i ett nybygge. (Finlands ByggBS 2017 s.12) De fönster jag kommer att jämföra har ett U-värde mellan $0,63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ och $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

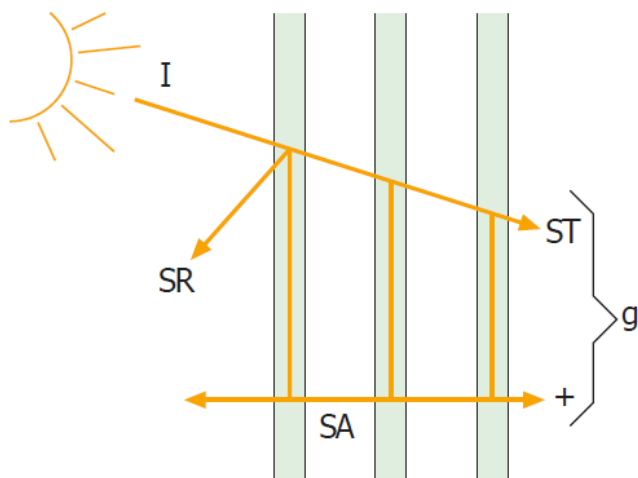
Fönstrets glasrutor, gas och ram är alla viktiga då vi inspekterar fönstrets förmåga att isolera. Glas har dock rätt hög värmeledningsförmåga så det i första hand gasen, som man sätter mellan rutor, som är den egentliga isolerande delen av fönstret. De bäst lämpade gaserna för att isolera fönster med är argon och krypton. De är både ogiftiga och ädla, dvs. icke benägna att reagera lätt. Argon är den vanligare av de två eftersom den är billigast att producera. (Rakennustieto Oy 2018 s.7)

Även fönsterramarna leder termisk energi. Eftersom de utgör en så liten del av fönstret så har jag dock valt att inte koncentrera mig på deras egenskaper i detta examensarbete. I mina modeller har U-värdet för de givna fönstrens ramar använts, men inte rapporterats här. Istället har det angivna totala U-värdet använts för att rapportera resultaten.

2.2.2 g-värde

Det andra tekniskt viktiga värdet som ett fönster har är g-värdet. Det är ett värde mellan noll och ett som indikerar hur mycket av den totala solenergin som träffar fönstrets yttersta yta som kommer att penetrera fönstret och komma in i fastigheten. En del av energin reflekteras och kommer aldrig in i fastigheten. En del absorberas i fönstret, både i glasrutorna och i ramen, och kommer delvis att komma in i fastigheten som långvågig strålning. En del kommer att gå igenom alla glasen och in i fastigheten, som kortvågig strålning. Den totala mängden energi som kommer in i fastigheten ges som g-värdet för fönstret. Vi kan se i figur 7 nedan hur solenergin delar upp sig. I denna figur står I för den totala solenergin som träffar fönstret, SR för den delen energi som reflekteras bort, SA

för den absorberade energin och ST för den delen energi som passerar glaset direkt. (Pilkington 2018)



$$I = SR + SA + ST = 100\%$$

Figur 7. Total solpenetrationsfaktor alltså g-värde. (Pilkington 2018 s.11)

Ett klart glas har normalt ett högt g-värde. Fönster- och glastillverkare kan även behandla floatglas för att ge dem olika tekniska egenskaper. Till exempel kan den yttersta glaset behandlas med metalloxid som gör den mera reflektiv. Detta är för att ge fönstret bättre solskyddsegenskaper, vilket alltså sänker g-värdet. (Pilkington 2018)

2.2.3 T_v-värde

Det tredje värdet som är av intresse är fönstrets T_v-värde. Det är den procentuella mängden synligt solljus som passerar fönstret. Enligt Pilkington (2018 s.10) så menar man med synligt solljus ljusvågor med våglängden mellan 380–740 nm. Ett högre T_v-värde betyder att mera solljus kan komma in i fastigheten, vilket är önskvärt. Om fönstrets U-värde är väldigt lågt och g-värde är väldigt högt, det vill säga om glaset har blivit behandlade med diverse ytor, så blir T_v-värdet oundvikligen lågt. (Pilkington 2018) Tyvärr fick jag inte information om T_v-värden på fönstren från leverantören så dem kan jag inte jämföra i detta arbete.

2.3 Solskydd

Det diskuteras allt mera i Finland om solenergi. Oftast är det i diskussionerna dock frågan om att ta vara på solenergi och skapa värme eller el av den. Mera sällan diskuteras den solenergi som tränger in i våra fastigheter under sommaren och orsakar övervärme. Enligt byggbestämmelserna så är gränsen för kylning i en bostadsfastighet +27°C (Finlands ByggBS 2017 s.6). Om det blir varmare än så så talar man om övervärme. Ett sätt att motverka övervärme i en fastighet är att aktivt kyla ner den med maskiner, såsom att ventilerar bort den varma luften eller genom att installera kylbafflar som kyler ner utrymmet mera lokalt. Problemet med att aktivt kyla ner ett utrymme är att det oftast krävs energi för att göra det, och energi kostar pengar. Maskiner behöver även service för att fungera problemfritt. Det förmånligare sättet att förhindra övervärme är med passiva solskydd som minskar mängden solenergi som kommer in i fastigheten. På detta sätt sänker vi behovet att aktivt kyla ner. (Pilkington 2018)

Som nämnt i stycket om g-värdet så reflekteras och absorberas en stor del av solenergin som träffar fönstret. Genom att utrusta floatglaset med reflekterande ytskikt och genom att utrusta fönstren med persienner så kan vi hindra en stor del av solenergin från att komma in i fastigheten. Detta innebär samtidigt dock att vi sänker fönstrets g-värde, vilket i sin tur leder till att en mindre mängd solenergi kan tas tillvara även på vintern då vi hade haft nytta av den. Det goda med passiva solskydd är att de inte kräver energi för att fungera och de är så gott som servicefria under hela sin livslängd (Pilkington 2018 s.28). Det vi förlorar i nyttig solenergi på vintern så vinner vi på att vi inte behöver installera kylteknik eller uppehålla den tekniken. Det blir en stor skillnad i kostnader när man jämför investeringen i solskydd med investeringen i kylteknik.

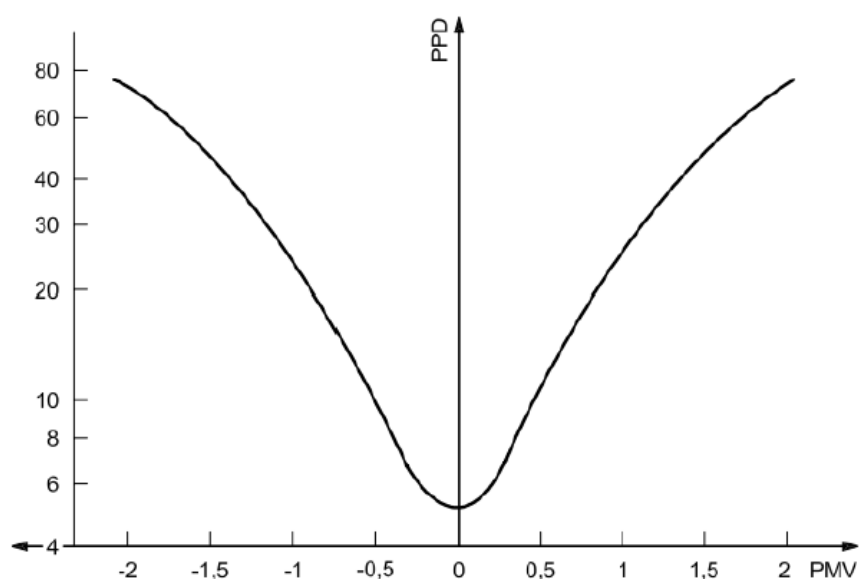
I fastigheten som jag har valt att göra mina beräkningar på så kommer det inte att finnas aktiv kylning. Det sätter en större betoning på att de passiva solskydden ska kunna hindra övervärme från att bildas på sommaren. Jag kommer att jämföra fönstermodellernas övervärme genom att använda de värden som simulationsprogrammet IDA ICE ger i sin rapport, nämligen PDH (EQUA Simulation Ab 2009).

Termisk komfort är en väldigt subjektiv sak. Även om en person tycker att temperaturen i ett utrymme är perfekt så kan en annan uppfatta kyla eller värme. För att få någon form av jämförbart värde så används de standardiserade värdena PMV (Predicted Mean Vote) och PPD (Predicted Percentage Dissatisfied). (International Standard 2006)

Det optimala PMV-värdet är noll. Om PMV-värdet för ett utrymme är olikt noll så kan en del människor uppfatta termisk missnöje. Ett negativt värde tyder på att det kan vara för kallt och ett positivt värde tyder på ett för varmt utrymme. Ett utrymme kan ändå anses ha bra termisk komfort om PMV är mellan -0,5 och +0,5. För äldre hus godkänns ett värde mellan -0,7 och +0,7. (International Standard 2006)

Det andra standardiserade värdet för termisk komfort är PPD. Det berättar procentuellt hur många personer i utrymmet känner termisk missnöje. Ett utrymme med god termisk komfort bör ha ett PPD-värde på 10 % eller under. Ett värde på 15 % eller under skulle också godkännas för ett äldre hus. (International Standard 2006)

Det går att jämföra PMV och PPD som en funktion enligt figur 8. Vi ser i den att värdet på PPD antags aldrig gå under 5% och att kurvan stiger snabbt redan med små ändringar i PMV.



Figur 8. Jämförelse av PMV och PPD. (International Standard 2006 s. 5)

Genom att multiplicera PPD-värdet för ett utrymme med antalet personer i det utrymmet och antalet timmar spenderat i utrymmet så kommer vi till det värde som IDA ICE räknar ut i sin rapport, nämligen PDH.

$$PDH = PPD * \text{antal personer} * \text{antal timmar}$$

Simulationsprogrammet IDA ICE ger även antalet persontimmar totalt för fastigheten, det vill säga hur många timmar totalt personerna i fastigheten antas vara där, under det simulerade året. Detta är förstås en estimering baserat på de värden användaren matar in. Genom att dividera PDH med dessa persontimmar så kommer vi tillbaka till det procentuella PPD-värdet.

$$PPD = \frac{PDH}{\text{persontimmar}}$$

Enligt IDA ICE handboken så kan detta räknesätt användas som en indikator på om den termiska komforten är bra eller ej. (EQUA Simulation Ab 2009 s.62)

2.4 Kostnads kalkyl

I detta examensarbete räknar jag med att de valda fönstren är i användning i cirka 40 år. Detta är i enlighet med det svar jag fick från fastighetens beställaren Avain Yhtiöt Oy då jag frågade dem om en antagen livslängd. Jag jämför de olika fönstermodellarnas beräknade energiförbrukning, räknat i simulationsprogrammet IDA ICE. Skillnaden i energiförbrukningen per år gånger energikostnaden gånger livslängden ger oss en total inbesparning för fastigheten.

$$\Delta \text{Energiförbrukning} * \text{Energipriset} * \text{Livslängd} = \text{Inbesparning}$$

Eftersom majoriteten av fjärrvärmens konsumeras under vinterhalvåret så har jag valt att i detta examensarbete använda som energipris på fjärrvärme under uppvärmningsperioden 73,59 € / MWh (Helen Ab 2018).

Jag har valt att i detta examensarbete göra kalkylen med ett fast pris och inte räkna med inflation eller annan ändring av energipriserna. Möjliga prisändringar under de kommande 40 åren som kalkylen omfattar påverkar alla fönstermodeller i samma omfattning. På grund av att fönsterpriserna anses vara affärshemligheter så kan jag inte jämföra fönstrens investeringskostnader. Då blir även ändringar i energipriset mindre relevanta för detta examensarbete.

Om skillnaden i fönstrens investeringskostnader är mindre än den möjliga inbesparningen så är det lönsamt att satsa på ett dyrare fönster nu och spara in den skillnaden med mindre energikostnader över fönstrens livslängd. Om totala priset är ungefär det samma kan det ändå vara lönsamt att välja de energisnålare fönstren nu eftersom energikostnaderna antagligen fortsätter stiga under fönstrens livslängd, i och med strängare miljökrav på energiproduktionen (Statistikcentralen 2019b).

$$\textit{Inbesparning} \geq \Delta \textit{Investeringskostnad}$$

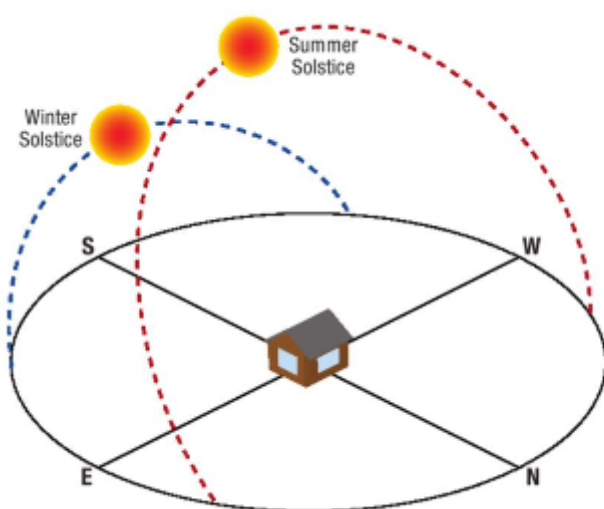
Investeringar som gäller hela fastigheten kan ses som stora, men om man delar upp summan per lägenhet eller till och med per fönsterarea så kommer vi till en kostnad som är lättare för en lekman att lägga i perspektiv. Därför har jag även valt att räkna ut inbesparingsmöjligheterna per kvadratmeter fönsteryta. Denna fastighet har fönster av olika storlekar. Man kan ändå estimeras att ett enskilt fönster är ungefär två till tre kvadratmeter stort. På så vis är det lättare att förstå precis hur stora summor vi talar om.

3 OBJEKTBESKRIVNING

3.1 Projektet Tuusulan Rykmentinpuisto

Nybygget jag har gjort beräkningarna på är beläget på Rykmentintie 34 i Tusby. Detta är det första huset av flera planerade nybyggen i området Rykmentinpuisto. Huset är egentligen två hus, namngivna Torni och Kipinä, men de har bland annat en gemensam värmecentral och därmed också gemensam uppkoppling till fjärrvärmenätet. De byggs alltså fast i varandra, som ett hus, och kan i mina beräkningar betraktas som en enhet. Torni-sidan har nio våningar och Kipinä-sidan har sju (se figurerna 10 och 11). Förrådsutrymmet i källaren, belägen på Kipinä-sidan, är i gemensamt bruk. I källaren finns även det gemensamma skyddsrummet. Värmecentralen är på första våningen. Ventilationen sköts av ett aggregat beläget på Torni-sidans nionde våning. Fastigheten har ingen annan form av aktiv kylning.

Företaget som låter bygga dessa fastigheter heter Avain Yhtiöt Oy. Jag kallar dem här efter även för beställaren. Fastigheten är svängd med långsidorna mot syd och norr (se bilaga 1 Stadsplan för området Rykmentinpuisto). Husets placering och rotation gör denna fastighet ypperlig att simulera fönstrens solskyddsförmåga på, eftersom vi har majoriteten av den inkommande solenergin rakt mot sydsidan av huset (se figur 9).



Figur 9. Solens vandring över himlavalvet (Beck et al. 2011 s.5)

Huset byggs som bostadsfastighet. Det planeras även ett daghem i bottenvåningen på Tornisidan av huset. Som arkitekten fungerar byrån Arkkitehdit Sivula & Sivula Oy. Hela huset har ett ventilerat kryputrymme under nedersta golvet.

I tabell 1 nedan finns några av de värden som har använts för att skapa fastighetens energicertifikat, ett dokument som behövs för att anhålla om bygglov. Energicertifikatet är gjort av Oy PQR Consult Ab och finns som bilaga 6.

Tabell 1. Basvärden för fastigheten

Adress	Rykmentintie 34, 04300 Tusby
Antal lägenheter	86
Total golvyta	6358 m ²
Total ytterväggyta	2358 m ²
Total ytterdörryta	198 m ²
Fönsteryta söderut	332 m ²
Fönsteryta norrut	416 m ²
Fönsteryta öst och väst	31+68 m ²
Total fönsteryta	847 m ²
Köpt el	247 MWh/år
Köpt fjärrvärme	460 MWh/år
-varav varmvatten	222,5 MWh/år
-varav ventilationsvärme	119,5 MWh/år
-varav radiatorvärme	68 MWh/år
Värmelaster	466 MWh/år
-varav solenergi	182 MWh/år

Energicertifikatet grundar sig på värden som hittas i Finlands byggbestämmelsesamling. Där hittar man även de U-värden enligt vilket ett nybygge ska planeras (se tabell 2).

Tabell 2. Högsta tillåtna U-värden. (Finlands ByggBS 2017 s.12)

Yttervägg	0,17 W/m ² *□
Golv mot kryputrymme	0,17 W/m ² *□
Yttertak	0,09 W/m ² *□
Fönster eller ytterdörr	1,0 W/m ² *□

Energicertifikatet räknar även med att ventilationen är, i medeltal, reglerad till 0,5 l/s, m² golvyta. Minimikravet för en bostadsfastighet är 0,35 l/s, m² golvyta och 12 l/s per lägenhet (enligt FINVAC ry 2017).



Figur 10. 3D modell på fastigheten. Sydväst fasad.



Figur 11. 3D modell på fastigheten. Nord fasad.

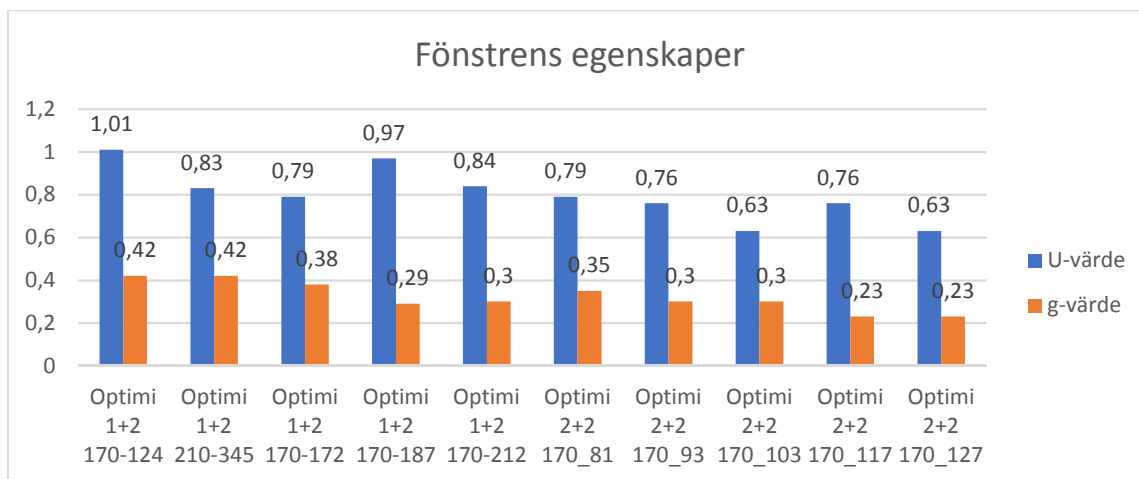
3.2 Fönstertyper

Beställaren Avain Yhtiöt Oy meddelade mig att de prefererar att använda Inwido Finland Oy som sin fönsterleverantör. Jag frågade Inwido Finland Oy vilka fönster de skulle rekommendera för ett nybygge i huvudstadsregionen och fick av dem information om tio olika fönstermodeller (se tabell 3). Dessa tio fönstermodeller kan anses vara de vanligaste som Inwido Finland Oy säljer. Fem av modellerna är 1+2 fönster och fem är 2+2 fönster. Då jag först var i kontakt med Avain Yhtiöt Oy så bad de mig att koncentrera mig på 1+2 fönstermodeller och att de ska vara utrustade med persienner. Eftersom jag fick så mycket information även om 2+2 fönstermodeller så valde jag att ta med dem i detta examensarbete, för att jämföra hur mycket kostnadseffektivare de möjligtvis kunde vara på lång sikt. Samtliga av Inwidos fönster är utrustade med persienner mellan ramarna.

Tabell 3. Inwido Finland Oys rekommenderade fönstermodeller

Optimi 1+2 170-124	Optimi 2+2 170_81
Optimi 1+2 210-345	Optimi 2+2 170_93
Optimi 1+2 170-172	Optimi 2+2 170_103
Optimi 1+2 170-187	Optimi 2+2 170_117
Optimi 1+2 170-212	Optimi 2+2 170_127

Jag har sammanställt i figur 12 vilka U- och g-värden dessa fönstermodeller har. Jag kommer även att jämföra dessa fönster med vad jag kallar för Standard fönstret, vilket har U-värdet $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \square$ och g-värdet 0,60, för att få en baslinje. Standard fönstrets värden baserar sig på de fönster som har använts i energicertifikatet (se bilaga 6).



Figur 12. Inwido Finland Oys fönsters egenskaper.

Ett lågt U-värde och ett högt g-värde borde resultera i lägsta energikonsumtionen. Ett lågt U-värde betyder att fönstret har en bra isoleringsförmåga. Ett högt g-värde betyder att solenergin kan passera fönstret bättre. Jag förväntar mig alltså att av 1+2 fönstermodellerna så ger Optimi 1+2 210–345 och Optimi 1+2 170–172 de lägsta energiförbrukningssummorna och där med de största inbesparingarna. Bland 2+2 fönstermodellerna så är det inte lika klart eftersom skillnaderna i deras värden är mindre.

4 ARBETSMETODER

4.1 Insamlandet av information

För att få den informationen som behövdes för beräkningarna så har jag varit i kontakt med fönstertillverkare och leverantörer. Jag har intervjuat dessa personer över telefonen samt via epost. Det var viktigt att få deras syn på vilka egenskaper är viktiga då man väljer fönstermodell för ett höghus. Det kom även som en överraskning för mig att det är, enligt leverantören, en stor skillnad på om det är fråga om ett nybygge eller sanering av en existerande fastighet. De värden som jag har gjort jämförelserna av fönstermodellerna med fick jag av det företaget som fastighetens beställare har valt. All data som gavs åt mig kunde jag inte använda i ett offentligt examensarbete, på grund av företagshemligheter. Därför publicerar jag inte till exempel en jämförelse av investeringskostnader även om en sådan har gjorts och givits åt beställaren.

Information om fastigheten har jag fått via min praktikplats på Oy PQR Consult Ab. Simuleringsmodellen grundar sig på fastighetens bottenritningar samt energicertifikat (se bilaga 6). Eftersom fastigheten ännu var i planeringsskedet då jag gjorde detta examensarbete så kan en del ändringar ha skett efter det att jag gjorde mina beräkningar.

4.2 IDA ICE

Mjukvaran IDA ICE är ett simuleringsverktyg designat för att analysera energiförbrukningen och termiska komforten i fastigheter. Jag lärde mig använda detta datorprogram i en specialkurs i Yrkeshögskolan Arcada och med hjälp av handboken *IDA ICE: Getting Started* (EQUA Simulation Ab 2018). Jag skapade en IDA ICE modell enligt bottenplansritningarna som jag fick från arkitekten. Först gjorde jag en modell av hela fastigheten. Som utgångsvärden använde jag de samma värdena som användes i energicertifikatet samt de lagstadgade värden som finns i Finlands ByggBS. Då kom jag till ungefär samma resultat som de angivna i energicertifikatet (se tabell 4).

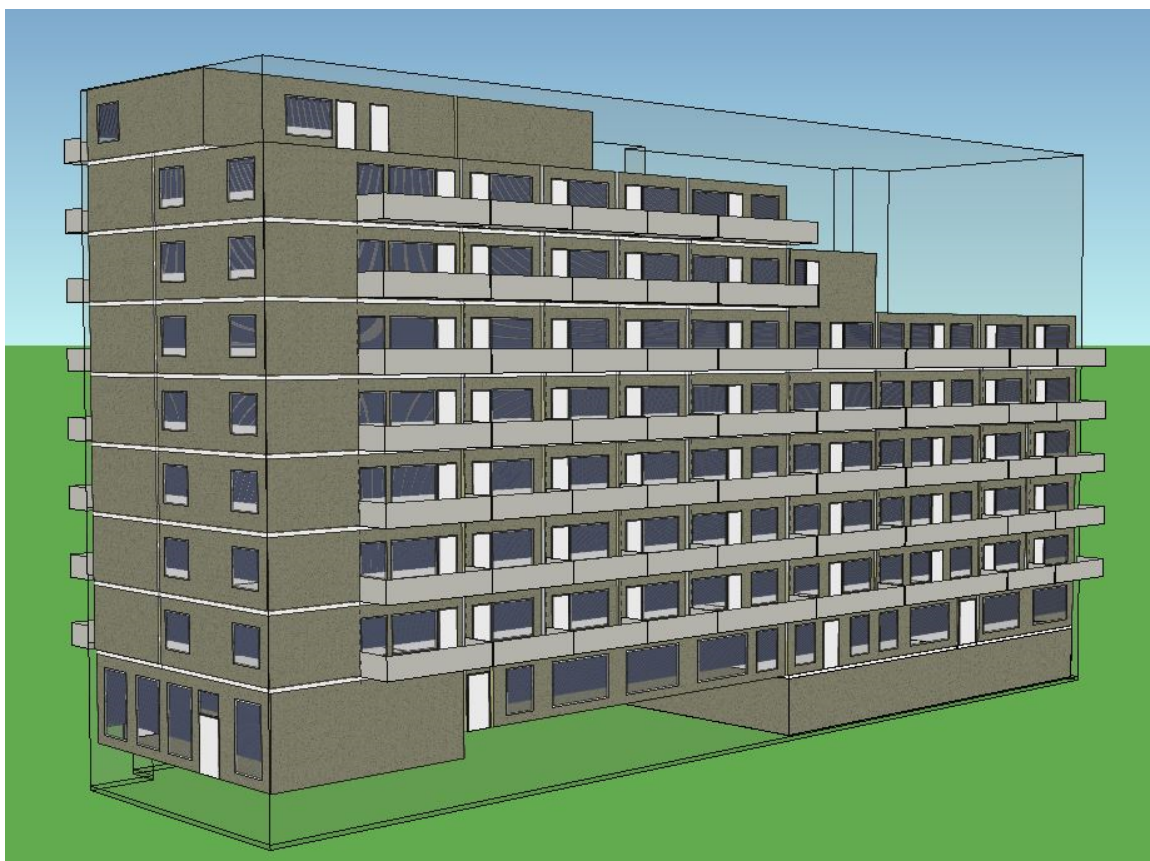
Tabell 4. Jämförelse av energicertifikatets och IDA ICE modellens värden.

	Energicertifikatet	IDA ICE modellen	
Uppvärmd golvyta	6358	6101	m ²
Köpt el	247	241	MWh/år
-varav belysning	50	48	MWh/år
-varav elapparater	134	128	MWh/år
Köpt fjärrvärme	460	410	MWh/år
-varav varmvatten	222,5	213,5	MWh/år
-varav ventilationsvärme	119,5	116,5	MWh/år
-varav radiatorvärme	68	70	MWh/år

Det förekommer skillnader mellan certifikatet och IDA ICE modellen eftersom certifikatet grundar sig på rent teoretiska värden och IDA ICE modellens noggrannhet grundar sig på hur exakt jag har lyckats rita av bottenplanen. Till exempel blir det direkt en skillnad i summorna då vi ser att det finns en skillnad på ungefär 250 m² uppvärmd golvyta mellan certifikatet och min modell. Eftersom detta examensarbete fokuserar sig på att jämföra skillnaderna på energiförbrukningen beroende av fönstermodellen så är en rimligt korrekt modell tillräckligt bra för att kunna göra det.

Det är viktigt att i detta skede uppmärksamma att varmvattenproduktionen står för ungefär hälften av fjärrvärmeförbrukningen i denna fastighet ($\frac{213,5 \text{ MWh/år}}{410 \text{ MWh/år}} \approx 52\%$). Så även om jag gör beräkningar med skillnaderna i den totala fjärrvärmeförbrukningen så påverkar valet av fönstermodell egentligen endast den resterande 48%, alltså uppvärmningen. En procentuell skillnad i totala fjärrvärmeförbrukningen mellan fönstermodellerna bör alltså ungefär fördubblas för att den ska motsvara den egentliga påverkan.

Nedan kan ses bilder tagna av fastighetens IDA ICE modell (figur 13 och 14).



Figur 13. IDA ICE modell, sydväst fasad.



Figur 14. IDA ICE modell, nordost fasad.

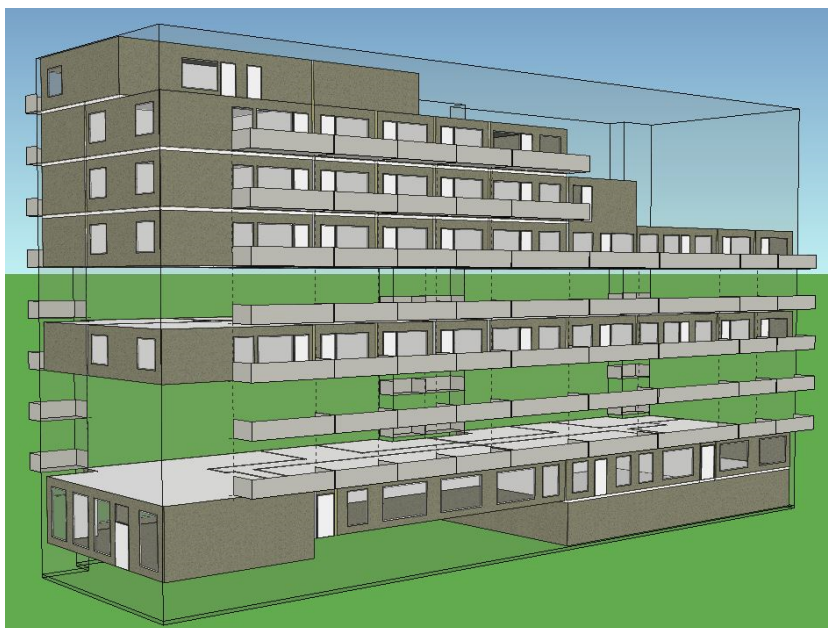
Eftersom en simulering av hela fastigheten på en gång är väldigt tung för datorn och mycket tidskrävande så gjorde jag även en lättare modell där våningarna två, tre och fem togs helt bort. Istället har en multipel på fyra satts in på zonerna i våning fyra, det vill säga dessa zoners summor räknas fyra gånger istället för bara en (se figur 15 och 16).

Jämförelse av uppvärmningsenergierna och komfortvärdena i den tyngre och den lättare modellen visar att de kommer till ungefär samma värden (se tabell 5).

Tabell 5. Jämförelse av IDA ICE modellernas värden.

	Full modell	Lätt modell	
Fjärrvärmeförbrukning	400	409,5	MWh/år
- varav ventilationsvärme	116,5	118	MWh/år
- varav radiatorvärme	70	78	MWh/år
PDH	417 561	408 523	h/år

Simulationstiden gick från ungefär en och en halv timme per simulation av hela fastigheten till endast en halv timme per simulation med den lättare modellen. Därför har jag valt att göra simulationerna av de olika fönstermodellerna med den lättare IDA ICE modellen. Eftersom detta examensarbetets fokus ligger på att jämföra fönstermodellerna så är det rimligt att använda en gemensam och praktisk bottenmodell för simulationerna, även om den bottenmodellens startvärden avviker lite från energicertifikatets värden.



Figur 15. IDA ICE modell 2.0, sydväst fasad.



Figur 16. IDA ICE modell 2.0, nordost fasad.

Först simulerade jag hela fastigheten med de olika fönstermodellerna. Jag skapade alltså tio kopior av min IDA ICE modell och böt ut fönstren i varje modell mot en av Inwidors fönstermodeller. Resultaten samlade jag sedan i ett blad i min Excel fil. Sedan skapade jag 30 nya kopior på min modell och simulerade skilt varje väderstreck, så att jag endast bytte ut fönstren på en sida av fastigheten åt gången. Eftersom kortsidorna (öst och väst) har så få fönster så valde jag att göra en gemensam modell för dem. Jag jämförde dessa resultat med de resultat jag hade på hela fastigheten. Det visade sig att det inte var en markant skillnad på förhållandet mellan fönstermodellerna enligt vädersträck. Det vill säga, de fönster som kan anses vara energisnåla bibehöll skillnaden i energiförbrukning oberoende på vilken sida av huset de sattes. Man kunde göra en noggrannare studie i de ekonomiska skillnaderna i ett arbete där investeringspriserna får publiceras för att se om man där kunde motivera att ha olika fönster på olika sidor av fastigheten. Se bilagorna 2, 3 och 4 för noggrannare resultat.

4.3 Microsoft Excel

Efter att jag hade simulerat varje modell så tog jag de summorna IDA ICE gav och matade in dem i en Microsoft Excel fil. Att ha de viktiga värdena i en och samma fil gjorde det lättare för mig att jämföra resultaten och komma till slutsatser. I denna samma fil kunde jag även göra en kostnadskalkyl över hur stora de ekonomiska inbesparningar för de olika fönstren är över deras livslängd. Denna fil finns som bilaga 5.

5 RESULTAT

Simulationsprogrammet IDA ICE skriver ut en utförlig rapport för varje modell den kör. I denna fastighet förs det in köpt energi endast i form av el och fjärrvärme. Elenergin går till belysningen, till elapparater och till ventilationen. Fjärrvärmens används för att värma upp bruksvattnet, tilluften och radiatorerna. Eftersom all uppvärmning kommer från den tillförda fjärrvärmens så kan jag koncentrera mig på fjärrvärmeförbrukningen för fastigheten och jämföra dessa resultat mellan modellerna. Alla resultat jämförs även med resultaten från IDA ICE modellen som är given Standard fönstret (se tabell 6 och 7).

Tabell 6. Fjärrvärmeförbrukningen i de olika 1+2 modellerna.

Fönstermodell	Fjärrvärme (kWh/år)	kWh/m ² golvyta	Toppeffekt (kW)
Standard	409 526	67,12	169,7
Optimi 1+2 170–124	392 129	64,27	159,4
Optimi 1+2 210–345	385 184	63,13	155,7
Optimi 1+2 170–172	385 193	63,13	154,5
Optimi 1+2 170–187	397 887	65,21	159,5
Optimi 1+2 170–212	392 624	64,35	156,8

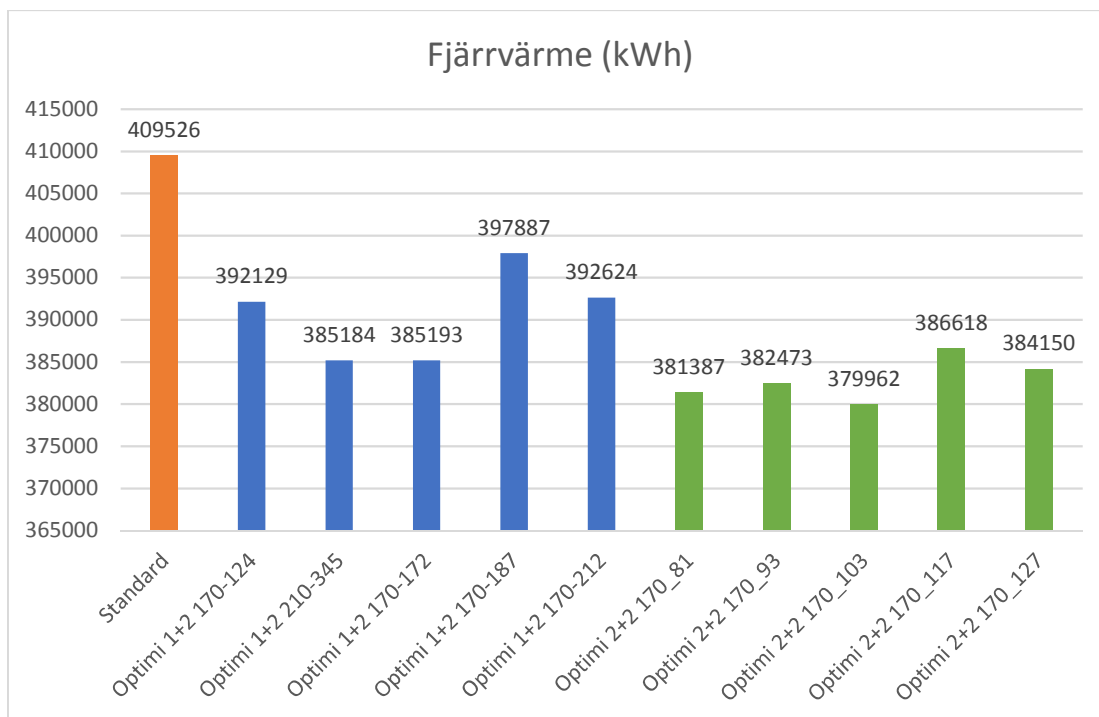
Simulationerna på fönstermodellerna Optimi 1+2 210–345 och Optimi 1+2 170–172 ger de lägsta fjärrvärmeförbrukningssummorna bland 1+2 fönstren, båda ungefär 385 MWh/år. Skillnaden mellan dessa fönster och de lagstadgade minimikraven som Standard fönstret representerar är en sänkning på cirka 6% av totala fjärrvärmeförbrukningen på årsnivå.

Tabell 7. Fjärrvärmeförbrukningen i de olika 2+2 modellerna.

Fönstermodell	Fjärrvärme (kWh/år)	kWh/m ² golvyta	Toppeffekt (kW)
Standard	409 526	67,12	169,7
Optimi 2+2 170_81	381 387	62,51	151,1
Optimi 2+2 170_93	382 473	62,69	150,6
Optimi 2+2 170_103	379 962	62,27	149,0
Optimi 2+2 170_117	386 618	63,37	151,4
Optimi 2+2 170_127	384 150	62,96	150,1

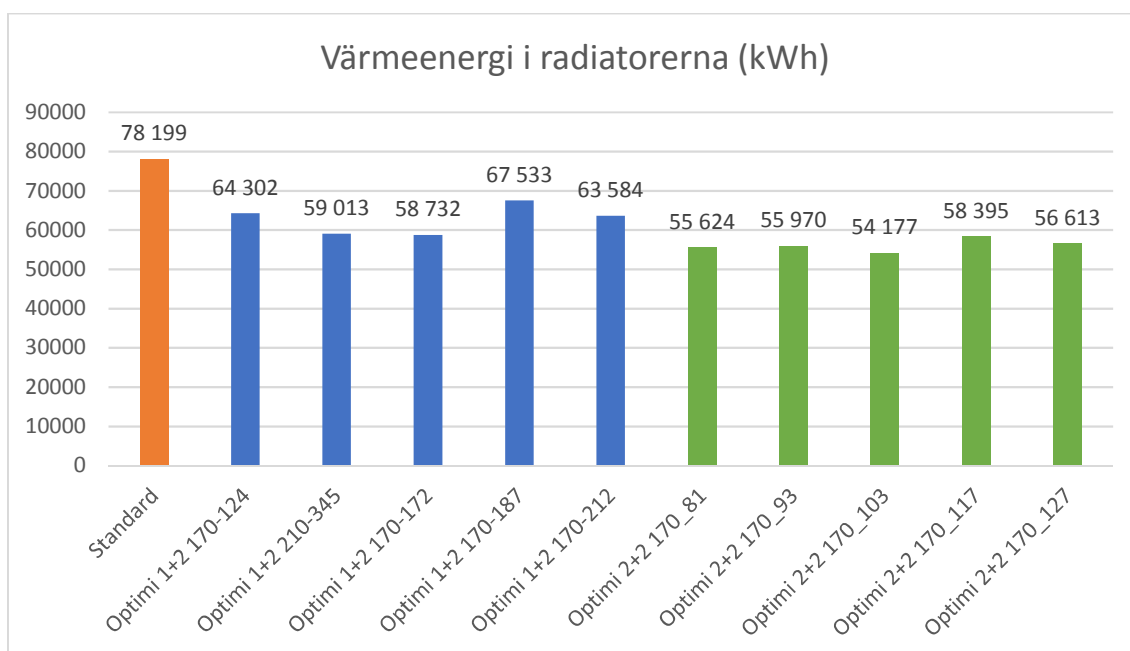
Simulationerna på 2+2 fönstren ger mycket jämnare resultat. Lägsta fjärrvärmeförbrukningssumman ger simulationen med fönstermodellen Optimi 2+2 170_103, med ungefär 380 MWh/år. Jämfört med Standard fönstermodellen är det en sänkning på ungefär 7% av totala fjärrvärmeförbrukningen på årsnivå.

I figur 17 kan man se alla fönstermodellernas fjärrvärmeförbrukning i en graf. Standard fönstermodellen ses i orange, 1+2 fönstren i blått och 2+2 fönstren i grönt.

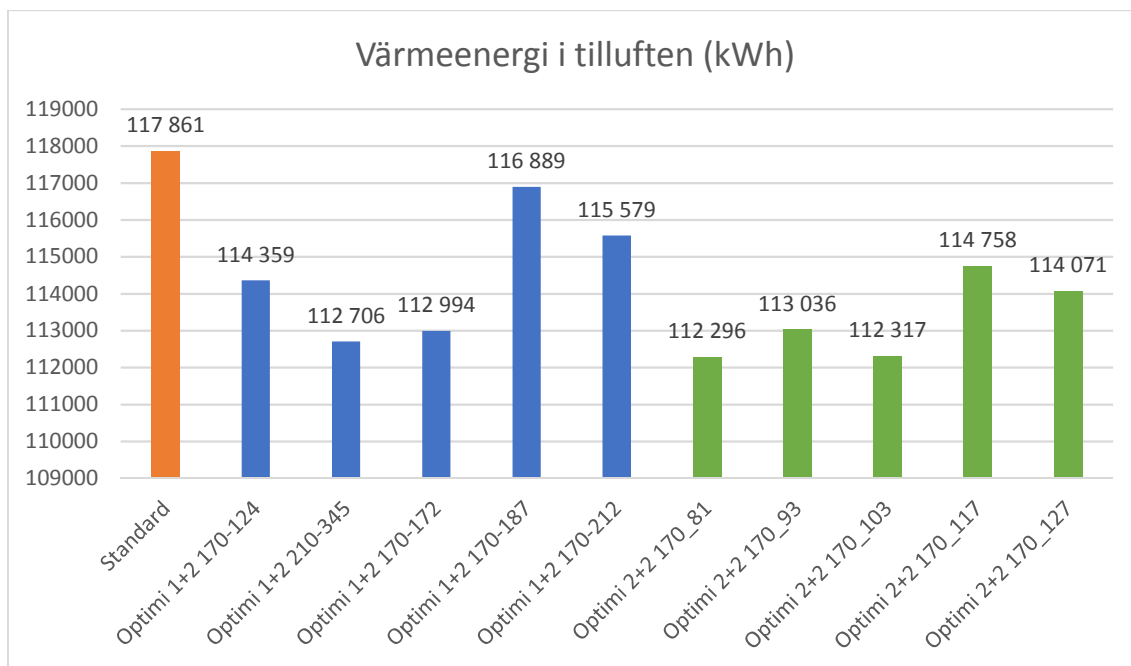


Figur 17. Fjärrvärmeförbrukningen för samtliga fönstermodeller, givet i kWh/år.

Jag har även samlat information om hur mycket av den totala fjärrvärmeförbrukningen används för att värma upp radiatorerna (se figur 18) och hur mycket används för att värma upp tilluften (se figur 19). Båda uppvärmningssätten är medräknade i den totala fjärrvärmeförbrukningen, så en skild beräkning på inbesparningarna är inte nödvändig.



Figur 18. Värmeenergin som används för att värma radiatorerna, givet i kWh/år.

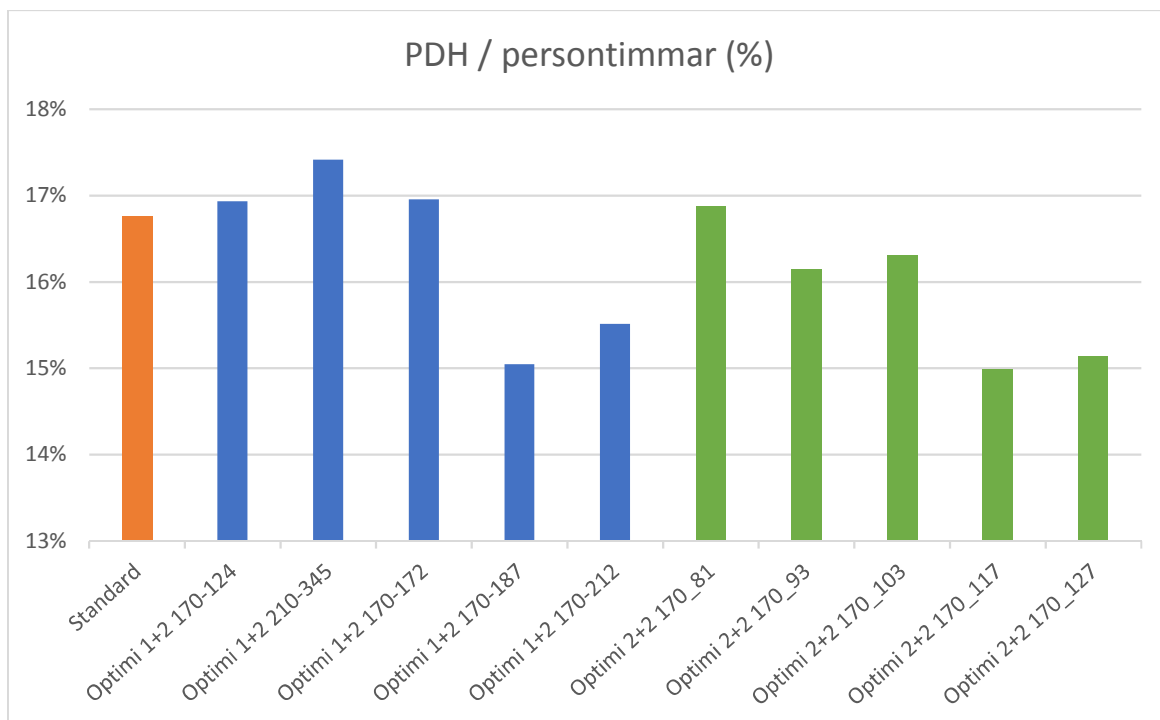


Figur 19. Värmeenergi som används för att värma upp tilluften, givet i kWh/år.

Simulationsprogrammet IDA ICE räknar även ut ett värde på inomhusklimatets komfort. Detta kallas i programmet för PDH och står för totala antalet timmar som personer i utrymmet känner termisk missnöje. Enligt IDA ICE handboken (EQUA Simulation Ab 2009 s.62) så är det uträknade PDH-värdet dividerat med antalet persontimmar i fastigheten en god indikator på den termiska komforten inne i fastigheten. Enligt simulationerna så har denna fastighet en antagen persontimmesumma på 2 437 003 h/år. Eftersom PDH och persontimmarna är båda givet i timmar per år så är detta resultat alltså en procentmängd av totala timantalet.

$$\frac{PDH}{Persontimmar} = \text{termisk komfort (\%)}$$

I mina simulationer har jag valt att ställa in kontrollen för persiennerna i fönstren enligt IDA ICE programmets naturliga inställning som heter "Sun". Denna inställning ska simulera en person som går och stänger persiennerna när det blir varmt inne i utrymmet. Detta motsvarar inte det konventionella sättet att räkna med termisk komfort enligt Finlands ByggBS, men enligt mig så borde denna inställning ge fönstermodellernas egenskaper mera betoning i resultatet. Jag har inte heller modellerat de inglasade balkongerna på sydsidan av huset. Den verkliga fastigheten borde alltså ha en bättre termisk komfort än vad värdena i figur 20 visar.



Figur 20. PDH / persontimmar för varje fönster.

I figur 20 kan vi se att simulationer med de olika fönstermodellerna resulterar i värden på termiska komforten mellan ungefär 15–17,5 %. Högre värden här betyder alltså sämre termisk komfort i fastigheten. Fönstermodeller med höga g-värden släpper in mera solenergi som resulterar i sämre termisk komfort. Standard fönstermodellen ger ett värde på just under 17 %.

6 DISKUSSION

Tanken bakom detta examensarbete var att få en inblick i hur stora skillnader det kan potentiellt vara i livscykelkostnaderna för dagens fönstermodeller. Jag ville specifikt veta hur mycket variation det kan vara i energiförbrukningen i en fastighet beroende på vilken fönstermodell man väljer att installera. Jag ville även förbättra min kunskap om simuleringsprogram som räknar med energiförbrukning, såsom IDA ICE. Genom att sätta mig i in de tekniska egenskaperna som man kan välja för en fönstermodell så har jag fått en mycket bättre förståelse för passiva lösningar med vilka man kan reglera inomhusklimatet i en fastighet. Jag anser även att jag har mött mitt mål när det kommer till att lära mig hur det lönar sig använda simuleringsprogrammet IDA ICE.

Alla beräkningar i detta examensarbete baserar sig på information från endast en fönsterleverantör och är därför väldigt specifika för just deras fönster. Simulationerna är gjorda på en modellfastighet skapad för detta projekt, med de värden som är givna i denna fastighets energicertifikat. Resultaten kan inte alltså anses representera alla 1+2 fönstermodeller eller alla 2+2 fönstermodeller på marknaden. Detta examensarbete är en fallstudie för just detta projekt, och jag vill betona att alla rekommendationer eller slutsatser gäller endast för denna fastighet.

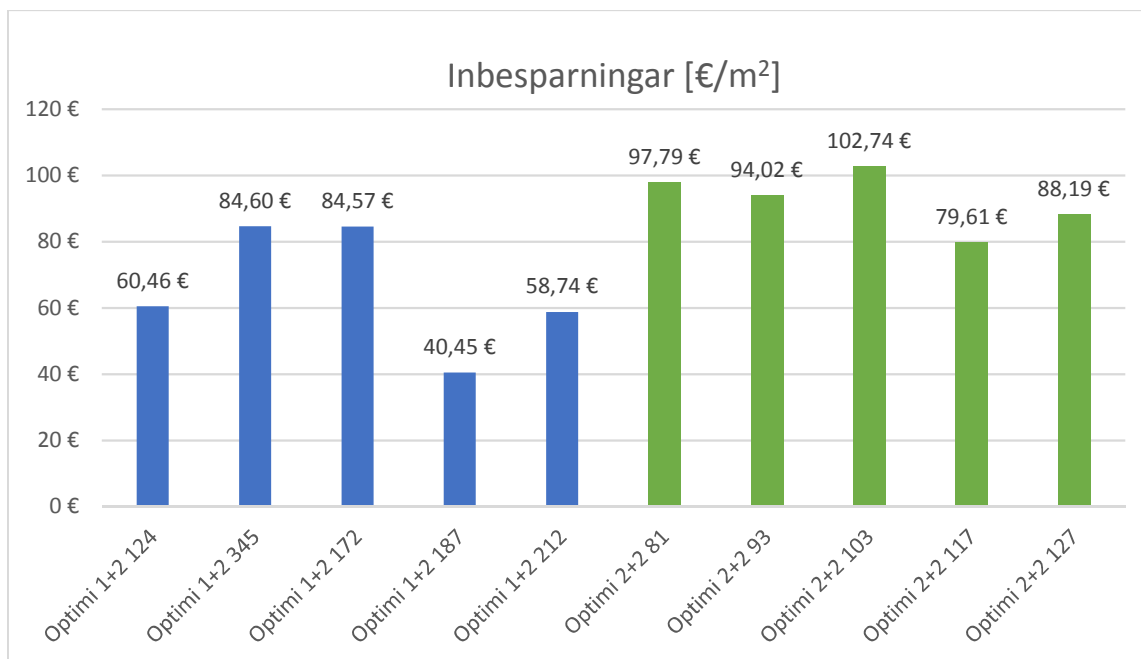
Då vi jämför de givna fönstermodellerna med Standard fönstermodellen (se figur 17) så ser vi att det möjligt att spara upp till ungefär 24 MWh per år ($409 \text{ MWh} - 385 \text{ MWh} = 24 \text{ MWh}$) genom att välja en energisnål 1+2 fönstermodell, och ungefär 30 MWh per år ($409 \text{ MWh} - 379 \text{ MWh} = 30 \text{ MWh}$) med en energisnål 2+2 fönstermodell. Det är ungefär 6–7 % av den årliga fjärrvärmeförbrukningen för Standard fönstermodellen (409 MWh). Förutsatt att energipriset förblir nära 73,59 €/MWh så motsvaras dessa sänkningar av fjärrvärmeförbrukningen av en ekonomisk inbesparning på 1 800 - 2 200 € per år respektive för fastigheten. På fönstrens förväntade 40 års livslängd betyder det en inbesparning på 72 000 – 88 000 €, beroende på fönstermodell. Om vi räknar dessa summor delat på husets totala fönsteryta (847 m^2) så får vi en pengasumma som lättare kan användas för att jämföra hur mycket det får vara skillnad i investeringskostnaderna.

För ett energisnålt 1+2 fönster blir inbesparingspotentialen $\frac{72\,000 \text{ €}}{847 \text{ m}^2} \approx 85 \text{ €/m}^2$.

För ett energisnålt 2+2 fönster blir inbesparingspotentialen $\frac{88\,000 \text{ €}}{847 \text{ m}^2} \approx 104 \text{ €/m}^2$.

Dessa summor är räknade enligt formeln nedan.

$$\frac{\Delta \text{Energiförbrukning} * \text{Energipriset} * \text{Livslängd}}{\text{Fönsteryta}} = \Delta \text{Inbesparning per m}^2$$



Figur 21. Inbesparningar per fönstermodell jämfört mot Standard fönstret som är 0 €/m².

Jag har räknat ut motsvarande ekonomiska inbesparingssummor per kvadratmeter fönsteryta för samtliga fönstermodeller (se figur 21). Från denna figur kan vi härleda vad skillnaden i investeringskostnaderna för varje fönstermodell får högst vara före det blir lönsamt att byta modell. Så länge som skillnaden i investeringskostnaderna är lägre eller lika med skillnaden i inbesparingspotential så är det ekonomiskt lönsamt att välja den energisnålare fönstermodellen, alltså den med större inbesparingspotential.

$$\Delta \text{Investeringskostnad} \leq \Delta \text{Inbesparning}$$

Samtidigt som den ekonomiska aspekten diskuteras så bör nämnas att de två energisnålare 1+2 fönstermodellerna är de två som orsakar den sämsta termiska komforten av alla simulerade resultat (se figur 20). Deras jämförelsevist höga g-värden på ungefär 0,4 släpper in mera solenergi sommartid än fönstermodellerna med lägre g-värden. Parat ihop med ett U-värde på ungefär 0,8 W/m²*□ så skapar fönstermodellerna med högre g-värde mera övervärme i fastigheten jämfört med resten. Eftersom deras U-värden är lägre än de andra 1+2 fönstermodellerna så kan inte denna värme lika effektivt överföras ut genom dessa bättre isolerande fönster. Fönstermodellernas vanligtvis goda egenskaper jobbar alltså emot oss då det är varmt ute och solen skiner. Jag har visat att en fönstermodell med ett lågt U-värde och högt g-värde har den största ekonomiska

inbesparingspotentialen, men dessa värden ger även upphov till den sämsta termiska komforten. En fönstermodell med lågt g-värde ger upphov till en bättre termisk komfort (se figur 20), även om samma fönster har ett lågt U-värde. Det är alltså g-värdet som har den större inverkan på den termiska komforten.

Den fönstermodellen som skapar den bästa termiska komforten bland 1+2 fönstren (Optimi 1+2 170–187) är också modellen med den högsta fjärrvärmeförbrukningen. Skillnaden mellan denna modell och den energisnålaste 1+2 modellen är ungefär 13 MWh (398 MWh – 385 MWh = 13 MWh). Detta motsvarar en skillnad på ungefär -38 000 € i inbesparningar över fönstrens livslängd, enligt:

$$13 \text{ MWh/år} * 73,59 \text{ €/MWh} * 40 \text{ år} = 38\,267 \text{ €}$$

För att kunna jämföra investeringskostnaderna så delar jag igen denna summa med totala fönsterytan och får $\frac{38\,000 \text{ €}}{847 \text{ m}^2} \approx 45 \text{ €/m}^2$. Vi förlorar ungefär 45 €/m² fönsteryta i uteblivna inbesparningar över 40 år. Det är egentligen en ganska liten summa pengar per timme som invånarna upplever övervärme under dessa 40 år. Troligtvis så skulle varje invånare gladeligen betala en sådan summa mera för en lägenhet med bättre inomhusklimat. Denna summa tar dock inte i beaktande investeringskostnaderna för båda fönstermodellerna, så man bör jämföra dem ännu före ett beslut görs.

Vi ser från dessa föregående exempel att om vi väljer de slutliga fönstren utgående från de angivna 1+2 fönstermodellerna så blir valet att antingen prioritera de potentiella ekonomiska inbesparningarna eller den termiska komforten. Ingen 1+2 fönstermodell lyckas ge oss båda. Därför vill jag nu diskutera möjligheten att installera en 2+2 fönstermodell i denna fastighet.

Vi ser i figur 21 att skillnaden i den ekonomiska inbesparingspotentialen mellan 2+2 fönstren är väldigt liten jämfört med skillnaderna mellan 1+2 fönstermodellerna. Samtliga 2+2 fönster har goda tekniska egenskaper när det kommer till energibesparing. Den egentliga skillnaden mellan modellerna är när det kommer till den termiska komforten som IDA ICE rapporterar. Vi ser i figur 20 att två av 2+2 fönstermodellerna (Optimi

2+2 170_117 och Optimi 2+2 170_127) ger en klart trevligare termisk komfort än resten av modellerna. Dessa är även på samma nivå som 1+2 fönstermodellen med bästa termiska komfort. Fönstermodellen Optimi 2+2 170_127 har även en hög ekonomisk inbesparingspotential på över 88 €/m² jämfört med Standard fönstermodellen. Denna modell kunde ge fastigheten både en bra inbesparingspotential och bra termisk komfort i lägenheterna.

Tabell 8. Jämförelse av de tre avgörande fönstermodellerna.

Fönstermodell	Fjärrvärme (MWh/år)	Inbesparingspotential (€/m ²)	Termisk komfort PPD (%)
Optimi 1+2 170-172	385	84,57	16,95
Optimi 1+2 170-187	398	40,45	15,05
Optimi 2+2 170_127	384	88,19	15,14

Om vi jämför denna 2+2 fönstermodell med de värden vi har fått för de klart olika 1+2 fönstermodellerna (se tabell 8) så ser vi att denna modell kombinerar både inbesparingspotentialen och den termiska komforten som 1+2 fönstren har. Ett fönster med både lågt U-värde och lågt g-värde skapar den bästa kombinationen för denna fastighet. Optimi 2+2 170_127 är en klar vinnare i denna jämförelse, men till vilket pris?

Om vi antar att alla 2+2 fönstermodeller har en högre investeringskostnad än 1+2 fönstermodellerna, så blir det igen en fråga om att antingen prioritera de ekonomiska inbesparningarna eller den termiska komforten. Vi vet att det finns en 1+2 fönstermodell som kan potentiellt spara in lika mycket i energikostnader över fönstrets livslängd men som antagligen har en lägre investeringskostnad än denna 2+2 modell. Vi vet också att det finns en 1+2 fönstermodell som kommer till samma termiska komfort som denna 2+2 fönstermodell till antagligen ett lägre investeringspris. Endast genom att jämföra investeringskostnaderna för dessa fönster kan man säga exakt vilken modell är den mest ekonomiskt lönsamma. Tyvärr kan jag inte publicera informationen här, men det är min rekommendation att om någon är intresserad av resultatet så begär man en offert med investeringskostnaderna uträknade per m² fönsteryta från leverantören och jämför dem med inbesparingspotentialerna givna i detta examensarbete.

6.1 Rekommendation

Det är min rekommendation att det för denna fastighet väljs en fönstermodell av Inwido Finland Oy som hjälper fastigheten att skapa det bästa möjliga inomhusklimatet. Denna fastighet har ingen annan planerad aktiv kylning än ventilationsaggregatet, så fönstrens solskyddsförmåga kommer att spela en stor roll i att motverka övervärme. Skillnaden i investeringskostnaderna och inbesparingspotentialen mellan 1+2 fönstermodellerna, räknade över 40 år, är så små att fastighetens invånare säkerligen är villiga att stå för den kostnaden för att få en bättre termisk komfort i sin lägenhet.

Jag ser även ekonomisk lönsamhet i att välja den tidigare nämnda 2+2 fönstermodellen, även om dess investeringskostnader är betydligt högre än investeringskostnaderna för 1+2 fönstermodellerna. Denna lönsamhet grundar sig på den uträknade inbesparingspotentialen som presenterats i detta examensarbete och delvis även på antagandet att energipriserna kommer att fortsättningsvis stiga (Statistikcentralen 2019b). En fönstermodell som både är energisnål och som även skapar en god termisk komfort kommer att betala tillbaka sig själv under den tiden som fönstret är i bruk.

KÄLLOR

Cengel, Y., 2002, *Heat Transfer; A Practical Approach*, 2 uppl., McGraw-Hill.

Dutoo, G., Beck, W., Dolmans, D., Hall, A., Seppänen, O., 2011, *Aurinkosuojaus: Aurinkosuojausten suunnittelu kestävä kehityksen mukaisesti rakennuksiin*, Aurinkosuojaus: Suomen LVI-liitto, Helsingfors.

Energi- & klimatrådgivningen, 2018, *Fönster*, Stockholm.

Tillgänglig: <https://energiradgivningen.se/lagenhet/fonster> Hämtad: 05.05. 2019.

EQUA Simulation Ab, 2009, *IDA ICE 4: Getting Started*.

Tillgänglig: <https://www.equa.se/deliv/ICE4GettingStartedEng.pdf>

Hämtad: 16.05. 2019.

EQUA Simulation Ab, 2018, *IDA ICE Getting Started*.

Tillgänglig: <http://www.equaonline.com/iceuser/pdf/ICE48GettingStartedEng.pdf>

Hämtad: 05.05. 2019.

Finlands ByggBS, 2017, *Miljöministeriets förordning om nya byggnaders energiprestanda*, Miljöministeriet.

Tillgänglig: https://www.ym.fi/sv-FI/Markanvandning_och_byggande/Lagstiftning_och_anvisningar/Byggbestammelser/Energiprestanda Hämtad: 05.05. 2019.

FINVAC ry, 2017, *Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen*.

Tillgänglig: <https://www.finvac.org/iv-opaat> Hämtad: 06.05. 2019.

Helen Ab, 2018, *Ny prisperiod för fjärrvärme börjar*.

Tillgängligt: <https://www.helen.fi/sv/uutiset/2018/ny-prisperiod-for-fjarrvarme/>

Hämtad: 15.05. 2019.

Huttunen, R., 2017, *Statsrådets redogörelse om nationell energi- och klimatstrategi fram till 2030*, Arbets- och näringsministeriet.

Tillgänglig: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-192-0> Hämtad: 05.05. 2019.

International Standard, 2006, *ISO 7730:2006, Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, International Organization for Standardization.

Rakennustieto Oy, 2018, *RT 38-10941 Eristyslasit*.

Tillgänglig: <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/1520#page=1>

Hämtad: 19.05. 2019.

Pilkington, 2018, *Lasifakta 2018*, NGS Group.

Tillgänglig: <http://www.pilkington.com/fi-fi/fi/arkkitehdit-suunnittelijat/lasifakta-2018>

Hämtad: 05.05. 2019.

Statistikcentralen, 2019a, *Energianskaffning och -förbrukning*, 4:e kvartalet 2018, Figurbilaga 14, Slutförbrukning av energi enligt slutförbrukningssektor 2018*, Helsingfors. Tillgänglig:

http://www.stat.fi/til/ehk/2018/04/ehk_2018_04_2019-03-28_kuv_014_sv.html

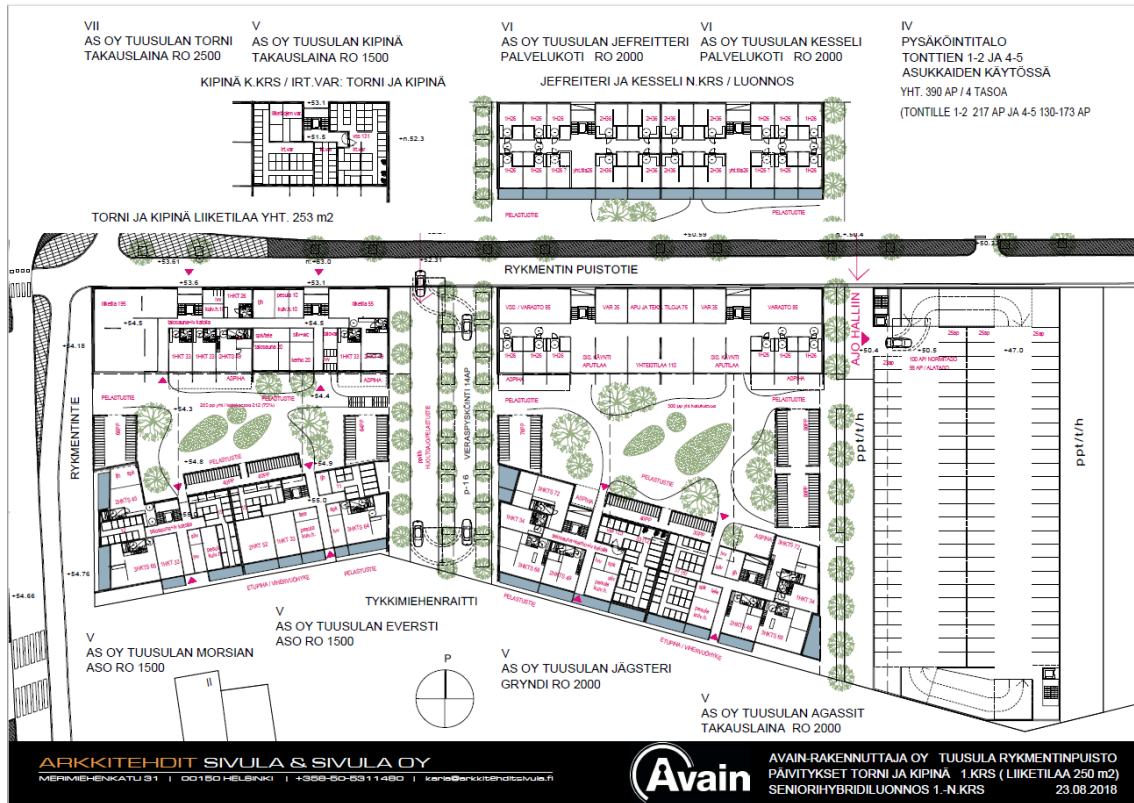
Hämtad: 05.05. 2019.

Statistikcentralen, 2019b, *Energipriser*, 4:e kvartalet 2018, Helsingfors.

Tillgänglig: http://www.stat.fi/til/ehi/2018/04/ehi_2018_04_2019-03-13_sv.pdf

Hämtad: 19.05. 2019.

Bilaga 1. Stadsplan för området Rykmentinpuisto



Bilaga 2. IDA ICE simulationsresultat för modeller med endast norra fasadens fönster ändrade

Fönstermodell	Fjärrvärme (kWh/år)	Energiförbrukning (kWh/år)	PDH (h)	PDH / persontimmar
Standard	409526	650257	408523	0,167633359
Optimi 1+2 170-124	395601	638904,8	414889	0,157992223
Optimi 1+2 210-345	392242	635543,6	419570	0,159774776
Optimi 1+2 170-172	391614	634918,8	416358	0,158551627
Optimi 1+2 170-187	396349	639649,9	397325	0,151303746
Optimi 1+2 170-212	394207	637511,2	401871	0,153034891
Optimi 2+2 170_81	389957	633247,8	411864	0,156840285
Optimi 2+2 170_93	389977	633270,7	404721	0,154120188
Optimi 2+2 170_103	388798	632091	405740	0,154508229
Optimi 2+2 170_117	391216	634516,8	393710	0,149927133
Optimi 2+2 170_127	389994	633289,4	395561	0,150632005

Bilaga 3. IDA ICE simulationsresultat för modeller med endast södra fasadens fönster ändrade

Fönstermodell	Fjärrvärme (kWh/år)	Energiförbrukning (kWh/år)	PDH (h)	PDH / persontimmar
Standard	409526	650257	408523	0,167633359
Optimi 1+2 170-124	398274	641572,4	417304	0,158912
Optimi 1+2 210-345	395517	638806,6	421809	0,160627
Optimi 1+2 170-172	395689	638981,5	419545	0,159765
Optimi 1+2 170-187	401745	645036,7	400481	0,152506
Optimi 1+2 170-212	399390	642691,5	404705	0,154114
Optimi 2+2 170_81	394203	637485,9	420708	0,160208
Optimi 2+2 170_93	395191	638479,1	413497	0,157462
Optimi 2+2 170_103	394100	637386,7	415956	0,158399
Optimi 2+2 170_117	397569	640865,7	401390	0,152852
Optimi 2+2 170_127	396433	639725	402877	0,153418

Bilaga 4. IDA ICE simulationsresultat för modeller med endast öst och väst fasadernas fönster ändrade

Fönstermodell	Fjärrvärme (kWh/år)	Energiförbrukning (kWh/år)	PDH (h)	PDH / persontimmar
Standard	409526	650257	408523	0,167633359
Optimi 1+2 170-124	401980	645284,2	412885	0,157229
Optimi 1+2 210-345	401104	644402,6	414995	0,158033
Optimi 1+2 170-172	401265	644564,6	412686	0,157153
Optimi 1+2 170-187	402777	646078,2	405817	0,154538
Optimi 1+2 170-212	402151	645454,7	408160	0,155430
Optimi 2+2 170_81	400585	643878,9	413101	0,157311
Optimi 2+2 170_93	400698	643992,7	409593	0,155975
Optimi 2+2 170_103	400400	643693,7	410551	0,156340
Optimi 2+2 170_117	401304	644603,1	405205	0,154304
Optimi 2+2 170_127	401072	644375,1	405413	0,154384

Bilaga 5. IDA ICE simulationsresultat för de olika fönstermodellerna (hela fastigheten)

Fönstermodell	Fjärrvärme (kWh)	kWh/m ²	Toppeffekt (kW)	Energiförbrukning (kWh)	kWh/ m ²	Toppeffekt (kW)	Inbesparningar	PDH (h)	PDH / persontimmar	U-värde	g-värde
Standard	409526	67,12	169,7	650257	106,6	197,3	0	408523	0,167633359	1	0,6
Optimi 1+2 170-124	392129	64,27	159,4	632847	103,7	187	60,46	412623	0,169315754	1,01	0,42
Optimi 1+2 210-345	385184	63,13	155,7	625894	102,6	183,3	84,60	424406	0,174150791	0,83	0,42
Optimi 1+2 170-172	385193	63,13	154,5	625904	102,6	182,1	84,57	413151	0,169532413	0,79	0,38
Optimi 1+2 170-187	397887	65,21	159,5	638615	104,7	187,1	40,45	366707	0,150474579	0,97	0,29
Optimi 1+2 170-212	392624	64,35	156,8	633345	103,8	184,4	58,74	378092	0,155146301	0,84	0,30
Optimi 2+2 170_81	381387	62,51	151,1	622096	102	178,7	97,79	411191	0,168728147	0,79	0,35
Optimi 2+2 170_93	382473	62,69	150,6	623185	102,1	178,2	94,02	393421	0,161436404	0,76	0,3
Optimi 2+2 170_103	379962	62,27	149	620669	101,7	176,6	102,74	397434	0,163083098	0,63	0,30
Optimi 2+2 170_117	386618	63,37	151,4	627337	102,8	179	79,61	365376	0,149928416	0,76	0,23
Optimi 2+2 170_127	384150	62,96	150,1	624867	102,4	177,7	88,19	368844	0,151351476	0,63	0,23
HÖGSTA VÄRDE	409526,0	67,1	169,7	650257,0	106,6	197,3	102,74	424406,0	0,174151	1,01	0,60
MEDELTAL	388830,3	63,7	155,3	629546,9	103,2	182,9	79,10	394524,4	0,161889	0,82	0,35
LÄGSTA VÄRDE	379962,0	62,3	149,0	620669,0	101,7	176,6	40,40	365376,0	0,149928	0,63	0,23

**Bilaga 6. Energicertifikat för fastigheten Tuusulan
Rykmentinpuisto As Oy Tornin ja Kipinä**

ENERGIATODISTUS 2018

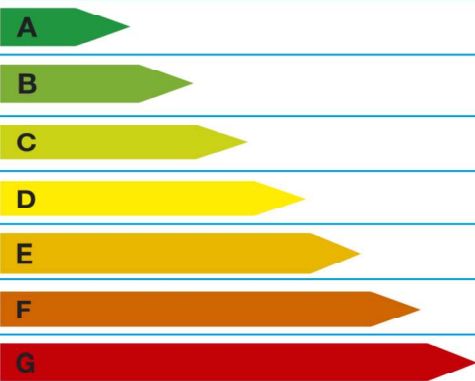

Rakennuksen nimi ja osoite: Tuusulan rykmentinpuisto As Oy Tori ja Kipinä
Rykmentintie 34
04300, TUUSULA

Pysyvä rakennustunnus:
Rakennuksen valmistumisvuosi: 2018
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka: Asuinkerrostalot, joissa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa

Todistustunnus: 137585

Energiatodistus on laadittu

- Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haettaessa
 Uudelle rakennukselle käyttöönottovaiheessa
 Olemassa olevalle rakennukselle, havainnointikäynnin päivämäärä:

	Energiatodistusluokka
	
A	
B	
C	
D	
E	
F	
G	

Rakennuksen laskennallinen
energiatodistusluokan vertailuluku eli E-luku
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimustaso

$\text{kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$

83

≤ 90

Todistuksen laatija:

Laaksonen, Eetu

Yritys:

Oy PQR Consult AB
Lars Sonckin kaari 12
02600, ESPOO

Sähköinen allekirjoitus:

Laaksonen, Eetu

26.3.2019 20:21:38

Todistuksen laatimispäivä:

26.3.2019

Viimeinen voimassaolopäivä:

26.3.2029

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA

Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

Lämmitetty nettoala 6358 m²
Lämmitysjärjestelmän kuvaus Patterilämmitys
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus TK1

Käytettävä energiamuoto	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	-	kWh _E /(m ² vuosi)
kaukolämpö	460 486	73	0,5	37
sähkö	247 240	39	1,2	47

Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

83

Rakennuksen energiatehokkuusluokka

Käytetty E-luvun luokittelusteikko

Asuinkerrostalot

Luokkien rajat asteikolla

A: ... 75	B: 76 ... 100	C: 101 ... 130
D: 131 ... 160	E: 161 ... 190	F: 191 ... 240
G: 241 ...		

Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka

B

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jotta eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulanapitolämmitykset ja ulkovaivat eivät sisälly E-lukuun.

TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI

Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)

Suosituksia on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitukseluokka Asuinkerrostalot, joissa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa
 Rakennuksen valmistumisvuosi 2018 Lämmitetty nettoala 6 358 m²

Rakennusvaippa

Ilmanvuotoluku q ₅₀	4,0	m ³ /(h m ²)		
	A	U	U×A	Osuus lämpöhäviöistä
	m ²	W/(m ² K)	W/K	%
Ulkoseinät	2 358,0	0,17	400,9	22 %
Yläpohja	841,0	0,10	79,9	4 %
Alapohja	841,0	0,16	134,6	7 %
Ikkunat	847,0	1,00	847,0	47 %
Ulko-ovet	198,0	1,00	198,0	11 %
Kylmäsillat	-	-	155,1	9 %

Ikkunat ilmansuunnittain

	A	U	g_{kohtisuora} -arvo	
	m ²	W/(m ² K)	-	
Pohjoinen	416,0	1,00	0,60	
Koillinen				
Itä	31,0	1,00	0,60	
Kaakko				
Etelä	332,0	1,00	0,60	
Lounas				
Länsi	68,0	1,00	0,60	
Luode				

Ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	TK1			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW / (m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto °C
Pääilmanvaihtokoneet	3,18 / 3,18	1,79	60 %	5,00
Erillispoistot	/		-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	3,18 / 3,18	1,79	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:	56 %			

Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Patterilämmitys			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuksen hyötysuhde	Lämpökerroin¹	Apulaitteiden sähkönkäyttö² kWh/(m ² vuosi)
Tilojen ja iv:n lämmitys	97 %	90 %	-	2,0
Lämpimän käyttöveden valmistus	97 %	97 %	-	0,1

¹ vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle

² lämpöpumppujärjestelmissä voi sisältyä vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen

	Määrä kpl	Tuotto kWh
Varaava tulisija	0	0
Ilmalämpöpumppu	0	0

Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin

-

Jäähdytysjärjestelmä

Lämmin käyttövesi

	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)
Lämmin käyttövesi	600	35

Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla

	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
Ihmiset	60 %	3,0		
Kuluttajalaitteet	60 %		4,0	
Valaistus	10 %			9,0

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET

Rakennuskohde

Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Asuinkerrostalot, joissa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa
Rakennuksen valmistumisvuosi	2018
Lämmitetty nettoala, m ²	6358
E-luku, kWh _e / (m ² vuosi)	83

E-luvun erittely

Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWh _e /vuosi	kWh _e /(m ² vuosi)
kaukolämpö	460 486	0,5	230 243	37
sähkö	247 240	1,2	296 688	47
YHTEENSÄ	707 726		526 931	83

Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)

	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	

Rakennuksen teknisten järjestelmien energiankulutus

	Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä			
Tilojen lämmitys ¹	2,0	11,9	-
Tuloilman lämmitys		18,8	-
Lämpimän käyttöveden valmistus	0,1	39,5	-
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus	7,9	-	-
Jäähdytysjärjestelmä			
Kuluttajalaitteet ja valaistus	28,9	-	-
YHTEENSÄ	39,0	71,0	0,0

¹ ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen

Energian nettotarve

	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys ²	67 678	11	
Ilmanvaihdon lämmitys ³	119 511	19	
Lämpimän käyttöveden valmistus	222 530	35	
Jäähdytys			

² sisältää vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa

³ laskettu lämmöntalteenoton kanssa

Lämpökuormat

	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko	181 872	29	
Henkilöt	100 253	16	
Kuluttajalaitteet	133 671	22	
Valaistus	50 126	8	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöistä	10 950	2	

Laskentatyökalun nimi ja versionumero

Laskentatyökalun nimi ja versionumero	CADS 18.0
---------------------------------------	-----------