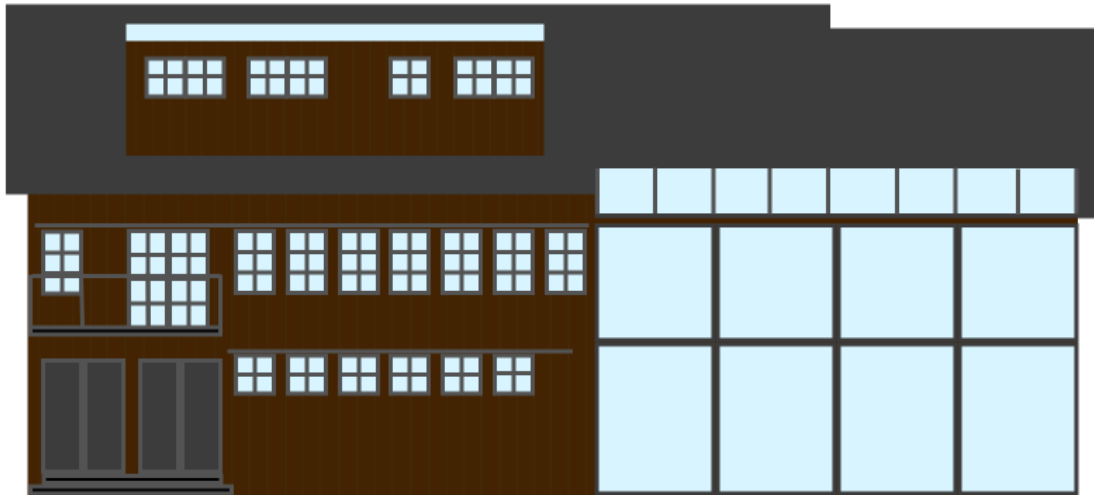




CHALMERS



# Analys av energismarta lösningar till en byggnad på Orust

Avdelningen för Elkraftteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2022  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



KANDIDATRAPPORT 2022

# Analys av energismarta lösningar till en byggnad på Orust

Monika Arvidsson, Beatriz Bento Hansson, Lisa Dacklin, Fredrik  
Johansson, Mats Persson, Ida Söderlind



**CHALMERS**

Institutionen för Elektroteknik  
*Avdelningen för Elkraftteknik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2022

Analys av energismarta lösningar till en byggnad på Orust  
Monika Arvidsson, Beatriz Bento Hansson, Lisa Dacklin, Fredrik Johansson, Mats  
Persson, Ida Söderlind

© Monika Arvidsson, Beatriz Bento Hansson, Lisa Dacklin, Fredrik Johansson,  
Mats Persson, Ida Söderlind, 2022.

Handledare: David Steen, Avdelningen för Elkraftteknik  
Examinator: Jimmy Ehnberg, Avdelningen för Elkraftteknik

Kandidatrapport 2022  
Institutionen för Elektroteknik  
Avdelningen för Elkraftteknik  
Chalmers Tekniska Högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telephone +46 31 772 1000

Omslag: Illustrering av den studerade byggnaden.

## Abstract

This report analyzes and evaluates various technical solutions that could contribute to make a planned building on the island Orust more energy-smart. These solutions include technologies that can convert and store energy locally and make the building more energy efficient. The report has therefore been divided into three categories: energy supply, efficiency and storage, where calculations and literature studies have been the basis for evaluating which solutions would be worth implementing. The result indicates that solar cells have the highest potential for energy supply, awning for energy efficiency and the accumulator tank for energy storage. The study has concluded that there are two technical solutions that are worth implementing for the building and these are solar cells and awning in the energy supply and energy efficiency categories. Implementation of energy storage was not considered necessary as there would not be enough surplus energy.

## Sammanfattning

I denna rapport analyseras samt utvärderas olika tekniska lösningar som skulle kunna bidra till att göra en redan färdigprojekterad byggnad ute på Orust mer energismart. Dessa lösningar innefattar tekniker som kan omvandla och lagra energi lokalt samt energieffektivisera byggnaden. Rapporten har därför delats in i tre kategorier: energitillförsel, energieffektivisering och energilagring där beräkningar och litteraturstudier varit till grund för utvärdering av vilka lösningar som skulle vara värda att implementera. Resultatet indikerar att solceller har högst potential inom energitillförsel, solskydd inom energieffektivisering samt ackumulatortank inom energilagring. Studien har bedömt att det finns två tekniska lösningar som är värda att implementera till byggnaden och dessa är solceller samt solskydd inom energitillförsels- respektive energieffektiviseringskategorin. Implementering av energilager bedömdes inte aktuellt då det inte skulle finnas tillräckligt med överskottsenergi.

Keywords: energismart, energieffektivisering, energilagring, energitillförsel, energi-användning.

## Förord

Kandidatarbetet pågick under perioden januari 2022 till och med maj samma år. Rapporten *Analys av energismarta lösningar till en byggnad på Orust* har skrivits vid avdelningen Elkraftteknik på institutionen Elektroteknik på Chalmers tekniska högskola.

Vi skulle vilja rikta ett stort tack till Orust Kretsloppsakademi för deras stöd och handledning, vår handledare David Steen på Chalmers för hans engagemang och återkoppling och Niklas Krafft på Svenska Skaldjur AB. Vi vill även tacka vår examinator Jimmy Ehnberg för att ha bidragit med goda råd under arbetets gång och Carin Lundqvist för responsen.

Monika Arvidsson, Beatriz Bento Hansson, Lisa Dacklin,  
Fredrik Johansson, Mats Persson, Ida Söderlind  
Göteborg, maj 2022



# Nomenklatur

Nedan följer nomenklaturen av beteckningar och förkortningar som använts i rapporten.

## Beteckningar

$Q$	Värmeenergi (Wh)
$\dot{Q}$	Värmeeffekt (W)
$\psi$	Värmegenomgångskoefficient linjär köldbrygga (W/mK)
$\chi$	Värmegenomgångskoefficient punktköldbrygga (W/K)
$U$	Värmegenomgångskoefficient för en byggnadsdel (W/m <sup>2</sup> K)
$R$	Termiskt motstånd (K/W)
$k$	Konduktiv värmeledningsförmåga (W/mK)
$h$	Konvektiv värmeledningsförmåga (W/m <sup>2</sup> K)
$Nu$	Nusselt-talet (-)
$Ra$	Rayleigh-talet (-)
$Gr$	Grashof-talet (-)
$Pr$	Prandtl-talet (-)
$T$	Temperatur (K)
$t$	Tid (s)
$D$	Tid (dagar)
$r$	Radie (m)
$L$	Höjd (m)
$A$	Area (m <sup>2</sup> )
$m$	Massa (kg)
$c_p$	Specifik värmekapacitet (J/kgK)

---

## Förkortningar

BBR	Boverkets byggregler
COP	Coefficient of performance
DOD	Depth of discharge
NREL	National Renewable Energy Laboratory
Sveby	Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader
VVC	Varmvattencirkulation

# Innehåll

<b>Nomenklatur</b>	<b>vi</b>
<b>Figurer</b>	<b>xii</b>
<b>Tabeller</b>	<b>1</b>
<b>1 Introduktion</b>	<b>2</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	2
1.2 Syfte . . . . .	3
1.3 Problem . . . . .	3
1.4 Avgränsningar . . . . .	3
1.4.1 Beräkningar . . . . .	4
1.4.2 Ekonomi . . . . .	4
1.4.3 Miljöpåverkan . . . . .	4
<b>2 Analys av den projekterade byggnaden</b>	<b>5</b>
2.1 Beskrivning av byggnaden . . . . .	6
2.2 Energibalans för en byggnad . . . . .	6
2.3 Energiberäkning från projektering . . . . .	8
<b>3 Teori</b>	<b>10</b>
3.1 Energitillförsel . . . . .	10
3.1.1 Solceller . . . . .	10
3.1.2 Vindkraft . . . . .	11
3.1.3 Frikyla . . . . .	11
3.2 Energieffektivisering . . . . .	13
3.2.1 Förbättringar av klimatskalet . . . . .	13
3.2.2 Solskydd . . . . .	14
3.2.3 Värmeåtervinning spillvatten . . . . .	15
3.3 Energilagring . . . . .	15
3.3.1 Batteri . . . . .	15
3.3.2 Termisk lagring . . . . .	16
3.4 Ekonomi . . . . .	18
3.4.1 Nuvärdesmetoden . . . . .	19
3.4.2 Annuitetsmetoden . . . . .	19
3.4.3 Återbetalningsmetoden . . . . .	19

<b>4</b>	<b>Metod</b>	<b>20</b>
4.1	Fas 1: Idégenerering och litteraturstudie . . . . .	20
4.2	Fas 2: Idékatalog och sällning av lösningar . . . . .	21
4.3	Fas 3: Analys och sammanställning av resultat . . . . .	21
4.4	Analysmetodik för teknikerna inom energitillförsel . . . . .	21
4.4.1	Solceller . . . . .	21
4.4.2	Vindkraft . . . . .	22
4.4.3	Frikyla . . . . .	24
4.5	Analysmetodik för teknikerna inom energieffektivisering . . . . .	25
4.5.1	Förbättringar i klimatskalet . . . . .	25
4.5.2	Solskydd . . . . .	25
4.5.3	Värmeåtervinning från avloppsvatten . . . . .	26
4.6	Analysmetodik för teknikerna inom energilagring . . . . .	26
4.6.1	Batteri . . . . .	26
4.6.2	Termisk lagring i damm . . . . .	27
4.6.3	Akkumulatortank . . . . .	30
<b>5</b>	<b>Resultat</b>	<b>33</b>
5.1	Energitillförsel . . . . .	33
5.1.1	Solceller . . . . .	33
5.1.2	Vindkraft . . . . .	36
5.1.3	Frikyla . . . . .	38
5.2	Energieffektivisering . . . . .	39
5.2.1	Förbättringar i klimatskalet . . . . .	39
5.2.2	Solskydd . . . . .	43
5.2.3	Värmeåtervinning från avloppsvatten . . . . .	45
5.3	Energilagring . . . . .	46
5.3.1	Batteri . . . . .	46
5.3.2	Termisk lagring i damm . . . . .	48
5.3.3	Akkumulatortank . . . . .	49
5.4	Sammanfattning av resultat . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Diskussion och slutsats</b>	<b>52</b>
6.1	Energitillförsel . . . . .	52
6.2	Energieffektivisering . . . . .	53
6.3	Energilagring . . . . .	54
6.4	Slutsats . . . . .	55
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>Energiberäkning</b>	<b>I</b>
<b>B</b>	<b>Elimineringsmatriser</b>	<b>XVIII</b>
<b>C</b>	<b>Bortsållade idéer från idékatalogen</b>	<b>XXII</b>
C.1	Energitillförsel . . . . .	XXII
C.1.1	Solfångare . . . . .	XXII

## Innehåll

---

C.1.2	Bergvärme . . . . .	XXII
C.1.3	Havsvärme . . . . .	XXII
C.1.4	Jordvärme . . . . .	XXIII
C.1.5	Tidvattenkraftverk, Minesto . . . . .	XXIII
C.1.6	Minikärnkraftverk . . . . .	XXIII
C.1.7	Perovskit-fönster . . . . .	XXIII
C.1.8	Småskaligt vattenkraftverk . . . . .	XXIII
C.1.9	Luft-vatten värmepump . . . . .	XXIII
C.1.10	Luft-luft värmepump . . . . .	XXIV
C.1.11	Vågkraft . . . . .	XXIV
C.1.12	OTEC . . . . .	XXIV
C.2	Energieffektivisering . . . . .	XXIV
C.2.1	Slussdörrar/Extra entrédörrar . . . . .	XXIV
C.2.2	FTX-Ventilation . . . . .	XXV
C.2.3	Enjay, Värmeväxlare för köksventilation . . . . .	XXV
C.2.4	Smart belysning . . . . .	XXV
C.2.5	Ground air exchanger innan FTX-aggregat . . . . .	XXV
C.2.6	Vind för att driva ventilation (aspirotor) . . . . .	XXVI
C.2.7	Dynamiska fönster, Peafowl . . . . .	XXVI
C.3	Energilagring . . . . .	XXVI
C.3.1	Fasövergångsmaterial . . . . .	XXVI
C.3.2	Pumplagrad vattenkraft . . . . .	XXVI
C.3.3	Supraleddande magnetisk energilagring . . . . .	XXVI
C.3.4	Tryckluftslagring . . . . .	XXVII
C.3.5	Vätgas . . . . .	XXVII
C.3.6	Återladdning av bergvärmehål . . . . .	XXVII
C.3.7	Saltbehållare . . . . .	XXVII
<b>D</b>	<b>Beskrivning av köksutrustning</b>	<b>XXVIII</b>
<b>E</b>	<b>Uppskattningar av verksamhetens varierande behov av elektrisk energi</b>	<b>XXXV</b>

# Figurer

2.1	Omgivningen där det projekterade huset med tillhörande parkering ska byggas. Bilden visar även ett skjul till höger i bilden som redan står på tomten och längst ned en damm intill en slänt. . . . .	6
2.2	Illustration av vanliga energisorter i en byggnads energibalans. . . . .	7
2.3	Byggnadens energibalans över ett år enligt energiberäkningen från projektering. . . . .	9
3.1	Illustration av direkt samt indirekt frikyla. . . . .	12
3.2	Principskiss för en motströmsvärmväxlare. Kallt medie rinner motströms förbi det varma mediet och ger upphov till en värmeöverföring. . . . .	12
3.3	En illustration över hur ett batteri fungerar när det används. Från [29], CC BY-SA 4.0. Omarbetad. . . . .	16
4.1	Illustrering av projektets metodik. . . . .	20
4.2	Effektkurva för ett horisontellt vindkraftverk. . . . .	23
4.3	Effektkurva för ett vertikalt vindkraftverk. . . . .	23
4.4	Illustrering av värmeförluster och temperaturer i dammen vid lock, vägg och botten. . . . .	28
4.5	Illustration av värmeförluster och temperaturer vid dammens lock. . . . .	29
4.6	Illustration av värmeförluster och temperaturer vid dammens botten. . . . .	29
4.7	Illustration av värmeförluster och temperaturer vid dammens vägg. . . . .	29
4.8	Skiss av ackumulatortanken. . . . .	31
4.9	Illustration av värmeförluster och temperaturer vid ackumulatortankens topp. . . . .	31
4.10	Illustration av värmeförluster och temperaturer vid ackumulatortankens vägg. . . . .	31
4.11	Illustration av värmeförluster och temperaturer vid ackumulatortankens botten. . . . .	32
5.1	Illustrering av antalet solceller som fick plats på taket och fasaden. . . . .	34
5.2	Genererad elektrisk energi från 172 solceller fördelade på husets tak och fasad i sydostlig riktning, skjulets tak i ostsydostlig riktning samt slänt i sydlig riktning. . . . .	34
5.3	Planerad placering av solceller på carport, intilliggande skjul samt slänt ned mot dammen. . . . .	35

5.4	Genererad elektrisk energi från 339 solceller fördelade på husets tak i sydostlig riktning, skjulets tak i ostsydostlig riktning, slänt i sydlig riktning samt carportens tak i sydvästlig riktning. . . . .	35
5.5	Genererad elektrisk energi över ett genomsnittligt år i Lysekil med ett vertikalt vindkraftverk. . . . .	37
5.6	Modellering av hur effekt från frikyla varierar med havstemperatur. . . . .	38
5.7	Graf som visar transmissionsförlusten över ett år för projekterat klimatskal samt två förbättrade alternativ. . . . .	41
5.8	Graf som visar transmissionsförluster för de tre alternativen och den antagna internvärmens från energiberäkningen under en kall dag. . . . .	42
5.9	Graf som visar transmissionsförluster för de tre alternativen och den antagna internvärmens från energiberäkningen under en varm dag. . . . .	42
5.10	Solinstrålning genom fönster med respektive utan markiser. . . . .	44
5.11	Solinstrålning genom glaspartier med respektive utan markiser. . . . .	44
5.12	Graf över förhållandet mellan den utvunna elektriska energin från solpaneler och ett vertikalt vindkraftverk och verksamhetens varierande behov en vardag baserat på uppskattning av energibehovet vid lågsäsong. . . . .	47
5.13	Graf över förhållandet mellan den utvunna elektriska energin från solpaneler och ett vertikalt vindkraftverk och verksamhetens varierande behov utifrån uppskattning för låg och högsäsong. . . . .	47
5.14	Energiinnehåll i dammen som funktion av dammens temperatur. . . . .	48
E.1	Diagram över den genererade elektriska energin från fall 2 av solceller och ett vertikalt vindkraftverk samt den uppskattade varierande elektriska energibehovet under lågsäsong. Den genererade energin är för den 25:e april, ett godtyckligt valt datum. . . . .	XXXV
E.2	Diagram över den genererade elektriska energin från fall 2 av solceller och ett vertikalt vindkraftverk samt den uppskattade varierande elektriska energibehovet under högsäsong. Den genererade energin är för den 18:e juli, ett godtyckligt valt datum. . . . .	XXXVI

# Tabeller

2.1	Beskrivning av energibalansens parametrar. . . . .	7
2.2	Jämförelse mellan byggnadens prestanda och krav från BBR. . . . .	8
4.1	Data för beräkningar av lönsamhet för solceller. Där $n$ är livslängden, $r$ är kalkylräntan, $C$ är nusummefaktorn och $a_f$ är annuitetsfaktorn .	22
4.2	Data för beräkningar av lönsamhet för vindkraftverk. Där $n$ är livslängden, $r$ är kalkylräntan, $C$ är nusummefaktorn och $a_f$ är annuitetsfaktorn. . . . .	24
4.3	Data över den maximala momentana solinstrålningen för respektive väderstreck under en sommardag. . . . .	25
5.1	Resterande tekniker för energitillförsel, energieffektivisering och energilagring som behövs för vidare analys efter elimineringsmatrisen. . .	33
5.2	Resultat av lönsamhet för investering av solceller för fall 1 och 2. Där $G$ är grundinvesteringen, $B$ är besparingen per år, $N$ är nuvärdet, $A$ är annuiteten och $\dot{A}$ är återbetalningstiden. . . . .	36
5.3	Vinddata från ett normal år på Orust respektive Lysekil. . . . .	36
5.4	Elproduktion för Orust respektive Lysekil under ett genomsnittligt år. . . . .	37
5.5	Resultat av lönsamhet för investering av vindkraftverk. Där $G$ är grundinvesteringen, $B$ är besparingen per år, $N$ är nuvärdet, $A$ är annuiteten och $\dot{A}$ är återbetalningstiden. . . . .	38
5.6	Genomsnittlig havstemperatur, energi samt effektdata för frikyla månadsvis. . . . .	39
5.7	Visar U-värden för projekterade och undersökta klimatskalslösningar. . . . .	40
5.8	Beräknade transmissionsförluster genom klimatskalet för ett år. . . . .	41
5.9	Area för fönster och glaspartier i respektive väderstreck. . . . .	43
5.10	Resultat från beräkningar av besparing för värmeåtervinning från avloppsvatten. . . . .	46
5.11	Beräknade värmeförluster samt yttemperaturer för dammen. . . . .	48
5.12	Värmeförluster samt yttemperaturer på ackumulatortank. . . . .	49
5.13	Resultat för olika lösningar inom energitillförsel presenteras med fördelar, nackdelar och potential. . . . .	50
5.14	Resultat för olika lösningar inom energieffektivisering presenteras med fördelar, nackdelar och potential. . . . .	50
5.15	Resultat för olika lösningar inom energilagring presenteras med fördelar, nackdelar och potential. . . . .	51

# 1

## Introduktion

Vintern 2021/2022 nådde elpriserna rekordhöga belopp som en konsekvens av ett lågt utbud och hög efterfrågan på elektrisk energi samt förhöjda råoljepriser i världen [1]. Osäkerheten på energimarknaden fortsatte i och med Rysslands invasion av Ukraina i slutet av februari 2022. Kriget har drivit upp gaspriserna och följaktligen de svenska elpriserna [2]. Detta har lett till att fler fastighetsägare har fått högre elkostnader och ett större behov av att se över sin energianvändning. Idag finns många olika tekniker och alternativ för att minska en byggnads energianvändning, men det är inte alltid lätt att avgöra vilka tekniker som är applicerbara. I en byggnad samverkar många olika tekniker och tillsammans bidrar de till byggnadens totala energiförbrukning, vilket gör det intressant att analysera energifrågan ur ett holistiskt perspektiv.

Att ta tillvara på energin i en byggnad på ett så effektivt sätt som möjligt har ekonomiska och miljömässiga motiv, att minimera kostnader och minimera byggnadens miljöpåverkan under sin livscykel. År 2015 enades världens länder i Parisavtalet att den globala uppvärmningen ska hållas under två grader för att de globala miljömålen ska uppfyllas [3]. Sverige är en del av denna omställning och det nationella målet är att nå ett netto-noll utsläpp senast år 2045 [4]. För att dessa mål ska uppnås krävs det att energifrågan tas på allvar. Faktum är att byggnader står för ungefär 40 % av den globala energiförbrukningen och 33 % av världens totala utsläpp av växthusgaser [5]. Genom att analysera byggnader, dess energibehov och tekniska lösningar kan medvetenheten kring energifrågan ökas vilket kan bidra till att reducera den totala energiåtgången.

### 1.1 Bakgrund

På Orust nordväst om Göteborg planerar Västsvenska Skaldjur AB att utveckla sin verksamhet och uppföra en byggnad där fiskberedning-, restaurang- och bageriverksamhet får plats. Företagets vision är att skapa en energismart byggnad, där modern teknik används för att uppnå energismarta lösningar som kan sänka dess driftskostnader. I denna rapport tolkas energismart som att ta tillvara på den tillförda energin på ett så energieffektivt sätt som möjligt samt sträva efter att använda förnybar energi som energikälla.

För att verkställa deras vision har de tagit hjälp av intresseorganisationen Orust

Kretsloppsakademi som arbetar för att hitta klimatsmarta lösningar på Orust. Organisationen har i sin tur lagt fram ett förslag till ett kandidatarbete på Chalmers tekniska högskola i Göteborg där uppgiften handlar om att undersöka olika tekniska lösningar som kan bidra till att skapa en energismart byggnad.

### 1.2 Syfte

Syftet med projektet är att analysera samt utvärdera olika tekniska lösningar som energieffektiviserar, omvandlar eller lagrar energi lokalt för att bidra till att skapa en energismart byggnad.

### 1.3 Problem

För att skapa en energismart byggnad krävs det att den projekterade byggnaden analyseras utifrån ett energiperspektiv. Huvudproblemet i projektet är att hitta samt utvärdera teknologier som kan vara tillämpbara för att göra byggnaden mer energismart. De tekniska lösningarna delas in i olika kategorier enligt följande:

- Energitillförsel
- Energieffektivisering
- Energilagring

Energitillförsel avser tekniska lösningar som omvandlar energi lokalt och strävar efter att utnyttja lokala naturresurser i området. Energieffektivisering avser att optimera användningen av den energi som tillförs till byggnaden och dess system genom att exempelvis öka isolering i väggar eller återvinna energi från olika system. Slutligen syftar energilagring till att lagra eventuellt överskott av energi för att tillgodose byggnaden när behov finns. Samverkandet av dessa teknologier kan bidra till att skapa en energismart byggnad.

### 1.4 Avgränsningar

Studien syftar till att analysera byggnadens drift och tar därmed inte hänsyn till byggprocessens energianvändning. Dessutom är projektet av konceptuell karaktär och inkluderar inte att tekniska lösningar verifieras fysiskt i verkligheten. Analysen utgår även ifrån att byggnaden är färdigprojekterad och att inga större förändringar kan genomföras under byggprocessen. Därmed ligger fokus på att analysera lösningar som kan adderas till byggnaden i ett senare skede. Exempelvis inkluderar projektet inte att undersöka kyl- och frysrum för byggnaden, särskilt då underlaget för detta område var bristande och projektet bedömdes vara tillräckligt omfattande för rådande tidsramar. Ett undantag görs gällande analyser på klimatskalet där det genomförs en undersökning om hur ökad isolering eller bättre fönster skulle påverka energibalansen.

### 1.4.1 Beräkningar

Byggnadens energianvändning studeras med hjälp av statiska beräkningar och därmed utförs inte dynamiska beräkningar och simuleringar. Denna avgränsning görs dels på grund av arbetets breda undersökande karaktär och dels av komplexiteten i byggnadens energisystem. Indatan i studien baseras på data från uppdragsgivare, schablonvärden inom branschen, meteorologisk data samt generella antaganden. Dessa görs där information saknas och för att underlätta beräkningar.

### 1.4.2 Ekonomi

Lönsamhetsberäkningar i form av besparing, nuvärde samt återbetalningstid görs enbart inom kategorin energitillförsel, och enbart för teknikerna solceller och vindkraft. När det gäller tekniker där systemet är för komplext och resurskrävande för att kunna uppskatta grundinvesteringen görs inga lönsamhetsberäkningar.

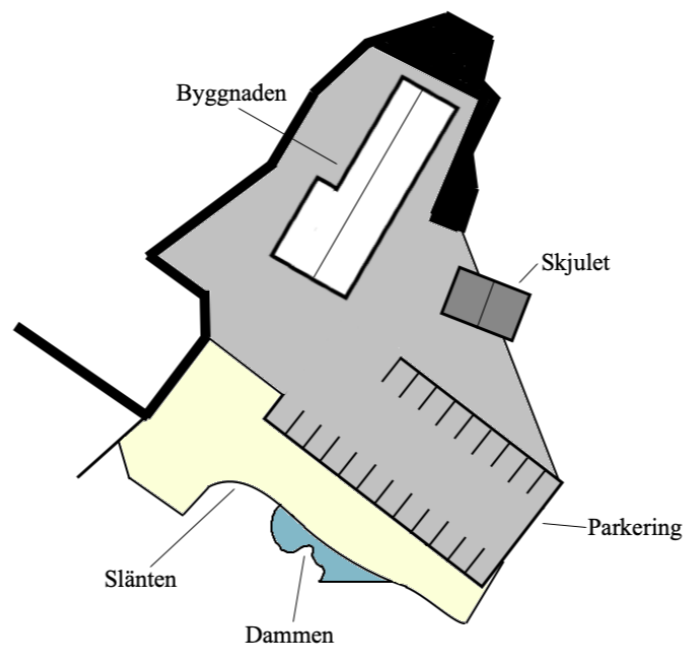
### 1.4.3 Miljöpåverkan

De olika teknikernas miljöpåverkan, både vad gäller den direkta omgivningen och tillverkningsprocessen kommer inte att tas hänsyn till. Kompletta livscykelanalyser av de olika teknikerna kommer därmed inte heller att göras då det är för tidskrävande och projektets fokus ligger på teknikernas effektivitet och potential.

# 2

## Analys av den projekterade byggnaden

Orust är en ö-kommun, nordväst om Göteborg som består av ön Orust tillsammans med mindre omkringliggande öar i skärgården [6]. Den projekterade byggnaden ska byggas på Lavöns nordvästra spets, i närheten av Ellös på Orust. Från planbestämmelserna är tomten drygt 0,25 ha där marken till stora delar består av berg [7]. Tomten innehar sedan innan ett mindre skjul som kommer att användas som bland annat miljörum och förvaringsutrymme. Den projekterade omgivningen kan ses illustrerad i figur 2.1, där den planerade parkeringsytan också syns. Det finns även en damm sedan innan på platsen. Ned mot dammen vetter en slänt, med en längd av 30 m, i sydlig riktning. Platsen är öppen och det finns inga höga träd eller hus som skymmer platsen nämnvärt från sol eller skyddar mot vind. Intill byggnaden ska det byggas en brygga vid havet som är avsedd för fiskeverksamheten och besökande restuaranggäster under sommarhalvåret. Verksamheten kommer att bedrivas med säsongsvaerationer och med högsäsong under sommaren.



**Figur 2.1:** Omgivningen där det projekterade huset med tillhörande parkering ska byggas. Bilden visar även ett skjul till höger i bilden som redan står på tomten och längst ned en damm intill en slänt.

### 2.1 Beskrivning av byggnaden

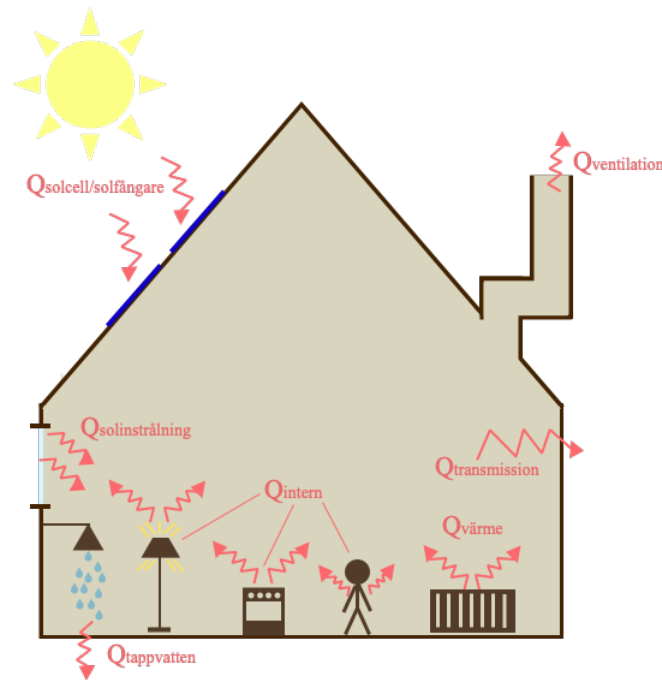
Byggnaden som ska undersökas kommer att ha tre våningar som är på ungefär  $500 \text{ m}^2$  per våning. De två nedersta våningarna planeras att byggas med prefabricerade betongbjälklag och med en samverkande stålkonstruktion. Vindsvåningen och takkonstruktionen byggs till stora delar av trä och takets utformning är sadeltak. På entréplan ska en restaurang inklusive köksdel samt en produktionsdel för fiskeriet med tillhörande kylrum finnas. Vidare kommer våning två rymma ett bageri samt utrymmen för kontor och servering. På vindsvåningen ska plats för teknikrum, förråd och ett personalutrymme finnas. Byggnationen förväntas pågå från början av år 2022 och vara färdigställt i februari år 2023.

### 2.2 Energibalans för en byggnad

I följande kapitel presenteras en kort teoretisk bakgrund till en byggnads energibalans och vad den innefattar, för att i nästa delkapitel (2.3) kunna presentera resultatet av en energiberäkning som är gjord i projekteringen.

Energibalansberäkningar visualiserar en balans kring energi till och från en definierad systemgräns. I detta fall är systemgränsen en byggnad där balansen delas in i tillförd energi och bortförd energi. Figur 2.2 exemplifierar en byggnads generella energibalans med de olika energiposter som går till och från en byggnad samt den

ackumulerade energin inuti en byggnad.



**Figur 2.2:** Illustration av vanliga energisorter i en byggnads energibalans.

Energibalansen för vad som kommer in och ut i byggnaden i figur 2.2 kan ställas upp enligt ekvation 2.1

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{ventilation}} + Q_{\text{transmission}} + Q_{\text{tappvatten}} &= \\
 = Q_{\text{solinstrålning}} + Q_{\text{solcell/solfångare}} + Q_{\text{intern}} + Q_{\text{värme}} & \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

där vänsterledet består av bortförd energi och högerledet tillförd energi. Förklaring för respektive parameter beskrivs närmare i tabell 2.1.

**Tabell 2.1:** Beskrivning av energibalansens parametrar.

Bortförd energi	Beskrivning
$Q_{\text{ventilation}}$	Förluster från ventilation
$Q_{\text{transmission}}$	Förluster från transmission och luftläckage.
$Q_{\text{tappvatten}}$	Förluster från tappvatten
Tillförd energi	Beskrivning
$Q_{\text{solinstrålning}}$	Tillskott av solenergi genom fönster
$Q_{\text{solcell/solfångare}}$	Energi från solceller/solfångare
$Q_{\text{intern}}$	Inkluderar personvärme, belysning, processenergi etc
$Q_{\text{värme}}$	Energi för att värma byggnaden

## 2.3 Energiberäkning från projektering

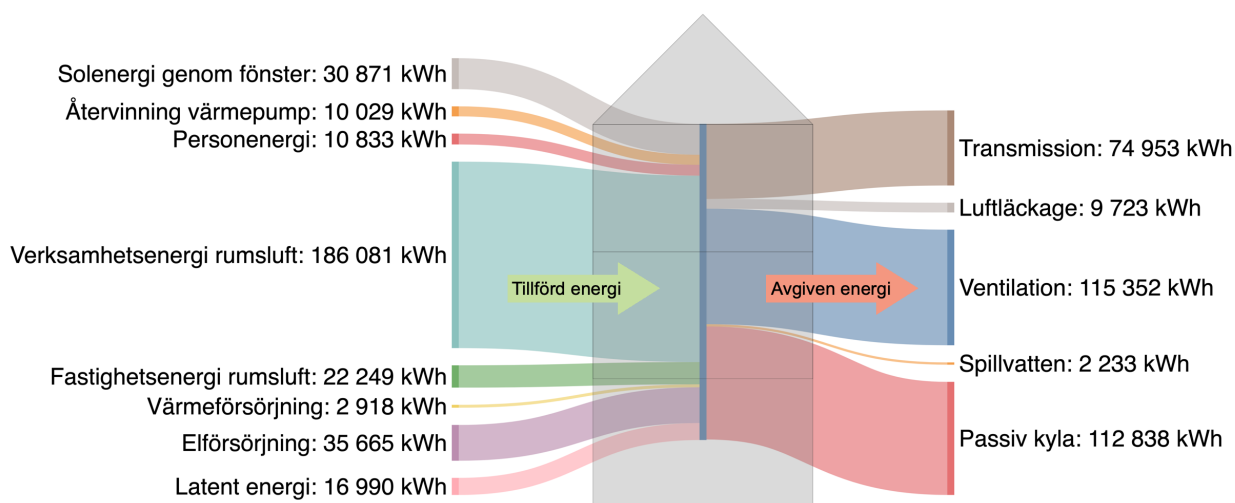
I projektets arbetsprocess har dokument från projekteringen av byggnaden varit tillgängliga. Ett av dessa dokument är en energiberäkning som sammanställer information kring byggnadens tekniska system, energiprestanda och energibalans. Energiberäkningen är utförd av konsulter och finns i sin helhet i appendix A. I dokumentet presenteras resultatet av en energisimulering gjord med programvaran VIP energy. I simuleringen har all känd data kring byggnaden tagits i beaktning. Energiberäkningens främsta mål är att undersöka huruvida byggnaden klarar de övergripande kravställningar på energihushållning från Boverket som sammanfattas i Boverkets byggregler (BBR) [8]. Byggnadens energiprestanda kan ses i tabell 2.2 där dessa värden jämförs med krav enligt BBR. Tabellen visar att kraven enligt BBR uppfylls med viss marginal.

**Tabell 2.2:** Jämförelse mellan byggnadens prestanda och krav från BBR.

Kravställning	Krav enligt BBR	Byggnadens energiprestanda
Energiprestanda	$\leq 125,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$	88,8 kWh/m <sup>2</sup> per år
Genomsnittlig U-värde	$\leq 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,306 W/m <sup>2</sup> K

Enligt energiberäkningen kommer byggnadens uppvärmning, kylning och produktion av varmvatten att ske med bergvärme som har en värmefaktor (COP-värde) på 4,3. Värmefaktorn anger mängden värmeeffekt som avges vid en viss tillförd eleffekt och enligt [9] är värmefaktorn ofta mellan 3-4 vilket tyder på att 4,3 är ett bra värde. Vidare kommer ventilationsanläggningen ha ett FTX-system med en värmeväxlare med en verkningsgrad på 86,5 %. FTX står för till- och frånluftsventilation med värmeväxlare och är en typ av system som är vanligt förekommande i byggnader som ventileras kraftigare än bostäder, exempelvis fastigheter för skolor, kontor, sjukhus och varuhus [9]. Värmeväxlarens verkningsgrad avgör hur stor andel av den värmen som förs ut från byggnaden med frånluften återvinns och sedan överförs till den kalla inkommande luften. Byggnaden kommer att ha en uppvärmd yta,  $A_{temp}$ , som motsvarar 1 108 m<sup>2</sup>.

Resultatet från energiberäkningen specificerar energin som tillförs och avges till byggnaden och redovisas i figur 2.3 nedan. Eftersom kraven i BBR främst rör fastighetens energibalans specificeras inte verksamhetens olika delar av energiförbrukning i energibalansen. Detta leder till att verksamhetens elförsörjning göms i andra energiposter såsom verksamhetsenergi.



**Figur 2.3:** Byggnadens energibalans över ett år enligt energiberäkningen från projektering.

De två största posterna gällande tillförd energi är verksamhetsenergi och elförsörjning. Verksamhetsenergi är den energin som krävs för att hålla verksamheten och dess teknik igång med undantag för kyl- och frysrum. Då verksamheten kommer att bedriva bageri, restaurang och fiskberedning förväntas denna energipost bli relativt stor. Verksamhetsenergin räknas även som ett vämetillskott i byggnaden vilket resulterar i att värmeförsörjningen behöver stå för en mindre andel av byggnadens tillförda energi. Till elförsörjning räknas elenergin som krävs för att fastighetens system ska fungera, kategorin innefattar elförsörjning till bergvärmepump, ventilationens fläktar och vattenpumpar.

När det kommer till byggnadens största energiförluster är de enligt figur 2.3 förluster från ventilation, passiv kyla och transmission. Posten för ventilation innefattar förlorad energi från ventilationssystemet. Återvunnen energi från FTX-systemet är subtraherad från ventilationens totala avgivna energi och posten är den resulterande energiförbrukning som ventilationen står för. Med passiv kyla menas den kylning som krävs för att ventilationsluften ska ha rätt temperatur vid tidpunkter då byggnaden är för varm. Kylan fås enligt projekteringen från bergvärmepumpen. Vidare innefattar transmissionsförluster värmeenergi som förloras genom byggnadens väggar, golv, tak, fönster och dörrar.

Simuleringen i VIP Energy kräver att vissa antaganden görs eftersom verksamheten är under projektering. Enligt konsulten som gjort energiberäkningen har ett värsta scenario antagits och beräkningen har utgått ifrån det. Med det menas att ventilationsflöden är på hela dygnet och att en relativt hög schablon för verksamhetsenergi tagits fram.

# 3

## Teori

Följande kapitel beskriver den teori som ligger till grund för de olika tekniska lösningar som arbetet kommer att utgå ifrån. Vidare kommer teorin presenterad under detta avsnitt att ligga till grund för metod samt resultatdelen i rapporten. De olika teorierna som presenteras är uppdelade i energitillförsel, energieffektivisering och energilagring.

### 3.1 Energitillförsel

Valet av energitillförsel är en viktig del när det gäller en byggnads miljöpåverkan. I följande kapitel tas teknikerna solceller, vindkraft och frikyla upp som kan användas för att omvandla energi lokalt och på så sätt nyttja tillgänglig energi som annars hade gått förlorad.

#### 3.1.1 Solceller

Solcellspaneler producerar elektricitet från solinstrålning. Likström genereras då elektroner i halvledare exciteras av energin i det infallande solljuset [10], [11]. Den maximala solinstrålningen, det vill säga den energi solljuset har när den träffar en platt yta vid ekvatorn med en ortogonal infallsvinkel är cirka  $1\,000\text{ W/m}^2$  [10]. Energiinnehållet i solinstrålningen påverkas av hur mulet det är och hur lång sträcka solljuset måste färdas genom jordens atmosfär. Därmed blir solcellers elproduktion lägre på vintern samt i början och slutet av dagen när solen står lägre [10]. Potentialen för solceller är alltså större närmare ekvatorn, men det finns fortfarande potential för solceller längre ifrån ekvatorn, som i Sverige.

Solceller finns i olika varianter och omvandlar olika mycket energi per yta. En solcellpanels produktion brukar anges som effekten som produceras då maximal solinstrålning, det vill säga  $1\,000\text{ W/m}^2$ , träffar panelen ortogonalt vid en viss temperatur. Det är även utifrån detta som man får solpanelens verkningsgrad, kvoten mellan energin som utvinns och den instrålade solenergin. Det är vanligast att solceller för privat bruk placeras på tak, men de kan också placeras på fasader. Även om solceller på tak ger mer energi så ger fasaden mer energi i början och slutet av dagen, då solen står lägre. Detta gör även att solceller på fasaden genererar mer energi under våren och hösten än takpaneler [12]. Genom att också utnyttja fasaden på ett hus och placera ut solceller ökar därav energitillförseln i ett nordiskt klimat [13]. För de flesta användningsområden måste likströmmen konverteras till

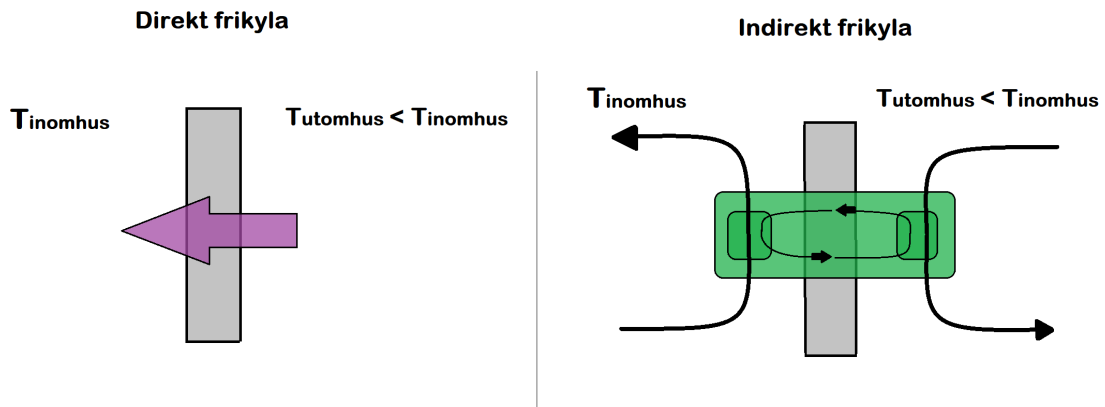
växelström vilket medför en del energiförluster.

#### 3.1.2 Vindkraft

I slutet av 2021 stod vindkraften för 16 % av Sveriges elproduktion [14]. Det finns två typer av vindkraftverk, vertikala och horisontella. De horisontella vindkraftverken används för elproduktion till städer och är ofta placerade långt från bostäder och andra lokaler. Detta har flera anledningar, några av dem är att bullernivån ofta är hög och säkerhetsrisker så som snöras [15]. Ett horisontellt vindkraftverk har huvudrotoraxeln horisontellt och behöver vara riktad mot vinden. Småskaliga horisontella vindkraftverk kan ändra riktning genom vindflöjlar medan ett storskaligt använder en vindsensor tillsammans med en servomotor. Vertikala vindkraftverk är enligt [16] mer effektiva än traditionella horisontella vindkraftverk, och fungerar på liknande sätt som horisontella med skillnaden att rotorbladen roterar runt en vertikal axel. Ett vertikalt vindkraftverk behöver inte vara riktad mot vinden vilket gör den mer effektiv när vindens riktning varierar [17]. Horisontella och vertikala vindkraftverk genererar el genom att rörelsen från turbinbladen når en generator vid en axel och en växellåda [18]. De båda varianterna kan byggas i mindre skala för att till exempel försörja ett hushålls energibehov. De småskaliga vindkraftverken kan byggas utan bygglov om de uppfyller Boverkets krav, bland annat att de är lägre än 20 m och rotorradien är mindre än 3 m [19].

#### 3.1.3 Frikyla

Frikyla, även kallat passiv kyla, är en idag vanlig kylteknik där temperaturdifferenser utnyttjas för att kunna generera kyla till diverse anläggningar som till exempel bostäder eller industrier [20]. Denna teknik används främst för att reducera energikonsumtionen som går åt att kyla nödvändiga system. Frikyla kan primärt delas in i tre kategorier: luftburen, vattenburen och frikyla via värmerör [21]. Den sistnämnda är en speciell typ av en så kallad economizer, vilket är en sorts värmeväxlare, och kan överföra värme under små temperaturdifferenser. Denna typ av frikyla är dock fortfarande under forskningsstadiet och kommer inte att behandlas vidare i denna rapport. I luftburen frikylning utnyttjas den kalla luften utomhus, antingen direkt eller indirekt via värmeväxlare, till att kyla byggnaden. Direkt frikyla är enkel att använda men kan problematisera inomhusklimatet på grund av fuktighetsstörningar eller partikelföroreningar men är till sin fördel mer effektiv än vad indirekt frikyla är. Detta kapitel kommer att avgränsa sig till att endast studera indirekt frikylning på vattensidan. Indirekt frikylning använder sig utav minst en motströmsvärmeväxlare för att överföra kyla [21], vilket visas tydligare i figur 3.1.

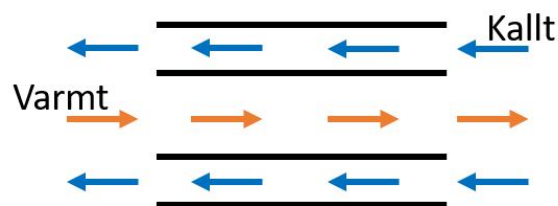


**Figur 3.1:** Illustration av direkt samt indirekt frikyla.

Beroende på klimatförhållande kan ett system arbeta under tre olika lägen: enbart frikylning, elektrisk kylning samt kombinerad frikylning och elektrisk kylning [22]. Under vintertid då vattnet är kallt kan systemet arbeta under frikylning vilket innebär att kylaren kan stängas av och kylningen fås enbart från det kalla vattnet. Elektrisk kylning innebär att kylaren aktiveras medan kretsen från vattnet hanterar kondensationsvärmets. Kombinerad frikylning innebär att kylmaskin och frikyla, där kylan fås från vattnet, arbetar parallellt.

### 3.1.3.1 Motströmsvärmväxlare

En motströmsvärmväxlare utnyttjar en temperaturdifferens mellan ett kallt eller varmt medie som strömmar i motsatt riktning mot ett annat varmare eller kallare medie för att på så sätt förvärma eller kyla det ingående eller utgående mediet [23], se figur 3.2. Längs värmväxlarens längd överförs energi från den varma sidan till den kalla sidan under förloppet gång. Genom denna process kan energin som fås via överföringen utnyttjas på nytt till ett annat område.



**Figur 3.2:** Principskiss för en motströmsvärmväxlare. Kallt medie rinner motströms förbi det varma mediet och ger upphov till en värmeöverföring.

Värmeffekten som överförs vid värmväxling beskrivs enligt ekvation 3.1

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_{LM} \quad (W) \quad (3.1)$$

där  $U$  är värmegenomgångskoefficienten,  $A$  är arean och  $\Delta T_{LM}$  är den logaritmiska medeltemperaturen definierad enligt ekvation 3.2

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \quad (\text{K}) \quad (3.2)$$

där  $\Delta T_1$  och  $\Delta T_2$  är skillnaden mellan tilloppstemperaturen och returtemperaturen för respektive medie.

Effektiviteten och verkningsgraden hos en motströmsvärmväxlare kan beräknas enligt ekvation 3.3

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{bortförd}}{\dot{Q}_{tillförd}} = \frac{\dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot \Delta T_1}{\dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot \Delta T_2} \quad (-) \quad (3.3)$$

där  $\eta$  är verkningsgraden,  $\dot{Q}_{bortförd}$  den bortförda effekten,  $\dot{Q}_{tillförd}$  tillförda effekten,  $c_p$  specifik värmekapacitet för respektive medie,  $\dot{m}$  massflödet för respektive medie, samt  $\Delta T_1$  och  $\Delta T_2$  är skillnad i temperaturer för respektive medier [24].

## 3.2 Energieffektivisering

I detta delkapitel presenteras den teori som används för att undersöka åtgärder på området energieffektiviseringar. Teorin behandlar områdena minskade energiförluster genom byggnadens klimatskal, minskad solinstrålning med solskydd för fönster och värmeåtervinning av avlopp.

### 3.2.1 Förbättringar av klimatskalet

En byggnads klimatskal, även kallad klimatskärm, kan enklast beskrivas som ett ytterplagg som skyddar insidan av byggnaden från omgivande klimat såsom nederbörd, vind, värme och kyla [25]. Byggnadsdelarna kan delas in i grundsula, ytterväggar med dörrar och fönster samt tak. Klimatskalets delar består ofta av flera lager av material med olika funktioner, exempelvis bärande eller isolerande. Tillsammans skapar de olika lagren ett värme- och kylmotstånd som beskrivs i ett U-värde. U-värdet, även kallat värmeövergångskoefficienten, har enheten  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  och beskriver hur mycket värmeeffekt som förloras genom byggnadsdelen [25]. Genom att ha tjockare lager av isolering i byggnadsdelarna och på så sätt sänka U-värdet och/eller välja fönster eller dörrar med lägre U-värden kan energiförlusten genom klimatskalet minskas.

Förutom att skydda byggnaden från uteklimatet är klimatskalets delar lufttätade för att förhindra kall luft från att tränga in i byggnaden. Inträngande luft kan leda till ökade värmeförluster, en sänkt termisk komfort samt ökad risk för fuktskador [25]. Ett annat fenomen som påverkar klimatskalets effektivitet mot värmeförluster är köldbryggor. Vid anslutningar mellan byggnadsdelar som exempelvis vägg och tak,

vägg och bottenplatta skapas linjära köldbryggor eftersom det där är svårt att uppnå samma isoleringstjocklek som i övriga delar av konstruktionen [25]. Vid utvändiga hörn som exempelvis där ytterväggar möts samt vid genomföringar med material med högre värmeledningsförmåga, uppstår tredimensionella värmeflöden och dessa definieras som punktköldbryggor. Förekomsten av köldbryggor riskerar att leda till en ökad värmeförlust och lägre yttemperatur lokalt.

### 3.2.1.1 Beräkning av U-medel

För att skapa ett jämförbart medelvärde av en byggnads totala U-värde kan U-medel beräknas. U-medel beräknas med ekvation 3.4

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^m U_i \cdot A_i + \sum_{j=1}^n \psi_j \cdot l_j + \sum_{k=1}^p \chi_k}{A_{om}} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (3.4)$$

där  $U_i$  är värmeledningkoefficienten för varje byggnadsdel,  $A_i$  är arean för respektive byggnadsdel,  $\psi_j$  är värmeledningstalet för en linjär köldbrygga,  $l_j$  är linjära köldbryggans längd,  $\chi_k$  är värmeledningstal för punktformig köldbrygga och  $A_{om}$  är byggnadens omslutningsarea [8].

### 3.2.1.2 Beräkning av energiförluster genom klimatskalet

Drivkraften för energiförluster genom klimatskalet, även kallat transmissionsförluster, är temperaturskillnaden mellan ute- och inommiljön. Vid låga temperaturer vintertid är energiförlusten större och under sommartid är den mindre. Ekvation 3.5 beskriver transmissionsförlusten genom klimatskalet inklusive köldbryggor vid stationära förhållanden,

$$\dot{Q}_{transmission} = \left[ \sum_{i=1}^m (U_i \cdot A_i) + \sum_{j=1}^n (\psi_j \cdot l_j) + \sum_{k=1}^p (\chi_k) \right] \cdot (T_{inne} - T_{ute}) \quad (\text{W}) \quad (3.5)$$

där  $\dot{Q}_{transmission}$  är transmissionsförlusten,  $T_{inne}$  och  $T_{ute}$  är temperaturen inuti respektive utanför byggnaden och  $U_i$ ,  $A_i$ ,  $\psi_j$ ,  $l_j$ ,  $\chi_k$  är definierade som i ekvation 3.4.

## 3.2.2 Solskydd

Fönster och glas har olika förmågor att släppa igenom och stänga ute värmeenergi. Ett mått på detta är g-värdet, vilket beskriver den totala transmittansen som går igenom ett fönster eller glasparti [9]. Detta värde ligger mellan noll och ett, där ett står för 100 % genomträngning av solenergi. Idag ligger ett vanligt fönster på ungefärligt g-värde på 0,75 och de allra bästa har ett g-värde på ungefär 0,15 [9]. Ett lägre g-värde på fönsterna kan leda till ett reducerat behov av att kyla byggnaden under sommarhalvåret, men ökar värmebehovet under vintern, då solinstrålningen stängs ute. Med solskydd i form av markiser kan solenergens instrålning regleras och användas när det önskas under vår- och sommarhalvåret. Markiser monteras på utsidan av fönstret och är därmed exponerat för väder och vind. Den totala energin som strålar in igenom ett fönster beräknas enligt ekvation 3.6

$$\dot{Q}_{sol,tot} = A \cdot g \cdot \dot{Q}_{sol,in} \quad (\text{W}) \quad (3.6)$$

där  $\dot{Q}_{sol,tot}$  är totala effekten från inkommande solinstrålning,  $A$  är arean på fönstret,  $g$  totala transmittansen och  $\dot{Q}_{sol,in}$  är effekten från inkommande solinstrålning per ytare.

### 3.2.3 Värmeåtervinning spillvatten

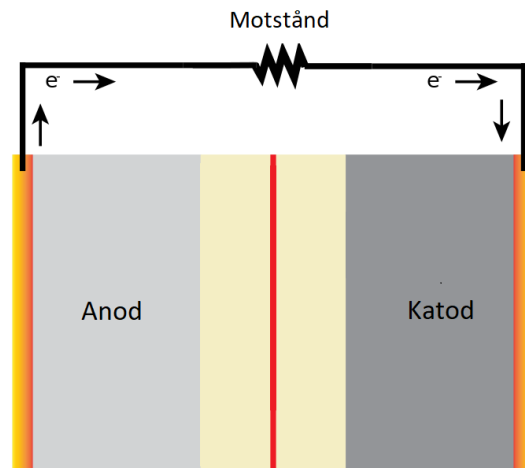
Värmeåtervinning av avloppsvatten handlar om att utnyttja energin som finns i det redan befintliga spillvattnet i en byggnad. Spillvatten är en kombination av svart- och gråvatten, där den förstnämnda berör vatten från WC och den sistnämnda berör vatten från disk, bad, dusch och tvätt [26]. Ett värmeåtervinningssystem av spillvatten fungerar för byggnader som släpper ut stora mängder varmvatten. Värmeåtervinningssystem kan utformas på olika sätt. Vilket system som väljs beror först och främst på hur flödesprofilen för spillvattnet ser ut för byggnaden, men även på vad den utvunna energin syftas användas till [27]. För byggnader med ojämna och mindre flöden finns system som använder olika former av tankar, exempelvis ackumulatortank, för att samla upp varmt spillvatten och därifrån växla med ett kallt medium [27]. Det kalla mediet kan i detta fall vara inkommande vatten från vattennätet som förvärms innan det når byggnadens värmekälla. För byggnader med jämna och stora flöden lämpar sig istället omedelbar värmewäxling mellan spillvattnet och ett externt system [27]. Denna form av värmewäxling kan bland annat användas för att förvärma bergvärmepumpssystemets köldbärarvätska eller luft till ventilation. Värmen från spillvattnet återvinns genom att använda en motströmsvärmewäxlare som beskrivs närmare i kapitel 3.1.3.1.

## 3.3 Energilagring

Energilagring kan vara användbart för att inte behöva använda den utvunna energin direkt, vilket bidrar till en energismart byggnad. Även om lokal energilagring inte har någon markant effekt på byggnadens energipåverkan, utöver förlusterna som sker i lagringen, är det intressant att undersöka för att öka fastighetens möjlighet att vara självförsörjande gällande energitillförsel. Det är även intressant att undersöka möjligheter att anpassa inköp av energi efter priser och miljöpåverkan vid elproduktion.

### 3.3.1 Batteri

Batterier är en form av energilagring som lagrar elektrisk energi i kemiska processer [28], antingen för användning en gång eller, om det är återladdningsbart, flera gånger. De består av två poler, den positiva anoden och negativa katoden, som skiljs åt av en barriär [28]. När polerna kopplas samman av en krets förflyttas elektroner från den ena polen till den andra genom kretsen och genererar en ström som kan användas. En illustration över hur ett batteri fungerar kan ses i figur 3.3. För återladdningsbara batterier är processen reversibel och det är det som sker när batteriet laddas.



**Figur 3.3:** En illustration över hur ett batteri fungerar när det används. Från [29], CC BY-SA 4.0. Omarbetad.

Det som skiljer olika batterityper åt är framförallt materialet i polerna och barriären vilket kan ge batterierna olika egenskaper [10]. Några viktiga batteriegenskaper är lagringsförmåga, mängden förluster, livslängd, det vill säga hur många laddningscykler den klarar av, och hur mycket självurladdning som sker. Batteriets livslängd påverkas av vilka material det består av, hur det laddas och dess temperatur [28]. Att ladda upp batteriet för snabbt eller att ladda ur ett batteri fullständigt upprepade gånger kan försämra batteriets livslängd [28], [30]. Begreppet urladdningsdjup (depth of discharge, DOD) används för att beskriva hur stor andel av den lagrade energin som laddas ur [28]. Ur- och uppladdningshastighet beror på ut- och ingående effekt samt hur stor andel av batteriet som är laddat. För kalla temperaturer minskar batteriets lagringskapacitet och för höga temperaturer kan skada batteriet [28], [30]. I de flesta fall behöver likströmmen som kommer ur batteriet konverteras till växelström innan det används och detta medför ytterligare några förluster [28].

### 3.3.2 Termisk lagring

Vid lagring av termisk energi är det vanligt att använda vatten som medie om dess temperaturspann ligger mellan vattnets frys- och kokpunkt. Vatten fungerar bra som energilagringssmedium eftersom det har förhållandevis hög specifik värmekapacitet [31]. Detta är en form av sensibel energilagring, vilket är det vanligaste sättet att lagra energi på till följd av sin enkelhet och ekonomiska fördelar [31]. Sensibel termisk lagring innebär att termisk energi används för att värma ett medium med hög specifik värmekapacitet, dock utan att mediet genomgår fasomvandling [31].

För att lagra högt tempererat vatten kan ackumulatortankar användas för att plocka ut värme vid behov [32]. Värme kan tillföras och lagras i tanken för att sedan extraheras vid behov, och på så sätt agera som en buffert. Hur värme tillförs till tanken varierar beroende på hur systemet ser ut. Bland annat kan värme från solen, pellets- eller vedeldning lagras, alternativt kan tanken kopplas till ett värmepumpssystem

[32]. Istället för ackumulatortankar kan även bassänger med ett isolerande lock användas där förlusterna beror på hur stor yta som exponeras för naturlig konvektion i förhållande till bassängens volym [33].

Termisk energilagring kan också ske i stora cylindriska salttankar för att jämna ut fluktuationerna som uppstår, detta sker exempelvis i solenergiparker [31]. För att göra beräkningar på tankar behövs kunskap om konduktion, konvektion och strålning. Vid beräkning av konvektion finns empiriska korrelationer att tillgå i [34].

Vid beräkning av naturlig konvektion inuti tankar är följande fall användbara för att beräkna det dimensionslösa Nusselt-talet. Talet är ett mått på hur mycket konvektiv värmeöverföring som sker vid en yta, och motsvarar således en temperaturgradient [35]. Vid fallet av en varm fluid under en kall platta kan följande korrelation i ekvation 3.7 användas [36],

$$Nu_L = 0.15 \cdot Ra_L^{\frac{1}{3}} \quad (-) \quad (3.7)$$

så länge villkoret  $10^7 < Ra_L < 10^{11}$  är uppfyllt, där  $Ra_L$  är Rayleigh-talet som beräknas enligt [36]. Rayleigh-talet är en dimensionslös korrelation som visar på förekomsten av bärkraft och viskösa krafter i en fluid [36].

Vid fallet av en varm fluid ovanför en kall platta kan följande korrelation i ekvation 3.8 användas [36],

$$Nu_L = 0.52 \cdot Ra_L^{\frac{1}{5}} \quad (-) \quad (3.8)$$

så länge villkoren  $10^4 < Ra_L < 10^9$  och  $Pr > 0.7$  är uppfyllda, där  $Ra_L$  är Rayleigh-talet som beräknas enligt [36]. Här är  $Pr$  det dimensionslösa Prandtl-talet och ges av förhållandet mellan kinematisk viskositet och termisk diffusivitet [35].

Vid fallet av naturlig konvektion mot vertikal yta kan följande korrelation i ekvation 3.9 användas [36],

$$Nu_L = \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{Gr_L}{4} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot g(Pr) \quad (-) \quad (3.9)$$

där

$$g(Pr) = \frac{0.75 \cdot Pr^{\frac{1}{2}}}{(0.609 + 1.221 \cdot Pr^{\frac{1}{2}} + 1.238 \cdot Pr)^{\frac{1}{4}}} \quad (-) \quad (3.10)$$

och  $Gr_L$  är Grashof-talet som beräknas enligt [36]. Det dimensionslösa Grashof-talet mäter förhållandet mellan viskösa krafter och bärkrafter i gränsskiktet vid den vertikala ytan [35].

Med uttrycken för Nusselt-talen går den konvektiva värmeledningsförmågan  $h$  att uttryckas i ekvation 3.11 med hjälp av följande relation,

$$h = \frac{Nu_L \cdot k}{L} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (3.11)$$

där  $Nu_L$  är Nusselt-talet,  $k$  är konduktiv värmeledningsförmåga och  $L$  är höjden alternativt diametern på ytan som undersöks [36].

När  $h$  är beräknat kan uttryck för termiska resistanser ställas upp för konvektion och konduktion. För konduktion genom en cylindrisk vägg gäller ekvation 3.12,

$$R_{kond} = \frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \quad (\text{K/W}) \quad (3.12)$$

där  $R_{kond}$  är termisk resistans [37],  $r_o$  är yttre radie,  $r_i$  inre radie,  $L$  höjden på väggen och  $k$  konduktiv värmeledningsförmåga. Vid kvadratiska former beräknas den termiska resistansen på ett liknande sätt. Vid konvektion tecknas resistansen i ekvation 3.13 enligt

$$R_{konv} = \frac{1}{h \cdot A} \quad (\text{K/W}) \quad (3.13)$$

där  $h$  är konvektiv värmeledningsförmåga och  $A$  area mellan fluid och solid.

Värmeöverföringen kan sedan tecknas i ekvation 3.14 som

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} \quad (\text{W}) \quad (3.14)$$

där  $\dot{Q}$  är värmeöverföringen och  $\Delta T$  motsvarar förändringen i temperatur mellan respektive sida av den termiska resistansen  $R$ .

För att Nusselt-talen ska kunna beräknas måste en temperatur itereras fram, eftersom både Rayleigh-talet och Grashof-talet beror av en okänd sådan. Genom att ställa upp alla uttryck och iterera olika värden på denna temperatur går det att hitta vilken temperatur som stämmer då värmeöverföringen för konduktion är lika med den för konvektion.

Energibalanser undersöker hur flöden går in eller ut ur definierade kontrollvolymer, exempelvis en tank. Energibalansen för en tank kan ställas upp enligt ekvation 3.15,

$$m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{ut} - \dot{Q}_{förluster} \quad (\text{W}) \quad (3.15)$$

där det antas att inga kemiska reaktioner äger rum. Här avser  $m$  massa,  $c_p$  specifik värmekapacitet och  $\frac{dT}{dt}$  förändring i temperatur med avseende på tiden. Högerledet avser förändring av värmeenergi i ett system där  $\dot{Q}_{in}$  är tillförd effekt,  $\dot{Q}_{ut}$  bortförd effekt och  $\dot{Q}_{förluster}$  avser värmeförluster i systemet.

### 3.4 Ekonomi

För att beräkna lönsamheten för olika investeringar kan nuvärdesmetoden, annuitetsmetoden och återbetalningsmetoden användas.

### 3.4.1 Nuvärdesmetoden

Nuvärdesmetoden används för att få fram ett nuvärde av en investering, vilket används för att avgöra lönsamheten av en investering i förhållande till den årliga besparingen [38]. Nuvärdet beskriver värdet av en investering vid en viss tidpunkt, vanligen år noll och beräknas med ekvation 3.16 och 3.17

$$C = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \quad (-) \quad (3.16)$$

$$N = -G + a \cdot C \quad (\text{kr}) \quad (3.17)$$

där  $C$  är nusummefaktorn,  $r$  är kalkylräntan,  $n$  är antalet år,  $N$  är nuvärdet,  $G$  är grundinvesteringen och  $a$  är besparingen. Investeringen är lönsam om nuvärdet är positivt [38].

### 3.4.2 Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden används för att beräkna lönsamheten av en investering med avseende på dess livslängd. Metoden visar investeringens annuitet, det vill säga investeringens över- eller underskott på ett år [38]. Annuiteten  $A$  beräknas med ekvation 3.18 och 3.19

$$a_f = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} \quad (-) \quad (3.18)$$

$$A = N \cdot a_f \quad (\text{kr}) \quad (3.19)$$

där  $a_f$  är annuitetsfaktorn,  $r$  är kalkylräntan,  $n$  är antalet år och  $N$  är nuvärdet. Investeringen är lönsam om annuiteten är positiv [38].

### 3.4.3 Återbetalningsmetoden

Återbetalningsmetoden används för att beräkna hur lång tid det tar innan en investering lönar sig och ställs upp enligt ekvation 3.20

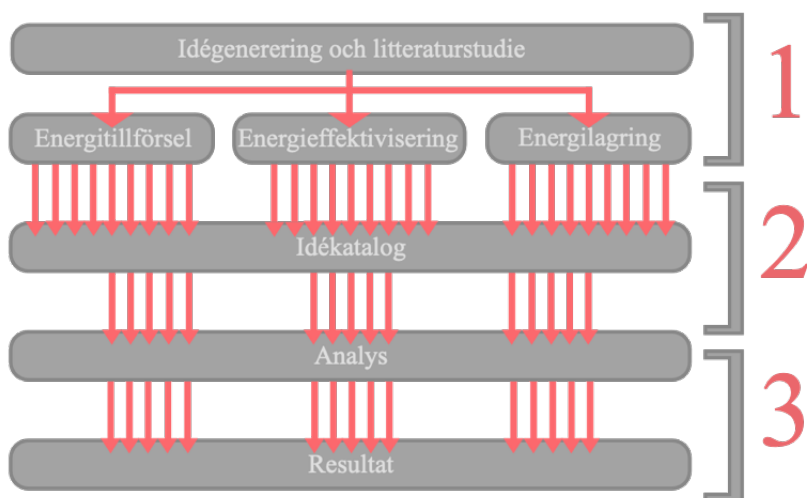
$$\mathring{A} = G/a \quad (\text{år}) \quad (3.20)$$

där  $\mathring{A}$  är återbetalningstiden,  $G$  är grundinvesteringen och  $a$  är besparingen. Investeringen är lönsam om återbetalningstiden är kortare än livstiden på undersökt objekt [38].

# 4

## Metod

I följande kapitel presenteras arbetets metod. Projektets metodik delades in i tre faser som är illustrerade i figur 4.1. I den första fasen gjordes en idégenerering med tillhörande litteraturstudie som mynnade ut i flera tekniker inom de tre kategorierna energitillförsel, energieffektivisering och energilagring. I den andra fasen sammanställdes samtliga tekniker i en idékatalog. Teknikerna sållades sedan med hjälp av elimineringsmatriser. I tredje fasen gjordes en vidare analys av kvarvarande tekniker, med hjälp av fortsatta litteraturstudier eller beräkningar. Analysmetodikerna för de tre kategorierna beskrivs i delkapitel 4.4, 4.5 och 4.6. Slutligen sammanställdes resultaten och potentialen för de olika teknikerna.



Figur 4.1: Illustrering av projektets metodik.

### 4.1 Fas 1: Idégenerering och litteraturstudie

Det första steget var en idégenereringsprocess. Mindre litteraturstudier gjordes för att hitta olika tekniker med potential inom antingen energitillförsel, energieffektivisering eller energilagring samt för att få en uppfattning kring liknande projekt och dess lösningar. En brainstorm-session genomfördes sedan där samtliga lösningar och idéer presenterades.

## 4.2 Fas 2: Idékatalog och sällning av lösningar

De studerade lösningarna i den första fasen sammanställdes i en idékatalog. Idékatalogen presenterades för Orust Kretsloppsakademi och Västsvenska Skaldjur AB för att involvera de olika parterna i projektet. Idékatalogen sällades sedan med hjälp av elimineringsmatriser för vardera kategori. Elimineringsmatriserna kan ses i appendix B. Kriterierna i matriserna var: kompatibel med byggnaden, geografisk applicerbarhet, småskalig applicerbarhet samt behov. För teknikerna inom områdena energitillförsel tillkom även kriteriet att driften var förnyelsebar. De tekniker som uppfyllde ställda kriterier behölls och de övriga sällades bort utan vidare analyser.

## 4.3 Fas 3: Analys och sammanställning av resultat

Teknikerna som uppfyllde alla kriterier till respektive delproblem analyserades närmare, och metodiken för respektive teknik redogörs för i nästa delkapitel. Analyserna bestod av litteraturstudier och statistiska beräkningar. Efter slutförd analys sammanställdes en tabell av de tekniker som undersöktes med deras för- och nackdelar, samt potential noterade.

Eftersom teknikerna som undersöktes skiljde sig åt och så även analyserna, baserades potentialen för respektive teknik på olika faktorer då det föreföll svårt att jämföra nyckeltal mellan de olika områdena. Inom energitillförsel baserades potentialen i huvudsak på hur mycket energi som kunde utvinnas i kombination med hur lönsam tekniken var. Gällande energieffektivisering baserades potentialen utifrån hur stor nytta tekniken har i förhållande till verksamhetens förväntade energiåtgång, samt teknikens samverkande potential till byggnaden. Inom energilagring baserades potentialen på hur stora energiförlusterna beräknades vara. Det analyserades också hur stort värmebehovet eller behovet av elektrisk energi var i byggnaden samt om det skulle finnas ett överskott att lagra.

## 4.4 Analysmetodik för teknikerna inom energitillförsel

I följande underkapitel presenteras de olika metoderna för dellösningarna inom energitillförsel: solceller, vindkraft och frikyla.

### 4.4.1 Solceller

Det gjordes en analys av ritningar på huset och kartor på platsen för att uppskatta vilka mått taket, väggar och andra ytor hade. Baserat på detta skapades två fall för hur solcellspaneler skulle kunna placeras ut. Därefter beräknades det hur många paneler som fick plats på respektive del för de två fallen. Här antogs solcellspanelen vara 1,03 m bred, 2 m hög och ha effekten 400 W enligt specifikationen av denna

panel [39]. Sedan beräknades hur mycket växelström som genererades av solcellerna med hjälp av en solpanelsräknare utvecklad av National Renewable Energy Laboratory (NREL) [40].

NRELS kalkylator för solceller simulerar den genererade elektriciteten för ett år hos ett system med givna parametrar genom att använda väderdata över ett antal år. Den närmaste orten för vilken NREL hade väderdata var Landvetter (N57.670, E12.300).

Vissa parametrar behövdes för att beräkna den genererade elen från solceller. Detta inkluderade bland annat panelernas orientering och storleken på likströmssystemet som beräknades genom att multiplicera effekten på den valda solpanelen med antalet paneler. Utdatan blev genererad effekt per timme efter konvertering till växelström. Kalkylatorn hade några förinställda parametrar som inte ändrades på. Dessa var paneltypen, att systemet var fast, det vill säga inte kunde rotera, samt systemets förluster där det förinställda värdet var 14,08 %. Den förinställda siffran för systemets förluster bedömdes vara en tillräcklig approximation.

Datan bearbetades för att få fram den genererade elektriska energin per timme i kWh för de olika delarna med solceller. Denna data summerades för att få värden på hur mycket energi som fås fram på ett år och användes för att skapa figurer för att illustrera hur den omvandlade solenergin varierar över året.

Till sist beräknades lönsamheten av att installera solceller till byggnaden. Detta gjordes med hjälp av nuvärdesmetoden, annuitetsmetoden och återbetalningsmetoden, enligt ekvationer 3.17, 3.19 och 3.20. Datan som användes vid beräkningarna kan ses i tabell 4.1.

**Tabell 4.1:** Data för beräkningar av lönsamhet för solceller. Där  $n$  är livslängden,  $r$  är kalkylräntan,  $C$  är nusumme faktorn och  $a_f$  är annuitetsfaktorn

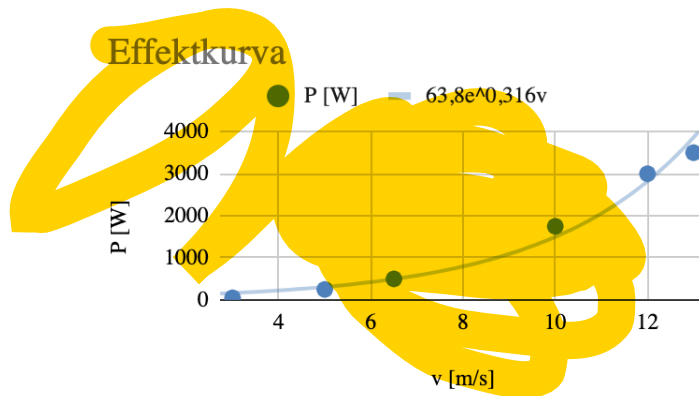
Elpris [kr/kWh]	$n$ [år]	$r$ [%]	$C$	$a_f$
1	30	4	17,2920	0,0578

Grundinvesteringen uppskattades genom att skala upp investeringen för en snittanläggning med solceller. Här användes en anläggning som utvann runt 13 000 kWh/år och kostade 137 000 kr om skattereduktioner räknades med [41]. Grundinvesteringen ökades därefter linjärt baserat på antalet kWh/år.

#### 4.4.2 Vindkraft

Först gjordes litteraturstudier kring olika typer av vindkraftverk. För att kunna göra beräkningar och anpassa till detta projektets byggnad användes två olika vindkraftverk, ett horisontellt och ett vertikalt. För att få fram effektkurvan togs datapunkter från vindkraftverkets hemsida eller produktblad och en exponentiell approximation

gjordes vilket ledde till en effektkurva. Effektkurvan för det horisontella vindkraftverket ses i figur 4.2 med dess data [42].

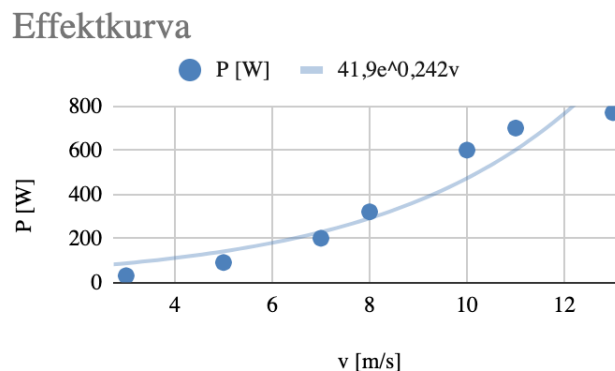


**Figur 4.2:** Effektkurva för ett horisontellt vindkraftverk.

Kurvan kunde approximeras till exponentialfunktionen:

$$P = 63,6 \cdot e^{0,316 \cdot v} \quad (\text{W}) \quad (4.1)$$

där  $P$  är effekt och  $v$  är vindhastigheten. Effektkurvan för det vertikala vindkraftverket ses i figur 4.3 med dess data [43].



**Figur 4.3:** Effektkurva för ett vertikalt vindkraftverk.

Kurvan kan approximeras till exponentialfunktionen:

$$P = 41,9 \cdot e^{0,242 \cdot v} \quad (\text{W}) \quad (4.2)$$

De olika vindkraftverken ansågs vara likvärdiga då märkeffekten är 3 000 W på vardera samt att rotordiametern på det horisontella vindkraftverket är 3 m [42], och på det vertikala vindkraftverket är diametern 2,8 m [43].

Utifrån vinddata från ett genomsnittligt år [44], från Orusts och Lysekils mätstationer kunde årets elproduktion beräknas. Val av ett genomsnittligt år gjordes för att undvika missvisande specifika år. Datan från mätstationerna var timvis. Detta användes för att beräkna varje timmes elproduktion (med hjälp av ekvation 4.1 och

ekvation 4.2) och sedan summera det över hela året. Ett kriterium vid summeringen var dock att enbart ta med timmarna då vindhastigheten minst var 2,5 m/s, eftersom vindkraftverken och därav även elproduktionen inte startar förrän vid den vindhastigheten.

Till sist beräknades lönsamheten av att installera vindkraftverk till byggnaden. Detta gjordes med hjälp av nuvärdesmetoden, annuitetsmetoden och återbetalningsmetoden, enligt ekvationer 3.17, 3.19 och 3.20. Daten som användes baserat på [43] kan ses i tabell 4.2.

**Tabell 4.2:** Data för beräkningar av lönsamhet för vindkraftverk. Där  $n$  är livslängden,  $r$  är kalkylräntan,  $C$  är nusumme faktorn och  $a_f$  är annuitetsfaktorn.

Elpris [kr/kWh]	$n$ [år]	$r$ [%]	$C$	$a_f$
1	20	4	13,5903	0,07358

Detta gjordes för ett respektive två installerade vindkraftverk samt för fallet då elproduktionen är tillräcklig för att ett vindkraftverk ska vara lönsamt. Utifrån detta beräknades det bakvänt vad medelvindhastigheten behövde vara med hjälp av ekvation 4.2.

### 4.4.3 Frikyla

För att estimeras hur mycket huset skulle kunna kylas med hjälp av frikyla gjordes beräkningar givet en havskrets och en separat krets till byggnaden. Vid växling av värme och kyla mellan kretsarna användes en motströmsvärmväxlare i beräkningarna där värdena har antagits till följande:

- Värmeöverföringskoefficienten  $U$  var 2 300 W/m<sup>2</sup>K
- Värmväxlarens area antogs vara 0,6 m<sup>2</sup>

Verkningsgraden hos värmväxlaren uppskattades till 80 %. Vidare antogs tilloppstemperatur till verksamheten,  $T_{ho}$ , till 8 °C då kretsen till byggnaden kan antas användas i exempelvis ett kylrum som kan kräva ungefär 8 °C. Returtemperaturen från verksamheten,  $T_{hi}$  och havskretsen,  $T_{ci}$ , antogs till 11 °C respektive 8 °C då ett ytterligare antagande gjordes om att temperaturskillnaden inte varierar. Dessa temperaturvärden användes sedan i formeln för värmväxling som finns i teoriavsnittet i ekvation 3.1 där  $\Delta T_{LM}$  var definierad enligt ekvation 4.3

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}}} \quad (\text{K}) \quad (4.3)$$

där samtliga temperaturer utom den kalla tilloppstemperaturen  $T_{co}$ , antagits. Den kalla tilloppstemperaturen representerar det kalla vattnet från havet som varierar beroende på årstid. Data för genomsnittlig havstemperatur för området användes därför för att uppskatta energin som kan plockas ut månadsvis.

## 4.5 Analysmetodik för teknikerna inom energieffektivisering

I följande underkapitel presenteras de olika metoderna för dellösningarna inom energieffektivisering: förbättringar i klimatskalet, solskydd och värmeåtervinning från avloppsvattnet.

### 4.5.1 Förbättringar i klimatskalet

För att kunna undersöka förbättringspotentialen i klimatskalet togs två förslag på klimatskal med bättre U-värden fram genom en studie av lösningar hos olika tillverkare av väggar och fönster i byggbranschen. Metoden gav en generaliserad bild av hur bra U-värden som praktiskt är möjligt att uppnå med vanligt förekommande byggtekniker.

För att sedan uppskatta transmissionsförlusten under ett år har den beräknats med timupplösning med ekvation 3.5.  $T_{inne}$  är antaget till 21 °C och  $T_{ute}$  varierar enligt väderdata från Sveby [45]. Eftersom att väderdatan var specificerad som temperatur per timme blev resultatet av beräkningen en energimängd  $Q_{transmission}$  istället för en effektförlust  $\dot{Q}_{transmission}$ . Punktformiga och linjära köldbryggor beräknades med hjälp av data om dessa från energiberäkningen i appendix A. Vidare summerades alla positiva värden på  $Q_{transmission}$  för att visa en uppskattning av transmissionsförlusten per år. Negativa värden antogs indikera att byggnaden har behov av att kylas ner och blir inte en del av uppvärmningsbehovet.

### 4.5.2 Solskydd

För att beräkna effekterna av att installera solskydd för byggnadens fönster och glaspartier, användes ekvation 3.6. Area och g-värden för alla fönster och glaspartier hämtades från energiberäkningen och ses i appendix A. Solinstrålningen för respektive väderstreck och g-värden för solskydd hämtades från [9]. Datan för solinstrålningen baserades på den maximala momentana solinstrålningen genom fönster och glaspartier för respektive väderstreck under en sommardag, som visas i tabell 4.3.

**Tabell 4.3:** Data över den maximala momentana solinstrålningen för respektive väderstreck under en sommardag.

Väderstreck	Solinstrålning [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
Nordost kl 08:00	550
Sydost kl 12:00	750
Sydväst kl 17:00	550
Nordväst kl 19:00	700

Beräkningar för solinstrålningen gjordes för både med och utan solskydd.

### 4.5.3 Värmeåtervinning från avloppsvatten

En litteraturstudie utfördes först för att få en överblick över hur ett värmeåtervinningssystem för spillvatten är uppbyggt och fungerar. Under litteraturstudien analyserades och beaktades olika aspekter som är viktiga att tänka på vid installation av ett nytt system. Effektiviteten hos ett system och värmeväxlare analyserades och utgick från andra forskares fältstudier som har genomförts på tidigare flerbostadshus. I fältstudien beräknades systemens verkningsgrad ut med ekvation 3.3 [24].

Därefter beräknades den årliga besparingen ( $Q_{besparing}$ ) i kWh av att implementera ett värmeåtervinningssystem av spillvatten för byggnaden på Orust. Beräkningen gjordes enligt ekvation 4.4

$$Q_{besparing} = \frac{Q_{tappvatten} \cdot A_{temp} \cdot \eta}{COP} \quad (\text{Wh}) \quad (4.4)$$

där  $Q_{tappvatten}$  är energin från tappvatten per kvadratmeter,  $A_{temp}$  är byggnadens tempererade area,  $\eta$  är verkningsgraden för systemet och  $COP$  är värmepumpens värmefaktor för byggnaden. I beräkningarna användes bergvärmepumpens värmefaktor på 4,3,  $A_{temp}$  som 1108 m<sup>2</sup> och förväntad tappvarmvattenförbrukning för byggnaden utifrån schablonvärden. Data inhämtades från energiberäkningen i appendix A och från Svebys databas över en lunchrestaurang inklusive kök [46]. Data från energiberäkningen var baserad utifrån att byggnaden går under kategorin normalt kontor och släpper ut ungefär 2 kWh/m<sup>2</sup> (exklusive förluster från VVC) i energi årligen, enligt Svebys schablonvärden [46]. Vidare hade Sveby schablonvärden över att en lunchrestaurang inklusive kök släppte ut i snitt 25 kWh/m<sup>2</sup>. Därför gjordes två beräkningar över den årliga besparingen, både utifrån energideklarationens data och Svebys schablonvärden över en lunchrestaurang inklusive kök [46].

## 4.6 Analysmetodik för teknikerna inom energilagring

I detta underkapitel beskrivs metodiken för dellösningarna inom energilagring: batteri, termisk lagring i damm och ackumulatortank.

### 4.6.1 Batteri

För att kunna utföra beräkningar av batterianvändning var det först nödvändigt att fastställa hur tillgången och behovet av elektrisk energi kommer att se ut. Tillgången utgörs av summan av den elektriska energin som produceras av fallen för solpanelerna och vindkraftverket som genererar mest elektricitet. Frikyla räknas inte med då det inte resulterar i elektrisk energi. Behovet av elektrisk energi i energiberäkningen var ganska generellt. För att kunna studera samspelet mellan tillförsel, behov och lagring av elektrisk energi timvis gjordes en uppskattning av verksamhetens varierande behov av elektrisk energi. Detta inkluderar energin för ugnar, spisar,

diskmaskiner och liknande utrustning som inte kommer vara igång konstant. Utifrån en lista över planerad köksutrustning som återfinns i appendix D till byggnaden gjordes en uppskattning på hur behovet av elektrisk energi skulle se ut under högsäsong och lågsäsong. Högsäsong antogs vara under månaderna juni, juli och augusti, medan de övriga månaderna antogs vara lågsäsong.

Med hjälp av uppskattningarna och den producerade elektriska energin räknades det ut hur många timmar under ett år den producerade elektriciteten skulle kunna täcka upp behovet. Detta jämfördes sedan med situationen där eventuell överskottsenergi kunde lagras i ett batteri. Batteriet baserades på två stycken enheter av modellen Ferroamp Power Station och antogs tillsammans ha en brukbar kapacitet på 20 kWh [47], vilket motsvarar urladdning med 80 % DOD. Effektiviteten var 93 % [47], så att endast den andelen av den lagrade energin kunde utvinnas, detta för att ta hänsyn till energiförluster som sker vid laddning och konvertering mellan lik- och växelström.

Information om batteriets laddningstid var inte tillgänglig. Därmed gjordes en beräknad uppskattning, utifrån batteriets maximala effekt, 5 kW [47], och kapaciteten togs en minimum laddnings- och urladdningstid fram. För att ta hänsyn till att maxeffekten inte alltid kommer uppnås, beroende på tillgång och hur uppladdat batteriet är, valdes laddningstider som var längre än den teoretiskt kortaste tiden till beräkningarna. Ett annat beräkningsantagande som gjordes angående laddningen var att den var linjär. Utifrån dessa parametrar beräknades hur mycket över- och underskott det skulle bli timvis om ett eventuellt överskott lagrades för att sedan kunna användas vid underskott. Mängden energi som kunde lagras i eller användas från batteriet begränsades av hur mycket energi som kunde laddas upp eller ur per timme.

#### 4.6.2 Termisk lagring i damm

Med hjälp av ritningar som fanns tillgängliga från projekteringen av huset och dess omgivning kunde dammens mått uppskattas. Utifrån den givna informationen räknades energiinnehållet i dammen ut och jämfördes med hur mycket energi som skulle kunna utvinnas i dammen beroende på dess temperatur. Medelvärde på omgivande temperatur över året togs från angiven väderdata på Orust i appendix A, där medeltemperaturen var 7,7 °C. Följande antaganden gjordes vid beräkningar av dammens energiinnehåll:

- Dammens area var 53,17 m<sup>2</sup>.
- Dammens djup var 2,00 m.
- Dammens temperatur då ingen energi hade tillförts var omgivningens temperatur, 7,7 °C.
- Konstanter antogs vara oberoende av temperatur.

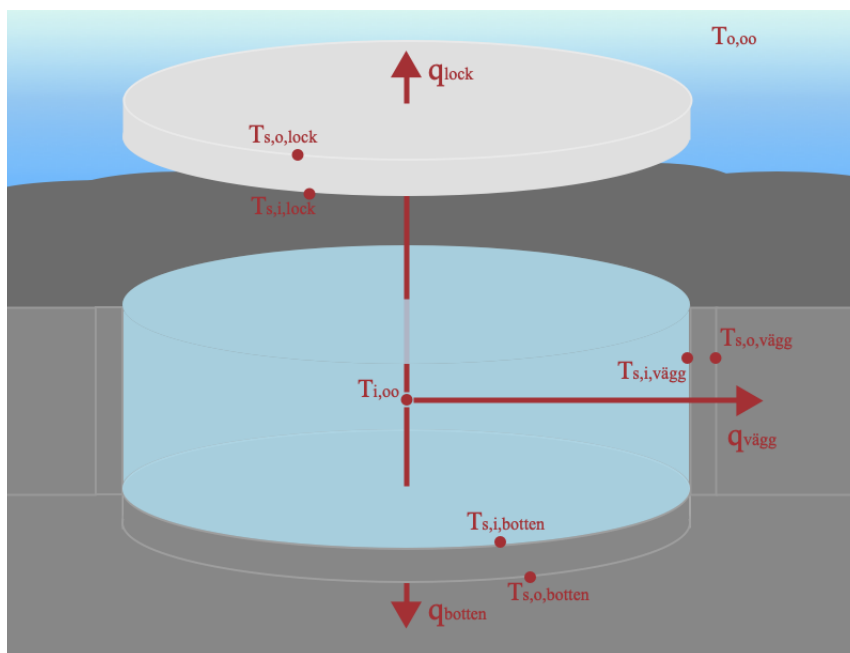
Energiinnehållet i dammen togs sedan fram med hjälp av ekvation 4.5

$$Q = c_p \cdot (T_{vatten} - T_0) \cdot m_{damm} \quad (\text{J}) \quad (4.5)$$

där  $Q$  är den energimängd som kan utvinnas,  $c_p$  vattnets värmekapacitet,  $T_{vatten}$  vattnets varma temperatur,  $T_0$  vattnets initiala temperatur då ingen värme tillförts och  $m_{damm}$  är massan av vatten i dammen.

För den andra delen av beräkningarna för dammen räknades värmeförluster från dammen ut till luften och berget fram. Dammen undersöktes med hjälp av teori inom värmeöverföring och termodynamik. Beräkningar förenklades med antagandet om att dammen kunde vara en cylinder med isolerande lock. Dammen och dess värmeförluster samt olika temperaturer illustreras i figur 4.4. Tanken bestod av en botten, väggar av berggrund och ett lock av frigolit. Dessa delar delades upp till tre olika fall där värmeförluster beräknades med olika ekvationer och värden.

Arean antogs likt ovan vara  $53,17 \text{ m}^2$  och djupet  $2,00 \text{ m}$ . Tjockleken för bergväggen och botten antogs vara samma som för locket av frigolit, vilket valdes godtyckligt till  $20 \text{ cm}$ . Det saknades specifik data om hur bergväggens geometri såg ut vilket krävde att en approximation gjordes. Därför valdes det att enbart beakta fallet där bergväggen och botten var av samma tjocklek som locket. Eventuella sprickor i berggrunden togs inte hänsyn till. Omgivningens temperatur antogs likt ovan vara  $7,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

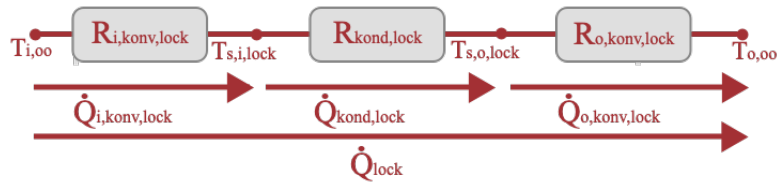


**Figur 4.4:** Illustrering av värmeförluster och temperaturer i dammen vid lock, vägg och botten.

Eftersom vatten användes som energilagringsmedium behövde temperaturen ligga mellan fryspunkt och kokpunkt. Enligt [48] ligger vattnet för vattenburen golvvärme inom ett temperaturintervall på  $40\text{--}45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vidare antogs dammen kunna värmas upp till en temperatur på  $43,5 \text{ }^\circ\text{C}$  då det hade kunnat användas till exempelvis golvvärme eller för värmeöverföring i en värmeväxlare.

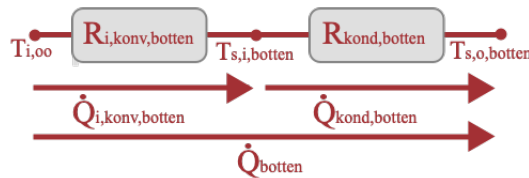
Eftersom temperaturerna som beaktades var relativt låga kunde värmestrålningens effekter försummas. Materialspecifika konstanter togs fram med hjälp av tabeller i litteratur, [49], förutom för berggrunden. Värmeöverföringskonstanten för berggrunden uppskattades med hjälp av en kartgenerator över Sverige som gav att bergarten på platsen var gneiss [50]. Ett värde på värmeöverföringskonstanten för bergarten uppskattades sedan med hjälp av [51]. Konstanter för luft interpolerades fram för att stämma överens med den omgivande temperaturen på 7,7 °C.

För det första fallet beaktades värmeförluster genom locket enligt figur 4.5.



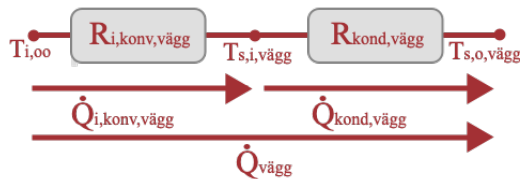
**Figur 4.5:** Illustration av värmeförluster och temperaturer vid dammens lock.

Här antogs värmeöverföringarna genom vattnet, genom locket, och genom luften vara lika,  $\dot{Q}_{i,konv,lock} = \dot{Q}_{kond,lock} = \dot{Q}_{o,konv,lock}$ . Värmeförlusten genom locket beräknades sedan med hjälp av ekvationer 3.7 och 3.11-3.14. För det andra fallet beaktades värmeförluster genom botten enligt figur 4.6.



**Figur 4.6:** Illustration av värmeförluster och temperaturer vid dammens botten.

Här antogs värmeöverföringen genom vattnet och genom botten vara lika,  $\dot{Q}_{i,konv,botten} = \dot{Q}_{kond,botten}$ . Värmeförlusten genom botten beräknades sedan med hjälp av ekvationer 3.8 och 3.11-3.14. För det tredje fallet beaktades värmeförluster genom väggen enligt figur 4.7.



**Figur 4.7:** Illustration av värmeförluster och temperaturer vid dammens vägg.

Här antogs värmeöverföringen genom vattnet och genom väggen vara lika,  $\dot{Q}_{i,konv,vägg} = \dot{Q}_{kond,vägg}$ . Värmeförlusten genom väggen beräknades sedan med hjälp av ekvationer 3.9 och 3.11-3.14.

Efter att värmeförlusterna bestämts ställdes en energibalans upp enligt 3.15 för att se hur snabbt värmen lämnar tanken. Energibalansen, ekvation 4.6, ställdes upp enligt följande,

$$D = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{-\dot{Q}_{förluster} \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24} \quad (\text{dagar}) \quad (4.6)$$

där  $m$  var dammens massa,  $c_p$  vattnets specifika värmekapacitet,  $\Delta T$  förändringen i temperatur,  $D$  tiden i dagar och  $\dot{Q}_{förluster}$  representerade värmeförlusterna genom lock, vägg och botten. Fallet som undersöktes antog att dammen redan hade värmts upp till en viss temperatur sedan tidigare och att ingen energi tillfördes eller fördes bort. Värmen som gick ur tanken antogs enbart utgöras av värmeförluster.

Med dammens förluster bestämda, ställdes en energibalans upp över dammen enligt 3.15. För att tanken skulle hålla mottaget energiinnehåll vid en viss temperatur sattes  $\dot{Q}_{ut} = 0$ . Eftersom energiinnehållet antogs konstant sattes även temperaturdifferensen till 0 så att  $m \cdot c_p \cdot \frac{dT}{dt} = 0$ . Sammantaget gav ekvation 4.7 att

$$0 = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{förluster} \quad (\text{W}) \quad (4.7)$$

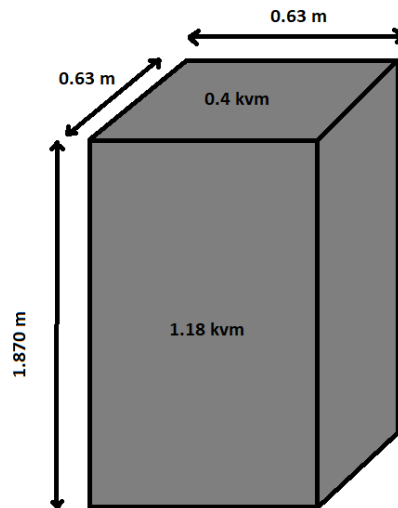
där  $\dot{Q}_{förluster}$  motsvarar värmeförlusterna och  $\dot{Q}_{in}$  energitillförsel till dammen. Sedan löstes  $\dot{Q}_{in}$  ut i ekvation 4.8 som

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{förluster} \quad (\text{W}) \quad (4.8)$$

vilket var den minsta energi som behövdes för att dammen skulle hålla en konstant temperatur. Sedan jämfördes  $\dot{Q}_{in}$  med värmebehovet i huset vilket kan ses i appendix A för att uppskatta om den termiska lagringen kunde vara av nytta.

### 4.6.3 Ackumulatortank

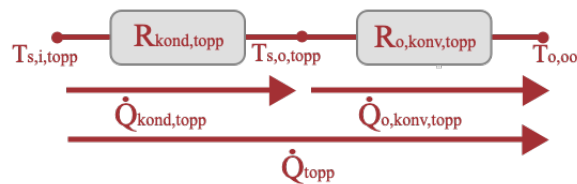
Akkumulatortanken som beräkningarna gjordes på antogs vara av rektangulär karaktär där måtten på sidorna kan ses i figur 4.8 och är tagna från en kommersiell 750 liters ackumulatortank i [52].



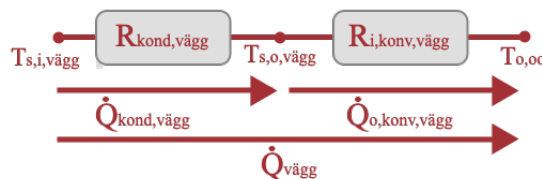
**Figur 4.8:** Skiss av ackumulatortanken.

Vidare antogs vattnet i ackumulatortanken vara  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  och omgivningens temperatur utanför tanken  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Isoleringens tjocklek var  $90\text{ mm}$  mineralull runt om tanken.

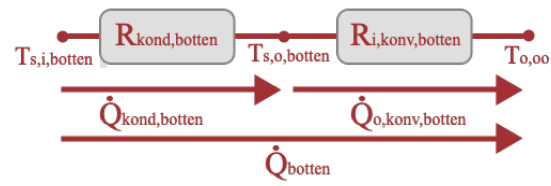
Likt dammens beräkningar delades tanken upp i tre olika delar: toppen, botten samt sidor där värmeförluster beräknades med ekvation 3.7, 3.8 och 3.9 för respektive fall. Resistanser och temperaturer för ackumulatortankens topp kan ses i figur 4.9, väggen i figur 4.10 samt botten i figur 4.11. I alla tre fall visar figur 4.9 - 4.11 konduktion genom ackumulatortanken och sedan konvektion utanför. Samtliga fall använde sedan ekvation 3.11 - 3.14 för att beräkna  $\dot{Q}_{topp}$ ,  $\dot{Q}_{vägg}$  samt  $\dot{Q}_{botten}$ .



**Figur 4.9:** Illustration av värmeförluster och temperaturer vid ackumulatortankens topp.



**Figur 4.10:** Illustration av värmeförluster och temperaturer vid ackumulatortankens vägg.



**Figur 4.11:** Illustration av värmeförluster och temperaturer vid ackumulatortankens botten.

På samma sätt som ekvation 4.6 ställdes energibalansen upp för att beräkna hur många dagar det tar innan ackumulatortanken har samma temperatur som omgivningen. Ekvation 4.7 utnyttjades sedan för att jämföra minsta energi som krävs för att upprätthålla vattnet till konstant  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  i ackumulatortanken.

# 5

## Resultat

Från idégenereringen sammanställdes idékatalogen med samtliga lösningar för vardera område. Efter sällning med elimineringsmatriser kvarstod ett antal lösningar från respektive område för djupare undersökning. Elimineringsmatriserna som låg till grund för elimineringen av teknikerna kan ses i appendix B. Tabell 5.1 visar vilka lösningar som undersöktes vidare och i appendix C återfinns de lösningar från idékatalogen som eliminerats med hjälp av matrisen.

**Tabell 5.1:** Resterande tekniker för energitillförsel, energieffektivisering och energilagring som behövs för vidare analys efter elimineringsmatrisen.

Energitillförsel	Energieffektivisering	Energilagring
Solceller	Förbättring av klimatskal	Batteri
Småskaligt vindkraftverk	Solskydd	Dammen
Frikyla	Värmeåtervinning från avloppsvatten	Ackumulatortank

Resultatet för respektive teknik beskrivs i respektive kapitel och sammanfattas sedan i slutet av kapitlet.

### 5.1 Energitillförsel

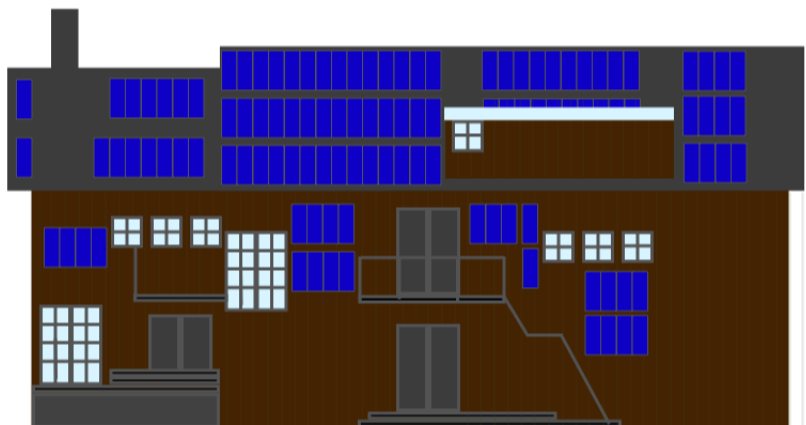
I följande delkapitel presenteras resultatet för teknikerna solceller, vindkraft och frikyla.

#### 5.1.1 Solceller

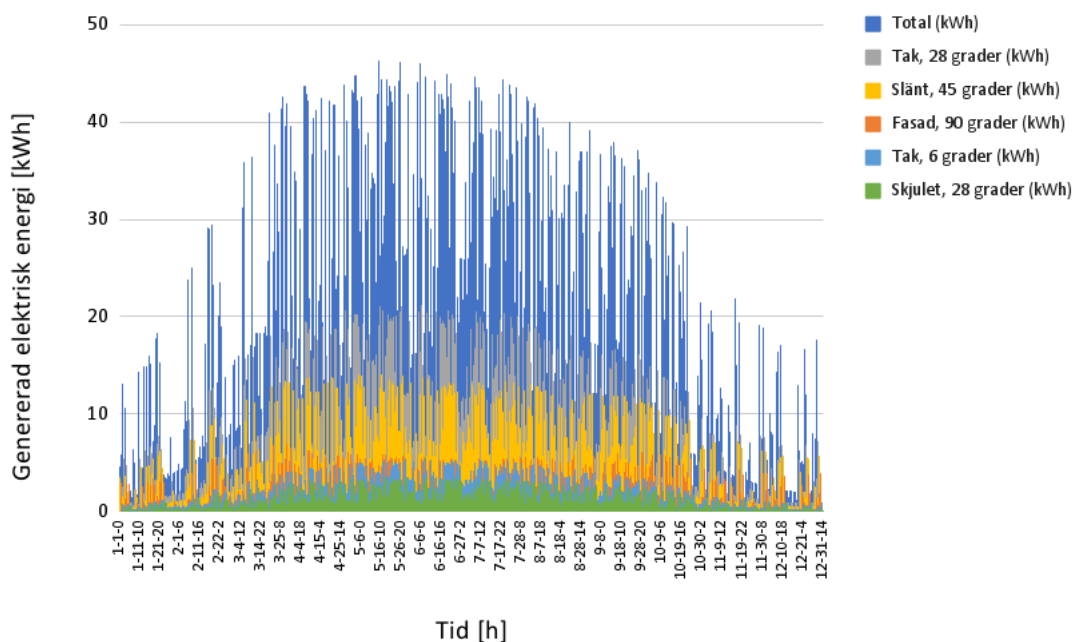
Två alternativ på upplägg av solcellspaneler togs fram. Det första fallet inkluderar solcellspaneler på den delen av taket och fasaden som vette i sydostlig riktning, slänten i sydlig riktning samt på taket till ett intilliggande skjul i ostsydostlig riktning. Skjulet antogs skugga en del av den sydostliga fasaden under en betydande del av dagen så inga paneler placerades på den delen av fasaden. Det andra fallet strävade efter att utnyttja mer yta till solcellspaneler. Det antogs att en carport byggdes över tomtens parkeringsplatser vilket skulle möjliggöra placering av solcellspaneler ovanpå carportens tak. Solcellspaneler på carporten samt taket, skjulet och slänten enligt fall 1 utgör fall 2 för solcellerna. Skillnaden mellan de båda fallen är alltså solceller på en carport samt att fall 2 inte har några solceller på fasaden då det är

möjligt att carporten skulle skugga fasaden.

Fall 1 resulterade i totalt 172 paneler som skulle generera cirka 54 MWh/år. Utplacering av solpanelerna på taket och fasaden på huset kan ses i figur 5.1. Fördelningen av energiutvinningen för fall 1 över året kan ses i figur 5.2.



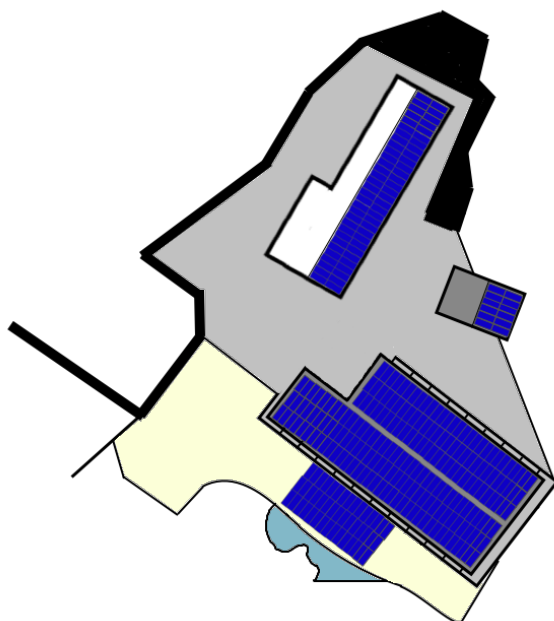
**Figur 5.1:** Illustrering av antalet solceller som fick plats på taket och fasaden.



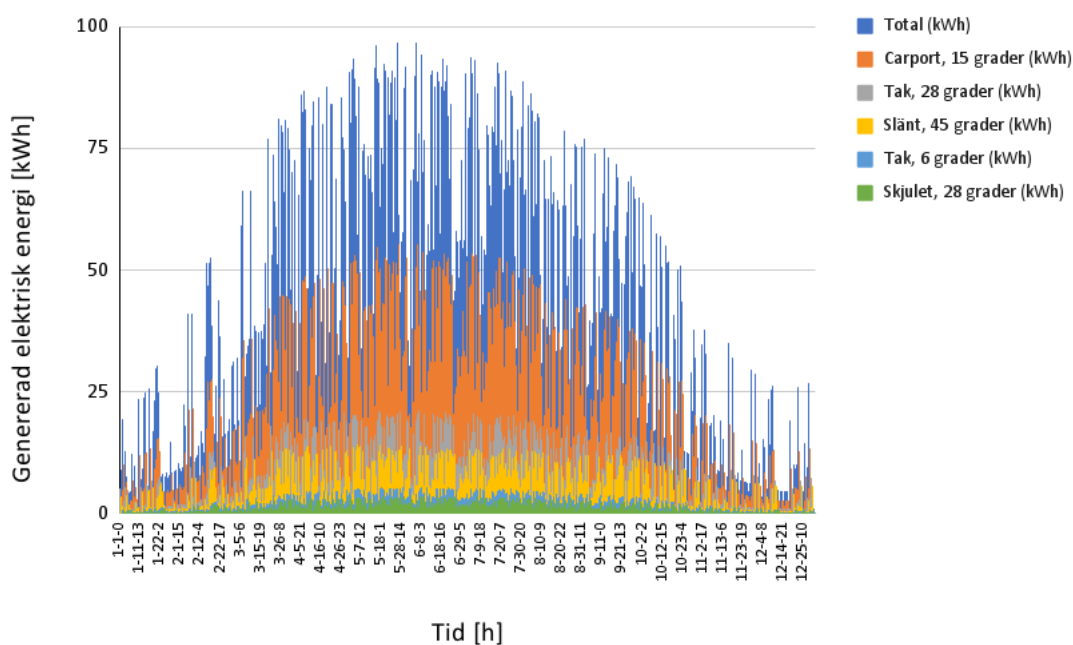
**Figur 5.2:** Genererad elektrisk energi från 172 solceller fördelade på husets tak och fasad i sydostlig riktning, skjulets tak i ostsydostlig riktning samt slänt i sydlig riktning.

Fall 2, med solpaneler på en carport istället för fasaden, resulterade i totalt 339

paneler och en årlig energiutvinning på cirka 118 MWh. Utplaceringen av solceller gjordes enligt figur 5.3. Den genererade elektriska energin kan ses i figur 5.4.



**Figur 5.3:** Planerad placering av solceller på carport, intilliggande skjul samt slänt ned mot dammen.



**Figur 5.4:** Genererad elektrisk energi från 339 solceller fördelade på husets tak i sydostlig riktning, skjulets tak i ostsydostlig riktning, slänt i sydlig riktning samt carportens tak i sydvästlig riktning.

Resultatet av lönsamhetsberäkningar för en solcellsinvestering baserade på tabell 4.1 kan ses i tabell 5.2 för de respektive fallen. Grundinvesteringen för fall 1 beräknades till 605 000 kr och för fall 2 till 1 250 000 kr. Återbetalningstiden för fall 1 landade på 11 år, medan den något större anläggningen i fall 2 landade på en återbetalningstid på 10,5 år.

**Tabell 5.2:** Resultat av lönsamhet för investering av solceller för fall 1 och 2. Där  $G$  är grundinvesteringen,  $B$  är besparingen per år,  $N$  är nuvärdet,  $A$  är annuiteten och  $\dot{A}$  är återbetalningstiden.

Fall	$G$ [kr]	$B$ [kr/år]	$N$ [kr]	$A$ [kr]	$\dot{A}$ [år]
1.	605 000	54 000	329 000	19 000	11
2.	1 250 000	118 000	799 000	46 000	10,5

Återbetalningstiden  $\dot{A}$  beräknades till cirka 11 år vilket är mindre än den uppskattade livslängden på 30 år. Eftersom nuvärdet  $N$  och annuiteten  $A$  i tabell 5.2 är positiva är investeringen lönsam för både fall 1 och 2. Den genererade elektriska energin från fall 1 som 54 MWh/år och 118 MWh/år för fall 2 kan jämföras med den tillförda verksamhetsenergin och elförsörjningen i figur 2.3 på sammanlagt cirka 222 MWh/år. Vid fall 2 kan därmed drygt hälften av behovet av elektrisk energi täckas av solceller. Vidare kan fall 1 jämföras med enbart elförsörjningen på 36 MWh/år från figur 2.3, där fallet täcker hela årskonsumtionen. Solcellerna omvandlar mest energi under sommarhalvåret, vilket kan ses i figur 5.2 och figur 5.4. Därför passar solcellerna troligtvis bra ihop med restaurangens energibehov, som väntas vara som störst under sommaren. Eftersom solcellerna kan monteras på redan befintliga tak och väggar som fyller andra syften, tar lösningen lite plats.

### 5.1.2 Vindkraft

Väderdatan [44] sammanställdes till tabell 5.3.

**Tabell 5.3:** Vinddata från ett normal år på Orust respektive Lysekil.

Vinddata	Orust	Lysekil
Medel vindhastighet [m/s]	3,9	4,3
Median vindhastighet [m/s]	3,6	3,9
Antal h över 2,5 m/s	6 200	6 550

Antalet timmar som det blåser mer än 2,5 m/s är intressant då detta motsvarar lägsta vindhastighet som vindkraftverken som analyserats i projektet producerar el.

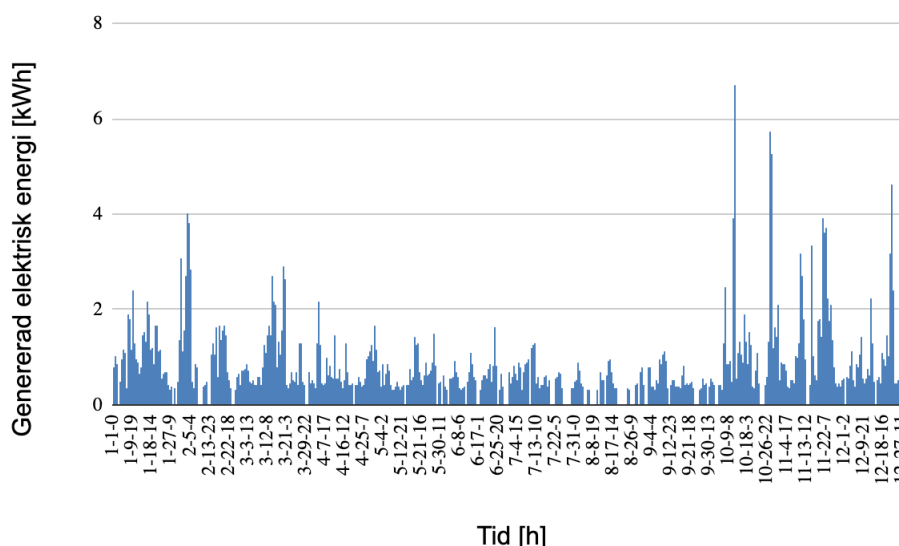
Resultatet i genererad elektrisk energi över ett genomsnittligt år på Orust respektive Lysekil för ett horisontellt respektive vertikalt vindkraftverk blev enligt följande:

**Tabell 5.4:** Elproduktion för Orust respektive Lysekil under ett genomsnittligt år.

Elproduktion under ett genomsnittligt år	Orust	Lysekil
Horisontellt vindkraftverk [kWh]	2 200	2 900
Vertikalt vindkraftverk [kWh]	3 300	4 200

Skillnaden mellan ett horisontellt vindkraftverk och ett vertikalt vindkraftverk är markant. I denna studie produceras alltså mest el i Lysekil med ett vertikalt vindkraftverk och därför har det valts att studeras vidare. Den årliga genererade elektriska energin för ett vertikalt vindkraftverk i Lysekil i jämförelse med posten för verksamhetsenergin (186 MWh) i figur 2.3 är väldigt låg.

Den utvunna energin för det vertikala vindkraftverket i Lysekil över ett genomsnittligt år kan ses i figur 5.5.

**Figur 5.5:** Genererad elektrisk energi över ett genomsnittligt år i Lysekil med ett vertikalt vindkraftverk.

Data för lönsamhetsberäkningar för ett vertikalt vindkraftverk med en livstid på 20 år och en räntesats på 4 % [43] kan ses i tabell 4.2. Lönsamhetsberäkningar utförs för tre fall. Fall 1 är ett vertikalt vindkraftverk (grundinvestering på 120 500 kr [43]), fall 2 är två vertikala vindkraftverk (grundinvestering på 241 000 kr [43]) och fall 3 är den besparingen som krävs för att ett vertikalt vindkraftverk ska vara lönsamt (positivt nuvärde). Resultatet av lönsamhetsberäkningarna blev enligt tabell 5.5.

**Tabell 5.5:** Resultat av lönsamhet för investering av vindkraftverk. Där  $G$  är grundinvesteringen,  $B$  är besparingen per år,  $N$  är nuvärdet,  $A$  är annuiteten och  $\check{A}$  är återbetalningstiden.

Fall	$G$ [kr]	$B$ [kr/år]	$N$ [kr]	$A$ [kr]	$\check{A}$ [år]
1.	120 500	4 200	-63 400	-4 300	29
2.	241 000	8 400	-127 000	-9 300	29
3.	120 500	8 900	450	33	13

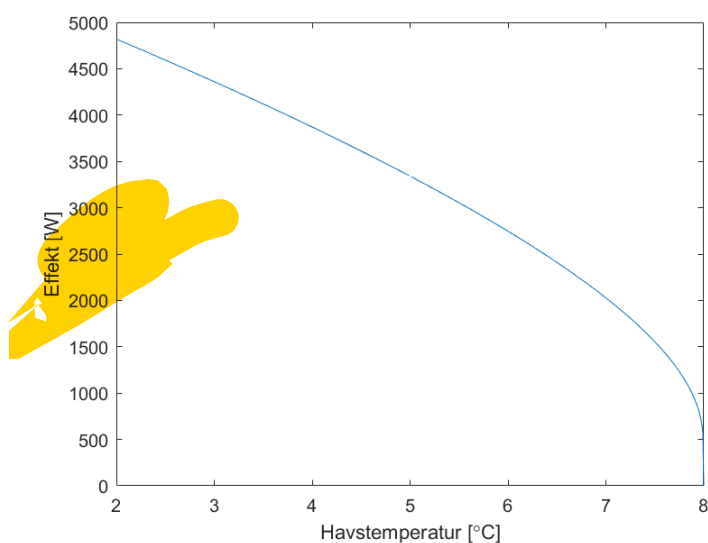
Fall 1 (ett vertikalt vindkraftverk) ger ett negativt nuvärde samt att återbetalningstiden är längre än vindkraftverkets livslängd och är därmed inte lönsamt.

Fall 2 (två stycken vertikala vindkraftverk) där förenklingen att vindkraftverkens elproduktion inte påverkar varandra har gjorts ger också ett negativt nuvärde och investeringen är därmed inte lönsam.

Fall 3 visar på hur mycket el som behöver produceras (hur stor besparingen per år måste vara) för att ett vindkraftverk ska bli lönsamt och ha en kortare återbetalningstid än livslängden. Medelvindhastigheten över ett år som skulle krävas är 7,5 m/s jämfört med dagens medelvindhastighet på 4,3 m/s enligt tabell 5.3. För att öka elproduktionen av detta vertikala vindkraftverket hade en högre vindhastighet över året krävts alternativt en lägre investeringskostnad.

### 5.1.3 Frikyla

Figur 5.6 visar hur mycket effekt som kan fås från frikyla givet tidigare antaganden med värden. Eftersom tilloppstemperaturen till verksamheten antogs vara 8 °C kan ingen effekt utvinnas då havets temperatur är eller överstiger 8 °C.



**Figur 5.6:** Modellering av hur effekt från frikyla varierar med havstemperatur.

Enligt [53] kan den genomsnittliga havstemperaturen för området fås månadsvis och med hjälp av figur 5.6 visar tabell 5.6 hur mycket effekt i form av frikyla som kan plockas ut under respektive månad samt hur mycket energi detta motsvarar månadsvis.

**Tabell 5.6:** Genomsnittlig havstemperatur, energi samt effektdata för frikyla månadsvis.

Månad	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Temp. [°C]	4,0	2,7	4,1	6,6	10,8	15,4	17,8	18,2	16,0	12,8	9,6	6,1
Effekt [W]	3871	4501	3820	2338	0	0	0	0	0	0	0	2682
Energi [kWh]	2880	3025	2842	1683	0	0	0	0	0	0	0	1995

Detta motsvarar en siffra på totalt 12 425 kWh/år och kan jämföras med kylbehovet från energiberäkningen på 111 029 kWh som återfinns i appendix A.

## 5.2 Energieffektivisering

Resultatet från analysen av energieffektivisering i byggnaden presenteras i detta avsnitt och från elimineringsmatrisen återstod det att vidare undersöka klimatskalet, användning av solskydd och värmeåtervinning från avloppsvatten.

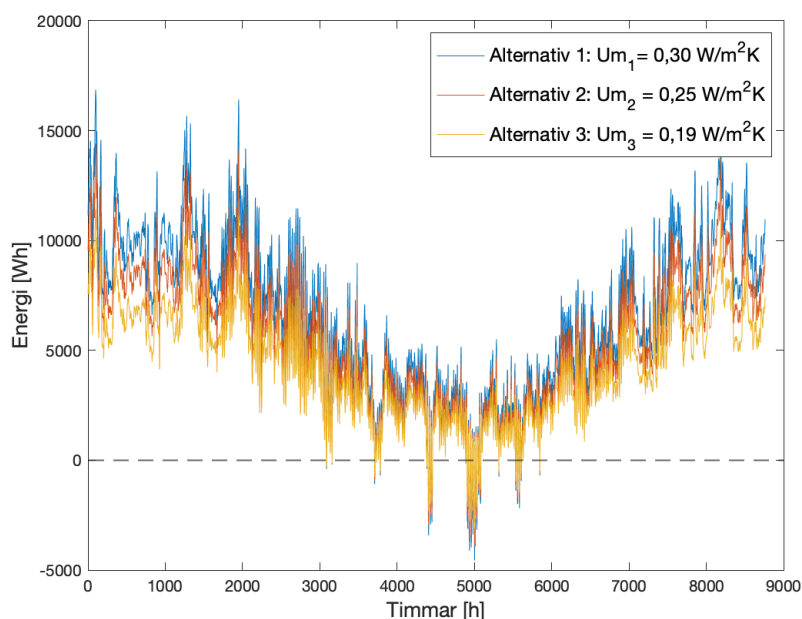
### 5.2.1 Förbättringar i klimatskalet

Genom att välja byggnadsdelar med bättre U-värden i klimatskalets delar kan byggnadens transmissionsförluster minska. För att undersöka effekten av ett förbättrat klimatskal har tre olika alternativ jämförts. Alternativ 1 representerar klimatskalet från projekteringsunderlaget och är det som byggnaden förväntas ha. I alternativ 2 och 3 har lägre U-värden antagits för att påvisa vilken inverkan det har på transmissionsförlusterna över ett år. I tabell 5.7 redovisas U-värden för de tre alternativen som studerats.

**Tabell 5.7:** Visar U-värden för projekterade och undersökta klimatskalslösningar.

Alternativ	Byggnadsdel	Tjocklek isolering [mm]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	Area [m <sup>2</sup> ]
1	Yttervägg betong	100	0,19	397
	Yttervägg trä	195	0,15	57
	Grund	600	0,06	458
	Tak 1	387	0,11	441
	Tak 2 (ö. glasparti)	167	0,21	60
	Fönster	-	1,1	50
	Glasparti	-	1,3	137
	Dörr	-	1,2	25
2	Yttervägg	200	0,13	397
	Yttervägg trä	195	0,10	57
	Grund	600	0,06	458
	Tak 1	400	0,10	441
	Tak 2 (ö. glasparti)	400	0,10	60
	Fönster	-	1,0	60
	Glasparti	-	1,1	137
	Dörr	-	1,0	25
3	Yttervägg	250	0,11	397
	Yttervägg trä	195	0,10	57
	Grund	600	0,06	458
	Tak 1	400	0,08	441
	Tak 2 (ö. glasparti)	400	0,08	60
	Fönster	-	0,7	60
	Glasparti	-	0,7	137
	Dörr	-	1,0	25

För varje alternativ har energiförlusten genom klimatskalet och köldbryggor på grund av transmission beräknats med ekvation 3.5. Väderdata från Sveby med statistiskt sammanställda temperaturer från åren 1981-2010 har använts för att beräkna transmissionsförlusten per timme över ett år [45]. Resultatet från beräkningen redovisas i figur 5.7 och visar att transmissionsförlusterna är proportionella mot förbättringen av klimatskalet. I tabell 5.8 redovisas transmissionsförlusten summerad per år i kWh.



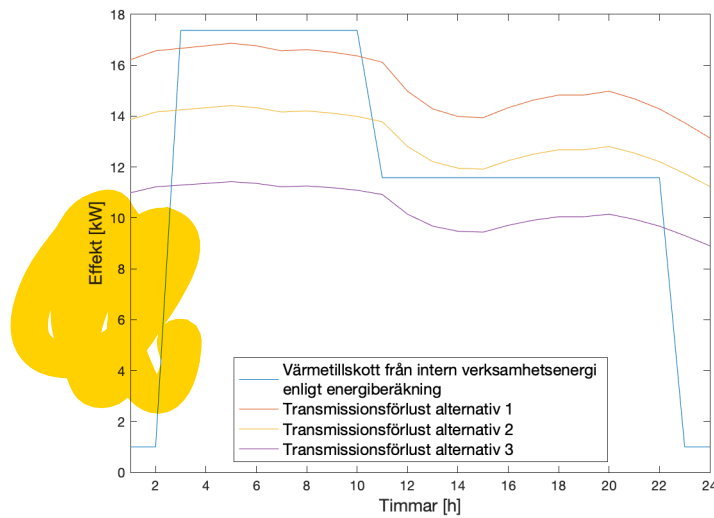
**Figur 5.7:** Graf som visar transmissionsförlusten över ett år för projekterat klimatskal samt två förbättrade alternativ.

**Tabell 5.8:** Beräknade transmissionsförluster genom klimatskalet för ett år.

Alternativ	Beskrivning	U-medel [W/m <sup>2</sup> K]	Energiförlust [kWh/år]
1	U-värden fr. projekterings ritning	0,30	57 954
2	Antagna U-värden bättre	0,25	49 542
3	Antagna U-värden bäst	0,19	39 260

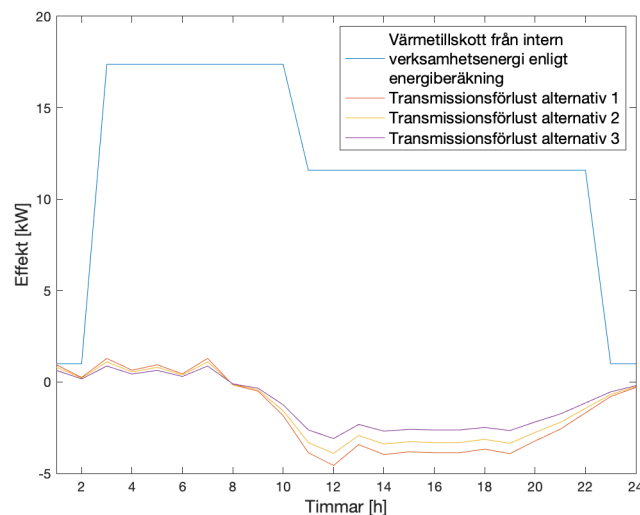
Beräkningen av alternativ 2 och 3 visar att transmissionsförlusterna minskar med bättre U-värden. Alternativ 2 är det mest realistiska alternativet att välja eftersom väldigt låga U-värden antagits på fönster i alternativ 3. Enligt resultatet från beräkningen skulle alternativ 2 minska transmissionsförlusterna med ungefär 8 412 kWh/år och alternativ 3 med ungefär 18 700 kWh/år jämfört med den projekterade lösningen på klimatskal.

För att visualisera förhållandet mellan transmissionsförlusten och det interna värmestillskottet visas i figur 5.8 transmissionsförlusten tillsammans med den internvärme som antagits av konsulter i energiberäkningen. Internvärmes tillförsel är högre tidigt på dagen till följd av att bageriverksamhetens ugnar förväntas ha en större energiförbrukning än verksamheten dagtid. Den fullständiga energiberäkningen redovisas i appendix A.



**Figur 5.8:** Graf som visar transmissionsförluster för de tre alternativen och den antagna internvärmens från energiberäkningen under en kall dag.

Det syns att uppvärmningsbehovet vintertid till stor del täcks upp av det interna värmetillskottet, särskilt om U-värden väljs enligt alternativ 2 eller 3. I figur 5.9 redovisas hur samma förhållande ser ut under en varm sommardag och det syns att det sommartid snarare kommer krävas mer kylning, detta oavsett alternativ på U-värden.



**Figur 5.9:** Graf som visar transmissionsförluster för de tre alternativen och den antagna internvärmens från energiberäkningen under en varm dag.

Dessa jämförelser görs för att studera inverkan i klimatskalet och förändringar av U-värden. I verkligheten kommer faktorer som luftläckage, ventilation och det verkliga värmetillskottet från verksamhetsenergin spela en stor roll i hur energibalansen

blir.

Resultatet av de statiska beräkningarna enligt alternativ 1 avviker från transmissionsförlusten enligt energiberäkningen redovisad i figur 2.3, detta trots att de bör ge samma resultat. I energiberäkningen uppgår transmissionsförlusten till 74 953 kWh/år medan den är beräknad till 57 954 kWh/år för alternativ 1. Denna skillnad tyder på att alla beräkningar för alternativ 1-3 är något underskattade. Anledningen till det kan vara att beräkningsmetoderna skiljer sig. Vidare var energiberäkningens U-värden något högre än U-värden som låg till grund för alternativ 1 som visas i ritningsunderlag.

### 5.2.2 Solskydd

Byggnaden på Orust kommer att vara försedd med fönster som är placerade i väderstrecken nordost, sydost, sydväst och nordväst, enligt energiberäkningen som hittas i appendix A. Vidare kommer byggnaden att ha stora glaspartier som är placerade i väderstrecken nordost, sydväst och nordväst. Den totala arean för fönster och glaspartier i olika väderstreck redovisas i tabell 5.9 nedan.

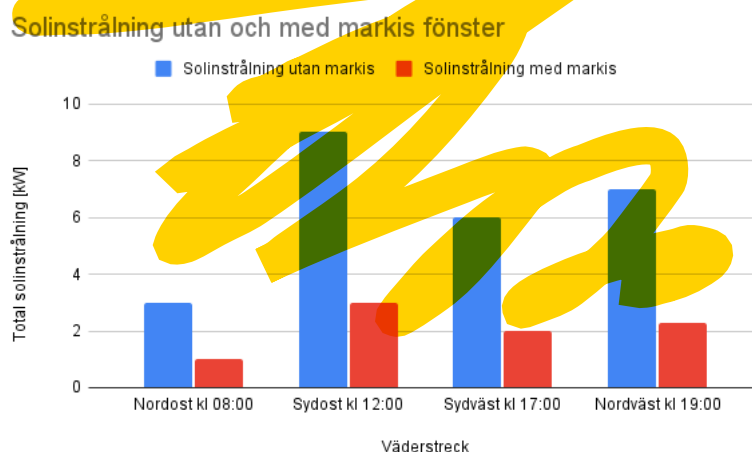
**Tabell 5.9:** Area för fönster och glaspartier i respektive väderstreck.

Väderstreck	Total area fönster [m <sup>2</sup> ]	Total area glasparti [m <sup>2</sup> ]
Nordost	8,34	15,1
Sydost	20,65	-
Sydväst	14,21	15,1
Nordväst	20,79	107,2

Både byggnadens fönster och glaspartier har alla g-värden på 0,61, enligt energiberäkningen. Detta innebär att 61 % av solenergin släpps in igenom glaset och 39 % stängs ute. Med solskydd i form av markiser kan g-värdet reduceras till minst 0,2 [9], vilket innebär en större utestängning av värmeenergi.

I figur 5.10 nedan visas den genomträngda solinstrålningen med och utan markiser för byggnadens fönster i respektive väderstreck och angivna klockslag då solinstrålningen är som störst.

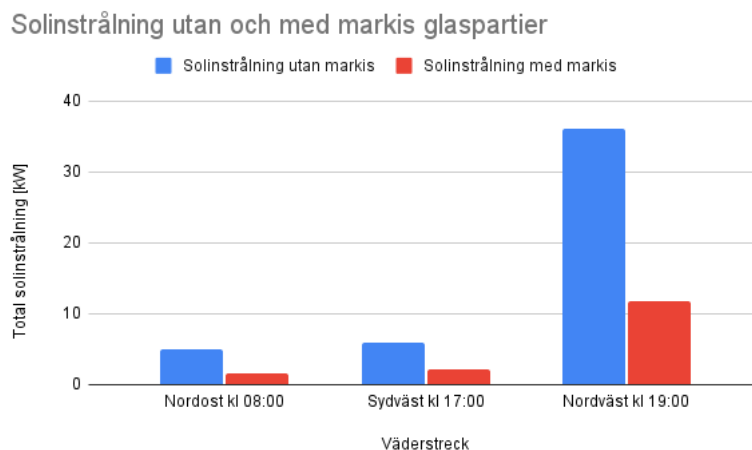
## 5. Resultat



**Figur 5.10:** Solinstrålning genom fönster med respektive utan markiser.

Utifrån resultatet i figur 5.10 ovan går det att utläsa att markiser minskar den totala solinstrålningen för alla väderstreck i byggnaden. Störst behov av markiser har fönster som är placerade i sydostlig riktning, där effekten minskas från 9 kW till 3 kW vid kl 12:00 under en sommardag. Minst behov av markiser har fönster placerade i nordostlig riktning.

Resultatet av den genomträngda solinstrålningen för byggnadens stora glaspartier presenteras i figur 5.11 nedan.



**Figur 5.11:** Solinstrålning genom glaspartier med respektive utan markiser.

Utifrån figur 5.11 ovan går det att konstatera att glaspartier som är placerade i nordvästlig riktning har störst behov av solskydd under en sommardag. Värmetillskottet för glaspartier i nordvästlig riktning uppnår till 36 kW vid kl 19:00 under en sommardag. Med markiser reduceras denna siffra till ungefär 12 kW vilket innebär att markiser kan bidra till minimera kylbehovet för byggnaden. Nackdelen med solskydd är att de kan utsättas för väder och vind, vilket ställer krav på lämplig konstruktion och val av markis.

### 5.2.3 Värmeåtervinning från avloppsvatten

Byggnaden på Orust är projekterat med restaurang, kök, bageri och fiskberedning, vilka kräver stora mängder energi och varmvatten. Avloppsvatten från kök och bageri kan innehålla höga halter av fett vilka kräver att byggnaden är försedd med fettavskiljare (enligt standard SS-EN 1825-1) för att rena spillvattnet [27]. Örenat spillvatten påverkar avloppsnätet, vilket kan leda till igensättning samt negativa följder för reningsverket [27]. Det finns idag aktörer som tillhandhåller fettavskiljare som kan återvinna värmen från spillvattnet och som placeras i byggnadens markförläggning. Det finns även externa fettavskiljare utan värmeåtervinning som installeras antingen inomhus i byggnaden eller i byggnadens markförläggning, beroende på plats och storlek på avskiljare [27].

Underhåll och skötsel påverkar lönsamheten av ett värmeåtervinningssystem av spillvatten. En ökad underhållningsgrad leder till en ökad tidsåtgång och som en följd en större underhållskostnad. Studier har påpekat risker och problematiken av att underhåll görs för sällan, samt svårigheter att få intern personal att utföra rensningen [27]. Därmed riskeras stopp i avloppet och som följd eventuella driftsstörningar. Därför bör rensningar göras med jämna mellanrum utefter specifikationer och systemets uppbyggnad. Problemen visar sig vara störst vid återvinning från svartvatten (WC-vatten), då det finns risk för att oönskade föremål spolade ned i avloppet [27]. Därför är återvinning från gråvatten (disk-, bad-, dusch -och tvättvatten) mest gångbart, eftersom sannolikheten är mindre för oönskade föremål.

Enligt en studie som utfördes av forskare vid Kungliga tekniska högskolan varierar verkningsgraden i spannet 17-42 % för ett värmeåtervinningssystem från spillvatten [24]. Studien baserades på fyra olika flerbostadshus och med fyra olika system, däribland att använda tankar för att samla upp varmt spillvatten. Parametrar som visade sig vara avgörande för effektiviteten hos systemet var:

- Flödet på spillvattnet.
- Temperaturdifferensen på utgående tappvatten och inkommande vatten.
- Storleken på värmeväxlaren (area som används för värmeöverföring).
- Hastighet på ingående vatten kontra hastighet på utgående vatten (dvs. tiden som värmeutbytet sker).

Utifrån studier skulle verkningsgraden variera runt 30 % beroende på systemets uppbyggnad [24]. Med detta som utgångspunkt, skulle installationen innebära en teoretisk besparing på ungefär 155 kWh/år, utifrån Svebys schablonvärde för ett kontor [46], samt givet de antaganden som redovisades under kapitel 4.5.3. På samma vis skulle byggnaden ha en teoretisk besparing på ungefär 1 933 kWh/år, baserat på Svebys schablonvärde över en lunchrestaurang inklusive kök [46]. Resultat redovisas i tabell 5.10.

**Tabell 5.10:** Resultat från beräkningar av besparing för värmeåtervinning från avloppsvatten.

Data Schablonvärde [kWh/m <sup>2</sup> ]	Besparing [kWh/år]
Kontor, 2	155
Lunchrestaurang, 25	1 933

Utifrån resultatet som visas i tabell 5.10 går det att konstatera att besparingen är liten i relation till andra energiposter för byggnaden, som ses i figur 2.3. Detta i kombination med risker för stopp i systemet och en hög underhållsgrad innebär att tekniken har låg potential för byggnaden på Orust.

## 5.3 Energilagring

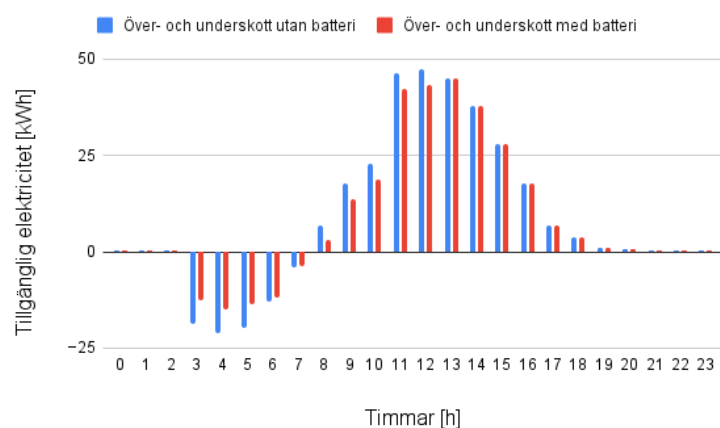
Detta avsnitt presenterar resultatet för olika lösningar på hur byggnaden kan öka självförsörjandegraden med hjälp av energilagring och på så sätt bli mer energismart. Resultat som visas i detta avsnitt är för batterier, ackumulatortank samt dammen som finns tillgänglig intill byggnaden.

### 5.3.1 Batteri

Grafer över det uppskattade varierande elektriska energibehovet beskrivet i metoddelen och den genererade elektriska energin för två exempeldagar kan ses i appendix E.

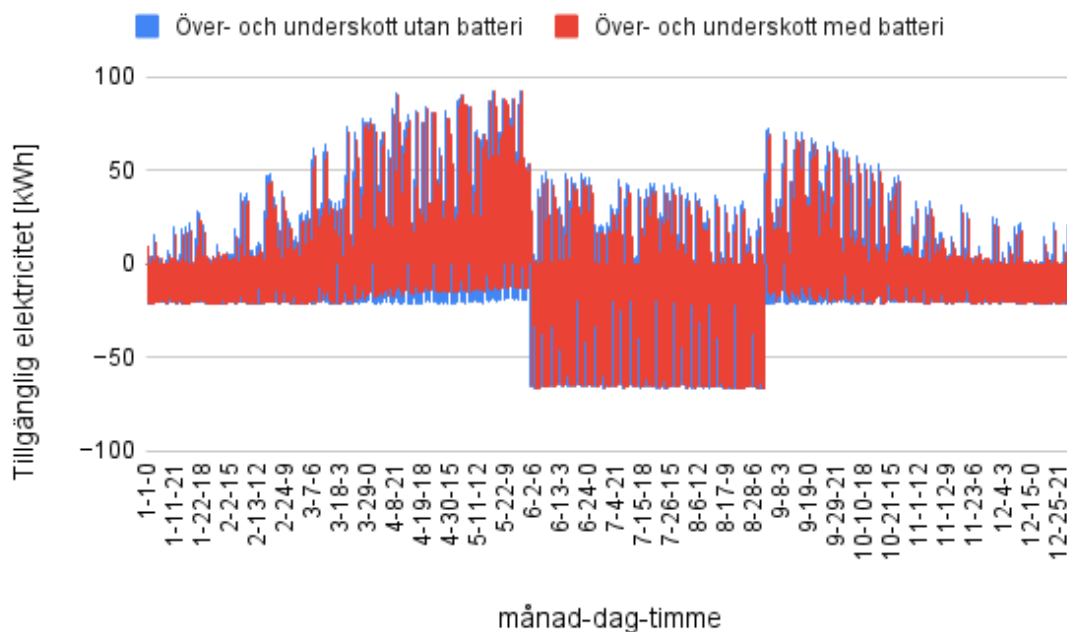
Batteriets uppladdningstid uppskattades till fem timmar och urladdningstiden till tre timmar. Därmed antogs det att 4 kWh kunde lagras per timme och 93 % av 6,67 kWh, det vill säga 6,2 kWh, kunde användas per timme från batteriet. Skillnaden mellan den utvunna elektriska energin och verksamhetens periodiska behov för en godtycklig vardag, både med och utan ett batteri, kan ses i figur 5.12. I figuren indikerar positiva värden ett överskott av energi som då skulle behöva säljas till elnätet och negativa värden innebär ett underskott av energi som skulle behöva köpas in från elnätet. Skillnaden i underskott och överskott mellan de blåa och röda staplarna är skillnaden för fallen med och utan batteri. Mellanskillnaden av staplarna har lagrats i batterier för senare användning. Batterier jämnar därmed ut under och överskotten något.

## 5. Resultat



**Figur 5.12:** Graf över förhållandet mellan den utvunna elektriska energin från solpaneler och ett vertikalt vindkraftverk och verksamhetens varierande behov en vårdag baserat på uppskattning av energibehovet vid lågsäsong.

Skillnaden i över- och underskott över ett helt år kan ses i figur 5.13 som visar det figur 5.12 gör över året. I denna figur blir skillnaden mellan behovet vid högsäsong och lågsäsong tydligare då underskottet på energi är större och förekommer oftare under högsäsongen. Det går även att se i figuren att skillnaden mellan de blåa och röda staplarna inte är särskilt stora, vilket innebär att batteriet inte lagrar och täcker upp en särskilt stor andel av den utvunna och förbrukade energin. Det stora skiftet nedåt mitt i grafen är till följd av det ökade energibehovet under högsäsongen.

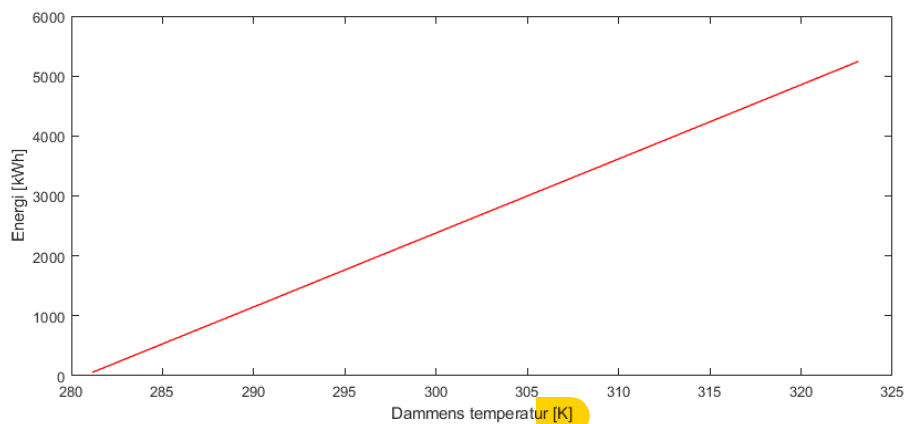


**Figur 5.13:** Graf över förhållandet mellan den utvunna elektriska energin från solpaneler och ett vertikalt vindkraftverk och verksamhetens varierande behov utifrån uppskattning för låg och högsäsong.

Andelen av året då det inte finns ett underskott av energi, sett enbart till verksamhetens varierande elbehov är cirka 57,4 %. Motsvarande siffra för fallet där överskott kan laddas i ett batteri med 20 kWh kapacitet och 93 % lagringsförluster är cirka 61,5 %.

### 5.3.2 Termisk lagring i damm

Energiinnehållet för dammen utan några värmeförluster presenteras i figur 5.14. Vidare visar figur 5.14 en temperaturvariation mellan 8-50 °C i dammen och vid 43,5 °C är energiinnehållet i dammen ungefär 4 400 kWh.



**Figur 5.14:** Energiinnehåll i dammen som funktion av dammens temperatur.

Beräknade värmeförluster skedde genom locket, väggen och botten på dammen och kan ses i tabell 5.11.

**Tabell 5.11:** Beräknade värmeförluster samt yttemperaturer för dammen.

Dammen	$\dot{Q}_{\text{förluster}}$ [W]	$T_s$ [°C]
Locket	346	8,37
Väggen	2 463	39,78
Botten	115	8,03
<b>Summa</b>	<b>2 924</b>	

Totala värmeeffektörluster från dammen motsvarar alltså 2 924 W. Beräknade yttemperaturer var 8,37 °C på utsidan av locket, 39,78 °C på utsidan av väggen och 8,03 °C på utsidan av botten.

Energibalans gav att det skulle ta drygt 62 dagar för dammen att svalna till omgivningens temperatur på 7,7 °C. Om det istället antogs att dammen skulle hålla en statisk temperatur på 43,5 °C och  $\dot{Q}_{\text{ut}}$  antogs lika med noll, gav energibalans att

det krävdes 25 620 kWh/år för att upprätthålla detta. Jämfört med husets värmeförsörjning enligt figur 2.3, behövdes bara 2 918 kWh/år för att tillgodose husets värmebehov. Detta gav att dammen alltså hade behövt en energitillförsel på mer än 28 538 kWh/år för att ha möjlighet att tillgodose husets behov, där värmeförluster för transporter till och från dammen inte är medräknat. Utifrån figur 2.3 samt tabell i appendix A med avgiven energi hittades ingen uppenbar möjlighet för värmeåtervinning eller annan värmekälla som hade kunnat utnyttjas.

### 5.3.3 Ackumulatortank

Tabell 5.12 visar resultat från beräkningar gjorda på ackumulatortanken som antogs i metoddelen där  $T_s$  och  $\dot{Q}_{\text{förluster}}$  representerar yttemperaturen respektive värmeförluster på olika ställen av tanken. Totala värmeförluster beräknades till 105,7 W där botten respektive toppen av tanken visades vara den varmaste respektive kallaste delen av tanken.

**Tabell 5.12:** Värmeförluster samt yttemperaturer på ackumulatortank.

Akkumulatortank	$\dot{Q}_{\text{förluster}}$ [W]	$T_s$ [°C]
Toppen	7,89	22,0
Sidor (4 st)	90,48	23,4
Botten	7,33	25,4
<b>Summa</b>	<b>105,7</b>	

Energibalansberäkningar gav att det skulle ta ungefär 16,8 dagar för ackumulatortanken att svalna till omgivningens temperatur på 21,0 °C och att det krävs 930 kWh/år för att upprätthålla en konstant temperatur på 70 °C i tanken. Detta kan jämföras mot värmebehovet i huset på 2 918 kWh/år enligt figur 2.3 i kapitel 2. Det hade alltså uppskattningsvis behövts en energitillförsel till ackumulatortanken på 3 848 kWh/år för att kunna tillgodose husets värmeförbrukning.

## 5.4 Sammanfattning av resultat

I detta delkapitel presenteras en sammanfattning av resultaten som har sammanställts i tabell 5.13 (lösningar inom energitillförsel), 5.14 (lösningar inom energieffektivisering) och 5.15 (lösningar inom energilagring). I tabellerna redovisas både för- och nackdelar av de olika teknikerna, samt dess potential för respektive område.

**Tabell 5.13:** Resultat för olika lösningar inom energitillförsel presenteras med fördelar, nackdelar och potential.

Lösning, potential	Fördelar	Nackdelar
Solceller, hög	Lönsamt. Tillfredsställer cirka hälften av elbehovet. Tar lite plats. Fluktueringarna passar relativt bra ihop med verksamhetens toppar vilket även minskar behov av energilagring.	Stora fluktuationer över dygn och årstider.
Vindkraft, låg	Kompletterar fluktuationer från solceller. Blåser hela året.	Producerar lite el i jämförelse med solceller. Krävs mer vind för att få det ekonomiskt lönsamt.
Frikyla, medel	Utnyttjar befintligt kylvatten på plats. Finns kylbehov i huset.	Beror av havets temperatur som fluktuerar under året.

**Tabell 5.14:** Resultat för olika lösningar inom energieffektivisering presenteras med fördelar, nackdelar och potential.

Lösning, potential	Fördelar	Nackdelar
Förbättring av klimatskalet, medel	Sänker uppvärmningsbehovet.	Riskerar att öka behovet av kylning och ventilation. Relativt bra klimatskal redan.
Solskydd, hög	Enkelt sätt att reglera insläppet av solenergi i byggnaden. Sänker kylbehovet för byggnaden under sommarhalvåret.	Beroende på typ och konstruktion på solskyddet, kan det vara känsligt för kraftiga vindar.
Värmeåtervinning från avloppsvatten, låg	Tar tillvara på eventuell outnyttjad energi.	Inte lönsam i förhållande till den årliga besparingen. Risk för igensättningar och kräver underhåll.

**Tabell 5.15:** Resultat för olika lösningar inom energilagring presenteras med fördelar, nackdelar och potential.

Lösningar	Fördelar	Nackdelar
Batteri, medel	Förhållandevis hög verkningsgrad. En teknik som det sker mycket utveckling av.	Inte lönsam. Beroende på elbehovet krävs flera för att alltid kunna lagra överskott eller så är elbehovet så pass stort att batteriet inte fyller ett syfte.
Termisk lagring i damm, låg	Damm finns redan på platsen. Kan lagra stora mängder vatten.	Stora värmeförluster. Otydligt var allt varmvatten ska komma ifrån. Värmebehovet i huset lågt. Begränsad av vattnets kokpunkt.
Akkumulatortank, hög	Välisolerad med låga värmeförluster.	Mängden möjlig energilagring begränsas av vattnets kokpunkt.

# 6

## Diskussion och slutsats

I följande kapitel diskuteras projektets resultat, utifrån lösningarnas fördelar, nackdelar samt analysmetodikens felkällor. Slutligen kommer avsnittets slutsats att utvärdera potentialen hos de olika tekniska lösningarna.

### 6.1 Energitillförsel

Målet med den lokala energiomvandlingen är att ta tillvara på energin i lokala naturresurser. Utifrån mängden omvandlad energi och den uppskattade kostnaden för teknikerna i resultatavsnittet är solceller ett alternativ som är värt att satsa på, vilket kan ses i tabell 5.13. Frikyla har potential, men en kostnadsanalys bör utföras för att utvärdera lönsamheten.

Både solcellspanelerna och vindkraftverken har fördelen att de genererar elektrisk energi, vilket är något som verksamheten har behov av. Solcellspanelerna, som omvandlar mest energi, har även fördelen att dess produktion är störst under sommarmånaderna, vilket antagligen är då verksamheten kommer att ha som störst behov av elektricitet. Solcellernas bidrag under vinterhalvåret är avsevärt mindre, men genererar fortfarande en del elektricitet. Vindkraftverket genererar mindre energi men jämnare över året. Vid uträkning av den genererade elenergin för båda teknikerna användes meteorologisk data eller simuleringsdata baserad på väderdata där väderdatan togs från närmaste tillgängliga ort som bedömdes ha liknande geografiska drag. Detta gäller även frikylan som använde data över havstemperaturen utanför Göteborg. Den meteorologiska datan bedöms inte vara den primära felkällan för resultatet. Antaganden och uppskattningar som har gjorts i beräkningarna har troligen haft en större påverkan på resultatet än skillnader i väderdata mellan orterna där datan mättes och husets placering på Orust.

Utifrån sammanfattningen av resultatet i tabell 5.13 bedöms både solcellspanelerna och frikylan ha potential. Det är dock värt att nämna att för solcellsberäkningarna antar fallet som genererar mest elenergi att en carport byggs över parkeringsplatserna och att solcellspaneler placeras på denna. Givetvis innebär detta en investeringskostnad som påverkar lönsamheten och som inte har räknats med. Det studerade vindkraftverket är inte lönsamt då det är för litet för att omvandla tillräckligt med energi. Att använda ett större vindkraftverk hade genererat mer elenergi, men det skulle kräva ett bygglov, högre starthastighet samt en högre investeringskostnad.

Vad gäller frikylan är det värt att poängtera att beräkningarna som gjorts endast undersöker en del av systemet och inte hela. Detta innebär att det finns osäkerheter i huruvida systemets uppbyggnad ska se ut och frikylans totala effektivitet kommer troligen att sjunka om hela systemet studeras. Med hela systemet menas från när kylan plockas upp i havet till att kylan sedan används i huset och endast den del då kylan plockats upp från havsvattnet har studerats i denna rapport. Även arbete för pumpar har inte tagits med i beräkningarna vilket också utgör en osäkerhet kring resultatet. Vidare skulle frikyla tillsammans med en kylmaskin kunna kombineras vilket hade reducerat byggnadens energiåtgång, men detta är inget som det här arbetet har lagt vidare fokus på.

Genom att kombinera de olika tekniska lösningar som finns för energitillförsel utgör solceller mest energiproduktion under sommarhalvåret medan frikylan gör detta endast under vinterhalvåret. Med detta sagt krävs någon mer energikälla för att helt möta byggnadens och verksamhetens energibehov. Sammantaget blir det uppenbart att det krävs mer än en lösning för att energitillförseln ska motsvara byggnadens totala energiåtgång och skapa en mer energismart byggnad.

## 6.2 Energieffektivisering

För att bidra till att skapa en energismart byggnad krävs det att byggnaden är så energieffektiv som möjligt. Resultatet i energieffektiviseringskapitlet gav att transmissionsförluster kan minskas med lägre U-värden i klimatskalet och solskydd kan minska kylbehovet under sommaren. Värmeåtervinning av spillvatten bedöms inte vara lönsamt enligt beräkningar med gjorda antaganden.

I undersökningen av olika klimatskal blev resultatet att transmissionsförlusten kan minskas med upp till 18 700 kWh/år om alternativ 3 väljs istället för den projekterade lösningen. Det är dock viktigt att belysa att transmissionsförlusten har studerats som ett isolerat fenomen och att besparingen med alternativ 3 inte nödvändigtvis går att motivera eftersom det riskerar att resultera i ett ökat ventilations- och kylbehov. Som visas i figurerna 5.8 och 5.9 förväntas verksamheten generera en stor mängd internvärme. Troligen leder detta till att denna värme ofta kommer att stå för uppvärmningen av byggnaden under vintertid. Det kan därför diskuteras om inte åtgärder som rör energianvändningen blir viktigare att fundera över innan man lägger fokus på att minska transmissionsförlusterna. Fokus för detta projekt har dock inte varit att föreslå åtgärder kring energianvändning utan detta lämnas till framtida arbeten. En annan aspekt av det stora interna värmestillskottet är att det eventuellt finns utrymme för att studera hur denna värme skulle kunna föras bort genom kylning och sedan lagras eller utnyttjas till att exempelvis värma inkommande kallvatten innan varmvattensberedning.

Som tidigare nämnts är värmestillskottet från solinstrålning genom fönster viktigt att studera för att minska byggnadens kylbehov under sommaren. Vid analys av detta område synliggjordes att värmestillskottet en sommardag klockan 19.00 kan bli så stort som 36 kW i restaurangens stora glaspartier som vetter mot nordväst,

som ses i figur 5.11. Det kan antas att restaurangen kommer vara välbesökt just denna tid och solskydd skulle kunna ha en stor positiv inverkan till att minska kylbehovet inomhus. För att vidare studera effekten inom alla tre undersökta effektiviseringsåtgärder skulle simuleringar av byggnadens energibalans vara till hjälp.

Ett värmeåtervinningssystem av spillvatten har låg energibesparing. Även om verkningsgraden varierar runt 30 %, förväntas byggnaden släppa ut för lite spillvatten för att motivera en investering av ett system. En osäkerhetsfaktor är spillvattnets flödesprofil, vilket är en avgörande faktor för energibesparingen. En annan osäkerhetsfaktor är spillvattnets utgående temperatur, samt hur smutsigt spillvattnet kommer att vara. En högre temperatur skulle leda till en större potential och smutsigare vatten skulle innebära en merkostnad av underhåll och komplexitet i systemuppbyggnaden. Dessutom kommer tappvarmvattnet till byggnaden att värmas upp med hjälp av bergvärmepumpen, som har en relativt hög värmefaktor, vilket leder till att varmvattnet står för en relativt låg energipost.

### 6.3 Energilagring

Vid analys av energilagring bedömdes det i sin helhet inte vara särskilt användbart eftersom det inte alltid finns tillräckligt med energi att lagra. Detta gäller särskilt för batterier som lagrar energi i form av elektricitet då elproduktionen från solceller och vindkraft sällan täckte hela energibehovet. Vad gäller värmebehovet så var det inte stort och bergvärme fanns dessutom redan projekterat för huset.

Akkumulatortanken är en beprövad teknik för energilagring och har till sin fördel en relativt hög verkningsgrad och en hanterbar storlek. Beräkningarna som gjorts visar på att det är mycket högre potential i akkumulatortanken jämfört med dammen tack vare dess låga värmeförluster, vilket kan ses i tabell 5.15. Vad gäller rimlighetsbedömning för akkumulatortankens beräkningar är det osannolikt att temperaturen i botten av tanken är den varmaste delen och toppen den kallaste. Detta kan bero på att Rayleigh-talet i ekvation 3.8 som användes vid beräkning av värmeförluster vid botten överskred villkoret  $10^4 < Ra_L < 10^9$  med en tiopotens. Problemet för akkumulatortanken, liksom för dammen, är att det i rådande stund inte är uppenbart vilken värme som skulle kunna lagras. Om det kommer finnas tillräckligt mycket spillvärme från någon del av verksamheten hade en till akkumulatortank kunnat vara en lönsam investering.

Även för batterier är det troligt att överskottet av el inte är tillräckligt för att det ska vara lönsamt. Batteriet har också problemet att dess kapacitet per timme är markant mindre än de mängder energiöverskott som ibland utvinns vilket gör det lite svårare att bedöma helt definitivt om batteriet saknar potential. Här är det viktigt att notera att verksamhetens konstanta elektricitetsbehov och energibehovet för kokeridelen inte är medräknat, överskottet som syns i figurerna 5.12 och 5.13 skulle alltså till viss del kunna täcka upp annat energibehov. Därmed är det möjligt att batterier inte skulle vara aktuella för byggnaden med verksamhet även om de i framtiden skulle bli billigare och ha större lagringskapacitet. Det är dock värt att

notera att resultaten grundas på att verksamheten är igång året runt i någon form. I praktiken är det troligt att verksamheten kommer vara stängd vissa dagar och att kunna lagra energi skulle då eventuellt kunna vara av intresse. Om energibehovet har överskattats i denna rapport eller vid ett senare stadie skulle minskas kan frågan om lönsamheten för ett batteri bli aktuell igen. På ett liknande sätt är det möjligt att dammen eller ackumulatortanken blir ett realistiskt energilagringssalternativ om det skulle finnas överskottsvärme att lagra, ett användningssyfte för den lagrade värmen samt om värmeförlusterna kunde minskas genom investering av ökad isolering. På samma sätt hade lagring av kyla kunnat bli aktuellt då verksamheten har behov av detta, om värmeförlusterna hade kunnat minskas.

Under alla beräkningar har antaganden och anpassningar gjorts som har påverkat resultatet. Antagandet för ackumulatortanken och dammen att temperaturen är konstant i hela volymen och att vattnet är helt stillastående gör antagligen resultatet lite mer optimistiskt än processen hade varit i verkligheten. I fallet av dammen kan den modifierade geometrin också ha resulterat i en överskattning av dammens lagringspotential. Dammen antogs ha en cylindrisk form när det verkliga fallet närmare liknar ett rätblock, som har en större yta för samma volym. Vidare antogs tjockleken för bergväggen och botten vara samma som för locket av frigolit. Anledningen var att påvisa hur mycket materialvalet påverkar mängden värmeförluster och därav skillnader i yttemperaturer, men också för att specifik data saknades kring berggrundens geometri. I verkligheten har dammens bergvägg en större tjocklek vilket ökar den termiska resistansen. Detta ledde till att värmeförlustberäkningarna troligen gav utslag av större värmeförluster än i verkligheten. Däremot så togs inte sprickor och liknande i berggrunden i beaktande, vilket möjligen kan jämna ut felkällorna eftersom det hade ökat värmeförlusterna.

För batteriet antogs det att energin skulle lagras en så pass kort tid att eventuell självurladdning kunde bortses ifrån. De mest betydande antagandena för beräkningarna var tiden för laddning och att laddningen vara linjär. Som nämnt i teoriavsnittet beror laddningshastigheten (och därmed laddningstiden) på hur uppladdat batteriet är och att försöka efterlikna laddningskurvan för ett batteri hade förbättrat resultatet. Antagandet att batteriets laddning skedde linjärt kan ha lett till en viss underskattning av hur mycket energi som lagras i de fallen där det inte är flera timmar i följd som har ett energiöverskott. En annan förenkling i beräkningsmodellen var att batteriet tilläts laddas upp även om det nästan var helt fulladdat, något som försämrar batteriets livslängd. Det skulle kunna ha lett till en överskattning av hur mycket energi som lagras i batteriet, men i praktiken har det nog snarare modellerat att batteriet laddas upp över flera efterföljande timmar.

### 6.4 Slutsats

För att återvända till problemställningen ställd vid projektets början är det nu möjligt att dra slutsatsen att det finns tekniska lösningar som är värda att implementera för att bidra till att skapa en energismart byggnad. Dessa tekniska lösningar bedöms vara solceller inom området energitillförsel samt solskydd inom energieffektivisering.

Med nuvarande underlag bedöms det inte finnas tillräckligt med överskottsenergi för implementering av ett energilager. När verksamheten har varit igång ett par år skulle frågan om energilager kunna utforskas igen. De övriga tekniska lösningar som analyserats ansågs inte ha lika stor potential för byggnaden på Orust.

# Litteraturförteckning

- [1] Naturskyddsföreningen. (2022). "Hur sätts elpriset och varför är det så högt?" URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/hur-satts-elpriset-och-varfor-ar-det-hogt/>.
- [2] Regeringen. (2022). "Frågor och svar elpriskompensation," URL: <https://www.regeringen.se/artiklar/2022/01/fragor-och-svar-elpriskompensation/> (hämtad 2022-03-15).
- [3] —, (2022). "Parisavtalet," URL: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/parisavtalet/>.
- [4] Naturvårdsverket. (2022). "Hur går sveriges klimatomställning?" URL: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/hur-gar-sveriges-klimatomstallning/>.
- [5] Jean-Pascal Tricoire. (2021). "Why buildings are the foundation of an energy-efficient future," URL: <https://www.weforum.org/agenda/2021/02/why-the-buildings-of-the-future-are-key-to-an-efficient-energy-ecosystem/>.
- [6] Orust kommun. (u.d.). "Kommunfakta," URL: <https://www.orust.se/amnesomrade/kommunochpolitik/kommunfakta.4.403d444a13f99aae5234fe.html> (hämtad 2022-04-29).
- [7] —, (2019). "410-005 Del av Lavön 2:20 Planbeskrivning," URL: <https://www.orust.se/download/18.2ab9aeae16fa47a8acf2074/1608044454142/410-005%20Del%20av%20Lav%C3%B6n%202:20%20-%20Planbeskrivning.pdf> (hämtad 2022-05-10).
- [8] Boverket. (juni 2011). "Boverkets byggregler (2011:6)," URL: <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/> (hämtad 2022-04-26).
- [9] C. Warfvinge och M. Dahlblom, *Projektering av VVS-installationer*. Studentlitteratur AB, 2010.
- [10] K. Forinash, *Physics and the Environment*. San Rafael, CA: Morgan & Claypool, 2017. DOI: 10.1088/978-1-6817-4493-3.
- [11] D. Thorpe, *Solar Technology: The Earthscan Expert Guide to Using Solar Energy for Heating, Cooling and Electricity*. Abingdon: Earthscan, 2011.
- [12] A. Nyström. (juni 2019). "Bygger med solceller i väggarna," URL: <https://www.ingenjoren.se/2019/06/14/bygger-med-solceller-i-vaggarna/> (hämtad 2022-03-21).
- [13] V. Stoichkov, T. K. N. Sweet, N. Jenkins och J. Kettle, "Studying the outdoor performance of organic building-integrated photovoltaics laminated to the

- cladding of a building prototype,” *Web of Science*, årg. 191, s. 356–364, febr. 2019. DOI: 10.1016/j.solmat.2018.11.040.
- [14] Energimyndigheten. (u.d.). ”Ny statistik visar på ökad installationstakt av vindkraft,” URL: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2022/Ny-statistik-visar-pa-okad-installationstakt-vindkraft/> (hämtad 2022-04-28).
- [15] Boverket. (u.d.). ”Vindkraft - Horisontella vindkraftverk,” URL: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2013/vindkraftshandboken.pdf> (hämtad 2022-05-03).
- [16] Oxford Brookes University. (2021). ”Vertical turbines could be the future for wind farms,” URL: <https://www.brookes.ac.uk/about-brookes/news/vertical-turbines-could-be-the-future-for-wind-farms/?fbclid=IwAR1Nc9JGzn1q-kZInYS7H0kp33LYg93k7wEnHNjFMcwt-AZSGju7hk9n1ko> (hämtad 2022-03-28).
- [17] Swedewind. (u.d.). ”Olika sorters vindkraftverk,” URL: <http://www.swedewind.se/typeravvindkraftverk.html> (hämtad 2022-04-28).
- [18] Jämtkraft. (u.d.). ”Hur fungerar vindkraft?” URL: <https://www.jamtkraft.se/om-jamtkraft/var-fornybara-produktion/vindkraft/hur-fungerar-vindkraft/> (hämtad 2022-05-03).
- [19] Boverket. (nov. 2020). ”Vindkraftverk,” URL: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/lov--byggande/anmalningsplikt/bygglov-for-anlaggningar/vindkraftverk/>.
- [20] J. Ding, H. Zhang, D. Leng, H. Xu, C. Tian och Z. Zhai, ”Experimental investigation and application analysis on an integrated system of free cooling and heat recovery for data centers,” *Web of Science*, jan. 2022. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2022.01.003.
- [21] L. Jia, J. Liu, S. Wei och J. Xu, ”Study on the performance of two water-side free cooling methods in a semiconductor manufacturing factory,” årg. 243, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110977>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821002619>.
- [22] Z. Wei, M. Zhang och Y. Zhang, ”Free cooling technologies for data centers: energy saving mechanism and applications,” årg. 143, s. 410–415, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.703>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217364676>.
- [23] H. Candemir och P. Model. (2015). ”Spillvattenenergi - En outnyttjad energikälla,” URL: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:859557/FULLTEXT01.pdf> (hämtad 2022-03-27).
- [24] J. Wallin. (aug. 2021). ”Case studies of four installed wastewater heat recovery systems in Sweden,” URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X21002719?via%3Dihub#bib4> (hämtad 2022-04-13).
- [25] C.-E. Hagentoft och K. Sandin, *Byggnadsfysik - Så fungerar hus*. Studentlitteratur, 2017.
- [26] E. D. A. L. och K. Rajski. (2019). ”Implementation of greywater heat recovery system in hospitals,” URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/42/e3sconf\\_asee18\\_00018.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/42/e3sconf_asee18_00018.pdf) (hämtad 2022-04-20).

- [27] M. Haegermark och J. Termens. (okt. 2020). "Utveckling av avloppsvärmeväxlare för lokalfastigheter - förstudie om förutsättningar och behov," URL: [https://belok.se/download/Utveckling-av-avloppsvrmevaxlare-for-lokalfastigheter\\_forstudierapport.pdf](https://belok.se/download/Utveckling-av-avloppsvrmevaxlare-for-lokalfastigheter_forstudierapport.pdf) (hämtad 2022-04-09).
- [28] L. E. Erickson och J. Cutsor, "Batteries and Energy Storage," i *Solar Powered Charging Infrastructure for Electric Vehicles*, L. E. Erickson, J. Robinson, G. Brase och J. Cutsor, utg. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017, s. 54–55.
- [29] Sdk16420, *General discharging Li battery diagram*, [Elektronisk figur]. 2015. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:General\\_discharging\\_Li\\_battery\\_diagram.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:General_discharging_Li_battery_diagram.svg) (hämtad 2022-05-05).
- [30] V. Nelson och K. Starcher, *Introduction to Renewable Energy*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2016, s. 322–328.
- [31] J. Lizana, R. Chacartegui, A. Barrios-Padura och J. M. Valverde, "Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings: A critical review," *Applied Energy*, årg. 203, s. 219–239, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.008>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917307584?via%3Dihub>.
- [32] Energimyndigheten, "Ackumulatortankar," 2011. URL: <https://www.storuman.se/globalassets/bygga-bo-och-miljo/energi/ackumulatortank.pdf>.
- [33] Jernkontoret. (u.d.). "Lagring av termisk energi," URL: <https://www.energihandbok.se/lagring-av-termisk-energi> (hämtad 2022-04-09).
- [34] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman och A. S. Lavine, *Incropera's principles of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2017, s. 401.
- [35] —, *Incropera's principles of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2017, s. 368–375.
- [36] —, *Incropera's principles of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2017, s. 553–564.
- [37] —, *Incropera's principles of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2017, s. 132.
- [38] A. I. Björn Lantz Hans Löfsten, *Industriell ekonomi- grundläggande ekonomisk analys*. Studentlitteratur AB, Lund, 2018, s. 170–179, 425, 427.
- [39] Solar electric supply, inc. (u.d.). "LG NeON 2 LG400N2W-A5 400W 72-Cell Solar Panel," URL: <https://www.solarelectricsupply.com/lg-lg400nzw-a5-neon-2-72-cell-400w-mono-solar-panel> (hämtad 2022-03-16).
- [40] National Renewable Energy Laboratory (NREL). (u.d.). "PVWatts Calculator," URL: <https://pvwatts.nrel.gov/> (hämtad 2022-03-29).
- [41] Vattenfall. (u.d.). "Vanliga frågor och svar om solceller - Vad kostar solceller?" URL: <https://www.vattenfall.se/solceller/> (hämtad 2022-05-10).
- [42] Windforce. (u.d.). "Vindkraft - Horisontella vindkraftverk," URL: <http://www.windforce.se/vindkraft-windstar3000.php> (hämtad 2022-03-29).
- [43] AEOLOS. (u.d.). "Aeolos-V 3kW vertical wind turbine," URL: <http://www.windturbinestar.com/3kwv-v-aeolos-wind-turbine.html> (hämtad 2022-04-01).

- [44] Standardisera och verifiera energiprestanda i byggnader (Sveby). (u.d.). "Klimatdatafiler från 2021 v1," URL: [sveby.org](https://sveby.org) (hämtad 2022-03-29).
- [45] —, (u.d.). "Klimatdatafiler Sveby SMHI från 1981-2010," URL: [sveby.org](https://sveby.org) (hämtad 2022-04-01).
- [46] P. Levin. (april 2010). "Brukarindata för energiberäkningar i kontor - vägledning," URL: <https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/01/Brukarindata-Kontor.pdf> (hämtad 2022-03-27).
- [47] Ferroamp Elektronik AB, *Power Storage Module*, <https://brael.se/wp-content/uploads/ferroamp-psm-10-12-15-kwh.pdf>, Hämtad: 2022-04-28, Spånga, Sverige, 2019.
- [48] Bygghemma. (2022). "Därför ska du satsa på ett smartare golvvärmsystem - Vattenburen golvvärme," URL: <https://www.bygghemma.se/reportage-och-guider/golvvarme/> (hämtad 2022-05-10).
- [49] F. P. Incropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman och A. S. Lavine, *Incropera's principles of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd, 2017, s. 911–941.
- [50] Sveriges geologiska undersökning, SGU. (u.d.). "Kartvisaren," URL: <https://apps.sgu.se/kartvisare/> (hämtad 2022-04-09).
- [51] T. Andolfsson. (2013). "Analyses of thermal conductivity from mineral composition and analyses by use of Thermal Conductivity Scanner: A study of thermal properties in Scanian rock types," URL: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=3959653&fileId=3959654> (hämtad 2022-04-09).
- [52] Värmebaronen. (u.d.), URL: <https://varmebaronen.se/aqualux-ackumulator-tankar/> (hämtad 2022-04-17).
- [53] S. temperature. (u.d.). "Vattentemperatur i Göteborg månadsvis," URL: <https://sv.seatemperature.net/current/sweden/gothenburg-vaestra-goetaland-sweden> (hämtad 2022-05-04).
- [54] J. Lindström. (u.d.). "Solfångare," URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:952022/FULLTEXT01.pdf> (hämtad 2022-03-29).
- [55] Thermia. (u.d.). "Hur fungerar bergvärme?" URL: <https://www.thermia.se/bergvarme-jordvarme/bergvarme/hur-fungerar-bergvarme/> (hämtad 2022-03-29).
- [56] —, (u.d.). "Hur fungerar jordvärme?" URL: <https://www.thermia.se/bergvarme-jordvarme/jordvarme/hur-fungerar-jordvarme/> (hämtad 2022-05-02).
- [57] Minesto. (2021). "The future of renewable energy," URL: <https://minesto.com/our-technology> (hämtad 2022-03-21).
- [58] —, (2021). "Ocean energy," URL: <https://minesto.com/ocean-energy> (hämtad 2022-03-21).
- [59] S. T. Fredriksson, G. Broström, M. Jansson, H. Nilsson och B. Bergqvist, "Large eddy simulation of the tidal power plant deep green using the actuator line method," *Scopus*, årg. 276, nr 1, dec. 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/276/1/012014.
- [60] S. P. Neill, A. Angeloudis, P. E. Robins, I. Walkington, S. L. Ward, I. Masters, M. J. Lewis, M. Piano, A. Avdis, M. D. Piggott, G. Aggidis och P. Evans.

- (nov. 2018). "Tidal range energy resource and optimization – Past perspectives and future challenges," URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118305263?pes=vor>.
- [61] Idaho National Laboratory. (u.d.). "Microreactors," URL: <https://inl.gov/trending-topic/microreactors/> (hämtad 2022-02-20).
- [62] R. F. Service. (jan. 2018). "New smart windows darken in the sun—and generate electricity at the same time," URL: <https://www.science.org/content/article/new-smart-windows-darken-sun-and-generate-electricity-same-time> (hämtad 2022-03-29).
- [63] M. Ström. (2012). "Småskalig vattenkraft - Dagsläge och framtidsplaner," URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:544010/FULLTEXT01.pdf> (hämtad 2022-05-02).
- [64] Polarpumpen. (u.d.). "Hur fungerar en värmepump," URL: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/varmepump-kunskapsbank/sa-fungerar-varmepumpar/hur-fungerar-en-varmepump/> (hämtad 2022-03-29).
- [65] Panasonic. (u.d.). "Hur fungerar en luftvärmepump?" URL: [https://www.aircon.panasonic.eu/SE\\_sv/happening/hur-fungerar-en-luftvarmepump/f](https://www.aircon.panasonic.eu/SE_sv/happening/hur-fungerar-en-luftvarmepump/f) (hämtad 2022-04-26).
- [66] M. Granmar. (mars 2017). "Vågenergi och fejkad fotosyntes – fossilfri teknik att räkna med," URL: <https://www.forskning.se/2017/03/01/vagenergi-och-fejkad-fotosyntes-fossilfria-teknik-att-rakna-med/#> (hämtad 2022-03-21).
- [67] L. Nohrstedt. (jan. 2019). "Seabased lägger ner verksamheten i Lysekil," URL: <https://www.nyteknik.se/energi/seabased-lagger-ner-verksamheten-i-lysekil-6945265> (hämtad 2022-03-21).
- [68] TT. (aug. 2020). "Tillstånd för vågkraft kan återkallas," URL: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vast/tillstand-for-vagkraft-kan-aterkallas> (hämtad 2022-03-21).
- [69] A. Bender, O. Langhamer, M. Molis och J. Sundberg, "Effects of a Wave Power Park with No-Take Zone on Decapod Abundance and Size," *Web of Science*, årg. 9, nr 8, s. 1, aug. 2021. DOI: 10.3390/jmse9080864.
- [70] S. Oliveira-Pinto, P. Rosa-Santos och F. Taveira-Pinto, "Assessment of the potential of combining wave and solar energy resources to power supply worldwide offshore oil and gas platforms," *Web of Science*, årg. 223, s. 1, nov. 2020. DOI: 10.1016/j.enconman.2020.113299.
- [71] M. O. Engineering. (u.d.). "Ocean Thermal Energy Conversion," URL: <https://www.makai.com/ocean-thermal-energy-conversion/> (hämtad 2022-05-10).
- [72] H. Chen, S. Stensson, "Entrelösningars energiprestanda," 2018. URL: [https://www.e2b2.se/library/4201/final\\_report\\_energy-performance-of-door-solutions\\_version2.pdf](https://www.e2b2.se/library/4201/final_report_energy-performance-of-door-solutions_version2.pdf) (hämtad 2022-05-11).
- [73] Enjay. (2022). "Lönsam energiåtervinning ur smutsig frånluft," URL: <https://www.enjaysystems.com/sv/>.
- [74] F. A. B. S. H. D. H. C. J. R. REDTZER. (2019). "Smarta fastigheter Hur smarta fastighetslösningar påverkar förvaltningsskedet," URL: <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/257184/1/257184.pdf> (hämtad 2022-04-18).

- [75] S. K. G. Florides. (2007). "Ground heat exchangers—A review of systems, models and applications," URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148107000092> (hämtad 2022-04-12).
- [76] Ventilation. (u.d.). "Aspirotor 200," URL: <https://ventilation.se/aspirotor-200.htm> (hämtad 2022-04-19).
- [77] S. Gredemark. (2019). "Avknopningsbolag i samarbete för att kombinera ny solcellsteknik och dynamiska glas," URL: <https://www.uu.se/nyheter/artikel/?id=12058&typ=artikel> (hämtad 2022-05-10).
- [78] A. Haukka och L. Larsson, "Fasövergångsmaterial för ökad inomhuskomfort - Reducering av temperaturvariationer och kylbehov med hjälp av fasövergångsmaterial," examensarb., Uppsala universitet, Uppsala, juni 2019.
- [79] B. Lamrani, K. Johannes och F. Kuznik, "Phase change materials integrated into building walls: An updated review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, årg. 140, s. 110 751, 2021, ISSN: 1364-0321. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110751>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121000460>.
- [80] Jernkontorets energihandbok. (u.d.). "Lagring av elektrisk energi," URL: <https://www.energihandbok.se/lagring-av-elektrisk-energi> (hämtad 2022-02-20).
- [81] P. Tixador, "Superconducting magnetic energy storage (SMES)systems," i *Electricity Transmission, Distribution and Storage Systems*. Woodhead Publishing, 2013, s. 479–494. DOI: 10.1533/9780857097378.3.442.
- [82] L. Nohrstedt. (nov. 2016). "Tryckluftslagring testades för gröna stadsdelen," URL: <https://www.nyteknik.se/energi/tryckluftslagring-testades-for-grona-stadsdelen-6804700> (hämtad 2022-03-21).
- [83] A. C. Power. (u.d.). "Compressed air energy storage (CAES)," URL: <https://energystorage.org/why-energy-storage/technologies/compressed-air-energy-storage-caes/> (hämtad 2022-03-21).
- [84] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (u.d.). "Hydrogen Storage," URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage> (hämtad 2022-02-22).
- [85] S. E. Agency. (2015). "Rock (geothermal) heat," URL: <https://www.energimyndigheten.se/en/sustainability/households/heating-your-home/heat-pump/rock-geothermal-heat/> (hämtad 2022-05-09).
- [86] M. Höglund och M. Olsson, "Återladdning av bergvärmekonfiguration," examensarb., Linköpings universitet, Linköping, 2009.
- [87] S. G. undersökning. (u.d.). "Bergvärme," URL: <https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/Geoenergi-geotermi-och-energilagring/bergvarme/> (hämtad 2022-05-09).
- [88] Energimyndigheten. (u.d.). "5 miljoner kronor i stöd till energilagring i salt," URL: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2020/5-miljoner-kronor-i-stod-till-energilagring-i-salt/> (hämtad 2022-03-29).
- [89] W. Steinmann och C. Prieto, "Thermal storage for concentrating solar power plants," 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819885-8.00024-3>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128198858000243>.

A

# Energiberäkning



# ENERGIBERÄKNING

## NYBYGGNAD AV LOKAL

Datum: 2022-02-23

Beställare: Västsvenska Skaldjur AB

Fastighet: Lavön 2:20, Orust



## 1. Innehåll

2. Sammanfattning.....	3
3. Energikrav BBR 25-28.....	4
4. Beräkningsförutsättningar.....	5
5. Resultat.....	6

## 2. Sammanfattning

Inom fastigheten Lavön 2:20 i Orust kommun, ska det en lokal med bageri, restaurant, fiskförädling med tillhörande kokeri, beredning och kylar.

De övergripande kravställningar för projektet är krav till energihushållning enligt BBR25-28.

*Byggnader ska vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme och kylanvändning och effektiv elanvändning.*

Byggnadens energiprestanda beräknas till att uppgå till , 88,8 kWh/m<sup>2</sup>,år  
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient till 0,306 0,6 W/m<sup>2</sup>,K

Kraven gäller verkligen energianvändning normalårskorrigerad när byggnaden tagits i bruk. Normalt brukande vid ett normalår.

Byggnadens faktiska bruk, där det exakta behovet av kyla går ej att få fram utan exakta indata data på bruk och driftstider på utrustningen i verksamheten. I analysen är det gjord en uppskattning av driftstider på utrustning.

Byggnadens värmesystem med en bergvärmepanna, är bästa möjliga tillgängliga teknik för effektiv uppvärmning av byggnaden och varmvatten.

Ventilationssystemet med värmeväxlare för återvinning av värme, samt kylbatteri kopplat mot frikyla på bergvärmesystemet är ett energieffektivt sätt att reducera värmeförluster i ventilation, samt ett energieffektivt sätt att tillgodose kylbehov.

Sommartid när restaurangverksamheten har full täckning vill det högst troligen vara ett värmeöverskott i byggnaden som behöver att vädras ut.

Lokalens utformning medger att en enkel lösning att vädra ut överskottsvärme i restaurangdelen är att projektera för en vädringslucka eller dylikt i tak på restaurangdelen.

Tabell 1 redovisar sammanställning av krav jämte resultat från den analysen som genomförts.

Tabell 1

Kravställning	Kravnivå	Resultat
Energiprestanda uttryckt som primärenergital EPpet	≤ 125,5 kWh/m <sup>2</sup> ,år	88,8 kWh/m <sup>2</sup> ,år
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient	≤ 0,6 W/m <sup>2</sup> ,K	0,306 W/m <sup>2</sup> ,K
Maximal installerad el-effekt	≤ 106,2 kW	16,7 kW

### 3. Energikrav BBR 25-28

**Tabell 9:2a** Högsta tillåtna primärenergital, installerad eleffekt för uppvärmning, genomsnittlig värmegenomgångskoefficient och genomsnittligt luftläckage, för småhus, flerbostadshus och lokaler.

	Energiprestanda uttryckt som primärenergital ( $EP_{\text{pet}}$ ) [ $\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ och år]	Installerad eleffekt för uppvärmning (kW)	Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient ( $U_m$ ) [ $\text{W/m}^2 \text{K}$ ]	Klimatskärmens genomsnittliga luftläckage vid 50 Pa tryckskillnad ( $\text{l/s m}^2$ )
<b>Bostäder</b>				
Småhus	90	$4,5 + 1,7 \times (F_{\text{geo}} - 1)^{1)}$	0,40	Enligt avsnitt 9:26
Småhus där $A_{\text{temp}}$ är mindre än $50 \text{ m}^2$	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6
Flerbostadshus	$85^{4)}$	$4,5 + 1,7 \times (F_{\text{geo}} - 1)^{1) 5)}$	0,40	Enligt avsnitt 9:26
<b>Lokaler</b>				
Lokaler	$80^{2)}$	$4,5 + 1,7 \times (F_{\text{geo}} - 1)^{1), 3)}$	0,60	Enligt avsnitt 9:26
Lokal där $A_{\text{temp}}$ är mindre än $50 \text{ m}^2$	Inget krav	Inget krav	0,33	0,6

<sup>1)</sup> Tillägg får göras med  $(0,025 + 0,02(F_{\text{geo}} - 1)) \times (A_{\text{temp}} - 130)$  då  $A_{\text{temp}}$  är större än  $130 \text{ m}^2$ . Om den geografiska justeringsfaktorn  $F_{\text{geo}}$  är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.

<sup>2)</sup> Tillägg får göras med  $70 \times (q_{\text{medel}} - 0,35)$  då uteluftsflödet i temperaturreglerade utrymmen av utökade hygieniska skäl är större än  $0,35 \text{ l/s per m}^2$ , där  $q_{\text{medel}}$  är det genomsnittliga specifika uteluftsflödet under uppvärmningssäsongen och får högst tillgodoräknas upp till  $1,00 \text{ l/s per m}^2$ .

<sup>3)</sup> Tillägg får göras med  $(0,022 + 0,02(F_{\text{geo}} - 1)) \times (q - 0,35)A_{\text{temp}}$  då uteluftsflödet av utökade kontinuerliga hygieniska skäl är större än  $0,35 \text{ l/s per m}^2$  i temperaturreglerade utrymmen. Där  $q$  är det maximala specifika uteluftsflödet vid DVUT. Om den geografiska justeringsfaktorn  $F_{\text{geo}}$  är mindre än 1,0 sätts den till 1,0 vid beräkning av installerad eleffekt.

<sup>4)</sup> Tillägg får göras med  $70(q_{\text{medel}} - 0,35)$  i flerbostadshus där  $A_{\text{temp}}$  är  $50 \text{ m}^2$  eller större och som till

## 4. Beräkningsförutsättningar

Som underlag för beräkningen har förhandskopia på bygghandlingar daterade 2022-01-06 framtagit av \_\_\_\_\_, samt tekniska specifikationer från beställare. Förutom projektspecifika indata har följande generella indata använts.

BSF 2018:5 BEN 3

Erfarenhetsvärlden \_\_\_\_\_

Byggnadens energibalans och behov av tillförd energi har beräknats med energiberäkningsprogrammet VIP Energy 4.3.4

Byggnadens olika verksamheter har inga myndighetsangivna BEN brukarindata. Förutom energi till tappvarmvatten exklusiva VVC förluster som ska antas till  $2\text{kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$

$A_{\text{temp}}$ :  $1108\text{m}^2$ . Golv area för kyl är inte inräknat i  $A_{\text{temp}}$ .

Beredningsrum är inräknat i  $A_{\text{temp}}$  då den antas att ska vara uppvärmd till över 10 grader.

Beredningsrum kommer att kylas med DX kyla på grund av verksamheten som ska bedrivs i den delen av lokalen. DX kyla i beredningsrum är verksamhetskyla, ej komfortkyla, jämlikt med kylbehov i kyl och frys, och räknas ej med i energiprestanda för byggnaden.

Uppvärmning av byggnaden är med bergvärme.

NIBE F1345-60 med to kompressorer.

Ventilation. Centralt FTX aggregat med motströmsvärmväxlare med en torr temperaturverkningsgrad enligt EN308 på 86,5%

Ventilation har ett grundflöde på  $2,05\text{m}^3/\text{s}$ , och alternativt forcerat flöde på  $3,45/3,9\text{m}^3/\text{s}$ .

Passiv kyla kopplat mot bergvärme med kylbatteri med kyleffekt på  $33\text{kW}$ .

Byggnadens olika verksamheter har utrustning med höga effekter som vill alstra värme inom byggnaden och reducera behovet av uppvärmning, men samtidigt öka behov av komfortkyla,

Driftstider för de olika delar av lokalen vill variera beroende på säsong.

Driftstider för utrustningen i lokalen är osäker, och vill således påverka behovet av komfortkyla.

Drifttider på forcerat ventilationsflöde vill också avhänga av bruk.

I simuleringen som är utförd är forcerat ventilationsflödet satt likt med driftstider till bageri, när utrustning i bageri tillför mycket värme till byggnaden.

## 5. Resultat

Byggnaden har goda förutsättningar för att klara kraven till energihushållning vid färdigställande enligt BBR kap 9.

Byggnaden har ett bra klimatskal, energieffektiva värme, kyla och ventilationslösningar för att begränsa byggnadens energianvändning för uppvärmning, komfortkyla och uppvärmning av varmvatten.

Tabell 2 är en sammanfattning av resultaten i energiberäkningen

Tabell 2

Kravställning	Kravnivå	Resultat
Energiprestanda uttryckt som primärenergital EPpet	$\leq 125,5 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$	$88,8 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient	$\leq 0,6 \text{ W/m}^2, \text{K}$	$0,306 \text{ W/m}^2, \text{K}$
Maximal installerad el-effekt	$\leq 106,2 \text{ kW}$	$16,7 \text{ kW}$

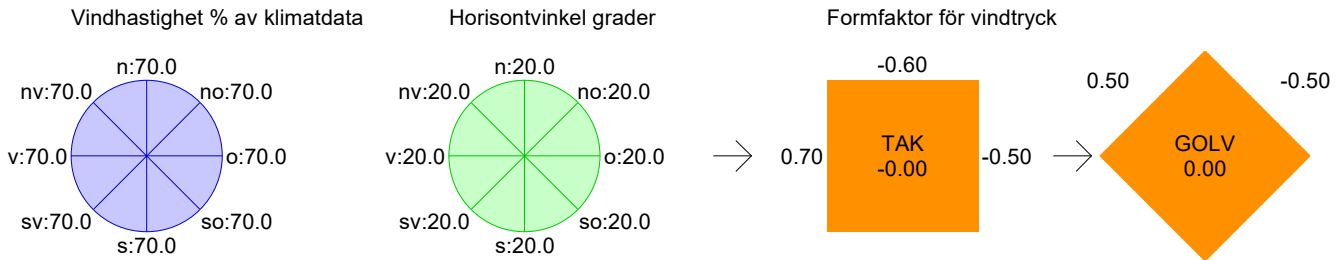
Resultaten av energiberäkningen är redovisad i bilaga.



## INDATA

### Kommentarer

### Yttre förhållanden



Solreflektion från mark: 20.00 [%]

Luftryck: 1013 [hPa]

Markegenskaper värmeledningstal: 1.4 [W/m\*K]

Lera, dränerad sand, dränerat grus.

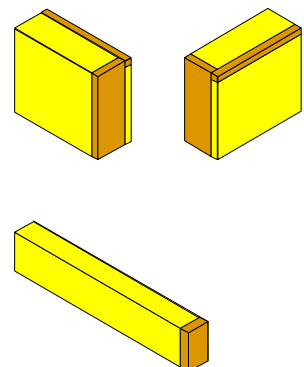
### Klimatdata

Klimatfil: ORUST 1981-2010 Laditud: 58.2 grader

	Högsta värde	Medelvärde	Minsta värde	
Utetemperatur	30.2	7.7	-13.0	°C
Vindhastighet	13.3	3.9	0.1	m/s
Solstrålning global	894.3	111.2	0.0	W/m <sup>2</sup>
Relativ fuktighet	100.0	79.6	18.0	%

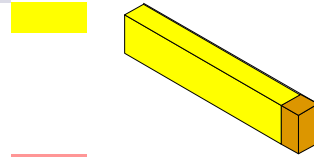
### Materialkatalog

Materialnamn	Värmeledningstal W/m,K	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Värme- kapacitet J/kg,K	Kostnad kr/kg
Betong Normal RH	1.700	2300.000	800.000	0.0
Cellplast 36	0.036	25.000	1400.000	0.0
Gipsskiva	0.220	900.000	1100.000	0.0
Lösssprutad ull	0.042	40.000	800.000	0.0
Mineralull 36	0.036	50.000	840.000	0.0
Plywood	0.140	500.000	1500.000	0.0
Trä Gran	0.140	500.000	2300.000	0.0
Reglar 45+195 s 600	0.042	83.750	949.500	0.0
Västkustskiva	0.033	70.000	840.000	0.0
PIR	0.028	30.000	1000.000	0.0
Lösull reglar s900	0.047	63.000	875.000	0.0





Materialnamn	Värmeledningstal W/m,K	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Värme- kapacitet J/kg,K	Kostnad kr/kg
Lösull dubbla regler s900	0.052	86.257	950.838	0.0



INNE  
UTE



### Byggdeltstyper 1-dimensionella Katalog

Byggdeltstyp	Material Från utsida till insida	Skikt- tjl. m	U-värde W/m <sup>2</sup> ,K	Delta- U-värde W/m <sup>2</sup> ,K	Otätthets- faktor q50 l/s,m <sup>2</sup>	Sol- absorp- tion %	
45x195+VK	Trä Gran	0.022	0.141	0.010	0.50	50.00	
	Västkustskiva	0.030					
	Reglar 45+195 s 600	0.240					
	Plywood	0.011					
	Gipsskiva	0.013					
L400	Cellplast 36	0.300	0.115	0.000	0.50	0.00	
	Betong Normal RH	0.050					
	*VÄRMESKIKT*	Vattenburen					
	Betong Normal RH	0.050					
BTG	Trä Gran	0.028	0.248	0.000	0.50	50.00	
	PIR	0.100					
	Betong Normal RH	0.150					
BTG bjälklag	Betong Normal RH	0.150	2.323	0.000	0.00	0.00	
	*VÄRMESKIKT*	Vattenburen					
	Betong Normal RH	0.050					
	Trä Gran	0.020					
Sadeltak 1	Trä Gran	0.023	0.116	0.010	0.50	70.00	
	Lösull regler s900	0.387					
	Gipsskiva	0.013					
Sadeltak 2	Trä Gran	0.023	0.116	0.010	0.50	70.00	
	Lösull regler s900	0.387					
	Gipsskiva	0.013					
Sadeltak 3	Trä Gran	0.023	0.277	0.010	0.50	70.00	
	Lösull dubbla regler s900	0.167					
	Gipsskiva	0.013					



## Bygghelstyper 2-dimensionella Katalog

Bygghelstyp	Psi-värde W/m,K	Bredd m	Otätthets- faktor q50 l/s,m <sup>2</sup>	Sol- absorp- tion %
-------------	--------------------	------------	--	---------------------------

YHBTG 0.182 0.400 0.50 50.00

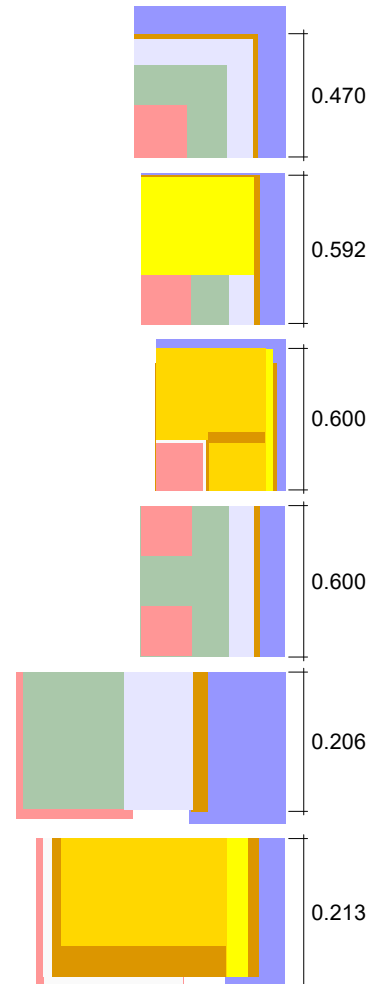
TVbtg 0.122 0.400 0.50 50.00

TVregl 0.084 0.400 0.50 50.00

BBtg 0.151 0.400 0.50 50.00

Sbtg 0.052 0.200 0.50 50.00

S45x195+VK 0.071 0.200 0.00 0.00



## Fönster och dörrar

Bygghelstyp	Glas- andel %	Soltransmittans		U-värde W/m <sup>2</sup> ,K	Otätthets- faktor q50 l/s,m <sup>2</sup>	Kontroll- funktioner
		Total g %	Direkt ST %			
YD16x21	0.000	0.000	0.000	1.200	0.500	
9x10	62.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
6x8	50.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
9x14	66.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
10x17	70.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
8x17	82.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
6x7	47.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
20x29	91.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
20x39	93.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
9x9	60.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
FD10x21	72.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
10x21	85.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
18x9	69.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
Parti 1	97.000	61.000	48.800	1.300	0.500	
Parti 2	92.000	61.000	48.800	1.300	0.500	



Byggdeltyp	Glas- andel %	Soltransmittans		U-värde W/m <sup>2</sup> ,K	Ötätthets- faktor q50 l/s,m <sup>2</sup>	Kontroll- funktioner
		Total g %	Direkt ST %			
29x29	93.000	61.000	48.800	1.100	0.500	
YD20x25	0.000	0.000	0.000	1.200	0.500	
YD20x23	0.000	0.000	0.000	1.200	0.500	
YD16x23	0.000	0.000	0.000	1.200	0.500	

## Byggnad

Ventilerad volym 2659.9 [m<sup>3</sup>]

Golvarea (ga) 1108.3 [m<sup>2</sup>]

Byggdeltyp	Orientering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd		Lägsta nivå m	Högsta nivå m	Angräns- ande temp. °C	U- Psi- Chi- värde med mark och D-U
				Area m <sup>2</sup>	Längd m Antal st				
BTG	NORDOST	0.0	0.0	43.9 m <sup>2</sup>		0.0	6.9		0.248 W/m <sup>2</sup> K
BTG	SYDOST	0.0	0.0	180.2 m <sup>2</sup>		0.0	6.9		0.248 W/m <sup>2</sup> K
BTG	NORDVÄST	0.0	0.0	106.0 m <sup>2</sup>		0.0	6.9		0.248 W/m <sup>2</sup> K
BTG	SYDVÄST	0.0	0.0	66.8 m <sup>2</sup>		0.0	6.9		0.248 W/m <sup>2</sup> K
45x195+VK	NORDVÄST	0.0	0.0	9.13 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		0.151 W/m <sup>2</sup> K
45x195+VK	SYDOST	0.0	0.0	24.1 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		0.151 W/m <sup>2</sup> K
45x195+VK	NORDOST	0.0	0.0	12.0 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		0.151 W/m <sup>2</sup> K
45x195+VK	SYDVÄST	0.0	0.0	12.0 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		0.151 W/m <sup>2</sup> K
9x10	NORDOST	0.0	0.0	1.80 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
6x8	NORDOST	0.0	0.0	0.960 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
9x14	NORDOST	0.0	0.0	2.52 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
10x17	NORDOST	0.0	0.0	1.70 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
8x17	NORDOST	0.0	0.0	1.36 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
6x7	SYDOST	0.0	0.0	0.840 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
20x29	SYDOST	0.0	0.0	5.80 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
20x39	SYDOST	0.0	0.0	7.80 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
9x10	SYDOST	0.0	0.0	5.40 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
9x9	SYDOST	0.0	0.0	0.810 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
9x10	NORDVÄST	0.0	0.0	6.30 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
FD10x21	NORDVÄST	0.0	0.0	2.10 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
10x21	NORDVÄST	0.0	0.0	2.10 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
9x14	NORDVÄST	0.0	0.0	8.82 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
9x9	NORDVÄST	0.0	0.0	0.810 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
18x9	NORDVÄST	0.0	0.0	4.86 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
Parti 1	NORDVÄST	0.0	0.0	107.2 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.300 W/m <sup>2</sup> K
Parti 2	SYDVÄST	0.0	0.0	15.1 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.300 W/m <sup>2</sup> K
Parti 2	NORDOST	0.0	0.0	15.1 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.300 W/m <sup>2</sup> K
29x29	SYDVÄST	0.0	0.0	8.41 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
20x29	SYDVÄST	0.0	0.0	5.80 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.100 W/m <sup>2</sup> K
YD16x23	SYDOST	0.0	0.0	3.68 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.200 W/m <sup>2</sup> K
YD16x21	SYDOST	0.0	0.0	3.36 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.200 W/m <sup>2</sup> K
YD20x25	SYDOST	0.0	0.0	5.00 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.200 W/m <sup>2</sup> K
YD20x23	NORDVÄST	0.0	0.0	9.20 m <sup>2</sup>		0.0	2.4		1.200 W/m <sup>2</sup> K
L400	PPM 0-1 m	0.0	0.0	102.0 m <sup>2</sup>		0.0	0.0		0.101 W/m <sup>2</sup> K
L400	PPM 1-6 m	0.0	0.0	356.0 m <sup>2</sup>		0.0	0.0		0.081 W/m <sup>2</sup> K
Sadeltak 1	SYDOST	0.0	62.0	161.4 m <sup>2</sup>		6.9	9.6		0.126 W/m <sup>2</sup> K
Sadeltak 1	NORDVÄST	0.0	62.0	137.0 m <sup>2</sup>		6.9	9.6		0.126 W/m <sup>2</sup> K
Sadeltak 2	SYDOST	0.0	84.0	60.4 m <sup>2</sup>		6.9	9.6		0.126 W/m <sup>2</sup> K
Sadeltak 2	NORDVÄST	0.0	84.0	82.1 m <sup>2</sup>		6.9	9.6		0.126 W/m <sup>2</sup> K
Sadeltak 3	NORDVÄST	0.0	62.0	59.5 m <sup>2</sup>		6.9	9.6		0.287 W/m <sup>2</sup> K
BTG bjälklag	INNER 2	0.0	0.0	708.3 m <sup>2</sup>		0.0	0.0		2.323 W/m <sup>2</sup> K
YHBTG	SYDVÄST	0.0	0.0	6.90 m		0.0	0.0		0.182 W/mK
YHBTG	NORDVÄST	0.0	0.0	6.90 m		0.0	0.0		0.182 W/mK



Bygghelstyp	Orientering	Rotation [°]	Lutning [°]	Mängd	Lägsta	Högsta	Angräns- ande temp. °C	U- Psi- Chi- värde med mark och D-U	
				Area m <sup>2</sup>	nivå	nivå			
				Längd m	m	m			
				Antal st					
YHBTG	NORDOST	0.0	0.0	6.90 m	0.0	0.0		0.182 W/mK	
YHBTG	SYDOST	0.0	0.0	6.90 m	0.0	0.0		0.182 W/mK	
TVbtg	NORDOST	0.0	0.0	13.9 m	0.0	0.0		0.122 W/mK	
TVbtg	SYDVÄST	0.0	0.0	13.9 m	0.0	0.0		0.122 W/mK	
TVbtg	SYDOST	0.0	0.0	28.2 m	0.0	0.0		0.122 W/mK	
TVbtg	NORDVÄST	0.0	0.0	24.6 m	0.0	0.0		0.122 W/mK	
TVregl	NORDVÄST	0.0	0.0	14.3 m	0.0	0.0		0.084 W/mK	
BBtg	SYDOST	0.0	0.0	67.2 m	0.0	0.0		0.151 W/mK	
BBtg	NORDVÄST	0.0	0.0	40.9 m	0.0	0.0		0.151 W/mK	
BBtg	NORDOST	0.0	0.0	25.4 m	0.0	0.0		0.151 W/mK	
BBtg	SYDVÄST	0.0	0.0	14.1 m	0.0	0.0		0.151 W/mK	
Sbtg	NORDOST	0.0	0.0	50.2 m	0.0	0.0		0.052 W/mK	
Sbtg	SYDOST	0.0	0.0	73.8 m	0.0	0.0		0.052 W/mK	
S45x195+VK	SYDOST	0.0	0.0	3.60 m	0.0	0.0		0.071 W/mK	
Sbtg	NORDVÄST	0.0	0.0	137.4 m	0.0	0.0		0.052 W/mK	
S45x195+VK	NORDVÄST	0.0	0.0	19.8 m	0.0	0.0		0.071 W/mK	
Sbtg	SYDVÄST	0.0	0.0	38.8 m	0.0	0.0		0.052 W/mK	

### Driftdata

Namn	Verksamhetsenergi			Fastighetsenergi		Person- värme W/m <sup>2</sup>	Tappvarmvatten		Fuktill- skott mg/s,m <sup>2</sup>	Rumstemperatur		
	Rumsluft W/m <sup>2</sup>	W/lgh	Extern W/m <sup>2</sup>	Rumsluft W/m <sup>2</sup>	Extern W/m <sup>2</sup>		W/m <sup>2</sup>	W/lgh		Högsta °C	Lägsta °C	Passiv forc °C
Bageri aktiv	30.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.23	0.00	1.00	24.00	20.00	0.00
Lavön övrig tid	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	24.00	20.00	20.00
Resturant+ försälning	20.00	0.00	0.00	5.00	0.00	2.30	0.23	0.00	0.80	24.00	20.00	20.00

### Drifttider

Driftfall	Veckodagar	Veckonr	Tid
Resturant+ försälning	Måndagar, Tisdagar, Onsdagar, Torsdagar, Fredagar, Lördagar, Söndagar	1 - 53	11 - 22
Bageri aktiv	Måndagar, Tisdagar, Onsdagar, Torsdagar, Fredagar, Lördagar, Söndagar	1 - 53	3 - 11
Lavön övrig tid	Måndagar, Tisdagar, Onsdagar, Torsdagar, Fredagar, Lördagar, Söndagar	-----	Övrig tid-----

### Ventilationsaggregat

Aggregatnamn	Tilluft		Frånluft		Reglerfall	Tidsschema
	Fläkttryck Pa	Verkningsgr. %	Fläkttryck Pa	Verkningsgr. %		
LB01	400.00	61.20	356.00	59.90	LB01	Lavön

### Ventilationstider

Tidsschema	Veckodagar	Tilluft	Frånluft	Veckonr	Tid
		l/s	l/s		
Lavön	Måndagar, Tisdagar, Onsdagar, Torsdagar, Fredagar, Lördagar, Söndagar	2050.000	2050.000	1 - 53	11 - 22
	Måndagar, Tisdagar, Onsdagar, Torsdagar, Fredagar, Lördagar, Söndagar	3450.000	3900.000	1 - 53	3 - 11
	Måndagar, Tisdagar, Onsdagar, Torsdagar, Fredagar, Lördagar, Söndagar	2050.000	2050.000	-----	Övrig tid-----



## Reglerfall

### LB01

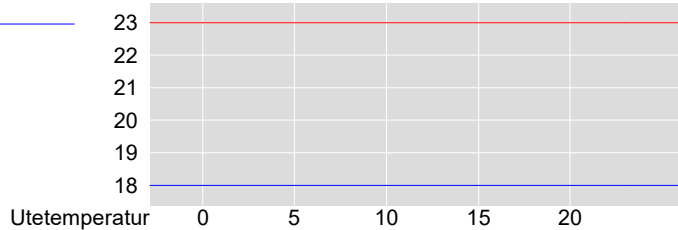
Värmeåtervinning vid värmebehov i rum  
Ansluten till vattenvärmesystem  
Låst verkningsgrad för värmeväxling

#### Värmeväxlare

Verkningsgrad enligt EN308: 86.5 %  
Luftflöde vid provning: 2050.0 l/s  
Typ av värmeväxlare: Motströms plattväxlare  
Antal sektioner: 1  
Avfrostningsmetod: Behovsstyrd reduktion av verkningsgrad  
Tidsmarginal: 10 %

Maxtemperatur °C — °C

Mintemperatur °C — °C



## Värmepumpar vattenburen värme

Namn	Andel av totalt vattenflöde	Andel av totalt luftflöde	Antal
NIBE F1345-60	100.0 %		1

### Namn: NIBE F1345-60

Värmekälla: Bergvärme  
Köldmediatyp: R410A  
Temperatur förångning: -40.0°C - +30.0°C kondensering: +10.0°C - +70.0°C  
Lägsta temperatur kalla sidan: -8.0°C  
Högsta temperatur värmesystem: 65.0°C  
Högsta temperatur till tappvarmvatten: 60.0°C  
Kompressoreffekt beräknas vid dimensionerande utetemperatur.  
Värme till värmesystem(Prioriterat) och tappvarmvatten  
Provningsstandard EN14511  
Avgiven värmeeffekt: 59220.0W  
Värmefaktor: 4.3  
Temperatur köldbärare: 0.0°C  
Temperatur värmebärare framledning: 35.0°C  
Temperatur värmebärare returledning: 30.0°C  
Eleffekt cirkulationspump: 2.7% av kyleffekt  
Eleffekt cirkulationsfläkt: 0.0% av kyleffekt  
Eleffekt cirkulationspump: 0.3% av värmeeffekt

## Tappvarmvatten

Temperatur kallvatten: 8.0 °C  
Temperatur tappvarmvatten: 55.0 °C  
Värmeavgivning internt till byggnad: 0.140 W/m,K  
Rörlängd internt byggnad: 100.0 m

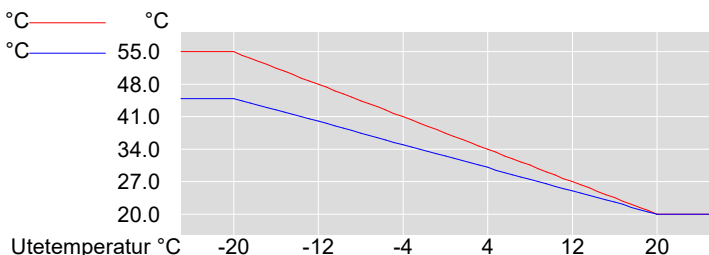
## Vattenvärmesystem

Reglering av framledningstemperatur mot utetemperatur  
Värmeavgivning internt till byggnad: 0.140 W/m,K  
Rörlängd internt byggnad: 50.0 m

Reglerförlust: 2.0 °C Framledningstemperatur °C — °C

Andel rumsvärmare anslutna till vattenburen värme: 100.0 % Returtemperatur °C — °C

El till cirkulationspumpar och fläktar: 2.0 % + 0.0 W





## Kylförsörjning

Passiv kylförsörjning

Max relativ fuktighet i rumsluft: 100.0 %

Kyleffekt maximerad till: 33000.0 W

Eleffekt till cirkulationspumpar 2.0 % av energi

Dimensionerande utetemperatur för kylning 100.0 °C

## Krav

Dimensionerande rumstemperatur: 21.0 °C

Dimensionerande utetemperatur: -13.5 °C

Dimensionerande markttemperatur: 9.7 °C

Beräkning av eleffekt med hänsyn till värmeåtervinning

Beräkning av eleffekt med hänsyn till värmepump

Elvärme till tappvarmvatten

Elvärme till uppvärmning ventilation

Elvärme till uppvärmning rum

## BBR26-BBR28

Lokaler

Geografisk justeringsfaktor: 0.9

Primärenergifaktor värmeförsörjning: 1.0

Primärenergifaktor Elförsörjning: 1.6

Primärenergifaktor Fjärrkyla: 1.0

## RESULTAT

Beräkningsperiod Dagar: 1 - 365

Beräkningsdatum: 2022-02-23 09:38:02

## Energibalans per timme

Period	Avgiven energi [kWh]					Tillförd energi [kWh]							
	(23) Trans- mission	(24) Luft- läckage	(21) Ventila- tion	(28) Spill- vatten	Kyla	(27) Sol- energi fönster	(20) Åter- vinning vent	(19) Åter- vinning VP	(25) Person- värme	(45) Process- energi intern	(33) Värme- försörj- ning	(34) El- försörj- ning	(52) Latent energi
D 1 T 1	14.17	2.06	56.95	0.25	0.00	0.00	49.75	11.13	0.00	0.00	0.00	7.76	0.00
D 1 T 2	13.54	2.18	59.02	0.25	0.00	0.00	50.28	11.58	0.00	0.00	0.00	7.93	0.00
D 1 T 3	13.53	2.30	60.61	0.25	0.00	0.00	51.23	12.10	0.00	0.00	0.00	8.16	0.00
D 1 T 4	13.70	0.94	119.89	0.25	0.00	0.00	87.16	0.50	0.21	33.25	1.50	4.82	2.77
D 1 T 5	13.83	0.90	121.44	0.25	0.00	0.00	88.05	0.50	0.21	33.25	5.12	4.81	2.77
D 1 T 6	13.68	0.93	119.51	0.25	0.00	0.00	86.66	0.49	0.21	33.25	4.10	4.79	2.77
D 1 T 7	13.67	0.93	120.13	0.25	0.00	0.00	87.09	0.49	0.21	33.25	4.23	4.79	2.77
D 1 T 8	13.66	0.97	120.28	0.25	0.00	0.00	87.22	0.49	0.21	33.25	4.38	4.79	2.77
D 1 T 9	13.81	1.02	122.37	0.25	0.00	0.00	88.84	0.49	0.21	33.25	4.92	4.79	2.77
D 1 T 10	14.19	1.13	127.34	0.25	0.00	0.64	92.57	0.49	0.21	33.25	6.16	4.79	2.77
D 1 T 11	14.11	1.10	125.54	0.25	0.00	1.10	91.34	0.49	0.21	33.25	5.91	4.79	2.77
D 1 T 12	14.05	2.55	66.71	0.25	0.00	1.08	54.96	0.50	2.55	27.71	0.10	2.78	2.22
D 1 T 13	13.72	2.57	65.60	0.25	0.21	1.08	53.83	0.48	2.55	27.71	0.08	2.77	2.22
D 1 T 14	13.71	2.60	66.19	0.25	0.73	1.24	54.25	0.48	2.55	27.71	0.08	2.78	2.22
D 1 T 15	14.19	2.79	69.14	0.25	0.22	0.77	56.77	0.48	2.55	27.71	0.09	2.77	2.22
D 1 T 16	14.97	3.04	72.54	0.25	0.00	0.05	59.80	0.48	2.55	27.71	0.10	2.77	2.22
D 1 T 17	15.68	3.22	75.03	0.25	0.00	0.00	62.04	0.48	2.55	27.71	0.11	2.77	2.22
D 1 T 18	16.17	3.33	76.67	0.25	0.00	0.00	63.42	0.48	2.55	27.71	0.11	2.77	2.22
D 1 T 19	16.47	3.41	77.60	0.25	0.00	0.00	64.23	0.48	2.55	27.71	0.11	2.77	2.22
D 1 T 20	16.65	3.45	78.07	0.25	0.00	0.00	64.65	0.48	2.55	27.71	0.11	2.77	2.22
D 1 T 21	16.78	3.50	78.58	0.25	0.00	0.00	65.06	0.48	2.55	27.71	0.11	2.77	2.22
D 1 T 22	16.91	3.51	79.16	0.25	0.00	0.00	65.58	0.48	2.55	27.71	0.12	2.77	2.22
D 1 T 23	16.47	3.24	74.10	0.25	0.00	0.00	62.66	13.14	0.00	0.00	0.00	9.37	0.00



Period	Avgiven energi [kWh]					Tillförd energi [kWh]								
	(23) Trans- mission	(24) Luft- läckage	(21) Ventila- tion	(28) Spill- vatten	Kyla	(27) Sol- energi fönster	(20) Åter- vinning vent	(19) Åter- vinning VP	(25) Person- värme	(45) Process- energi intern	(33) Värme- försörj- ning	(34) El- försörj- ning	(52) Latent energi	
D 1 T24	16.44	3.11	73.60	0.25	0.00	0.00	62.55	13.53	0.00	0.00	-0.00	9.49	0.00	
Summa	74953	9723	479367	2233	112838	30871	364015	10029	10833	208329	2918	35665	16990	

### Energibalans

Avgiven energi	kWh	kWh/m <sup>2</sup> (ga)	Tillförd energi	kWh	kWh/m <sup>2</sup> (ga)
(23) Transmission	74953	67.630	(27) Solenergi genom fönster	30871	27.855
(24) Luftläckage	9723	8.773	(20) Återvinning ventilation	364015	328.450
(21) Ventilation	479367	432.533	(19) Återvinning värmepump	10029	9.049
(28) Spillvatten	2233	2.015	(25) Personvärme	10833	9.775
(22) Passiv kyla	112838	101.814	(45) Processenergi rumsluft	208329	187.975
			(33) Värmeförsörjning	2918	2.633
			(34) Elförsörjning	35665	32.180
			(52) Latent energi	16990	15.330

### Specifikation av energitillförsel

Energipost	kWh	kWh/m <sup>2</sup> (ga)
(33) VÄRMEFÖRSÖRJNING	2918	2.633
(1) Ventilationsaggregat	1560	1.408
(2) Värmesystem	1358	1.225
(3) Tappvarmvatten	0	0.000
(47+48) KYLFÖRSÖRJNING	111029	100.182
(47) Kylning i tilluft	6544	5.904
(47S) Sensibel kylning i tilluft	6544	5.904
(48) Kylning i rumsluft	104486	94.277
(48S) Sensibel kylning i rumsluft	104486	94.277
(48L) Latent kylning i rumsluft	0	0.000
(34) ELFÖRSÖRJNING	35665	32.180
(35) Värmepump	4962	4.477
(30) Tappvarmvatten	1847	1.667
(31) Värmesystem	2869	2.589
(32) Ventilation	246	0.222
(14) El tilluftsfläktar	14409	13.001
(13) El Frånluftsfläkt	13883	12.527
(15) El Cirkulationspump värmesystem	198	0.178
( ) El Cirkulationspump kyla	2213	1.996
(37) KONDENSORVÄRME	14991	13.526
(4) Kondensovärme ventilation	600	0.541
(5) Kondensovärme värmesystem	8326	7.513
(6) Kondensovärme tappvarmvatten	6064	5.472
(20) Återvinning ventilation	364015	328.450
(51) Värmeväxling	364015	328.450
(51) Återvinning av värme	364015	328.450
(51) Återvinning av kyla	-0	-0.000
(26) PROCESSENERGI	208329	187.975
(40) Verksamhetsenergi rumsluft	186081	167.901



Energipost	kWh	kWh/m <sup>2</sup> (ga)
(39) Fastighetsenergi rumsluft	22249	20.075
(42) VENTILATIONSAGGREGAT	380584	343.401
(43) VÄRMESYSTEM	9882	8.917
(44)+(53)+(54)VARMVATTENBEREDARE	6064	5.472
(54) Värmeavgivning TVV/VVC-rör Internt	3831	3.457
(67) Värmeavgivning VS-rör internt	373	0.336

## Nyckeltal

Inre värmekapacitet	73.16	[Wh/m <sup>2</sup> °C]
Yttre värmekapacitet	18.91	[Wh/m <sup>2</sup> °C]
Medelvärde för rumstemperatur	22.00	[°C] vid uppvärmning inkl. reglerförluster
Medelvärde ventilation	2666.67	l/s
Medelvärde Processenergi	21.46	[W/m <sup>2</sup> ]
Medelvärde Personvärme	1.12	[W/m <sup>2</sup> ]
Omslutningsarea	1812.18	[m <sup>2</sup> ]
U-värde	0.306	[W/m <sup>2</sup> K]
U-värde * Omslutningsarea	553.71	[W/K]
Luftläckage vid 50 Pa	903.75	[l/s]
Luftläckage vid 50 Pa	0.50	[l/s,m <sup>2</sup> ]
Dim. effekt Transmission:	18.192	[kW]
Dim. effekt ventilation	32.843	[kW]
Dim. effekt Luftläckage:	0.000	[kW]
Avgiven värmeeffekt	51.035	[kW]
Medel invändigt tryck	-3.54	[Pa]
Specifik fläkteffekt	1.21	[kW/(m <sup>3</sup> /s)]
Golvarea (ga)	1108.28	[m <sup>2</sup> ]
Rel. area Omslutning/Golv	1.64	
Rel. area (Fönster+Dörrar)/Golv	0.20	
Tidskonstant	75	[h] 3 [d]
Maximal avvikelse från högst tillåten temperatur	7.60	[°C]
Antal timmar över högst tillåten temperatur	1315	[h]
Antal gradtimmar över högst tillåten temperatur	1799.56	[°Ch]

## Jämförelse mot krav

### Jämförelse mot BBR26-BBR28

Atemp: Lokaler	1108.3	m <sup>2</sup>
Geografisk justeringsfaktor:	0.9	

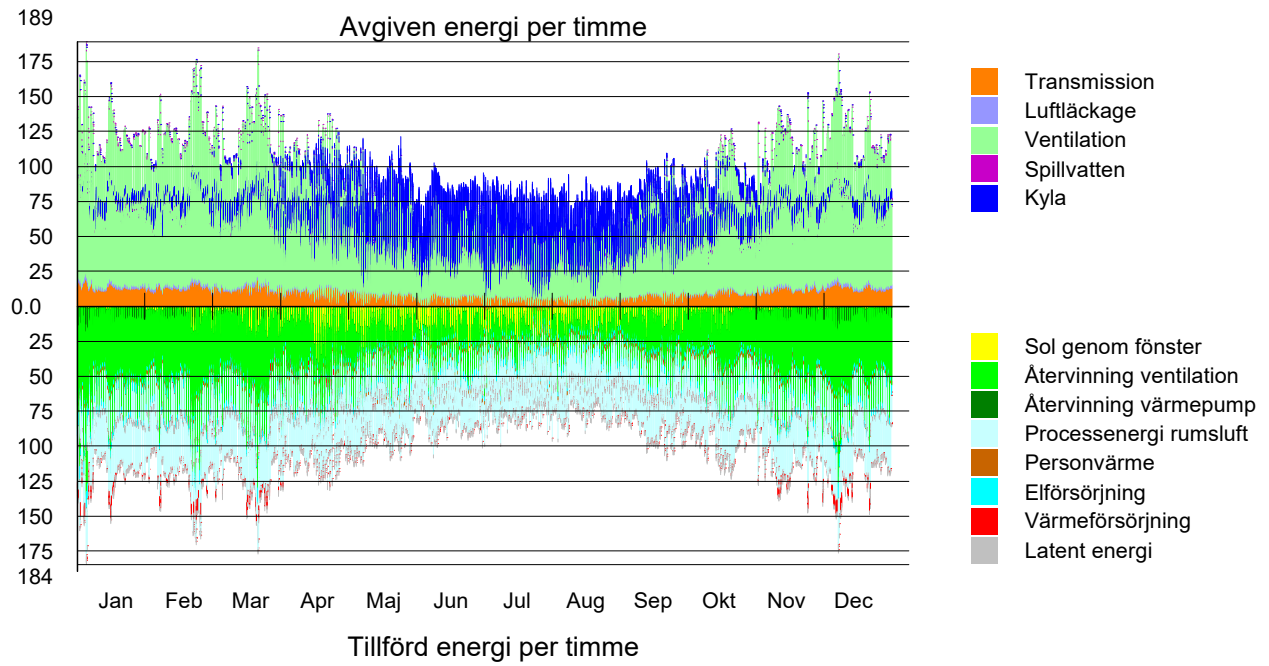
Energipost	Beräknat värde	Tillåtet värde
U-värde	0.306	0.600 W/(m <sup>2</sup> K)
Specifik energianvändning	54.9	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
Energiprestanda primärenergital	88.8	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE Värmeförsörjning	4.68	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE Värmeförsörjning TVV	0.0000	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE Värmeförsörjning rum	2.18	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE Värmeförsörjning vent	2.50	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE EI till fläktar och pumpar	44.3	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE EI till värmepump	7.66	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE EI VP Tappvarmvatten	2.67	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE EI till VP värmesystem	4.60	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE EI till VP ventilation	0.394	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
PE Övrig fastighetsenergi	32.1	kWh/(m <sup>2</sup> Atemp år)
Dimensionerande EI-effekt		
Beräknad total EI-effekt	16.7	106.2 kW



Jämförelse mot BBR26-BBR28 forts.

Energipost	Beräknat värde	Tillåtet värde
Värmepump	16.7	kW

**Energibalans**



# B

## Elimineringsmatriser

Detta appendix innehåller elimineringsmatriserna som användes för att ta fram vilka tekniker som skulle studeras närmare.

Chalmers		Elimineringsmatris för: Energitillförsel						
Utförd av: Energismart byggnad							Sid 1	
						+ Ja - Nej ? Information saknas	+ Behåll lösning - Eliminera lösning ? Sök (mer) information	
Lösning	Elimineringskriterier*						Kommentar	BESLUT
	Kompatibel till byggnaden	Geografisk kompatibilitet	Småskaligt applicerbart	Förnyelsebar drift	Behov			
Solceller på tak	+	+	+	+	+		Behåll	
Solceller på fasad	+	+	+	+	+		Behåll	
Solfångare	+	+	+	+	-		Bergvärme finns redan. Elimineras	
Bergvärme	+	+	+	+	-		Bergvärme finns redan. Elimineras	
Havsvärme	+	+	+	+	-		Bergvärme projekterad. Elimineras	
Jordvärme	+	-	+	+	-		Berggrund vid byggnad. Elimineras	
Frikyla vatten/luft/bergvärme	+	+	+	+	+		Behåll	
Småskaligt vindkraftverk	+	+	+	+	+		Behåll	
Tidvattenkraftverk, Minesto	+	-	-	+	+		Inte tillräckligt djupt utanför kajen. Elimineras	
Minikärnkraftverk	+	+	+	-	+		Inte förnyelsebar drift. Elimineras	
Thin film pv glass	+	-	+	+	+		Nordostlig riktning på stora fönsterpartier. Elimineras	
Småskaligt vattenkraftverk	+	-	+	+	+		Geografiskt krävande till storlek och höjd. Elimineras	
Luft-luft värmepump	-	+	+	+	-		Inte applicerbar till byggnaden. Elimineras	
Luft-vatten värmepump	+	+	+	+	-		Inget behov då bergvärme finns. Elimineras	
Vågkraft	+	-	+	+	+		Inte optimala förutsättningar för vågkraft. Elimineras	
OTEC - Termisk energiomvandling hav	-	-	-	+	+		Passar inte klimatets förutsättningar. Elimineras	

Chalmers		Elimineringsmatris för: Energieffektivisering						
Utfördad av: Energismart byggnad							Sid 1	
							<b>+ Ja</b> <b>- Nej</b> ? Information saknas ! Kontrollera kravspec.	
							<b>+ Behåll lösning</b> <b>- Eliminera lösning</b> ? Sök (mer) information ! Kontrollera kravspec.	
Lösning	Elimineringskriterier*						Kommentar	BESLUT
	Kompatibel till byggnaden	Geografisk applicerbarhet	Småskaligt applicerbart	Behov				
Lepido, Enjay, energiåtervinning köksventilation	+	+	+	-			Ventilation i kök redan projekterat.	Elimineras
Dynamiska fönster, Peafowl	+	+	+	-			Markiser billigare lösning.	Elimineras
Värmeåtervinning av avloppsvatten	+	+	+	+				Behåll
FTX-ventilation	+	+	+	-			Finns redan projekterad.	Elimineras
Ground air exchanger innan FTX-aggregat	-	+	+	+			Risk för dålig luft.	Elimineras
Smart belysning (LED, rörelsedektorer, skymningsrelä)	+	+	+	-			Finns redan projekterat.	Elimineras
Behovstyrd ventilation, CO2 mätare	+	+	+	-			Ventilationssystem redan projekterat, innehåller en CO2 mätare.	Elimineras
Slussdörrar	-	+	+	+			Svårt att anpassa slussdörrar till byggnad.	Elimineras
Solskydd för fönster	+	+	+	+				Behåll
Vind för att driva ventilation (aspiratorer)	-	+	+	-			Finns redan ett projekterat ventilationssystem.	Elimineras
Förbättring av klimatskal	+	+	+	+				Behåll

Chalmers		Elimineringsmatris för: Energilager						
Utfärdad av: Energismart byggnad							Sid 1	
							<b>+ Ja</b> <b>- Nej</b> ? Information saknas ! Kontrollera kravspec.	<b>+ Behåll lösning</b> <b>- Eliminera lösning</b> ? Sök (mer) information ! Kontrollera kravspec.
Lösning	Elimineringskriterier*						Kommentar	BESLUT
	Kompatibel till byggnaden	Geografisk applicerbarhet	Småskaligt applicerbart	Behov				
Vätgas	-	+	+	+			Kostar för mycket arbete att upprätthålla vätgas i flytande form.	Elimineras
Svänghjulslagring (Flywheel)	-	+	+	-			För kort lagringstid.	Elimineras
CAES (Tryckluftslagring)	+	+	-	+			Inte småskaligt applicerbart.	Elimineras
SMES (Supraleddemagnetiska energilager)	-	+	-	-			Verkar ej existera småskaligt, verkar dyrt (kräver låga temperaturer) och genererar magnetfält som kanske är lite för starka...	Elimineras
Pumped-storage Hydropower	+	-	+	+			Geografiskt krävande till storlek och höjd.	Elimineras
Batteri	+	+	+	+				Behåll
Saltbehållare	+	-	-	+			Krävs i stora volymer och är även då inte lönsamt.	Elimineras
Dammen	+	+	+	+				Behåll
Återladdning av bergvärmehål	+	+	+	-			Uppfylls genom frikyla + bergvärme.	Elimineras
Ackumulatortank	+	+	+	+				Behåll
PCM (fasändrande material)	+	+	-	+			Inte tillräckligt kommersiellt.	Elimineras
Termisk lagring i byggnaden	+	+	+	-			Halvlätt byggnad.	Elimineras

# C

## Bortsållade idéer från idékatalogen

I detta appendix sammanställs kort information om alla tekniska lösningar och idéer som eliminerats i projektets andra fas. Katalogen är indelad i kategorierna energitillförsel energieffektivisering och energilagring.

### C.1 Energitillförsel

Här finns kort information om de lösningar inom kategorin energitillförsel som eliminerats.

#### C.1.1 Solfångare

Solfångare är en typ av värmeväxlare som omvandlar solens strålar som träffar solfångaren. Stålarna värmer ett medium, vanligen vatten, som sedan transporteras vidare. Mediet förs sedan vidare till en ackumulatortank (även kallad varmvattentank) och värmer vattnet i tanken. När värmen lämnats i ackumulatortanken förs mediet vidare och kommer sedan tillbaka till solfångaren [54].

#### C.1.2 Bergvärme

Bergvärme utvinner solenergin från berggrunden. Först borrar ett hål som är 100-200 m djupt för att därefter sänka ner en slang med en vätska som sedan värms upp av värmen i berggrunden. Den värmda vätskan övergår till gasform pumpas sedan upp till huset och bergvärmepumpen kan utvinna värmen med en liknande teknik som luft-vattenvärmepumpen [55]. Gasen återgår till vätska pumpas sedan ner i berggrunden och samma process sker igen. Elektriciteten som krävs är den som används för att driva bergvärmepumpen.

#### C.1.3 Havsvärme

Fungerar på samma sätt som bergvärme, men i detta fallet läggs slangen längst ner på havetsbotten och utvinna värme från havets temperatur. Köldmediet (vätskan) i slangen värms av havet och övergår till gasform och pumpas sedan till huset och havsvärmepumpen/sjövärmepumpen utvinna värmen med samma princip som i luft-vattenvärmepumpen. Gasen återgår till vätska och pumpas ner till havsbotten.

### C.1.4 Jordvärme

Jordvärme fungerar liknande som bergvärme. En skillnad är att det räcker att placera slangen en meter ned i marken för att alstra solenergin som går ner i jorden [56].

### C.1.5 Tidvattenkraftverk, Minesto

Minestos tidvattenkraftverk utnyttjar tidvattenströmmar för att generera elektricitet med hjälp av en konstruktion som som kan liknas vid att flyga drake, fast under vattenytan och med en monterad turbin och generator på 500 kW [57]. Företaget påstår att tekniken fungerar vid vattenströmmar på 1.2 m/s och uppåt, och att den kan monteras antingen på djupt eller grunt vatten [57]. Företaget hävdar också att lösningen har minimal påverkan på miljön [58] men 2017 fanns det enbart ett fåtal studier om hur tekniken påverkar närområdet [59]. Tekniken är relativt gammal och har funnits de senaste 50 åren även om den kommersiellt sett är relativt ny [60]. Enligt [60] så domineras områden med tidvattenresurser av elva länder, där Sverige inte är med på listan.

### C.1.6 Minikärnkraftverk

Små kärnreaktorer kan användas för att generera upp till 20 MW termisk energi som sedan kan omvandlas till andra energiformer så som värme eller elektricitet [61]. Tack vare dess flexibilitet kan reaktorerna skalas utifrån plats och är lätta att transportera. Denna teknologi är fortfarande under utveckling och den första demonstrationen förväntas komma 2025.

### C.1.7 Perovskit-fönster

Denna teknik är inte helt utvecklad, men principen går ut på att fönster innehåller mineralen perovskit som vid höga temperaturer skiftar färg till svart och därmed reflekterar bort solinstrålningen [62]. Dessa fönster ska även fungera som en solcell, då elektricitet ska kunna omvandlas, dock är verkningsgraden mycket lägre jämfört med dagens solceller, men det är en intressant teknik som kan bli vanligare inom ett par år främst på skyskrapor som kräver mycket energi att kyla byggnaden.

### C.1.8 Småskaligt vattenkraftverk

Småskaliga vattenkraftverk fungerar liknande som vanliga vattenkraftverk. För att klassificeras som småskaligt vattenkraftverk gäller det att effekten inte överstiger 10 MW [63].

### C.1.9 Luft-vatten värmepump

Värmepumpen placeras på utsidan av huset och utvinner solenergin som finns lagrad i luften. Inuti värmepumpen finns ett köldmedium som hämtar upp värme ur

uteluften, köldmediet blir alltså varmt och blir till gasform [64]. Trycket höjs i kompressorn och sedan överförs värmen i kondensorn. Köldmediet har då lämnat av sin värme och blir då kallt, och återgår till vätska efter att trycket har sänkts i expansionsventilen. Luft-vatten värmepump används som värmekälla.

### **C.1.10 Luft-luft värmepump**

En luft-luft värmepump fungerar som en luft-vatten värmepump, men skillnaden är att en luft-vatten värme byggnadens vatten, medan en luft-luft värmepump värmer upp husets luft [65].

### **C.1.11 Vågkraft**

Vågkraft är en ny teknik som har börjat växa fram de senaste åren. Tekniken utmärks antingen genom bojar som flyter på ytan för att fånga upp vågorna på ytan, eller så fångas vågorna vid botten upp [66]. Tekniken är dock fortfarande väldigt ny, och företaget Seabaseds dotterbolag som applicerat tekniken gick i konkurs 2019 och tvingades därav stänga både verksamheten i Lysekil [67], men även verksamheten utanför Sotenäs [68]. Seabased AB har däremot fortfarande igång sin verksamhet inom vågkraftsparker.

Eftersom det inte varit tydligt att småskaliga vågkraftsparker påverkat närmiljön negativt [69], skulle en småskalig anläggning kunna passa som energitillförsel. En ytterligare anledning vore att ta tillvara på havets resurser, när huset som byggs ligger precis bredvid havet. Vågkraft, som likt solkraft och vindkraft är en energitillförsel med fluktuationer, skulle kunna vara ett bra komplement till vindkraft eller solkraft eftersom det finns möjligheter att fluktuationerna inträffar vid olika tillfällen. I en studie påvisades att energisystem som kombinerade vågkraft och solkraft ökade elproduktionen, samt minskade problem av fluktuationer i energitillförseln [70].

### **C.1.12 OTEC**

OTEC är en process som genererar elektricitet av temperaturskillnaderna mellan kallt vatten på havsbotten och varmt ytvatten. Elektriciteten utvinns vanligen med någon typ av ångkraftscykel [71].

## **C.2 Energieffektivisering**

Här beskrivs idéer och tekniska lösningar som kan påverka byggnadens energieffektivisering.

### **C.2.1 Slussdörrar/Extra entrédörrar**

Genom att modifiera eller ändra entrélösning på byggnaden kan energi som läcker ut då ytterdörren öppnas och stängs minimeras. Det är dock svårt att avgöra hur

mycket energi som kan sparas då beräkningsmetoder och standarder är få [72]. Majoriteten av informationen som funnits på området handlar om snurr- och automatiska skjutdörrar vilket inte går applicera i detta projekt.

### C.2.2 FTX-Ventilation

FTX står för frånluft-tilluft-värmeåtervinning och fungerar har funktionen att återvinna värme från ventilationens frånluft och sedan förvärma tilluften. Värmeväxlaren sitter i byggnadens ventilationssystem. Energibehovet för eftervärmning av tilluften minskar med ca 80 % [9]. Däremot ökar fläktarnas elförbrukning till det ungefär det dubbla jämfört med ett frånlufts system, dels för att det krävs två fläktar istället för en och dels på grund av att det krävs en extra tryckhöjning för att luften ska passera värmeväxlaren. Däremot överväger värmeåtervinningspotentialen energiförlusterna från den ökande elförbrukningen från fläktarna.

De vanligaste värmeväxlarna i ett FTX system är [9]:

- Roterande värmeväxlare
- Vätskekopplade batterier
- Plattvärmeväxlare

I den studerade byggnaden är det projekterat ett ventilationssystem med motströmsvärmeväxlare med en verkningsgrad på uppåt 86%. Eftersom verkningsgraden är så hög har FTX-ventilation eliminerats i projektet.

### C.2.3 Enjay, Värmeväxlare för köksventilation

Enjay är ett svenskt företag som satsat på att skapa en tålig värmeväxlare för bruk inom köksventilation och andra områden med speciella krav [73]. I restauranger kan luften innehålla mycket fett från matos vilket gör att traditionella värmeväxlare inte fungerar. I den projekterade byggnaden däremot är ventilationssystemet i köket kopplat till ventilationens värmeåtervinning och därför har denna teknisklösning eliminerats.

### C.2.4 Smart belysning

Smart belysning handlar om att effektivisera energieffektiviseringen från belysningen. Detta kan göras på ett flertal sätt, exempelvis att använda rörelsedetektorer för att effektivisera användningen och få den behovsstyrd [74]. Elimineras på grund av: Redan projekterat i byggnaden och belysningen står idag för en liten andel av det totala elbehovet.

### C.2.5 Ground air exchanger innan FTX-aggregat

Gravity heat exchanger används för att förvärma eller kyla luften innan det når byggnadens FTX aggregat. Grundidén med tekniken är att utnyttja markens tröghet för att värma och kyla [75], inkommande luft till en byggnad. En slang placeras

byggnadens markförläggning och fungerar som en värmeväxlare mellan luften och jorden. Med tekniken kan verkningsgraden på ventilationen ökas och besparingar kan göras på ett kostnadseffektivt sätt. Tekniken elimineras på grund av: Svårt och kostsamt när det är berg som underlag. Risk för igensättningar och dålig luft in till byggnaden. Fungerar bättre för småskaliga hus.

### **C.2.6 Vind för att driva ventilation (aspirotor)**

Aspirotor används för att driva luft till ventilationen genom att använda vinden som energikälla. Aspiratorer används främst för skorstenar med dåligt drag [76]. Elimineras på grund av: Det blåser inte alltid. Inte effektivt för en verksamhet utan lämpar sig bättre för småskaliga hus. Byggnaden har redan FTX-ventilation projekterad.

### **C.2.7 Dynamiska fönster, Peafowl**

Peafowl Solar Power har utvecklat ett dynamiskt fönster som kan släppa in och ut värme och ljus efter behov. Fönstret kan regleras och kan drivas med hjälp av solceller. Enligt utvecklarna kan besparingen gå upp till ungefär 50 % [77].

## **C.3 Energilagring**

Här beskrivs kortfattat tekniska lösningar inom energilagring.

### **C.3.1 Fasövergångsmaterial**

Fasövergångsmaterial (Phasechanging materials, PCM) lagrar energi i den latent energi som krävs för att ett material ska ändra fysikaliskt tillstånd. När temperaturen ökar går en del av energin till att, oftast, smälta materialet, när temperaturen senare sjunker och materialet återgår till sitt fasta tillstånd frigörs denna energi igen [30]. Det finns olika exempel på användning av dessa material, exempelvis i ställningar i ett rum [78] eller i en byggnads väggar [79]. De kräver att temperaturen varierar och att den gör det runt materialets specifika smältpunkt, vilket innebär vissa begränsningar.

### **C.3.2 Pumplagrad vattenkraft**

Med hjälp av ett pumparbete kan vatten pumpas till en hög höjd och nyttja lägesenergin som vid behov kan omvandlas till rörelseenergi [80]. Då vattnet släpps tillbaka till sin ursprungliga höjd kan en generator som är kopplad till en vattenturbin, som börjar rotera då vattnet släpps tillbaka, generera el.

### **C.3.3 Supraledande magnetisk energilagring**

Supraledande magnetisk energilagring (SMES) är en form av energilagring som utnyttjar att resistansen i en ledare sjunker när temperaturen sjunker [10]. På så sätt

kan energi lagras i magnetfältet som genereras då ström förs genom en nedkyld metallspole [10], [81]. Genom att hålla spolen vid väldigt låga temperaturer, några tiotal grader Kelvin, blir förlusterna låga [10], [81].

### C.3.4 Tryckluftslagring

Tryckluftslagring innebär att luft pumpas till underjorden med hjälp av överskottsel eller då elpriset är lågt [82]. Vid behov av el kan den luften, som är under högt tryck och följaktligen uppvärmd, expanderas via en expansionsturbin som i sin tur driver en generator som genererar el [83].

### C.3.5 Vätgas

Vätgas kan lagras fysiskt i antingen gas eller vätskeform under högt tryck, oftast mellan 350-700 bar [84]. Väte har en mycket hög energidensitet och kan därför lagra mer energi jämfört med andra bränslen men eftersom kokpunkten för väte är ca -253 vid atmosfärstryck kräver ämnet att lagring sker vid kryogeniskt tillstånd. Detta kostar i sin tur arbete för att upprätthålla denna låga temperatur och sänker dess verkningsgrad [84].

### C.3.6 Återladdning av bergvärmehål

Bergvärme används för att hämta värme från antingen grundvatten eller berggrund med hjälp av en slang i ett borrhål [85]. Om ett värmeöverskott finns kan värmen från denna användas för att återladda bergvärmehålet, förutsatt att temperaturen från värmeöverskottet är högre än bergvärmehålets [86]. Genom att återladda borrhålet kan en balans mellan uttag och återladdning av värme uppnås då värmen som tas ur berget under vintertid leder till att bergvärmehålets omgivning kyls [87].

### C.3.7 Saltbehållare

Smält salt är en teknologi som används kommersiellt idag för att lagra termisk energi [88]. Vanligen används solsalt som har nästan fyra gånger så mycket energilagringstäthet jämfört med termisk olja vilket möjliggör större energilagring på mindre yta [89]. Nackdelen med salt som energilagringssmedia är dess korrosiva egenskaper vilket kräver extra åtgärder men dess låga kostnad gör det fortsatt lönsamt att använda salt som media [89]. Genom att lagra salt som medium med en hög temperatur torkar saltet medan vattnet avdunstar [88]. Då vattenånga tillförs till det torkade saltet som innehåller en hög energimängd, kan energi utvinnas. Ångan med hög energidensitet kan sedan användas till andra applikationer såsom fjärrvärmesystem eller omvandlas till elektricitet.

# D

## Beskrivning av köksutrustning

INKITCHEN AB

2021-10-25

UTRUSTNINGSLISTA

Lavön  
Ellös  
STORKÖKENTREPRENADEN

Flik 3

Pos.	Ant.	Benämning / mod./ Fabrikat	Spänning V/st+O+J	Effekt		Anslutning vvs			Anmärkning 1-24 (se sista sidan)	Not
				kW/st	Amp	Kv	Vv	Avlopp		
		Övre plan								
1	1	Frysrum	230	0,9						C-kyla
2	1	Kylrum	230	0,9						C-kyla
4	2	Värmeslinga golv frysrum	230							
		Cafe								
60	1	Barfront bygg								
61	1	Glasmonter	230							
62	1	Brickställ								
63	1	Bänk								
65	2	Kylmonter	230	0,7						
66	1	Bänk								
67	1	Diskbänk				15	15	R40		
68	1	Värmehäll V2	230	0,4						
75	1	Drickakyl	230	0,7						
76	1	Diskbänk toppskiva				15	15	R40		
77		Underskåp i högtäckslaminat								
79		Överhyllor								
80	1	Kaffebryggare dubbel	400	4,7						
91	1	Espressobryggare	400	5,3						
92		Kaffekvarn	230	0,3						
		Städ								
150	1	Utslagsback vvs				15	15			vvs
151	1	Hylla 400								
152	1	Redskapshållare								

INKITCHEN AB  
Stureparksvägen 7  
451 55 UDDEVALLA

Tel. 0522-65 33 51  
mail peter@inkitchen.se

För frågor kontakta  
Peter Arvidsson

Pos.	Ant.	Benämning / mod./ Fabrikat	Spänning V/st+O+J	Effekt		Anslutning vvs			Anmärkning 1-24 (se sista sidan)	Not
				kW/st	Amp	Kv	Vv	Avlopp		
		<b>Entreplan</b>								
200	1	Skaldjurskyl	230							
		Hyllor								
201	1	Rökkyl	230							
		Hyllor								
202	1	Frysrum	230							
		Hyllor								
203	1	Kylrum	230							
		Hyllor								
205	1	Förråd Hyllor								
		<b>Kokeri</b>								
210		Egen upphandling								
229	1	Spolustrustning golvtvätt Rekal				15	15			
		Beredning								
230	1	Diskbänk de76				15	15	R40		Mr125 med gallerhylla
231	1	Överhylla mr 600 ad3								Mr 600 dubbel
232	1	Diskbänk de 33				15	15	R40		Mr121 med gallerhylla
233	1	Överhylla mr 600 ad3								Mr 600 dubbel
234	2	Bänk mobil m. överhylla mr 100+602								Mr 100 med överhylla dubbel mr602
235										
236	1	Ismaskin	230			15		3/4		C.kyla

INKITCHEN AB

2021-10-25

UTRUSTNINGSLISTA

Lavön  
Ellös  
STORKÖKENTREPRENADEN

Flik 3

Pos.	Ant.	Benämning / mod./ Fabrikat	Spänning V/st+O+J	Effekt		Anslutning vvs			Anmärkning 1-24 (se sista sidan)	Not
				kW/st	Amp	Kv	Vv	Avlopp		
240	2	Spolustrustning golv tvätt Rekal				15	15			Med 15 meter slang
		<b>Diskrum</b>								
260	1	Diskinlämning med dubbel överhylla								Mr 501 + 609 et
261	1	Inmatningsbänk				15	15	R40		Mr 222
262	1	Diskmaskin WD7	400	10.1	16		15	50		WD 7
263	1	Utmatningsbänk						R40		Mr 300 vinkel gallerhylla
263	1	Överhylla dubbel								Mr 600 ad3
265	1	Glasdiskmaskin WD4s	400	5,4	10		15	28		WD4s
266	1	vakant								
270	2	Rangerställ/ plats för vagnar								Cs711
271	1	Skräpstation								Mr 716
		Produktionskök								
280	1	Kombiugn icombi pro 201	400	38	63	15		50		Rational Icombipro 201 + extravagn
281	1	Spis 4 plattor fkp	400	15,2	25					Fribergs 702216-00
282	1	Dubbel galleröverhylla mr 600agd3								Mr 600 agd3
283	1	Diskbänk de33				15	15	R40		Mr 121
284	1	Stekbord J425	400	13,2	20					Joni stekbord J425
285	2	Kokgryta M5 50 l Bas parställ	400	15	25	15	15			Geting M5 50 l bas + pistoldusch o silplåt, rengöringsvertyg

INKITCHEN AB  
Stureparksvägen 7  
451 55 UDDEVALLA

Tel. 0522-65 33 51  
mail peter@inkitchen.se

För frågor kontakta  
Peter Arvidsson

INKITCHEN AB

2021-10-25

UTRUSTNINGSLISTA

Lavön

Ellös

STORKÖKENTREPRENADEN

Flik 3

Pos.	Ant.	Benämning / mod./ Fabrikat	Spänning V/st+O+J	Effekt		Anslutning vvs			Anmärkning 1-24 (se sista sidan)	Not
				kW/st	Amp	Kv	Vv	Avlopp		
286	2	Bänk mobil med dubbel överhylla								Mr 100 med gallerhylla +602
287		Vakant								
288	2	Gejdivagn cs 705								Cs705
		<b>Restaurangkök</b>								
300	1	Blandningsmaskin AR40 + B-sats	400	1,1	10					Björn AR 40 + b-sats, 1 kittelvagn
301	1	Utgått								
302	1	Diskbänk de 55 mr 124+ 410				15	15	R40		Mr 124 gallerhylla, skärbrådeställ
303	1	Skärmaskin TC 250	230	0,3	10					Berkel TC 250
304	1	Grönsaksskärare RG 250	400	0,3	10					Hällde RG 250
305	1	Snabbhack R4 vv	230	0,3	10					Robot Coupe R 4 vv
306	1									
320	1	Värmeskåp med skjuddörrar varm topp	400	2,5	10					Värmeskåp VB 1200
321	1	Utgått								Värmevagn 7216-2
322	4	Värmelampor Classic 1224	230	0,3	10					Värmelampa Classic 1224
324	1	Bänk mr 101 med öppet fack, galler								Mr 101 o gallerhylla
325	1	Kallskänksbänk med ränna o 7 lådor	230	0,7	10					Colia p/s-3-cde-3
326	1	Frysskåp under bänk F210 rg	230	0,7	10					Gram F210 rg
330	2	Kombiugnar kombiduo ipro 61	400	10,1	16	15		50		Icombi pro 61 kombiduo
331	1	Dubbel överhylla mr 601ad								Mr 601ad3
332	1	Dubbel överhylla mr 601ad								Mr 601ad3
333	1	Grillkylbänk 6 lådor GN 1/1 haglund	230	0,7	10					MG1t160A 6lådor 1600 mm
334	1	Stekhäll NFT7-6ELO m ram	400	7,6	13					Mareno NFT7-6ELO
335	1	Fritös dubbel NF7-6E10TW m ram	400	18	32					Mareno NF7-6E10TW
336	1	Spis ETH6565	400	12	25					Elektrotermo ETH6565
337	1	Avställningsbänk NEN74C m ram								Mareno NEN74C
338	1	Dubbel galleröverhylla agd3								AGd3
339	1	Diskbänkde 33				15	15	R40		Mr 121
340	1	Bänk vinkel mr 101								Mr 101 med gallerhylla

INKITCHEN AB  
Stureparksvägen 7  
451 55 UDDEVALLA

Tel. 0522-65 33 51  
mail peter@inkitchen.se

För frågor kontakta  
Peter Arvidsson

INKITCHEN AB  
2021-10-25

UTRUSTNINGSLISTA  
Lavön  
Ellös  
STORKÖKENTREPRENADEN

Flik 3

Pos.	Ant.	Benämning / mod./ Fabrikat	Spänning V/st+O+J	Effekt		Anslutning vvs			Anmärkning 1-24 (se sista sidan)	Not
				kW/st	Amp	Kv	Vv	Avlopp		
341	1	Kylbänk 1660 o 10 lådor	230	0,7	10					Colia bs-3cde-3 spec
342	1	Kylskåp Kg410	230	0,7	10					Gram Kg410re
		<b>Delikates avd</b>								
400	2	Väggkylar mobila	230	1,1	10					Colia Paros
410	4	Delikatess disk Santiago fisk/kött	230							Colia Santiago
415	1	Bänk mr 121				15	15	R40		Mr 121 + underskåp
416	1	Bänk mr 121 passage med överhyllor				15	15	R40		Mr 121 gallerhylla, lådhurs +600ad3
490	1	Ismaskin is till bar kl 62	230			15		3/4		Porkka kl 62 låga ben underbänk
		<b>Ute Bar</b>								
500	1	Diskbänk de33 öpper för 501				15	15	R40		Mr121 med gallerhylla
501	2	Drickakyl underbänk sc 210	230	0,7	10					
505	1	Bänk m islåda o gejder f diskorg glas						R40		Mr 122+ gejderfack diskorg
		Barfront bygg								

INKITCHEN AB  
Stureparksvägen 7  
451 55 UDDEVALLA

Tel. 0522-65 33 51  
mail peter@inkitchen.se

För frågor kontakta  
Peter Arvidsson

INKITCHEN AB

2021-10-25

## UTRUSTNINGSLISTA

Lavön

Ellös

STORKÖKENTREPRENADEN

Flik 3

### Anmärkningar

1	Ansluts till plint i maskin
2	Ansluts till 1 fas vägguttag
3	Ansluts till 3 fas vägguttag
4	Förses med säkerhetsbrytare
5	Säkerhetsbrytare ingår
6	Ansluts med motorskydd
7	Förses med 1-fas vägguttag
8	Förses med 3-fas vägguttag
9	Föravstängningsventil erfordras
10	Vakumventil erfordras
11	Backventil erfordras
12	Avloppsventil 1½" ingår
13	Avloppsventil 1½" erfordras
14	Avlopp anslutas till vattenlås
15	Avlopp drages till golvbrunn
16	Brutet avlopp ansl.rör ej över 1000mm
17	Förspolning- och påfyllningdusch ingår
18	Förspolning- och påfyllningdusch erfordras
19	Blandare för vatten ingår
20	Blandare för vatten erfordras
21	Golvgröp ingår
22	Golvgröp erfordras
23	Golvbrunn min 3,5 l/sek
24	Extra 15 mm uttag för spillvatten till gryta, rör drages till grytans ingjutningsram
30	Anslutes till central kylanläggning

### Obs!

Måttuppgifter för VVS avser endast anslutningsdimension. För vattenmängder och tryck krävs mer information.

Normalt vatten tryck 1,7 till 4 bar. **Blandare o avstängningsventiler ingår i vs**

Tekniska uppgifter för eventuell befintlig utrustning eller utrustning tillhandahållen av brukaren är ej medtagen.

El resp rör kopplar in maskiner / bänkar. **Över arbetsbänkar placeras eluttag med cc 2 meter**

INKITCHEN AB  
Stureparksvägen 7  
451 55 UDDEVALLA

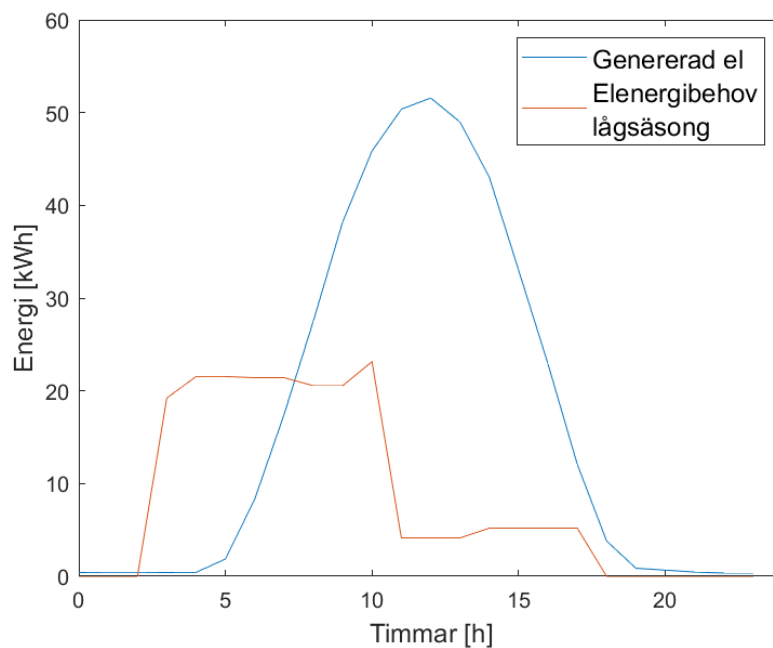
Tel. 0522-65 33 51  
mail peter@inkitchen.se

För frågor kontakta  
Peter Arvidsson

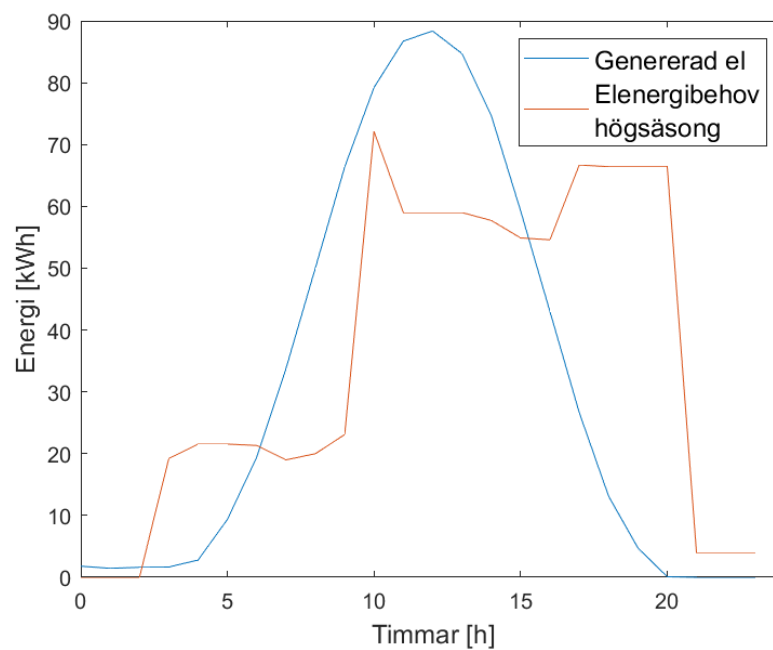
# E

## Uppskattningar av verksamhetens varierande behov av elektrisk energi

I detta appendix följer två figurer som illustrerar det uppskattade varierande behovet av elektrisk energi för verksamheten för ett lågsäsong- och högsäsongfall. Uppskattningarna har grundats på dokumentet i appendix D och användes som underlag för beräkningarna som gjordes i rapportavsnittet för batterier 5.3.1.



**Figur E.1:** Diagram över den genererade elektriska energin från fall 2 av solceller och ett vertikalt vindkraftverk samt den uppskattade varierande elektriska energibehovet under lågsäsong. Den genererade energin är för den 25:e april, ett godtyckligt valt datum.



**Figur E.2:** Diagram över den genererade elektriska energin från fall 2 av solceller och ett vertikalt vindkraftverk samt den uppskattade varierande elektriska energibehovet under högsäsong. Den genererade energin är för den 18:e juli, ett godtyckligt valt datum.

DEPARTMENT OF SOME SUBJECT OR TECHNOLOGY  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
Gothenburg, Sweden  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**