Oppgave/kandidat nr: 14

Tilgjengelighet: Åpen

OsloMet – storbyuniversitetet
Institutt for bygg- og energiteknikk –
Energi og Miljø i bygg
Postadresse: Postboks 4. St. Olavs plass, 0130 Oslo Telefon: 67 23 50 00
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo www.oslomet.no

Masteroppgave

PROSJEKTOPPGAVENS TITTEL	DATO
Analyse av brønnpark for kontorbygg - Varme- og kjølesystem	23. mai 2019
	ANTALL SIDER: 68 ANTALL SIDER VEDLEGG: 11
FORFATTER Jarl André Bergsvenkerud	VEILEDERE Habtamu Bayera Madessa - OsloMet Mehrdad Rabbani - OsloMet
UTFØRT I SAMARBEID MED Asplan Viak AS	KONTAKTPERSON

SAMMENDRAG

Denne masteroppgaven innebærer validering av en tilleggspakke i IDA-ICE. Valideringen vil bli brukt videre i oppgaven, gjennom analyser av en brønnpark. Sensitive analyser, manuelle analyser og optimalisering blir bruk til å finne ut blant annet; hvordan energien hentet opp fra bakken endrer energiforbruket fra en varmepumpe og topplasten. Resultatet av analysene viser at mer energi hentet opp fra bakken, vil gi mer energiforbruk fra varmepumpen og mindre energiforbruk fra topplasten. Samtidig viser det seg at energien brukt til kjøling av kontorbygget øker, med økende energi hentet fra bakken.

3 stikkord:
Kontorbygg
IDA-ICE
Brønnpark

Sammendrag

Powerhouse Kjøbo er et rehablitert kontorbygg, et nullutslippbygg. Ved Powerhouse Kjørbo er det to brønnparken, en sør-øst for de fem blokkene og en nord-vest. Det er brønnparken som ligger nord-vest for blokkene ved Powerhouse Kjørbo som er sentralt i denne oppgaven, sammen med blokk 1, 2 og 3. Brønnparken blir brukt til validere en ekstrapakke i IDA-ICE, samtidig som det blir hentet data fra denne brønnparken for å bruke i IDA-ICE. Valideringen av ekstrapakken blir gjort for å vise hvor god IDA-ICE er som programvare, i forhold til virkelig data. Valideringen av IDA-ICE blir brukt videre i oppgaven for å analysere en brønnpark tilkoblet et kontorbygg. Kontorbygget vil være et referanse bygg, bygg til å nå kravene til passivhus-standerden for yrkesbygg.

I analysene av brønnparken blir det sett på blant annet hva energien hentet opp fra bakken, har å si for energibruken til varmepumpen og topplasten. Analysene som blir gjennomført i denne oppgaven er sensitive analyser, manuelle analyser og optimalisering. Det blir sett på endring av: dybden i borehullene, antall borehull, dimensjonerende ΔT gjennom brønnparken, minimum massestrøm i brønnparken, maksimum massestrøm i brønnparken, varmemotstanden til tetningsmassen, varmemotstanden til bakken, orientering av bygget og plassering av borehullene.

Resultatet fra de sensitive analysene, de manuelle beregningene og optimaliseringen, viser at energien hentet opp fra bakken vil har betydning fra energibruken fra varmepumpen og topplasten. Det blir vist at endringen av dybden på borehullene og endringen av antall borehull, som gir størst endring på energien hentet fra bakken og dermed energibruken fra topplasten og varmepumpen. I tillegg gir to sist nevnte parameterne mest økning i energi brukt til kjøling.

Optimalisering viser at det er beste å ha blant annet størst minimum massestrøm, lengst dybde på borehulle og lavest ΔT gjennom brønnparken, for å oppnå mest mulig energibruk fra varmepumpene og minst mulig fra topplasten.

Abstract

Powerhouse Kjøbo is a rehabilitated office building, a zero emission building. At Powerhouse Kjørbo there are two energy wells, one south-east of the five blocks and one north-west. It is the energy well located north-west of the blocks at Powerhouse Kjørbo, which is central to this task, together with blocks 1, 2 and 3. The energy well is used to validate an extra pack in IDA-ICE, while retrieving data from this energy well to use in IDA-ICE. The validation of the extra package is done to show how good the IDA-ICE is as software, in relation to real data. The validation of IDA-ICE is used further in the task of analyzing a energy well connected to an office building. The office building will be a reference building, building to meet the requirements of the passive house standard for non-residential buildings.

In the analyzes of the energy well, it is seen, among other things, what the energy collected from the ground, has to say for the energy consumption of the heat pump and the top load. The analyzes that are carried out in this task are sensitive analyzes, manual analyzes and optimization. It is seen the change of: the depth of the wellbore, the number of boreholes, ΔT through the energy well, the minimum mass flow in the energy well, the maximum mass flow in the energy well, the heat resistance of the sealant, the heat resistance of the ground, the orientation of the building and the location of the boreholes.

The result of the sensitive analyzes, the manual calculations and the optimization shows that the energy extracted from the ground will have an impact from the energy consumption from the heat pump and the top load. It is shown that the change in the depth of the boreholes and the change in the number of boreholes, which give the greatest change to the energy obtained from the ground and thus the energy consumption from the top load and the heat pump. In addition, the two last mentioned parameters give the most increase in energy used for cooling.

Optimization shows that it is best to have, among other things, the greatest minimum mass flow, the longest depth of borehole and the lowest ΔT through the energy well, in order to achieve the most energy consumption from the heat pumps and least possible from the top load.

Forord

Denne hovedoppgaven er min avsluttende oppgave på mastergraden innen Energi og Miljø ved OsloMet Storbyuniversitetet.

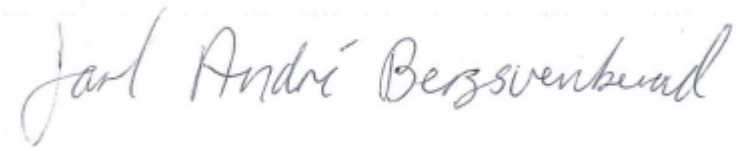
Det har vært spennende å studere og samarbeide med noen av Norges fremste innen sine felt. Med det vil jeg rette en takk til veileder Habtamu Bayera Madessa og Mehrdad Rabbani ved OsloMet. Forelesere ved OsloMet undervisningsårene 17/18 og 18/19 takkes også for god formidling av fagstoff av høy kvalitet.

Jeg ønsker også å takke venner og familie for støtte, ikke bare under prosjektperioden, men også for å kunne fullføre et langt utdanningsløp. Mamma, Pappa og besteforeldre takkes for alltid å være tilstede og støttende.

Alle medstudenter takkes for samarbeid både før og under prosjektperioden. I tillegg til faglige diskusjoner som har skjedd under arbeidet av denne hovedoppgaven. Samtidig er det en medstudent som har bidratt mer enn andre på blant annet diskusjoner, løsning av enkle problemer i programvare og prosjektutforming og valg av presentasjon av data hadde vært vanskelig uten deg tilstede.

Samarbeidspartner Asplan Viak takkes for å stille med kontorplass til både meg og medstudent i oppgaveperioden. At vi i tillegg får bruke data fra deres SentralDriftsanlegg definerer store deler av denne oppgaven. Det at man alltid kan stikke innom et kontor eller spørre noen i kontorlandskapet er en uvurderlig ressurs og trygghet. Av Asplan Viaks ansatte ønsker jeg å rette en spesiell takk alle ansatte, som har stilt opp med forklaring av tekniske anlegg og henvist til andre der de har ment dem kunne hjelpe. Til sist vil jeg også rette en takk til Johnson Controls for innføring i SD-systemet Metasys, som ble brukt til å hente ut alt av måledata og Entra skal ha takk for å ordne tilgang til dette SD-anlegget.

OsloMet, Institutt for bygg- og energiteknikk, 23. mai 2019



Jarl André Bergsvenkerud

Innhold

1 Omfang **1**
1.1 Mål med oppgaven . . . 1
1.2 Avgrensninger . . . 2
1.3 Oppbygning . . . 3

2 Teori **5**
2.1 Termodynamikk . . . 5
2.2 Varmepumpe . . . 6
2.3 Grunnvarme . . . 7
2.4 Programverktøy . . . 7
2.4.1 IDA-ICE . . . 7
2.4.2 GenOpt . . . 7
2.5 Powerhous Kjørbo . . . 8
2.6 Nettleie . . . 9
2.7 Nåverdimetoden . . . 10

3 Metode **11**
3.1 Powerhouse Kjørbo . . . 11
3.2 Validering . . . 12
3.3 Referanse kontorbygg . . . 18
3.4 Sensitiv analyse . . . 23
3.5 Grafiske skript . . . 25
3.6 Plassering og antall borehull . . . 27
3.7 Optimalisering . . . 29
3.8 Eksportering fra IDA-ICE til Excel . . . 31

4 Resultater og diskusjon **33**
4.1 Validering . . . 34
4.2 Sensitive analyser . . . 36
4.2.1 Endring av borehull lengde . . . 39
4.2.2 Endring av antall borehull . . . 43
4.2.3 Endring av ΔT gjennom brønnparken . . . 47
4.2.4 Endring av minimum massestrøm i brønnparken . . . 51
4.2.5 Endring av maksimal massestrøm i brønparken . . . 53
4.2.6 Enerding av varmemotstanden i grunnen . . . 54
4.2.7 Endring av orienteringen til bygget . . . 56
4.3 Plassering av borehullene . . . 57
4.4 Temperaturforhold tur/retur i brønnparken . . . 58
4.5 Optimalisering . . . 60

4.6 Samfunnsnyttighet 63

5 Konklusjon **64**

6 Forslag til videre arbeid **66**

7 Referanseliste **67**

8 Vedlegg **69**
8.1 Brønnskjema 69
8.2 Borehull innputt 70
8.3 Oppbygning av taket i IDA-ICE 71
8.4 Oppbygning av gulvet i IDA-ICE 72
8.5 Parameter run 73
8.6 Opprinnelig energisentral i IDA-ICE 74
8.7 Datablad varmepumpe 75
8.8 Beregning av netto spesifikk energibehov 76
8.9 Antall timer turtemperaturen til brønnparken er under 1 °C 77
8.10 Antall timer returtemperaturen fra brønparken er over 15 °C 77
8.11 Prosentvis endring av investeringskostnader og driftskostnader - samlet 78
8.12 Samlet tabell for resultatene fra differansemetoden 79

Figurer

1 Illustrasjon av en Carnotsyklus. Figur er hentet fra [Cengel, 2015] . 5
2 Illustrasjon av ideel og virkelig varmepumpesyklus. Figuren er henter fra [Cengel, 2015] 6
3 Nummereringen av blokkene ved Powerhouse Kjørbo. Hentet fra Google Maps 8
4 Utklipp av SD-anlegget ved Powerhouse Kjøro, som viser energisentralen 12
5 Utklipp fra anlegget brukt til validering 14
6 Nærbilde av koblingene mellom tabellverdiene og styringen 15
7 Hvordan verdiene blir satt inn i IDA-ICE sin tabell 16
8 Utklipp av oppbygningen av ytterveggen i IDA-ICE 18
9 Utsnitt av plantegning og 3D modell for kontorbygget 19
10 Utsnitt av oppbygning av energisentralen 20
11 Styring av solskjermingen i IDA-ICE 21
12 Utklipp av hvordan parametrisk run ser ut i IDA-ICE 23
13 Utklipp av inndataen brukt i parametrisk run 24
14 Utklipp av hvilke resultater som ønskes i parametrisk run 25
15 Utklipp av hvordan det ut-signalet fra sumereren er lagt inn i parameter run 25
16 Utklipp av det grafiske skriptet som viser installasjonskostnader og energiledd kostnaden 26
17 Utklipp av menyen inne i brønnparken i IDA-ICE 27
18 x- og y-koordinatene til borehullene plassert i to rekker 28
19 x- og y-koordinatene til borehullene plassert i en rekke 28
20 x- og y-koordinatene til borehullene plassert i en sirkel 29
21 Illustrasjon av borehullene plassert i to rekker, en rekker og i en sirkel 29
22 Validering av ekstrapakken borehull i IDA-ICE 34
23 Samlet prosentvis endring for energi ved alle sensitive analysene . . 37
24 Samlet prosentvis endring for maks effekt ved alle sensitive analysene 38
25 Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av dybden på borehullene 39
26 Sammenlikning av effektvarighetskurver 40
27 Prosentvis endring av driftkostnader og investeringskostnader ved endring av dybden til borehullene 41
28 Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av antallborehull 43
29 Sammenlikning av effektvarighetskurver ved endring av antall borehull 45
30 Prosentvis endring av driftkostnader og investeringskostnader ved endring av antall borehull 46

31 Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av ΔT pumpa til brønnparken styrer etter 47
32 Sammenlikning av effektvarighetskurver ved endring av ΔT 48
33 Prosentvis endring av driftkostnader og investeringskostnader ved endring av ΔT 49
34 Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av minimal massestrøm i brønnparken 51
35 Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av maksimal massestrøm i brønnparken 53
36 Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av varmekapasiteten i bakken 54
37 Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av orienteringen til bygget 56
38 Prosentvis endring av energi og effekt ved enerding av plasseringen til borehullene 57
39 Prosentvis endring av energi og effekt ved optimalisering for å få lavest mulig kjøpt energi til oppvarming 60
40 Sammenlikning mellom utsnitt av effektvarighetskuven for opprinnelige verdier og GenOpt verdier 61

Tabeller

1 Krav for energibehov til oppvarming og kjøling etter NS3701:2012 . 21
2 Inndata i IDA-ICE 22
3 Høyest beregnet netto spesifikk energibehov til oppvarming og kjøling i IDA-ICE 33
4 Differansen ΔNV mellom opprinnelig verdi endring av dybden på borehullene 42
5 Differansen ΔNV mellom opprinnelig verdi endring av antall borehull 46
6 Differansen ΔNV mellom opprinnelig verdi endring av ΔT 49
7 Temperaturen inn til brønnparken som er under 1 °C 58
8 Temperaturen ut av brønparken som er over 15 °C 59
9 Opprinnelige verdier i IDA-ICE og optimaliserte verdier gjennom GenOpt 60

1 Omfang

Denne masteroppgaven omhandler validering av IDA Idoor Climate and Energy (IDA-ICE) sin tilleggspakke borehull og analyse av grunnvarmesystem i et kjølig klima.

Molinari, Lazzarotto og Björk [Molinari et al., 2013] har skrevet en artikkel om hvordan forbedre energi ytelsen til en grunnvarmepumpe i et boligkompleks, gjennom parameter analyser. De har blant annet sett på ulike klima (Stockholm og Madrid) og antall borehull. Varmepumpen i deres artikkel leverer en temperatur på 35 °C. I artikkelen ble det brukt IDA-ICE og GenOpt som programvare til å utføre analysene. Resultatene i denne artikkelen kan være interessant å diskutere opp mot resultatene i denne oppgaven, spesielt deres resultatet om endring av antall borehull.

Casasso og Sethi [Casasso and Sethi, 2014] har skrevet en analyse om hvilke parametere i bakken og i brønnparken som har mest innvirkning på ytelsen til en varmepumpe. Det er usikkert hvilket klima de har brukt i sin artikkel, siden det ikke er oppgitt. En kan anta at de har brukt italiensk klima, av den grunn at artikkelen er utgitt i Italia. Uansett kan resultatene fra denne artikkelen være interessant å sammenlikne med resultatene i denne oppgaven, selvom Casasso og Sethi ikke har brukt IDA-ICE. Selvom klima er usikkert i deres artikkel, vil det være aktuelt å sammenlikne resultater i denne oppgaven med deres resultater.

1.1 Mål med oppgaven

Målene med masteroppgaven er utarbeidet i samarbeid med intern veileder ved OsloMet Storbyuniversitetet. En del av oppgavene er å validere tilleggspakken i IDA-ICE, borehull. Ved bruk av riktig parameterdata i brønnparken og varmemotstand i grunn, tetningsmassen, foringsrøret og kollektorslangen. Gjennom data fra SD-anlegget skal returtemperaturen fra brønnparken sammenliknes med simulert returtemperatur i IDA-ICE.

Den andre delen av oppgaven er å bruke den validerte brønnparken i en enklere energisentral i et referanse kontorbygg; etter passivhus kravene. Deretter vil ulike parametere bli endret for å se hva som gir mest endring på energiforbruk mellom varmepumpen og topplasten. Parameterne blir endret gjennom sensitive analyser, manuelle analyser og optimalisering i IDA-ICE. Samtidig skal det undersøkes hvordan energiforbruket fordeler seg mellom varmepumpen og topplasten. Med utgangspunkt i en varmepumpe som dekker 60% av byggets effektbehov og topplasten som dekker resten. Parameter som vil bli endret er:

- Lengde på borehull
- Antall borehull
- Ulik formasjon av borehullene
- Massestrøm i brønnparken
- Temperaturforskjellen gjennom brønnparken pumpen styrer etter
- Varmemotstand i grunn og tetningsmasse
- Orientering av bygget
- Volum av varmtvannstank

Spørsmål som oppgaven vil svare på underveis er følgende:

- Kan IDA-ICE med sin ekstrapakke for brønnparker gi samme resultater som en virkelig brønnpark?
- Hva har energien hentet opp fra brønnparken å si for energibruket til varmepumpen og topplasten?
- Hva vil påvirke energien til kjøling mest?
- Hvordan vil energien brukt til passiv kjøling bli påvirket, ved optimalisering av energien levert fra varmepumpen?
- Hvordan vil plasseringen av borehullene påvirke energien hentet fra og levert til bakken?

1.2 Avgrensninger

I oppgaven vil det være avgrensinger og antakelser som vil være viktig å vite om. Avgrensningene og antakelsene er følgende:

- Grunnet lite data om eksakte egenskaper til materiallene i bakken ved Powerhouse Kjørbo. Vil det bli antatt at egenskapene til materiale er den samme som er funnet i eksterne kilder.
- Det antas av leseren har inngående kunnskap om varmepumper, VVS-systemer og grunnvarme. Presentasjon av vanlig teoretisk stoff fra lærebøker og generell bransjekunnskap har blitt begrenset. Noe teori, kilder og forklaringer er likevel inkludert.
- Energibruk utenom energisentralen er ikke tatt med i analysene i denne oppgaven.

- Det antas at leseren har en grunnlegende forståelse av IDA-ICE. Det vil derfor bli utelatt enkelte elementer i metodebeskrivelsen i IDA-ICE, av den grunn at oppgaven ikke skal bli for lang og for å få tid til å fullføre oppgaven.
- Det antas at bruk av utstyr og antall personer i kontorbygget er i henhold til NS3701:2012 [Standard Norge, 2012].
- Underveis i oppgaven vil det kun bli tatt hensyn til beregnet netto spesifikk energibehov til oppvarming og kjøling, ved enerding av parameter under analysene. Dette vil bli sjekket manuelt i IDA-ICE. Det er kun resultater som oppfyller kravet som blir tatt med i denne oppgaven.
- Det tas forbehold om at det kan være skrivefeil i figurer som blir presentert i denne oppgaven.

1.3 Oppbygning

Oppgaven vil bli delt opp i flere ulike kapitler, hvor ulike sider av masteroppgaven blir presentert. Under følger en beskrivelse av hvordan disse delene vil bli gjennomført.

1. Innledning

Kapittel 1 tar for seg målet med oppgaven, begrensinger, antakelser og . Innledningen skal bli en introduksjon til hva som forventes å bli svart på gjennom oppgaven.

2. Teori

Kapittel 2 vil gjengi kort hvilke teorier som blir mest hensiktsmessig i oppgaven.

3. Metode

Kapittel 3 vil handle om hva som blir gjort før resultatene i oppgaven forekommer. Det vil bli steg for steg forklaring av hva som vil bli gjort for å få resultatene som er i oppgaven. Dette blir blant annet:

- Validering av borehull ekstrapakken til IDA-ICE
- Sensitive analyser
- Optimalisering
- Eksportering av resultater

4. Resultater og diskusjon

I kapittel 4 vil resultatene bli presentert og diskutert. Resultater fra følgende parameterendring blir tatt med og diskutert er:

- Lengde på borehull
- Antall borehull
- Ulik formasjon av borehullene
- Massestrøm i brønnparken
- Temperaturforskjellen gjennom brønnparken pumpen styrer etter
- Varmemotstand i grunn og tetningsmasse
- Orientering av bygget
- Plassering av borehull

Samtidig vil det bli presentert flere resultater knyttet til de tre parametrene som gir størst forandring i energiforbruk på varmepumpen og topplasten.

5. Diskusjon

Kapittel 5 vil bli brukt til å svare på spørsmålene som er presentert i kapittel 1.

6. Konklusjon

Kapittel 6 vil bli brukt til å svare kort på sprøsmålene knyttet til målet med oppgaven i kapittel 1.

7. Forslag til videre arbeid

Kapittel 7 vil bli brukt til å fremme forslag til videre arbeid av denne masteroppgaven.

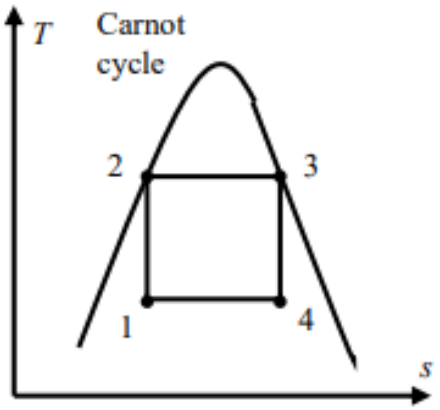
2 Teori

I dette kapittelet vil det bli tatt for seg enkel, men viktig, teori som vil ha betydning for oppgaven videre.

2.1 Termodynamikk

Varmekraftmaskiner, kjølemaskiner og varmepumper blir i termodynamikken betraktet som sykliske enheter. Syklusen inndeles i prosesser hvor komponentene i maskinen representerer hver sin prosess. I denne oppgaven blir det gjort rede for tre forskjellige sykluser for en varmepumpe; den reversible Carnotsyklusen, den ideelle gass-kompresjonssyklusen og den virkelige syklusen.

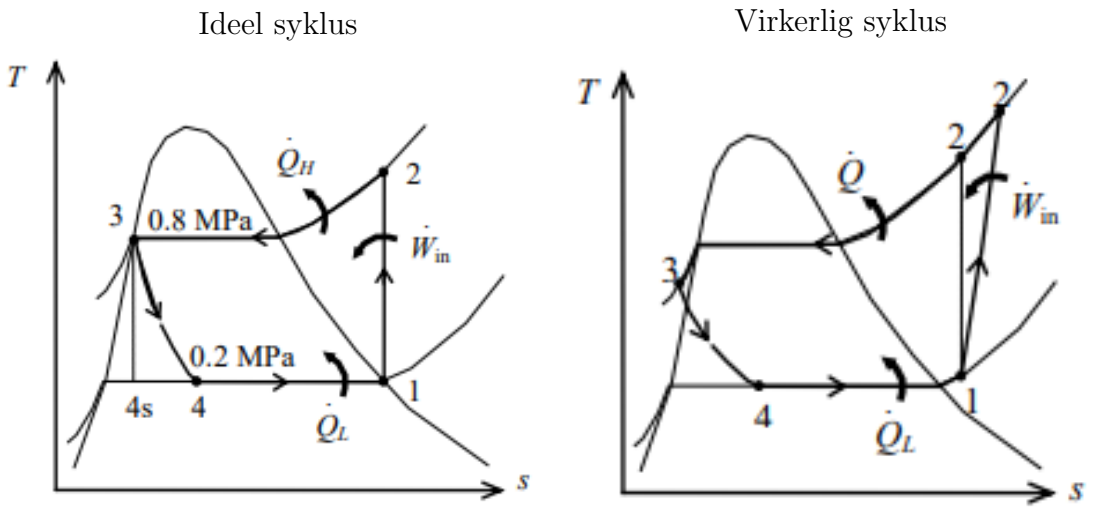
Karakteristisk for denne syklusen er at den består av fire tapsfrie prosesser hvor summen av generert entropi er lik null. Se figur 1. Det at syklusen er reversibel gjør den unaturlig og den vil være uoppnåelig for en virkelig varmepumpe. Carnotsyklusen er relevant som sammenligningsgrunnlag for virkelige varmepumpens virkningsgrad. Fordi den virkelige varmepumpe syklusen ikke kan ha en større effektfaktor enn Carnotsyklusen [Cengel, 2015].



Figur 1: Illustrasjon av en Carnotsyklus. Figur er hentet fra [Cengel, 2015]

Den ideelle syklusen skiller seg fra Carnot ved at turbinen er byttet ut med en strupeventil. Kompressoren må ha 100% gass for å fungere. Det er mulig å oppnå dette ved at prosessen blir utført utenfor metningskurven. I figur 2 er den ideele syklusen illustrert ved å følge punktene 1, 2, 3, 4s og 1. Det vil være en ideel syklus

for en varmepumpe. Den virkelige syklusen skiller seg fra den ideelle syklusen ved at kompressoren har et energitap som øker entropien i prosessen. Dette skyldes friksjon og varmetap. Kondensatoren er dimensjonert for å underkjøle arbeidsmediet for å sikre at det kun er væske som entrer strupeventilen. Dette senker i tillegg entalpien i punkt 3 i figur 2. Fordamperen er dimensjonert slik at gassen blir overopphetet før kompressoren. Slik forsikres det at det kun er gass som entrer kompressoren [Cengel, 2015]. Ved å følge punktene 1, 2 (den lengst til høyre), 3, 4 og 1 i figur 2, blir dette illustrert.



Figur 2: Illustrasjon av ideel og virkelig varmepumpesyklus. Figuren er henter fra [Cengel, 2015]

2.2 Varmepumpe

En varmepumpe transporterer varme fra en energikilde med lavere temperatur til en energikilde med høyere temperatur. Varmepumpen kan da både brukes for kjøling (for eksempel et kjøleskap) og til oppvarming. Varmen til varmepumpen kan hentes fra blant annet uteluft, grunnvarme, fjell og sjøvann. Drivenerien til en varmepumpe kommer fra elektrisk energi og står for mellom 20% og 50% av den totale energien varmepumpen leverer. På grunn av at varmepumpen henter varme fra en energikilde, vil den ha en effektfaktor på mellom 2 og 5. Energibesparelsen blir dermed henholdsvis 50% og 80%, sammenlignet med elektrisk oppvarming [Zijdemans, 2012].

2.3 Grunnvarme

Grunnvarme eller energibrønn som det også heter, er vertikale borehull i fast fjell. Borehullene er nedsenket rørsløfer, som egner seg som varmekilde for små og store anlegg. Når det er flere borehull, kalles samlingen av borehullene for brønnpark. I følge Varme Normen [Havellen et al., 2017] er normal dybde i borehullene mellom 150 og 300 meter. Etter et intervju med Randem & Hübert AS, ble det klart at det i dag bores ned til 1000 meters dybde i energibrønnene. I en energibrønn forventes det et varmeopptak på mellom 25 og 35 W/m borehull. Energibrønner kan også benyttes som kilde for passiv kjøling [Havellen et al., 2017].

Videre om selve borehullets funksjon

2.4 Programverktøy

Programverktøy er hjelpemidler for blant annet prosjektering og beregning. Verktøyene skal gjøre det lettere for brukerne å gjøre jobben de tidligere gjøre med pen og papir.

2.4.1 IDA-ICE

IDA-ICE er et avansert simulerings verktøy, som simulerer det aller meste som kan simuleres i et bygg. Det er for eksempel temperaturer i energisentralen, sol innstråling og operativ temperatur.

2.4.2 GenOpt

GenOpt er et tilleggsverktøy for IDA-ICE, et optimaliserings verktøy. GenOpt tar tilfeldige verdier, som er innenfor valgte verdiområde og valgte parametere. Programmet optimaliserer deretter de valgte parameterene slik at et valgt resultat blir størst eller minst mulig. Videre tester GenOpt ut de forskjellige verdiene til de valgte parameterne, og finner den beste kombinasjonen av verdier for de ulike parameterne. Slik at ønsket resultat blir størst eller minst mulig.

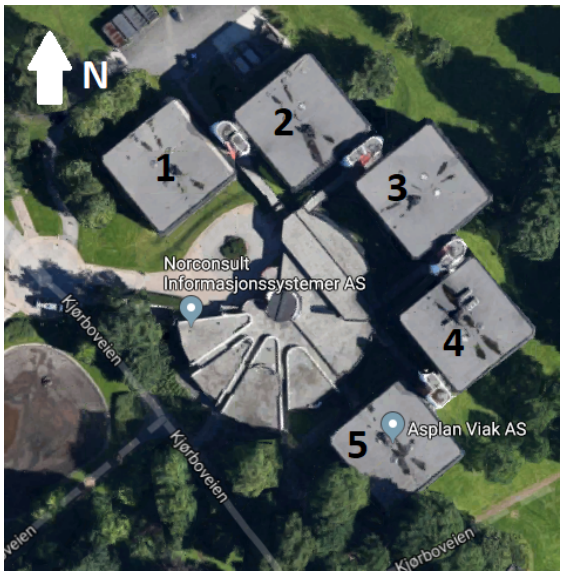
2.5 Powerhous Kjørbo

Powerhouse Kjørbo er opprinnelig et kontorbygg fra 1980-tallet, som i 2018 var ferdig rehabilitert til å bli et nullutslippsbygg (Zero Emission Building). Powerhouse Kjøbo er bygget i to trinn, trinn en (blokk 4 og 5) sto ferdig 2014 og trinn to (blokk 1, 2 og 3) sto ferdig i 2018. Under er mer informasjon om Powerhouse Kjørbo:

- Areal: Byggetrin 1 5200 m^2, byggetrinn 2 9800 m^2
- Powerhouse Kjørbo sin egen energiproduksjon: byggetrin 1 ca. 230 000 kWh/år, byggetrinn 2 ca. 325 000 kWh/år
- Levert energi inkludert utstyr: byggetrin 1 -9,3 kWh/m^2 oppvarmet BRA, byggetrin 2 -4,4 kWh/m^2 oppvarmet BRA'
- Miljøklasifisering: byggetrin 1 BREAM NOR Outstanding as built, byggetrin 2 BREAM NOR Excellent

[powerhouse, 2018]

Figuren 3 under viser hvilke blokker som er hvilke ved Powerhouse Kjørbo.



Figur 3: Nummereringen av blokkene ved Powerhouse Kjørbo. Hentet fra Google Maps

2.6 Nettleie

Nettleien i et kontorbygg, består i de alle fleste tilfeller av et energiledd, et effektledd, et fastledd og en avgift. Disse leddene har sine egne funksjoner for nettselskapene. Energileddet skal reflektere brukerens utnyttelse av nettet. Prisen på dette leddet, skal som hovedregel forholde seg til tapskostnadene ved overføring av strøm. Dette tapet er strøm som overføres til varme gjennom kraftledningene. Energileddet er derfor det marginale kostnaden brukeren påfører netter ved bruk av strøm [Noregs vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2019]. Effektleddet er et ledd hvor nettselskapene tar betalt for brukerens effektuttak i en definert periode, med definerte tariffer. Dette for å dekke de faste kostnadene og gi en avkastning på investeringen i nettet, for nettselskapene. Agder energi har for eksempel hver måned som en definert periode og en definert tariff hver periode [Agder Energi Nett, 2019]. Fastleddet dekker brukerspesifikke kostnadder og en andel av øvrige kostnader for nettselskapene. Avgiften derimote består av en forbruksavgift og MVA. Avgiften er ikke en del av nettleien, men faktureres sammen med nettleien [Noregs vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2019].

For fjernvarme brukes de samme prinsippene for brukere av fjernvarme, når fjernvarmeleverandøren fakturerer brukerne av nettet. Videre i oppgaven blir topplast brukt for fjernvarme, da det tas utgangspunkt i denne oppgaven at topplasten er den samme som ved Powerhouse Kjørbo.

Pris for nettleie er hentet fra Agder Energi Nett og det vil være disse prisen som blir brukt videre i oppgaven [Agder Energi Nett, 2019]. De er som følger:

- Energiledd: 4,10 kr/kWh
- Effektledd sommer(mai-oktober): 26,75 kr/kW
- Effektledd vinter(november-april): 89,16 kr/kW

Pris på bruk av fjernvarme er hentet fra to ulike fjernvarmeselskap, da det ikke er et selskap som oppgir både energiledd og effektledd i sine prismodeller. For energileddet er prisen oppgitt fra Akershus Energi blitt brukt [] og tariffen på effektleddet hentet fra prismodellen til Fortum Varme Oslo AS. De er som følger:

- Energiledd: 46,51 kr/kWh
- Effektledd (desember-februar): 150 kr/kW
- Effektledd (november, mars) 80 kr/kW
- Effektledd (april-oktober): 23 kr/kW

Fastledd og avgift er ikke tatt med i oppgaven, siden de ikke vil endre seg ved endring av de ulike parameterene i denne oppgaven.

2.7 Nåverdimetoden

Differansemetoden er i teorien omtrent lik som nåverdimetoden, ulikheten mellom de er at i differansemetoden studeres forskjellen mellom ulike alternativer. Denne metoden er spesielt nyttig som metode når det studeres på om en tilleggsinvestering fra et alternativ til et annet er lønnsomt. Følgende formel brukes for å beregne dette:

$$\Delta NV = \Delta B * \frac{1-(1+r)^{-N}}{r} - \Delta I$$

Hvor ΔNV er forskjellen på nåverdien mellom alternativene, positiv ΔNV betyr at alternativet som er sammenliknet er lønnsomt. ΔB er endringen i besparelsen mellom alternativene som blir sammenliknet. r er kalkulasjonsrenten. N er antall år fram i tid eller levetiden alternativene har. ΔI er endringen av investeringskostnadene mellom de to alternativene som bli sammenliknet [Novakovic et al., 2016].

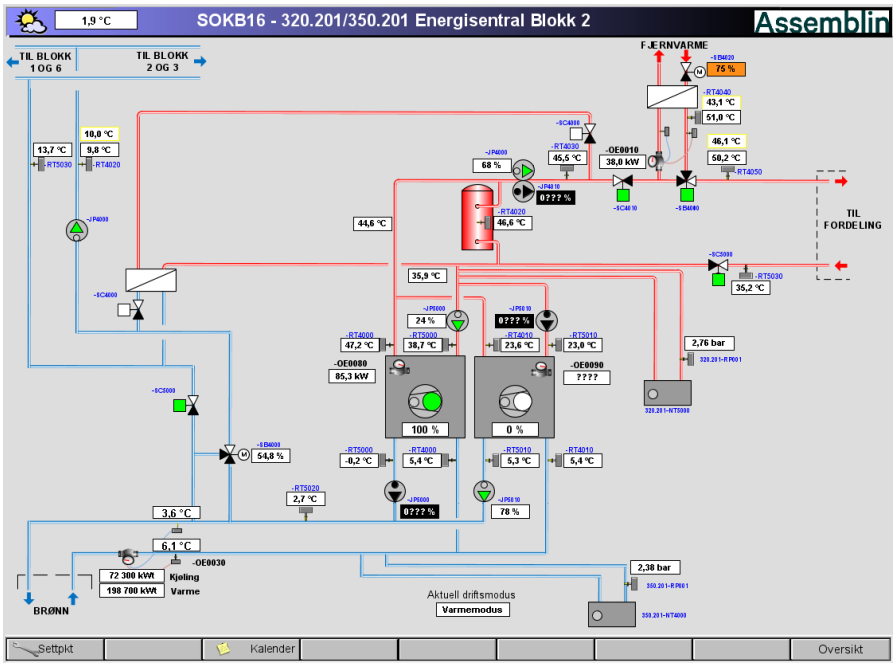
3 Metode

I dette kapitellet blir det beskrivelser av hvordan oppgaven blir gjennomført. Gjennom hele prosessen har programvarer som Excel, IDA-ICE, GenOpt, notisblokk og Metasys blitt brukt for å utføre oppgaven.

Det blir brukt samme klima gjennom hele oppgaven i IDA-ICE; Oslo/Fornebu klima.

3.1 Powerhouse Kjørbo

I IDA-ICE blir det startet med å bygge en modell, som skal bli likest mulig energisentral i blokk 2 ved Powerhouse Kjørbo. Figur 4 viser hvordan energisentralen er bygget opp, gjennom SD-anlegget. For å kunne modellere et slikt anlegg i IDA-ICE, blir avansert anlegg åpnet. Deretter blir anlegget steg for modellert som energisentralen ved Powerhouse Kjørbo, fra varmefordelingen mot energibrønnene. For å få til dette ble det brukt en webinar fra EQUA, hvor de går gjennom hvordan en slikt modellering blir gjort [EQUA Simulation AB, 2017]. Etter seks uker med modellering av anlegget i IDA-ICE, blir det klart at det vil ta lang tid og vil bli meget avansert. Sammen med interne veildere, blir planen om å bygge en modell av energisentralen ved Powerhouse Kjørbo i IDA-ICE forkastet. Deretter blir det en enighet om å simplifisere anlegget. Videre i oppgaven blir det forklart hvordan dette blir gjennomført, i underkapitlene til kapittel 3.



Figur 4: Utklipp av SD-anlegget ved Powerhouse Kjøro, som viser energisentralen

Neste steg blir å validere ekstrapakken borehull i IDA-ICE med de virkelige dataene fra Powerhouse Kjørbo, for videre å bruke den brønnparken i den simplifiserte energisentralen.

3.2 Validering

IDA-ICE blir brukt i første og andre del av oppgaven, i første del blir IDA-ICE brukt for å simulere returtemperaturen fra brønnparken og gjøre en validering av tilleggspakken i IDA-ICE. For å ha mulighet til å validere tilleggspakken trengs mest mulig informasjon om brønnparken og borehullene, i dette tilfelle ved Powerhouse Kjørbo. I brønnparken som ligger nord-vest for blokk 1 og 2. I brønnskjema for hvert borehull, finnes blant annet følgende informasjon:

- Total lengde
- Diameter på hull
- Lengde på foringsrør
- Hvilke masse som ligger i de ulike dybdene
- Hvor langt ned i hullet kollektorslangen ligger

Vedlegg 8.1 viser hvordan et av brønnskjemaene for borehullene ved Powerhouse Kjørbo ser ut.

Denne informasjon blir deretter brukt til inndata i IDA-ICE. Videre er det mer data i IDA-ICE som må endres for at brønnparken i IDA-ICE og ved Powerhouse skal være like. Informasjon om materialdata for jorden, tetningsmassen, foringsrøret og kollektorslangen, blir også funnet. Materialdata blir funnet gjennom informasjonen som ligger i brønnskjema, samt gjennom en mailtråd med bedriften som utførte borearbeidet ved Powerhouse Kjørbo; Båsum Boring AS. Fra mailtråden blir informasjon om foringsrøret, tetningsmassen og type kollektorslange hentet. Denne informasjonen blir så satt inn i et Excel ark, med kildehenvisninger. I vedlegg 8.2 ligger inndataene som blir satt inn i IDA-ICE sin brønnpark. Deretter blir det brukt som inndata i IDA-ICE.

Brønnparken ved Powerhouse Kjørbo har 13 borehull, hvor et av borehullene har ulik lengde enn resten. IDA-ICE tilater ikke ulik lengde på borehullene. Der blir dermed satt inn 12 borehull, og i to rekker som det er ved Powerhouse Kjørbo. Hvordan borehullene er plassert er videre forklart i kapittel 4.3. De 12 borehullene i IDA-ICE blir satt inn med lengder som gjør at den totale lengden er like lang som ved Powerhouse Kjørbo. Lengdene som blir satt inn er følgende:

- Foringsrøret: 26 meter
- Lengde under foringsrøret: 285 meter
- Total lengde på borehull (ikke satt inn i IDA-ICE): 316 meter

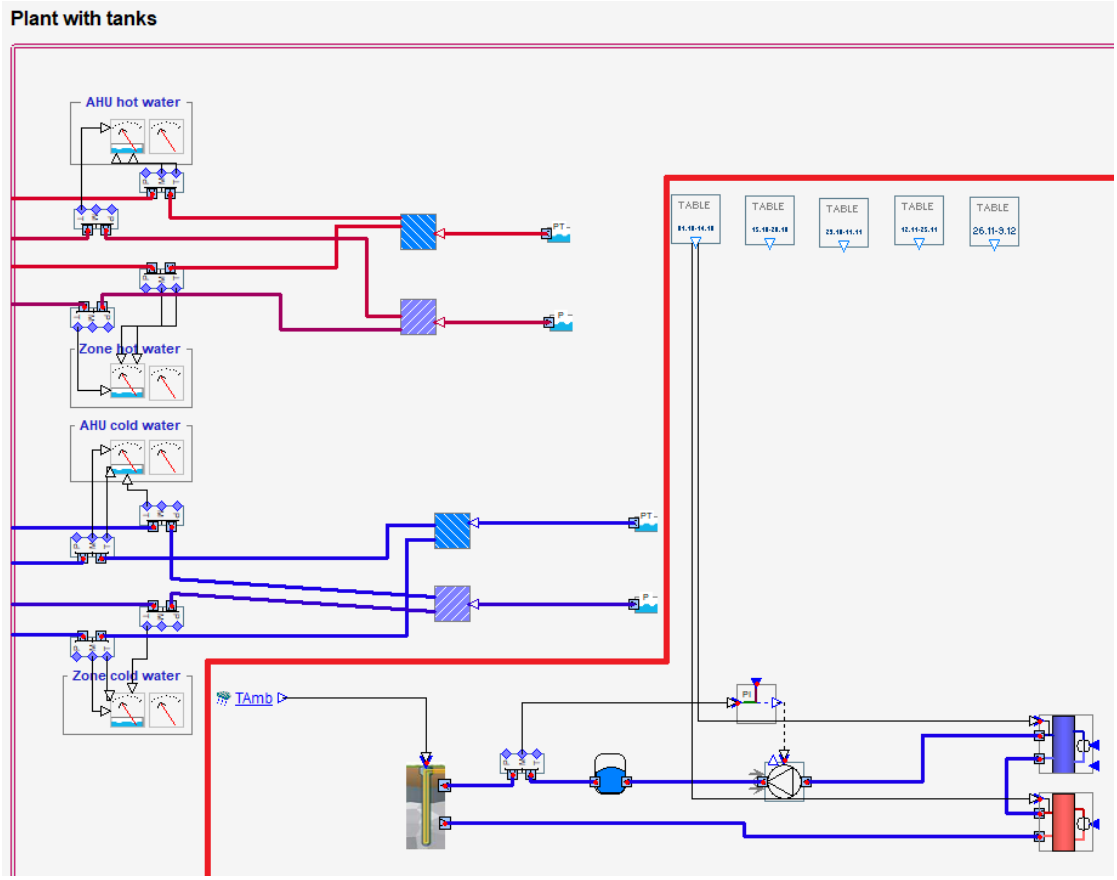
Videre blir massestrøm, tur- og returtemperatur i brønnparken hentet ut fra SD-anlegget. Dette blir så videre satt inn i excel, for å kunne bruke dette som inndata i IDA-ICE. For å være sikre på at massestrømmen og turtemperaturen blir lik i IDA-ICE som det er i SD-anlegget og det virkelige anlegget. Det blir gjort ved å få verdiene fra SD-anlegget inn i et excel-ark og gjøre det om til verdier som IDA-ICE skjønner. SD-anlegget gir målinger hvert femte minutt, ved eksportering av data til Excel. I excel-filen blir verdiene gjort om til timesverdier. Derfra blir verdiene satt inn i IDA-ICE for å styre turtemperaturen og massestrømmen i brønnparken til å bli den samme som i SD-anlegget. Se figur 5, 6 og 7, for hvordan dette er satt inn i IDA-ICE.

Massestrømmen i SD-anlegget ved Powerhouse Kjørbo er feil, siden den viser 0 l/s. Selvom pumpen tilknyttet varmepumpa og brønnparken er i gang. Dermed blir massestrømmen manuelt beregnet med en forenklet formel:

$$Q = m * Cp * \Delta T$$

$$m = Q/(Cp * \Delta T)$$

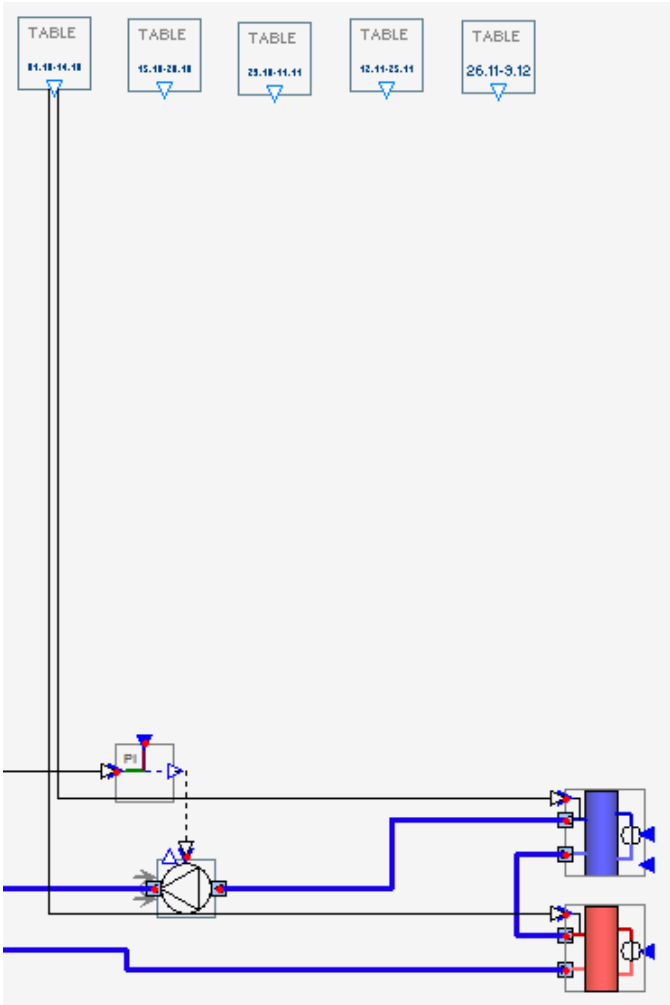
Hvor Q er varme avgitt i fordamperen og Cp er varmekapasiteten til HX35. Denne formelen har blitt brukt for å beregne massestrømmen i begge pumpene for hver timesverdi i SD-anlegget. Q og ΔT blir hentet fra SD-anlegget, derfra blir det satt inn i et Excel-ark som nevnt i avsnittet over.



Figur 5: Utklipp fra anlegget brukt til validering

Den opprinnelige energisentralen i IDA-ICE blir endret slik at tilførselen av varme og kjøling til sekundærsystemet blir enklest mulig. I figur 5 er det der som er til venstre for den røde linjen, som er forenklingen av tilførselen av varme og kjøling. Det som er til høyre i samme figur, er selve valideringen. Det blir satt inn en varmekilde og en kjølekilde, som skal sikre at tuttemperaturen i IDA-ICE blir lik som i SD-anlegget. Begge kildene blir styrt med en settpunktstemperatur gitt i tabellene som blir satt inn i IDA-ICE. Deretter blir disse tabellen satt inn, nærmere vist i figur 6. Verdiene tidligere hentet fra SD-anlegget og gjort om til lesbare verdier for IDA-ICE, blir nå satt inn i disse tabellene. Figur 7 viser hvordan verdiene er satt inn i tabellene. Disse tabellen gir signal til PI-regulatoren, kjølemaskinen og

varmekjelen, med henholdsvis massestrøm og temperatur.



Figur 6: Nærbilde av koblingene mellom tabellverdiene og styringen

Det blir satt inn flere tabeller, fordi IDA-ICE tabellene har et maks antall verdier den klarer å behandle. Det er derfor valgt å sette inn tabeller med 14 dager intervall, i tillegg til 10 dager før dette. De 10 ekstradagene med timesverdier blir satt inn som en del av oppstarten IDA-ICE har før den valgte tidsperioden blir simulert. Oppstartsperioden i IDA-ICE er med på å få mer realistiske data ved starten på den valgte tidsperioden. Deretter blir hver periode simulert og resultatet (returtemperaturen fra brønnparken) blir eksportert til Excel fra IDA-ICE. Tidsperioden som blir valgt i denne oppgaven er månedene oktober og november.

Diagram Text Outline

time	"T"	"M"
6407	9.06	3.56
6408	9.06	3.8
6409	9.06	3.55
6410	8.87	3.64
6411	8.87	3.55
6412	8.77	3.7
6413	8.77	3.6
6414	8.58	3.66
6415	8.36	3.13
6416	8.6	3.47
6417	8.34	3.8
6418	8.58	3.56
6419	9.16	3.68
6420	9.39	3.81
6421	9.64	3.79
6422	9.64	3.54
6423	10.54	3.72
6424	9.56	3.72
6425	10.44	3.92
6426	9.59	3.5
6427	9.81	3.52
6428	10.6	3.82
6429	10.44	3.8
6430	9.53	3.54
6431	9.3	3.76
6432	9.3	3.38
6433	9.3	3.33

Figur 7: Hvordan verdiene blir satt inn i IDA-ICE sin tabell

Figur 7 viser timesverdien av temperatur og massestrøm IDA-ICE henter ut etter gitt time i den venstre kolonnen.

For å kunne bestemme om brønnparken i IDA-ICE er bra eller ikke, blir det utført analyser for dette. Resultatet IDA-ICE gir, blir plassert i en excel-fil. Deretter blir det laget et punkt-diagram. Dette diagrammet viser returtemperaturen fra brønnparken hentet fra SD-anlegget i x-aksen, mens verdien fra simuleringene i IDA-ICE er på y-aksen. Punktene i diagrammet viser returtemperaturen ved samme time for SD-anlegget og IDA-ICE. Videre blir Excel brukt for å lage en lineær trendlinje og beregne en R^2-verdi. R^2-verdien er et mål på hvor god modellen er, hvis resultatene fra modellen blir korrigert med en lineær linje $y = m * x + c$. Det blir også klakulert en gjennomsnittlig kvadratisk feil (MSE), som blir beregnet på følgende hvis [Wikipedia, 2019a]:

$$MSE = 1/n * \sum (y - x)^2$$

Hvor n er antall målinger som blir sammenliknet. y er returtemperaturen fra brønnparken hentet fra IDA-ICE, mens x er returtemperaturen hentet fra SD-

anlegget. Resultatet av MSE mellom IDA-ICE og SD-anlegget, blir vist øverst i høyre hjørne i figur 22.

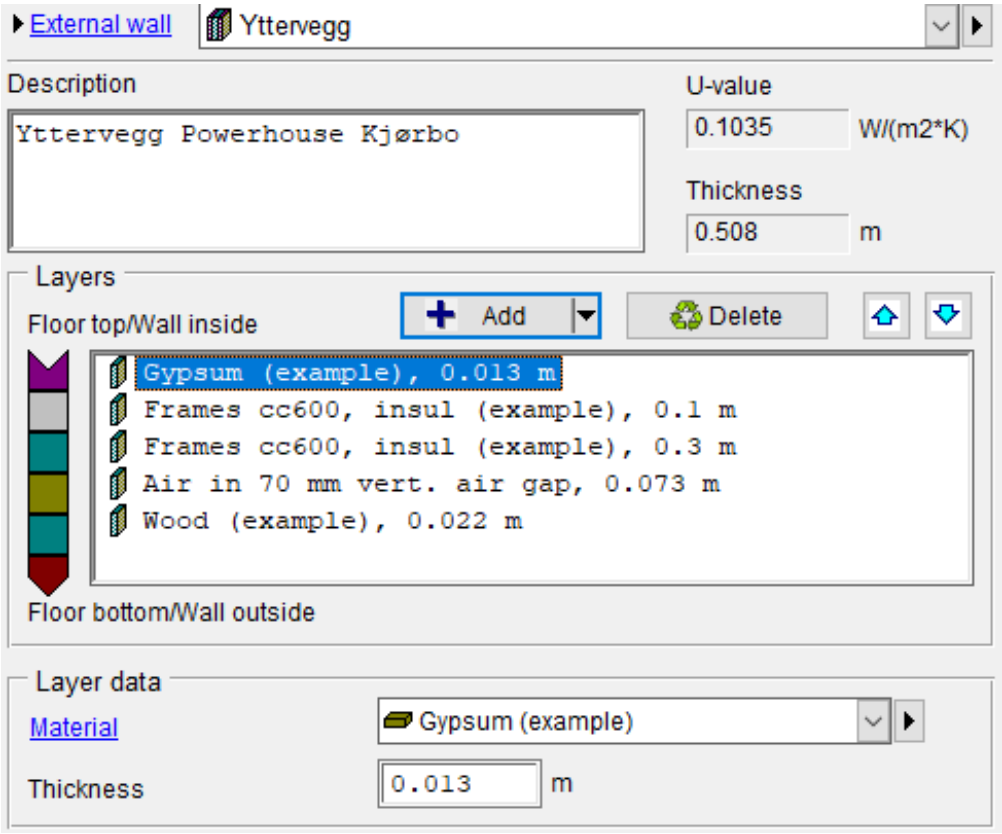
Samtidig blir det beregnet en variasjonskoeffisient av MSE-verdien (CVrsme) [Wikipedia, 2019b].

$$CVrsme = MSE^{0,5}/y_{gjennomsnitt}$$

Denne verdien sier noe om hvordan roten av MSE er i forhold til gjennomsnittsverdien av returtemperaturen fra IDA-ICE. En lav CVrsme vil si at den gjennomsnittlige kvadratiske feilen en lav. Denne verdien er også oppgitt øverst til høyre i figur 22.

3.3 Referanse kontorbygg

I IDA-ICE blir det bygget et referanse kontorbygg, som samtidig det blir innenfor passivhus kravene i NS3701:2012 (Kriterier for passivhus og lavenergi yrkesbygninger) [Standard Norge, 2012]. Bygget blir satt opp i en kvadratisk form med et grunnareal på 655,1 kvadratmeter. Som er tilnærmet likt grunnarealet på blokk 1, 2 og 3 ved Powerhouse Kjørbo, hver for seg. Deretter blir alle vegger, tak og gulv bygget opp til normalverdi for å tilfredstille kravene i NS3701. Figur 8 viser hvordan ytterveggen er bygget opp i IDA-ICE, oppbygning av tak og gulv ligger i vedlegg 8.3 og 8.4.

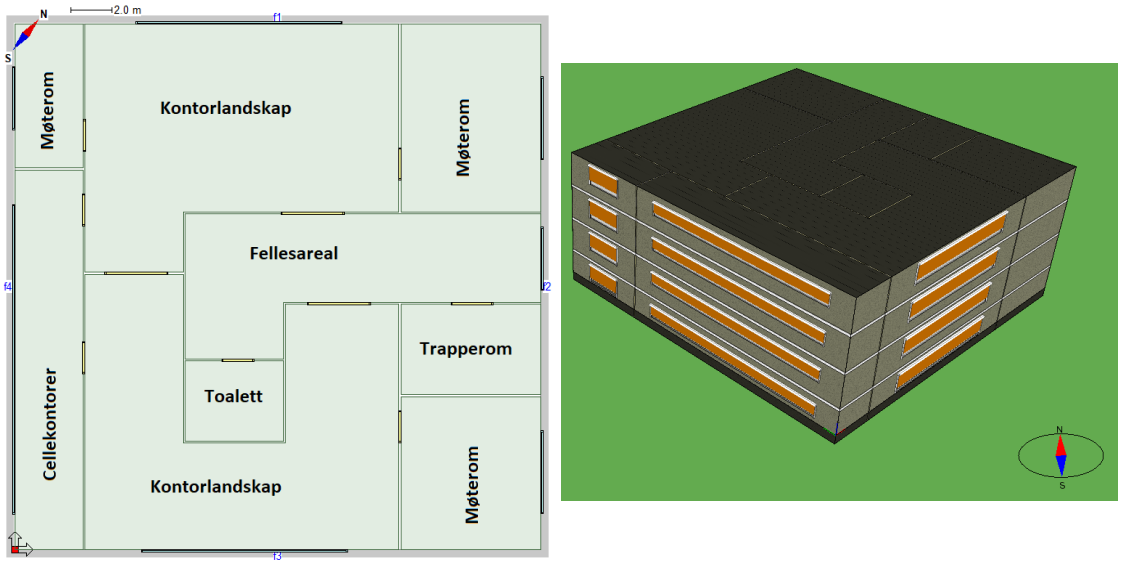


Figur 8: Utklipp av oppbygningen av ytterveggen i IDA-ICE

Etter dette blir det satt i soner i byggets første etasje, vinduer/dører blir satt inn i sonene. Dørene mellom fellesareal og kontorlandskap blir satt inn som åpninger, som det er ved Powerhouse Kjørbo. Videre blir resterende parameter som skal være i henhold til NS3701, satt inn i IDA-ICE. Parametere som ikke er oppgitt i NS3701 [Standard Norge, 2012], vil NS3031 [Standard Norge, 2014] bli brukt for

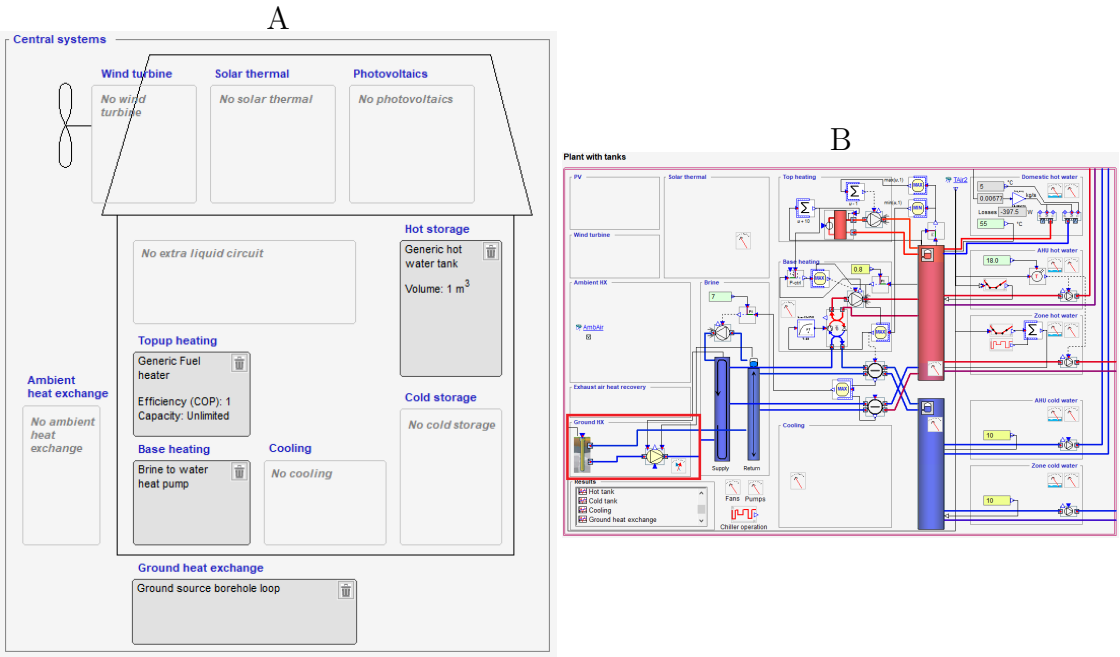
å fylle inn resterende parameterne som kan settes inn i IDA-ICE. Se tabell 2 for hvilke verdier som er satt inn i IDA-ICE.

Figur 9 viser hvordan plantegningen i kontorbygget blir og hvordan det blir i 3D.



Figur 9: Utsnitt av plantegning og 3D modell for kontorbygget

Energisentralen i IDA-ICE blir byttet fra plant til Esbo. Derfra bli det valgt hva som skal følge med i energisentralen. Hva som blir valgt er vist i figur 10 under A. Deretter bli det trykket på build plant. Da kommer vinduet vist under B i figuren opp. Her blir brønnparken byttet ut med brønnparken til ekstrapakken. I tilegg blir det tatt bort noen komponenter. Det som har blitt endre i energisentralen fra IDA-ICE sin opprinnelige sentral er inne i den røde firkanten i figur 10 B. I vedlegg 8.6 er det vist hvordan den opprinnelige energisentralen ser ut.



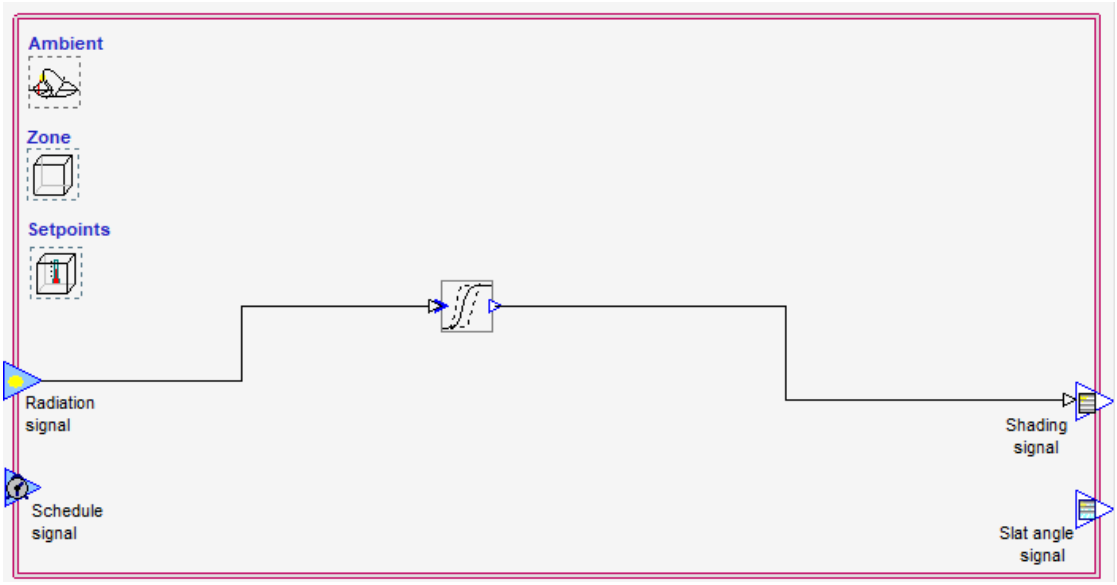
Figur 10: Utsnitt av oppbygning av energisentralen

I energisentralen bli også inndata i varmepumpen endret. Det blir satt inn en varmpumpe på 70 kW, ecoGEO HP15-70. Datablad for varmepumpen og hvilken parametere som er satt inn i IDA-ICE sin varmepumpen blir vist i vedlegg 8.7. Varmepumpen i IDA-ICE får de samme verdiene som vist i nevnte vedlegg. Brønparken er den samme som ble laget i valideringen, forskjellen på disse er at antall borehull i brønnparken er endret til 10. Videre er det forklart i kapittel 4.3, hvordan borehullene er plassert når det blir sett på ulik plassering av borehullene.

Ventilasjonsaggeregatet i IDA-ICE blir uendret med hensyn på komponentene som er i aggregatet. Gjenvinningsgraden til varmegjenvinneren blir endre til 80% og tillufttemperaturen blir endre til 17°C. Dette vil være det eneste som blir gjort med ventilasjonaggregatet i denne oppgaven. Luftmengdene i aggregatet blir totalen av de luftmengdene som blir satt inn i hver sone, som vist i tabell 2.

Før første simulering blir satt i gang, blir det sjekket om det er en ideal heater i hver sone og at den er mye overdimensjonert. Når alt er i henhold til NS3701 [Standard Norge, 2012], NS3031 og ideal heater i hver sone sjekket, kjøres en varme last simulering. Det er viktig at viftene til ventilasjonen settes av, i innstillingene til denne simuleringen før den startes. Simuleringen viser hvilken maks effekt som trengs til romoppvarming i hver enkelt sone. Vannbåren radiatorer blir så satt inn hver sone, med effekten fra den foregående simuleringen og med en ΔT på 15°C. Videre sjekkes det om det er behov for lokal kjøling i noen av rommene, gjennom en

kjøle-last simulering. Det blir gjort ved å se om det er mer enn 50 timer over 26°C i sonene. Før denne simuleringen blir kjørt settes det også inn utvendig solskjerming (screen) med en p-regulator som styrer opp og ned når solstårlingen er mellom 100 og 200 watt per kvadratmeter (figur 11).



Figur 11: Styring av solskjermingen i IDA-ICE

Når kjøle-last simuleringen er ferdig, viser den at det ikke er behov for lokal kjøling i bygget. Dermed blir en simulering for hele året satt i gang. Nå som alle parametere er satt inn IDA-ICE blir den første etasjen kopiert, slik at det tilsammen blir 4 etasjer i bygget. Det samlede bruksarealet i kontorbygget er på 2574,21 m^2 Deretter blir det sjekket om bygget kommet under kravet til NS3701:2012, om energibehov til oppvarming og kjøling [Standard Norge, 2012]. Se kravet i tabell 1.

Krav til høyeste beregnede netto spesifikt energibehov til oppvarming og kjøling (etter NS3701:2012 tabell 5 og tabell 6)		
Oppvarming	**20,72**	(kWh/m^2)/år
Kjøling	**9,38**	(kWh/m^2)/år

Tabell 1: Krav for energibehov til oppvarming og kjøling etter NS3701:2012

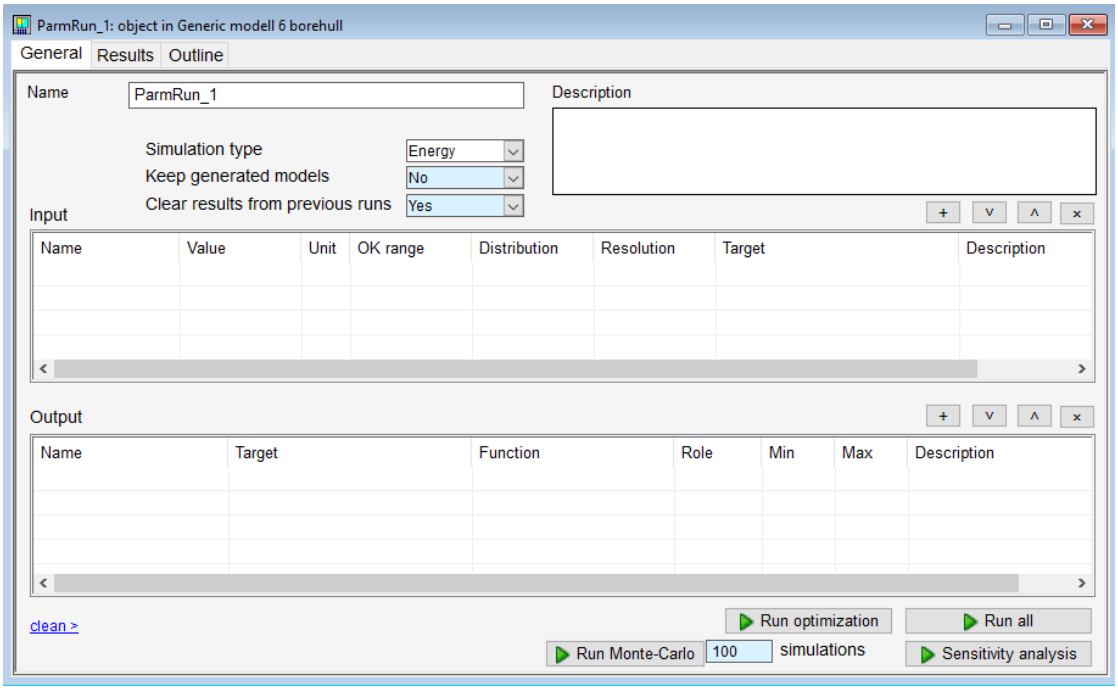
Kravene i tabell 1 er blitt beregnet etter NS3701:2012 [Standard Norge, 2012] og henvisningene standarden gir for utregningen av verdiene.

Parameter		Verdi	Referanse
U-verdi	Yttervegg	0,10 $W/(m^2 * K)$	NS3701:2012 Tillegg B - Tabell B.1
	Tak	0,084 $W/(m^2 * K)$	
	Gulv	0,08 $W/(m^2 * K)$	
	Vindu og dør	0,70 $W/(m^2 * K)$	NS3701:2012 Tabell 9
Normalisert kuldebro		0,03 $W/(m^2 * K)$	
SFP-faktor ventilasjonsanlegg		1,0 $kW/(m^3/s)$	
Belysning	LENI	12,5 (kWh/m^2)/år	NS3701:2012 Tabell 8
	Gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden	4,0 W/m^2	
Primærareal		65 %	NS3701:2012 Tillegg A - Tabell A.1
Sekundærareal		35 %	
Persontetthet primærareal		5 $m^2/person$	
Tilstedeværelse Primærareral		60 %	
Luftmengder	i driftstid	2,1 $l/(s * m^2)$	NS3701:2012 Tillegg A - Tabell A.2 Arbeidstilsynet 444
	utenfor driftstid	0,8 $l/(s * m^2)$	
Varmetilskudd	Utstyr	6,0 W/m^2	NS3701:2012 Tillegg A - Tabell A.3
	Person	4,0 W/m^2	
Driftstid		12/5/52 timer/døgn/uker	NS3031:2014 Tillegg A - Tabell A.3
Varmtvannsforbruk		5 (kWh/m^2)/år	NS3031:2014 Tillegg A - Tabell A.1

Tabell 2: Inndata i IDA-ICE

3.4 Sensitiv analyse

Når bygget kommer innenfor kravene vist i tabell 1 med inndataene vist i tabell 2, blir det gjort klart til å begynne med analyser i IDA-ICE. Det åpnes først to parametriske run, hvor inndata og resultater skal bestemmes. Dette gjøres ved å gå inn på tools i undermenyen i IDA-ICE, for deretter å holde musepekeren over parametric runs. Et pop-up-vindu åpnes, tryk så på new i det vinduet. Se figur 12 for hvordan parametrisk run ser ut.



Figur 12: Utklipp av hvordan parametrisk run ser ut i IDA-ICE

Inndataene til parametrisk run er de parametrene som skal endres på for å se hvilke endringer de gjøre. I figur 13 er et utklipp for hvordan inndataene blir senedes ut i parametrisk run. For å få parameterene inn i parametrisk run, må den aktuelle parameteren finnes fra i IDA-ICE. For eksempel for parameteren ZHOLE; starter på general siden i IDA-ICE, klikker inn på plant. Deretter inn på brønnparken i planten, der er det et felt for lengden på borehullene. Høyreklikker på det feltet og holder musepekeren over add to, for deretter å klikke på den riktige parametriske runen. Dette blir gjort for alle parametrene og de blir lagt til i begge de to parametriske run. Parametervedriene (figur 13) som blir tatt med som inndata er:

- Lengde på borehull (ZHOLE)

- Antall borehull (NHOLE)
- Varmemotstand for bakken (LAMBGD)
- Varmemotstand for tetningsmassen (LAMGROUT)
- Temperaturdifferansen gjennom brønnparken sirkulasjonspumpen styrer etter (Heretter kalt: ΔT gjennom brønnparken) (DTDIM)
- Minimum massestrøm i brønnparken (MMIN)
- Maksimal massestrøm i brønnparken (MFNOM)
- Orientering av bygget (Orientation)

Input

Name	Value	Unit	OK range	Distribution	Resolution	Target
ZHOLE	285.0	m	[228 342]	UNIFORM	5	Plant.BoreHole.ZHOLE
NHOLE	6	ite...	(5 6 7)	UNIFORM	n.a.	Plant.BoreHole.NHOLE
LAMBGRD	2.01	W...	[1.608 2.412]	UNIFORM	5	Plant.BoreHole.LAMBGRD
LAMBGROUT	1.15	W...	[0.92 1.38]	UNIFORM	5	Plant.BoreHole.LAMBGROUT
DTDIM	4.0	°C	[3.2 4.8]	UNIFORM	5	Plant.ghxPump.DTDIM
MMIN	1.0	kg/s	[0.8 1.2]	UNIFORM	5	Plant.ghxPump.MMIN
MFNOM	3.0	kg/s	[2.4 3.6]	UNIFORM	5	Plant.ghxPump.MFNOM
Orientation	40.0	Deg	(328 40.0 112)	UNIFORM	n.a.	Site object.Orientation

Figur 13: Utklipp av inndataen brukt i parametrisk run

For å fullføre alle inndataene til parametrisk run blir kolonnen under OK range og resolution endre til ønsket verdi. OK range kolonnen blir det satt inn verdier som er 20% lavere og høyere enn den opprinnelige verdien, som står i kolonnen under Value. Se figur 13 for hvilke verdier som blir satt inn under OK range. I den andre parametrisk run blir verdien i samme kolonne 40% lavere og høyere enn den opprinnelige verdien. I vedlegg 8.5 blir det vist hvilke verdier som blir satt inn for 40%. Viderer blir kolonnen under resolution fylt ut, her blir verdien fem satt inn.

Deretter blir parametrene som ønskes i resultateene lagt til i parametrisk run. Disse verdiene blir lagt til på samme måte som inndata parametrene. I figur 14 er et utklipp av hvilke parametere som blir ønsket i resultatene. Dette blir gjort i begge parametrisk run. Parameterne som blir satt inn er:

- Energi produsert fra kompressoren
- Den høyeste effekten kompressoren har
- Energi produsert fra topplasten
- Den høyeste effekten topplasten har

- Energi produsert fra kondensatoren
- Energi til kjøling (TOTENERGY1)
- Energi hentet fra brønnparken/bakken (POSENERGY)
- Energi levert til brønnparken/bakken (NEGENERGY)
- Installasjons-/investeringskostnad - blir videre forklart i kapittel 3.5
- Kostnad energiledd - blir videre forklart i kapittel 3.5

Output

Name	Target	Function	Role	Min	Max	Description
Energi kompressor	Delivered Energy.Purchased e...	[:TOTAL]	SHOW			
Maks effekt kompres...	Delivered Energy.Purchased e...	(? [:PARENT :PARENT ...	SHOW			
Energi topplast	Delivered Energy.Purchased e...	[:TOTAL]	SHOW			
Maks effekt topplast	Delivered Energy.Purchased e...	(? [:PARENT :PARENT ...	SHOW			
TOTENERGY	Plant.EMETER1.TOTENERGY		SHOW			Energi kondensator
TOTENERGY1	Plant.EmeterCentChil.TOTEN...		SHOW			Energi kjølebatteri
POSENERGY	Plant.EmeterGrndHX.POSEN...		SHOW			Energi hentet fra brønnpark
NEGENERGY	Plant.EmeterGrndHX.NEGEN...		SHOW			Energi levert til brønnpark
Innstallasjonskostnader	Kostnader.Innstallasjonskostn...		SHOW			
Energiledd	Kostnader.ADDER3.OUTSIGN...		SHOW			

Figur 14: Utklipp av hvilke resultater som ønskes i parametrisk run

Når inndataene og ønskede resultatet er lagt inn i begge parameter run, med 20% endring og 40% endring fra den opprinnelige verdien, kjøres en sensitiv analyse på begge to.

3.5 Grafiske skript

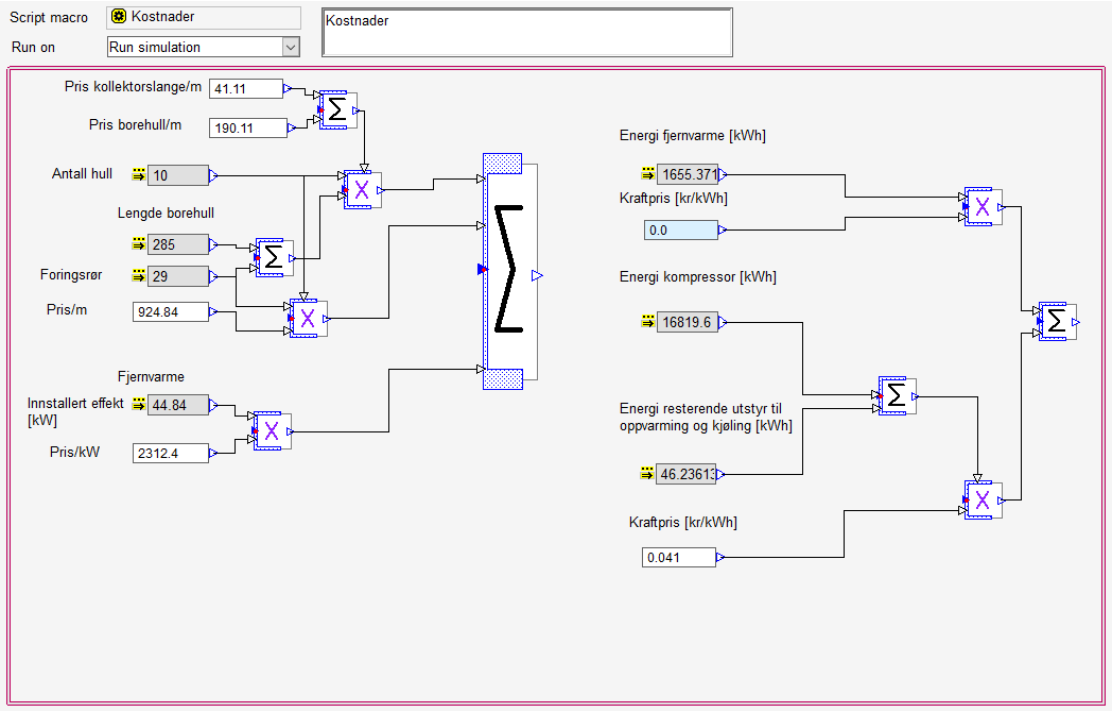
Det blir også laget to grafiske skript som blir brukt i parameter analysene. I et av skriptene blir energibruken til kompressoren i varmepumpen og energibruken til topplasten lagt til. Deretter blir det satt inn en summerer som legger sammen disse to energibrukene. Ut-signalet fra sumereren blir lagt inn i begge parameter runene, i parameter run blir rollen til dette ut-signalet endre til MIN. Figur 15 viser hvordan dette ser ut i parameter run.

Output

Name	Target	Function	Role	Min	Max	Description
Energi komp og topp	Graphical script 1.ADDER.OU...		MIN			

Figur 15: Utklipp av hvordan det ut-signalet fra sumereren er lagt inn i parameter run

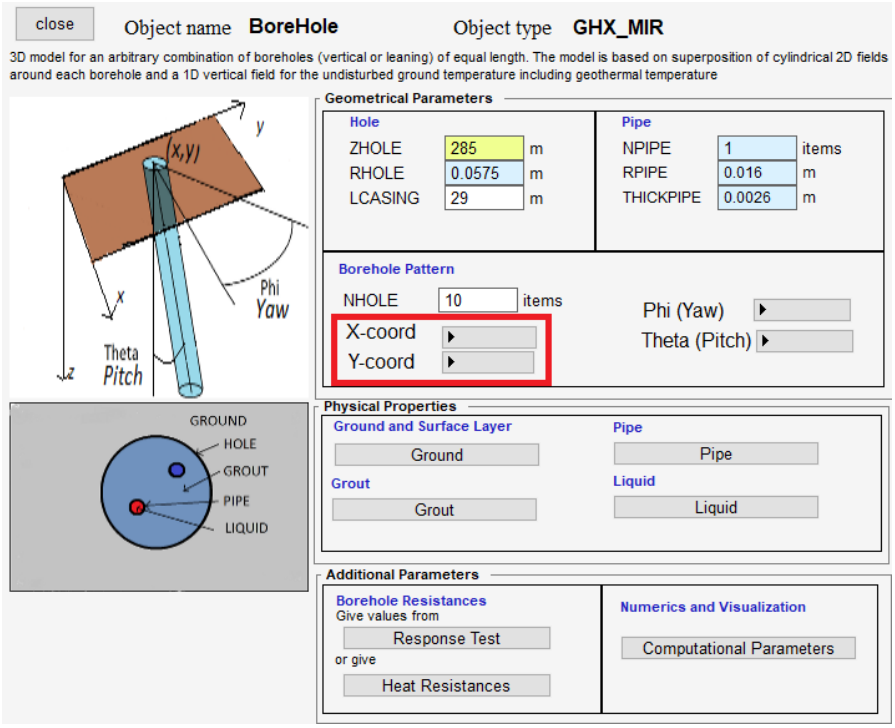
Det andre skriptet innholder priser for installasjon av brønnpark, topplast og varmtvannstank. Det blir pris per meter for kollektorslagene, foringsrør og boring av hullene lagt til. I tillegg blir pris per kW installert effekt for topplasten lagt til og pris per liter for varmtvannstanken lagt til. Prisene er hentet fra appen; Norsk Prisbok. Prisene blir lagt inn med en lokal parameter. Videre blir den kjøpte energien i energisentralen lagt til for seg selv i skriptet, som en inndata parameter. Samtidig blir energiledd-prisen fra kapittel 2.6 brukt i dette skriptet. Energibruken til kompressoren i varmepumpa og pumpene i energisentralen blir summert. Deretter blir denne summen multiplisert med energiledd-prisen. Samtidig blir energibruken fra topplasten multiplusert med energiledd-prisen for fjernvarme i kapittel 2.6. Videre blir den multipluserte energiledd-prisen for elektrisitet og topplast summert. Energileddet på den årlige strømregningen for energisentralen blir dermed laget og lagt til i parameter run. Deretter blir det startet en optimalisering med GenOpt. Se figur 16 for hvordan det andre skriptet blir. Prisene for årlig effektledd-kostnad blir beregnet manuelt, gjennom å bruke timesverdier fra IDA-ICE til å finne de månedlige kostnadene for effektleddene. Kapittel 3.8 forklarer nærmere hvordan dataene er hentet fra IDA-ICE.



Figur 16: Utklipp av det grafiske skriptet som viser installasjonskostnader og energiledd kostnaden

3.6 Plassering og antall borehull

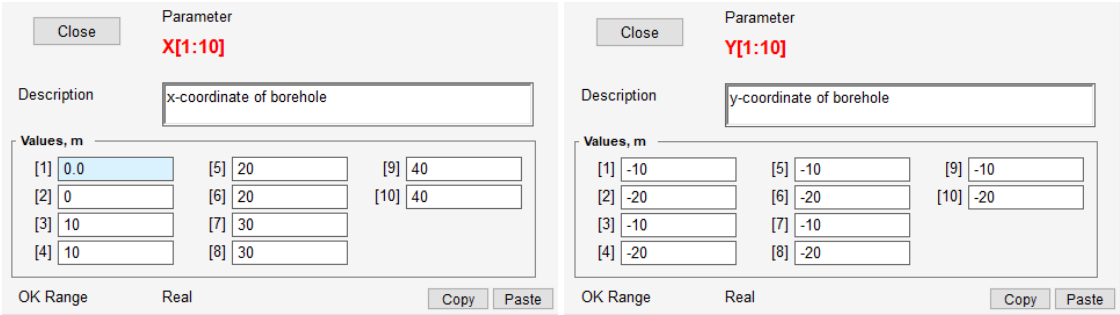
For å plassere borehulle riktig og sikre at det er nok borehull i brønnparken. Blir dette manuelt satt inn i brønnparken i IDA-ICE.



Figur 17: Utklipp av menyen inne i brønnparken i IDA-ICE

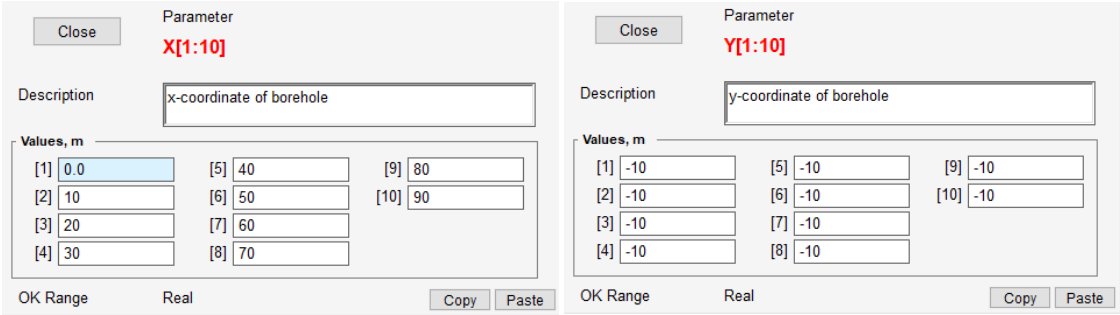
Figur 17 viser med den røde firkanten hvor x- og y-koordinatene for hvert borehull blir satt inn i IDA-ICE. Rett over den røde firkanten blir antall borehull satt inn. For de sensitive analysene og optimaliseringen må antall borehull stå på 14, ellers vil IDA-ICE tro at de 4 ekstra borehulle stå med de samme koordinatene.

Når plasseringen av borehullene blir analysert vil antall borehull stå på 10, samme som opprinnelig verdi. Deretter blir x- og y-koordinatene satt inn slik at borehulle vil stå riktig og med 10 meter avstand mellom hullene. Først blir borehullene satt inn i to rekker, som de også er satt i den opprinnelige verdien. Deretter blir koordinatene for borehulle i en rekke og i sirkel satt inn.



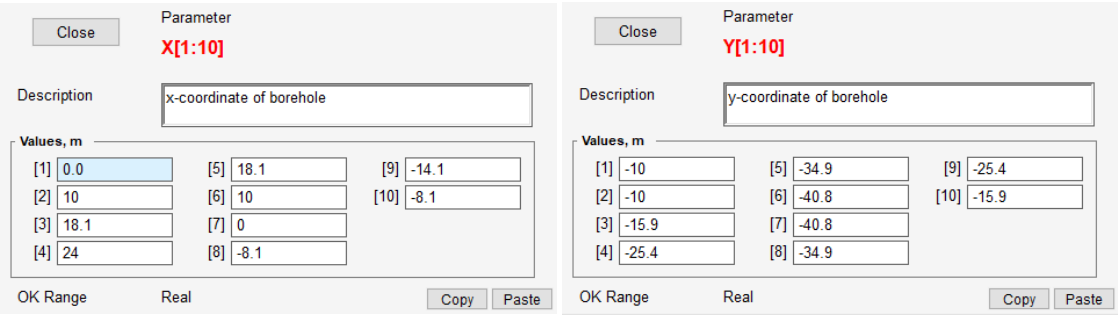
Figur 18: x- og y-koordinatene til borehullene plassert i to rekker

Figur 18 viser hvilke koordinater borehulle i to rekker er satt inn i IDA-ICE. Før de sensitive analysene og optimaliseringen kjøres, vil det være 14 borehull. Da vil det være 4 koordinater mer på både x og y. Disse vil være 50, 50, 60 og 60, for x-koordinatene og -10, -20, -10 og -20 for y-koordinatene. y-koordinatene er negative for at de ikke skal stå under kontorbygget.



Figur 19: x- og y-koordinatene til borehullene plassert i en rekke

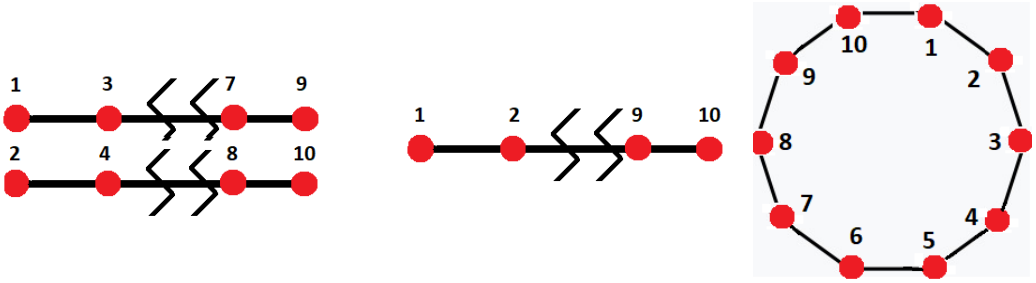
Figur 19 viser hvordan koordinatene er satt inn, når borehullene står i en rekke. Disse koordinatene er de enkleste men kraver at tomten borehulle står på har plass til en så lang rekke med borehull. I denne oppgaven er dette ikke tatt hensyn til om tomten er stor nok.



Figur 20: x- og y-koordinatene til borehullene plassert i en sirkel

Den siste plasseringen av borehull som blir analysert i denne oppgaven, er i sirkel. Siden det er 10 borehull blir borehullene plassert som et dekagon. Figur 20 viser hvordan koordinatene for sirkelen er satt inn.

For disse tre måtene å plassere borehullene på, blir det gjort en energi simulering for hver av dem hver for seg. Deretter blir resultatene eksporter fra IDA-ICE til Excel, de samme resultatene som ut-signalene i parameter run. Hvordan dette blir gjort står i kapittel 3.8. Figur 21 viser en illustrasjon av de tre ulike måtene borehullene blir plassert, sirklene i figuren tilsavarer borehullene.



Figur 21: Illustrasjon av borehullene plassert i to rekker, en rekker og i en sirkel

3.7 Optimalisering

For optimaliseringen gjennom GenOpt blir samme parameter run, som den som blir brukt ved 40% endring. Endepunktsverdiene blir ikke endret, fordi det er ønskelige å kunne se om resultatet fra optimaliseringen kan diskuteres med resultatene fra de sensitive analysene. I parameter run blir ut-signalet fra summen mellom energien fra kompressoren og topplasten lagt til i ønsket resultat, som vist i figur 15. Videre blir varmemotstanden for tetningsmassen fjernet, siden denne ikke gjør forandring.

Når dette er gjort blir optimaliseringen startet. Optimaliseringen gjennom GenOpt i IDA-ICE tar tre til fire dager å gjennomføre.

3.8 Eksportering fra IDA-ICE til Excel

Når de ulike simuleringene i IDA-ICE er gjennomført, blir resultatene fra de sensitive analysene i IDA-ICE eksportert til Excel. Derfra blir det laget nye Excel-filer, som samler resultatene som skal sammenliknes. For de to sensitive analysene blir resultatene fra disse lagt sammen i en fil. Deretter blir endringene IDA-ICE oppgir gjort om til prosentvis endring fra den opprinnelige verdien. Fra de prosentvise endringene blir det laget tornadodiagrammer som vil komme inn som figurere i kapittel 4.2. Tornadodiagram blir i Excel kalt for liggende stolpediagram.

Samtidig er det resultater som ikke blir tilgjengelig ved sensitiv analyse i IDA-ICE. For å få flere resultater å vise til, blir det dermed gjort manuelle resultater. De manuelle resultatene vil ta vesentlig lenger tid enn den sensitive analysen. For å få tid til å gjøre oppgaven ferdig, blir det dermed valgt at det kun blir gjort manuelle simuleringer for endring i dybde på borehull, antall borehull og endringen av ΔT gjennom brønnparken. Både for 20% og 40% endring. Dette blir gjort ved at en parameter blir endret før det kjøres en energi simulering i IDA-ICE. Når en simuleringen blir ferdig, blir følgende resultater satt inn i en resultat-fil i IDA-ICE. Før de blir eksportert til Excel etter hver simulering. Resultat-filen inneholder følgende:

- Temperatur inn og ut av brønnparken hver time i et år
- Effekten til kompressoren, kondensatoren og topplaset hver time i et år

Deretter blir parameteren som er endrett satt tilbake til den opprinnelig verdien og en ny parameter blir endret. Slik blir det gjort til det blir lagret resultater for alle parameterne, inkludert for de opprinnelige verdiene.

Av disse resultatene fra IDA-ICE, blir det laget effektvarighetskurver for alle parameterendringene. Det blir gjort ved at effekten for hver time fra kondensatoren og topplasten blir samlet i et eget Excel-ark. Videre blir det laget en ny kolonne som er summen av effekten fra kondensatoren og topplasten. Denne raden blir sortert fra størst til minst. Deretter blir det laget et stablet arealdiagram i Excel, et for alle parameterendringene. Utsnitt fra de første 1000 timene blir laget, disse blir brukt til å lage figurer som blir presentert i kapittel 4.2.

For de tre måtene å plassere borehullene på blir de samme resultatene som blir hentet ut i parameter run, satt i en resultat-fil i IDA-ICE. Deretter blir resultatene fra de tre simuleringen med ulik plassering av borehullene eksportert til Excel. Videre i Excel blir det laget et tornado-diagram, på samme måte som på de sensitive analysene. Den prosentvise endringen er her ut ifra borehulle plassert i to rekker, fordi det er en del av de opprinnelige verdiene.

Turtemperaturen til brønnparken hentet fra IDA-ICE blir brukt til å finne ut hvor mange timer temperaturen er under 1°C. Dette blir gjort ved å sette inn en hvis-formel i Excel. Denne formelen gir tallene null og en, henholdvis for turtemperatur over 1°C og under 1°C. Deretter blir alle hvis-formlene summert og antall timer under 1°C blir funnet. Denne temperaturen blir sjekket for å se hvor mange timer det kan være en potensiell faren for frost i bakken, dersom turtemperaturen er over 1°C vil det ikke være fare for frost. Verdien har blitt valgt i samarbeid med interne veiledere for oppgaven.

Returtemperaturen blir brukt for å finne ut hvor mange timer temperaturen er over 15°C. Dette blir gjort på samme måte som ved turtemperaturen, forskjellener at hvis-formelen gir tallet 1 ved tempertur over 15°C. Grunnen til at 15°C er valgt, er fordi passiv kjøling fortsatt kan brukes i kontorbygget når returtemperaturen er under 15°C. Ved returtemperaturen over 15°C, vil ikke kjølebatteriet klare å kjøle ned ventilasjonsluften til ønsket temperatur. Det vil dermed være behov for en kjølemaskin, dersom samme temperatur på tilluften er ønsket hele året. Som er ønsket i denne oppgaven. Kjølemaskin blir ikke satt inn i denne oppgaven. Timene over 15°C, vil derimot si noe om hvor mange timer det vil være behov for en kjølemaskin i kontorbygget.

Tilsutt blir resultatet fra optimaliseringen eksportert til Excel. I Excel-filen med disse resultatene blir det gjort det samme som ved de sensitive analysene. Forskjellen blir at her er det kun det beste resultattet med de tilhørende verdiene for deg ulike parameterene, som det blir beregnet en prosentvis endring på fra de opprinnelige verdiene. Det blir deretter laget et tornado-diagram. Samtidig blir også timesverdiene for tur- og returtemperaturen, energien til kompressoren, kondensatoren og topplasten eksportert til Excel. Det blir gjort som ved de sensitive analysene, laget en effektvarighetskurve og funnet ut antall timer under 1°C og over 15°C.

4 Resultater og diskusjon

I kapittel 4 blir resultatene fra arbeidet gjort i denne oppgaven presentert, samtidig som de blir diskutert hver for seg og samlet.

Før resultatene fra valideringen og de ulike analysene blir presentert er det viktig å vise til at kontorbygget er innenfor netto spesifikt energibehov til oppvarming og kjøling. I tabell 3 blir det vist hva som er det høyeste beregnede netto spesifikt energibehov til oppvarming og kjøling i IDA-ICE.

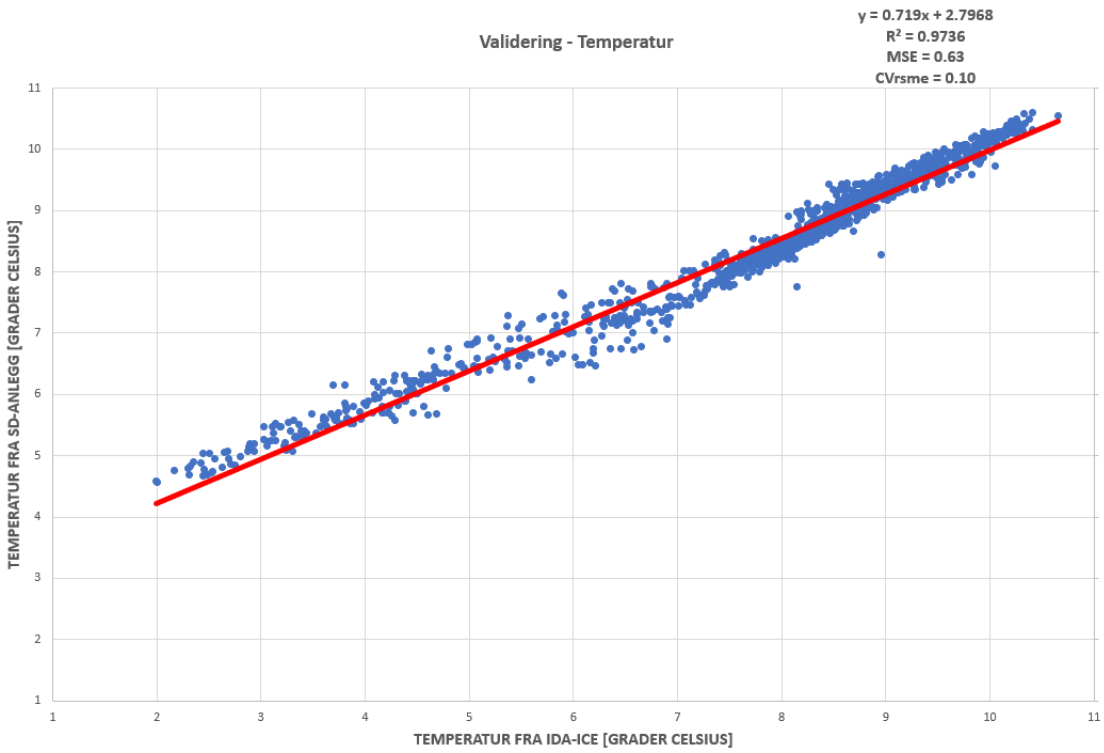
Oppvarming	**19,25**	(kWh/m^2)/år
Kjøling	**3,96**	(kWh/m^2)/år

Tabell 3: Høyest beregnet netto spesifikk energibehov til oppvarming og kjøling i IDA-ICE

Fra tabell 3 er det klart at kravet for høyeste beregnet netto spesifikk energibehov til oppvarming og kjøling, vist i tabell 1, er oppfylt i dette kontorbygget. Kontorbygger er derfor et passivhus. Se vedlegg **??** for beregningen av verdiene oppgitt i tabell 3.

4.1 Validering

I dette kapittelet blir resultatene fra valideringen presentert.



Figur 22: Validering av ekstrapakken borehull i IDA-ICE

Figur 22 viser temperaturen ut av brønnparken ved samme timesverdi, for både returtemperturen hentet fra SD-anlegget ved Powerhouse Kjørbo og returtemperaturen hentet fra simuleringer i IDA-ICE. Temperaturverdiene er de blå sirklene på figuren. X-aksen er i figur 22 temperaturen ut av brønnparken hos IDA-ICE, mens y-aksen er temperaturen ut av brønnparken fra SD-anlegget til Powerhouse Kjørbo. Den heltrukene røde linjen er funksjonen $y = 0,719x + 2,7968$. Som vist øverst til høyre i figuren. Fra denne linjen kan vi lese at de simulerte verdiene starter nesten 3 °C over returtemperaturen fra SD-anlegget, men blir likere og likere SD-anlegget med høyere temperatur. Det ser vi fra det første leddet i funskjonen $0,719x$.

Fra figur 22 blir det synlig at temperaturverdiene ut av brønnparken fra simuleringene i IDA-ICE avviker mer fra SD-anlegget hos Powerhouse ved synkenede temperatur, enn ved høyere temperaturer.

Kalkuleringen av R^2 viser at modellen har 97% sannsynlighet for å bli god. Samtidig viser MSE at det er en relativ lav gjennomsnittlig kvadratisk variasjon mellom IDA-ICE og SD-anlegget. Noe CVrsme-verdien bekrefter, med en lav verdi. Når usikkerheten i verdiene satt inn i brønnparken i IDA-ICE og usikkerheten i beregnet massestrøm i SD-anlegget tas med i betraktningen, vil dette være et godt resultatet av valideringen. Ikke bra, på grunn av usikkerhetene, men godt nok til å bruke videre i oppgaven.

Når simuleringene og valideringen er ferdig, blir brønnparken lagret for å bli brukt videre i prosjektet.

4.2 Sensitive analyser

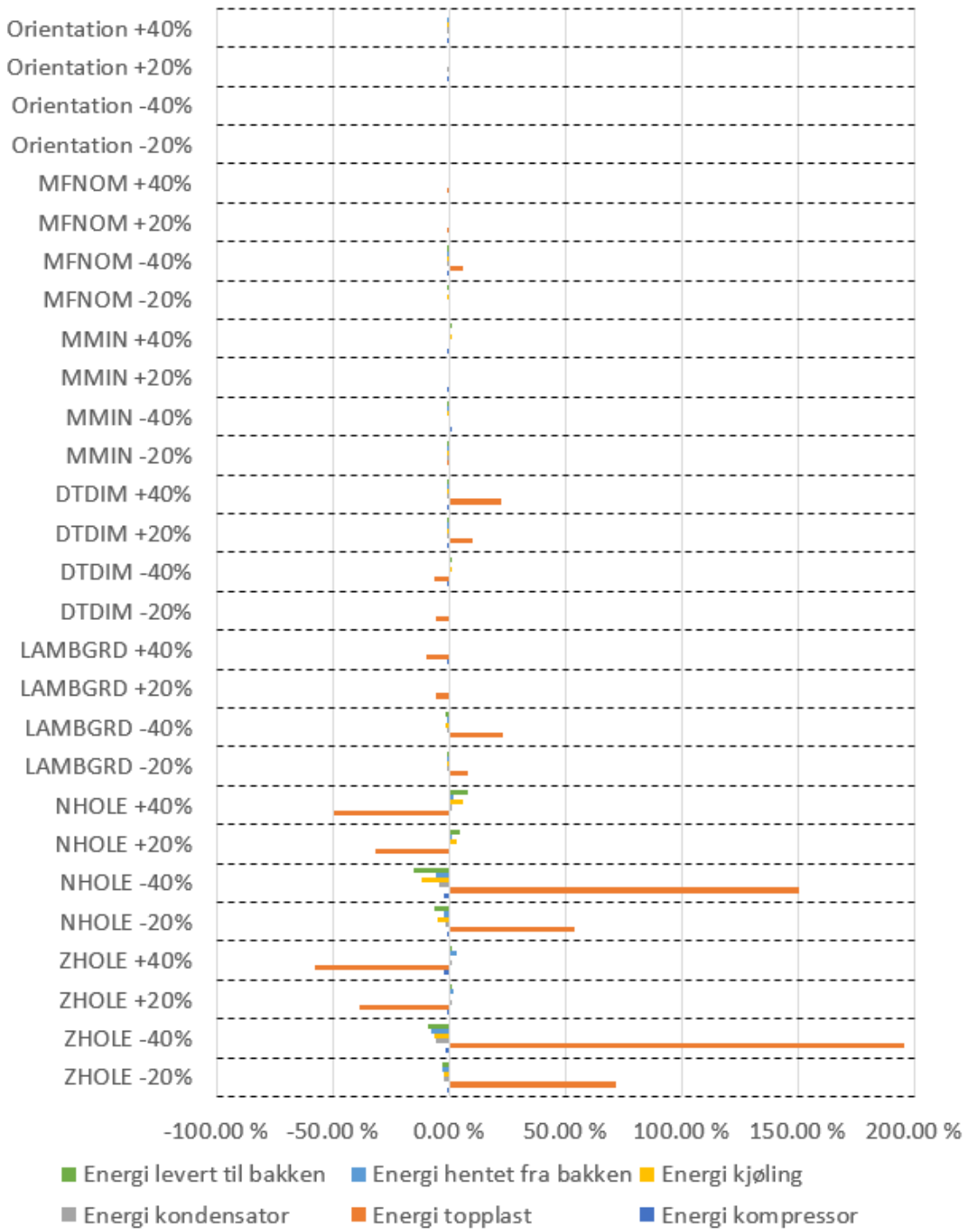
I dette delkapittelet blir resultatene fra de sensitive analysene presentert

Figur 23 til 25, 28, 31 og 34 til 37 viser prosentvis endring av følgende resultater:

- Energi fra kompressoren i varmepumpen
- Energi fra topplasten
- Energi fra kondensatoren i varmepumpen
- Energi henter fra bakken
- Energi levert til bakken
- Energi brukt til kjøling
- Maks effekt levert fra kompressoren i varmepumpen
- Maks effekt levert fra topplasten

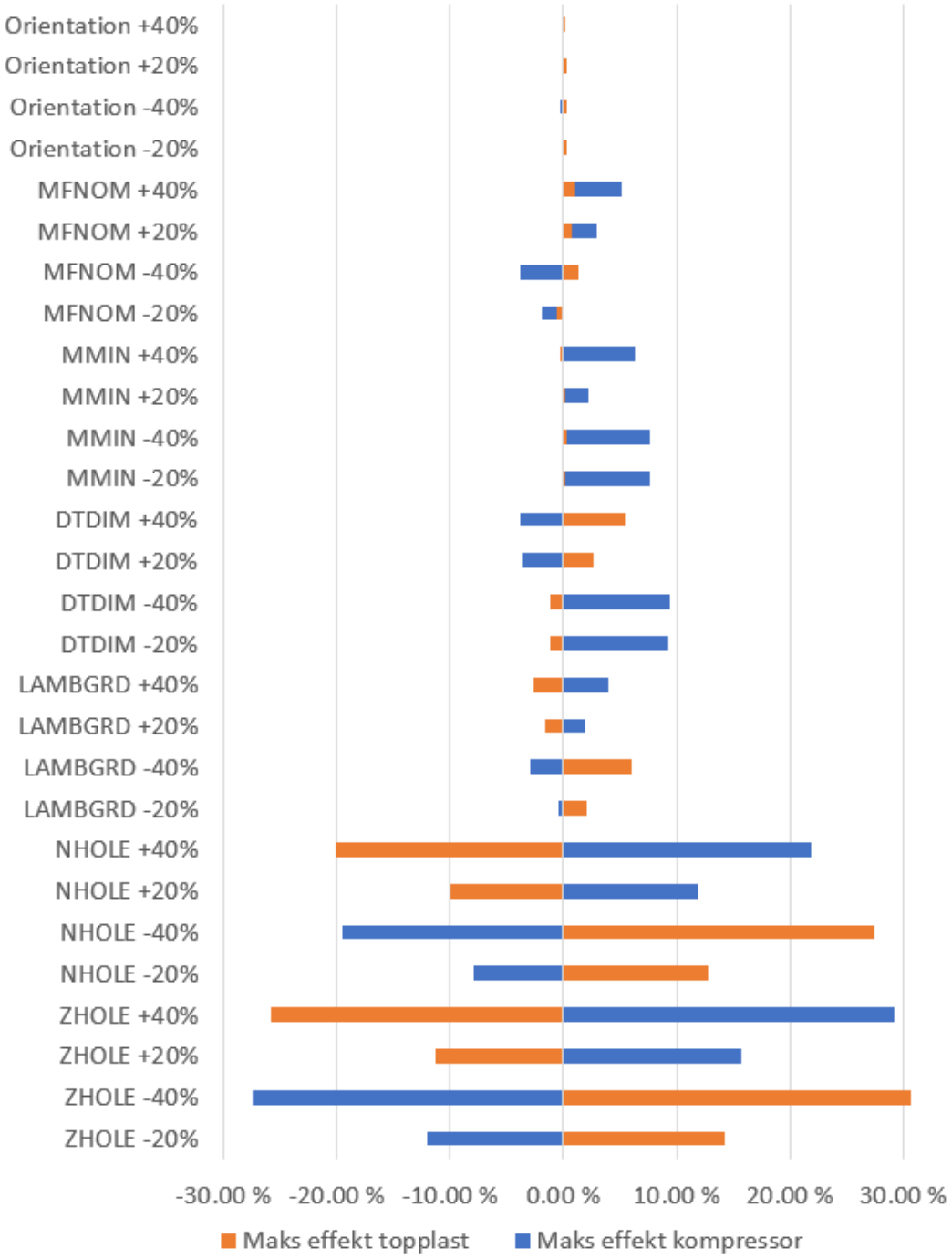
For figur 23 og 24 vil alle parameterendringene være med, for henholdvis energi endring og maks effekt endring. I de videre figurene vil energi og effekt bli vist i samme figur, men i hvert sitt diagram i figuren. Energi vil stå under diagram A i og effekt under diagram B i alle figurene. Samtidig vil kun en og en parameterendring bli vist i figurene. Felles for alle figurene er at x-aksen angir prosentvis endring fra den opprinnelige verdien. y-aksen henviser til hvilken parameter som er blitt endret og med hvor mye. Siden energien fra topplasten står for 3% av varmebehovet til kontorbygget, vil endring av topplast-energien ha en større prosentvis endring enn resterende resultater vist i figurere.

I resultatene under vil ikke den sensitive analysen for varmemotstand i tetningsmassen være med, da det ikke blir endring i energi eller maks effekt. Uansett viser figur 23 og 24 under, at de to parametrene som gir mest endring av energibruken varmepumpen og topplasten leverer. Er dybden på borehullene og antall borehull. Molinari, Lazzarotto og Björk [Molinari et al., 2013] har også vist at antall borehull vil ha stor betydning for ytelsen til en varmepumpe. Det samme er blir vist i figuren under. Casasso og Sethi [Casasso and Sethi, 2014] har vist at også dybden på borehullet har stor innvirkning på ytelsen til en varmepumpe. Det vil bli diskutert videre i kapittel 4.2.1 og 4.2.2 hvorfor dette er interessant.



Figur 23: Samlet prosentvis endring for energi ved alle sensitive analysene

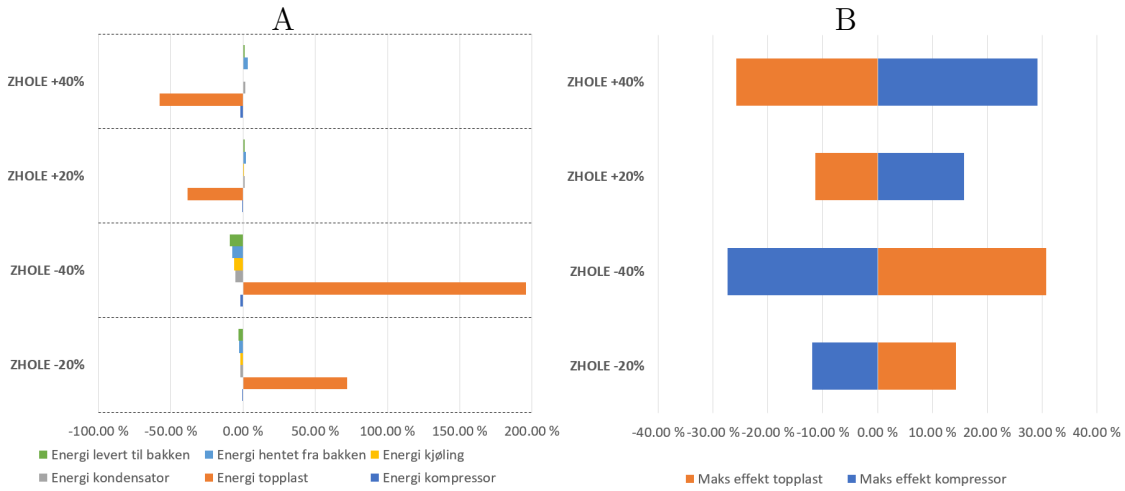
I figur 24 er det bare maks effekt for kompressoren og topplasten som er tatt med.



Figur 24: Samlet prosentvis endring for maks effekt ved alle sensitive analysene

4.2.1 Endring av borehull lengde

I dette delkapittelet blir det gått mer inn på de sensitive analysene for dybden av borehull. Under er de sensitive analysene vist i figur 25, hvor både prosentvis endring av enrgi og maks effekt er tatt med.



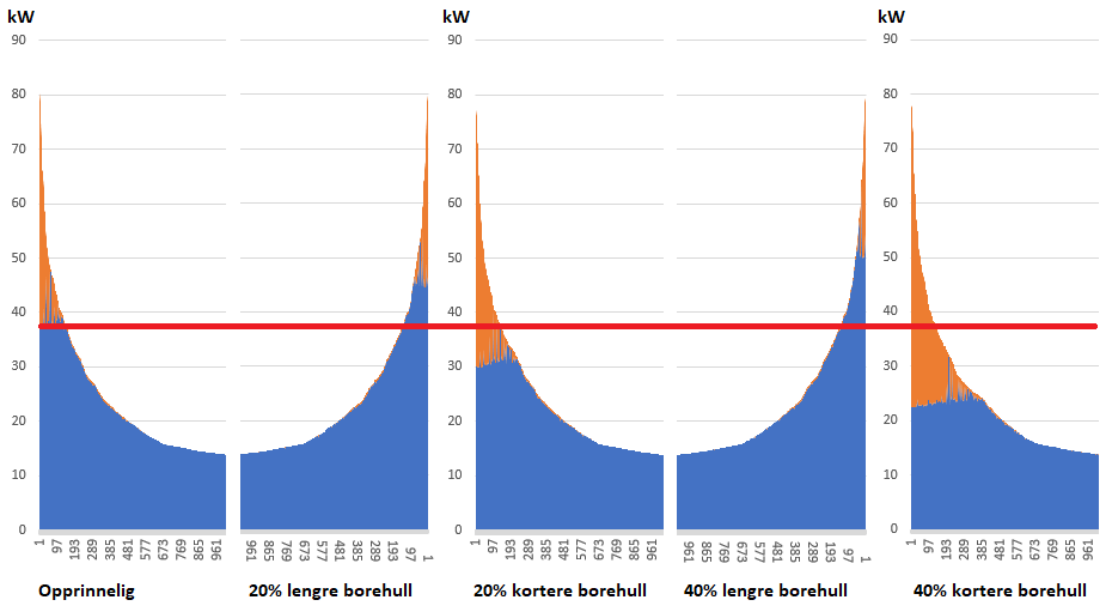
Figur 25: Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av dybden på borehullene

Figur 25 viser hvor mange prosent energien og maks effekt endrer seg, fra den opprinnelige verdien, når lengden på borehullen endre med +/- 20% og +/- 40%. Diagram A viser at energien hentet opp fra bakken blir større ved økning av dybden på borehullet. Det samme blir energien levert tilbake til bakken. Som et resultatet av at energien hentet og levert til bakken blir høyere blir også energien til kjøling og energien fra kondensatoren høyere. Energien fra kompressoren går derimot nedover. Energien fra topplasten vil ved 20% og 40% lengre borehull minke med henholdsvis 38% og 58%. Når dybden på borehullene minkes, blir derimot alt omvendt. Energien hentet fra bakken blir mindre, det samme gjelder energien levert til bakken, energien til kondensatoren, energien til kompressoren og energien til kjøling. Energien til topplasten vil øke med 72% ved 20% kortere borehull og oppmot 200% ved 40% kortere borehull. Diagram B viser at maks effekt for kompressoren blir høyere ved dypere borehull, mens maks effekt fra topplasten blir lavere. Ved kortere borehull er det maks effekt fra topplasten som blir høyere og for kompressoren blir den lavere.

Ved at det blir mer energi hentet fra borehullet, vil varmepumpen få en bedre ytelse. Som Casasso og Sethi [Casasso and Sethi, 2014] har vist i sin artikkel. Økt energi fra bakken gjør at varmepumpen får bedre arbeidsforhold og kan levere mer

energi til bygget. Dette er også vist i figur 25, samtidig vil energien fra topplasten bli mindre, fordi varmepumpen klarer å levere mer varme til bygget. Samtidig som varmepumpen leverer mer energi til bygget, vil maks effekt fra kompressoren øke. Dette er også fordi arbeidsforholdene til varmepumpen blir bedre ved dypere borehull. Som blir Casasso og Sethi [Casasso and Sethi, 2014] også beviser i sin artikkel, i denne oppgaven blir det i tilegg vist at energien fra topplasten synker. Den valgte varmepumpen i IDA-ICE vil med høyere energi hentet fra bakken kunne levere mer energi og samtidig levere høyere maks effekt på kompressoren. Ved lavere energi hentet fra bakken vil varmepumpen yte dårligere, og kompressoren vil levere lavere maks effekt. Kanskje det ville vært annerledes dersom det hadde blitt satt inn en annen varmepumpe i IDA-ICE, det ville isåfall vært en mulighet til å se på ved et videre arbeid av denne oppgaven. I tilegg til at varmepumpen klarer å levere mer varme til kontorbygget, vil det bli mer energi til kjøling. Som et resultat av at energien hentet fra bakken blir høyere, vil energien brukt til kjøling av kontorbygget bli høyere og det vil potensielt bli mindre behov for en kjølemaskin i tilegg. En kjølemaskin vill gitt høyere investeringskostnader og driftskostnader.

Ved videre undersøkelser av den sensitive analysen for dybden av borehulle, blir det presentert effektvarighetskurve.



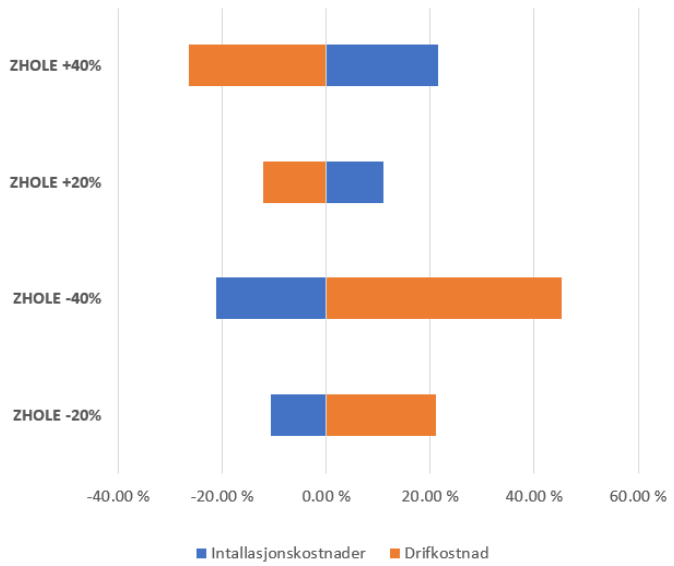
Figur 26: Sammenlikning av effektvarighetskurver

Figur 26 viser utsnitt av effektvarighetskurvene for 20% og 40% endring av lengden på borehullene. Figuren viser at effekttoppen til varmepumpen blir større ved 20%

og 40% lengre borehull, mens effekttoppen til varmepumpen blir lavere ved 20% og 40% kortere borehull. Effekttoppen for topplasten blir lavere ved økning av borehullet og høyere ved kortere borehull.

Ved endring av energien hentet fra bakken, viser figur 26 hva det utgjør av effekt og energi levert fra varmepumpen og topplasten. Når det totale effektbehovet til bygget er som høyest. Selvom varmepumpen som er satt inn i IDA-ICE kan levere opptil 70 kW, klarer den ikke å levere dette med de forholdene den har på fordampersiden. Når dybden på borehullene blir lenger og energien hentet fra bakken blir større, blir forholdene på fordampersiden av varmepumpen bedre. Det gjør at varmepumpen kan levere en høyere effekt og mer energi, som vist i figur 26. Til sammenlikning vil varmepumpen levere lavere effekt og mindre energi, ved kortere borehull.

For å kunne utnytte varmepumpen mest mulig og bruke minst mulig effekt og energi fra topplasten, vil det være best å ha lenger dybde på borehullene. Men hvordan vil investering og driftskostnadene se ut ved dypere eller kortere borehull? Figur 27 viser hvordan endringen av investeringskostnadene og driftskostnadene prosentvis.



Figur 27: Prosentvis endring av driftkostnader og investeringskostnader ved endring av dybden til borehullene

Selvom bidraget fra varmepumpen med hensyn på både effekt og energi, blir høyere ved dypere borehull. Vil installasjonskostnadene og driftskostnadene, som vist i figur 27, prosentvis endre seg i hver sin retning. Figuren viser at det er et potensiale

for at det lønner seg å ha dypere borehull. Men størrelsesforskjellene på den prosentvise endringen er stor. For 20% dypere borehull for eksempel, vil økningen av installasjonskostnadene være på 120 000 kr. Reduksjonen av driftskostnadene i energisentralen, vil derimot minke med 2 400 kr. Disse tallene sier derimot at det ikke vil være lønnsomt å ha dypere borehull. Under i tabell 4 er det vist differansen ΔNV mellom den opprinnelige verdien og endringen av dydeben med 20% og 40%, gjennom differansemetoden.

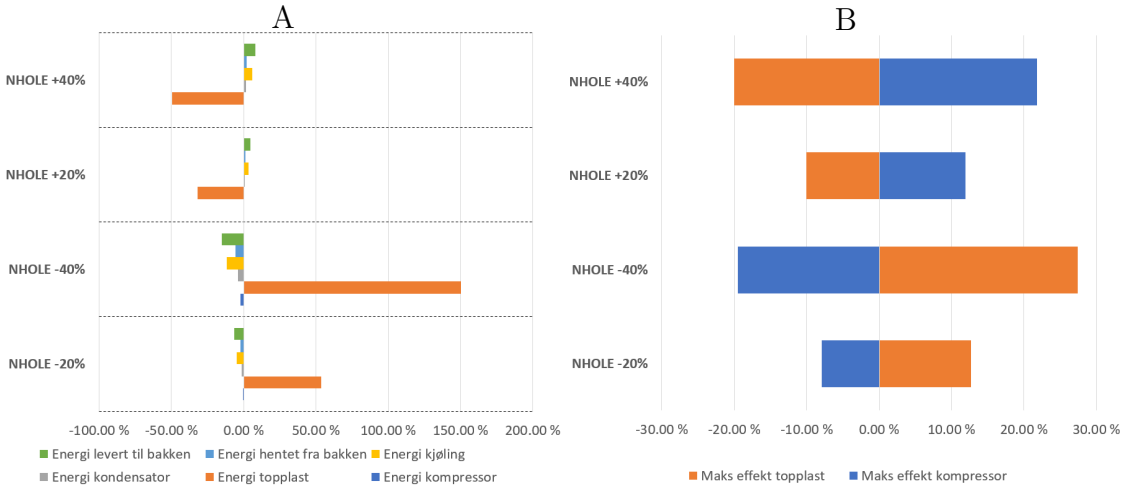
Parameter		ΔNV
Dybden på borehullen	**-20%**	**kr 75 934**
	-40%	**kr 143 300**
	+20%	**-kr 96 473**
	+40%	**-kr 185 142**

Tabell 4: Differansen ΔNV mellom opprinnelig verdi endring av dybden på borehullene

Tabell 4 viser forskjellen på pris etter 60 år på de fire ulik metodene, sammenliknet med den opprinnelige dybden på borehullene. Til slutt vil det være byggherren sitt ansvar om hvor mye penger de er villige til å bruke på et kontorbygg for å få lavere driftskostnad i energisentralen. I dagens situasjon for utleie av kontorer til bedrifter, er leietakerne opptatt av energimerkingen kontoret har. Med lavere driftskostnader vil kontorbygget ha en bedre energimerking, som vil gjøre at utleie av kontorer mer attraktivt blant leietakere. Dette vil være et argument for at byggherren skal investere mer på installasjoner i energisentralen.

4.2.2 Endring av antall borehull

I dette delkapittelet blir det gått mer inn på de sensitive analysene for antall borehull. Under er de sensitive analysene vist i figur 28, hvor både prosentvis endring av energi og maks effekt er tatt med.



Figur 28: Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av antallborehull

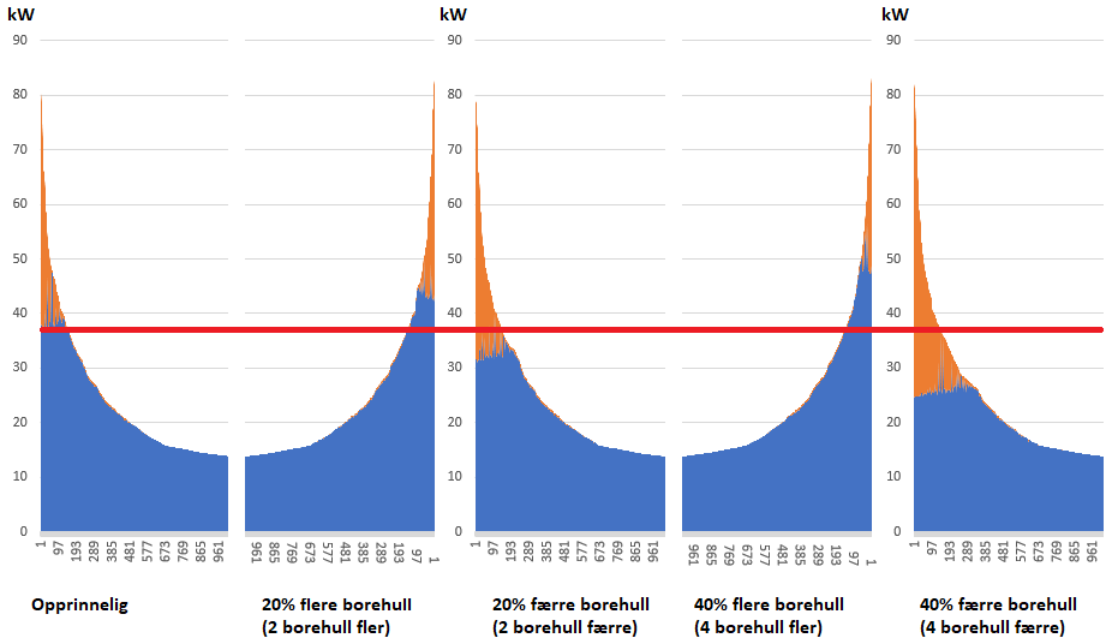
Figur 28 viser hvor mange prosent energien og maks effekt endres seg, fra den opprinnelige verdien, når antall borehullen endres med +/- 20% og +/- 40%. Diagram A viser at energien hentet opp fra bakken blir større ved flere borehull. Det samme blir energien levert tilbake til bakken. Som et resultatet av at energien hentet og levert til bakken blir høyere blir også energien til kjøling, energien fra kondensatoren blir høyere og energien fra kompressoren blir høyere. Energien fra topplasten vil ved 20% og 40% flere borehull mink med henholdsvis 32% og 50%. Når antall borehullene minkes, blir derimot alt omvendt. Energien hentet fra bakken blir mindre, det samme gjelder energien levert til bakken, energien til kondensatoren, energien til kompressoren og energien til kjøling. Energien til topplasten vil øke med 54% ved 20% færre borehull og 150% ved 40% færre borehull. Diagram B viser at maks effekt for kompressoren blir høyere ved flere borehull, mens maks effekt fra topplasten blir lavere. Ved færre borehull er det maks effekt fra topplasten som blir høyere og for kompressoren blir den lavere.

Ved å øke antall borehull blir mer energi hentet fra borehullet, varmepumpen vil få bedre ytelse og topplasten vil levere mindre energi. Molinari, Lazzarotto og Björk [Molinari et al., 2013] har vist i sin artikkel, at flere borehull vil gi mindre bruk av kjøpt energi fra varmepumpen. I denne oppgaven blir det i tilegg vist at energien fra topplasten blir mindre. Økt energi fra bakken gjør at varmepumpen får

bedre arbeidsforhold og kan levere mer energi til bygget. Samtidig vil energien fra topplasten bli mindre, fordi varmepumpen klarer å levere mer varme til bygget. Samtidig som varmepumpen leverer mer energi til bygget, vil maks effekt fra kompressoren øke. Dette er også fordi arbeidsforholdene til varmepumpen blir bedre ved dypere borehull. Endringene fra varmepumpen skyldes endringene i **hva?**, i dette tilfelle brønnparken, som gjør at varmepumpen vil yte bedre eller dårligere. Den valgte varmepumpen i IDA-ICE vil med høyere energi hentet fra bakken kunne levere mer energi og samtidig levere høyere maks effekt på kompressoren. Ved lavere energi hentet fra bakken vil varmepumpen yte dårligere, og kompressoren vil levere lavere maks effekt. Samtidig vil energien og maks effekt fra topplasten øke, og energien til kjøling blir lavere.

I tilegg til at varmepumpen klarer å levere mer varme til kontorbygget, vil det bli mer energi til kjøling. Mer energi vil brukes til kjøling, enn ved dypere borehull. På grunn av temperaturgradienten i bakken vil det være varmere i en brønnpark med dypere borehull, som ikke er ideelt når temperaturen ut fra brønnparken bør være lav. Dette er på grunn av temperaturgradienten i bakken, temperaturen i bakken øker med dybden. Ved flere borehull istedenfor dypere borehull, vil temperaturen i borehullene være lavere og temperaturen kan dermed bli kjølt ned mer. Som et resultat av at energien hentet fra bakken blir høyere, vil energien brukt til kjøling av kontorbygget bli høyere og det vil potensielt bli mindre behov for en kjølemaskin i tilegg. En kjølemaskin vill gitt høyere investeringskostnader og driftskostnader.

Ved videre undersøkelser av den sensitive analysen for dybden av borehulle, ble det laget en effektvarighetskurve.

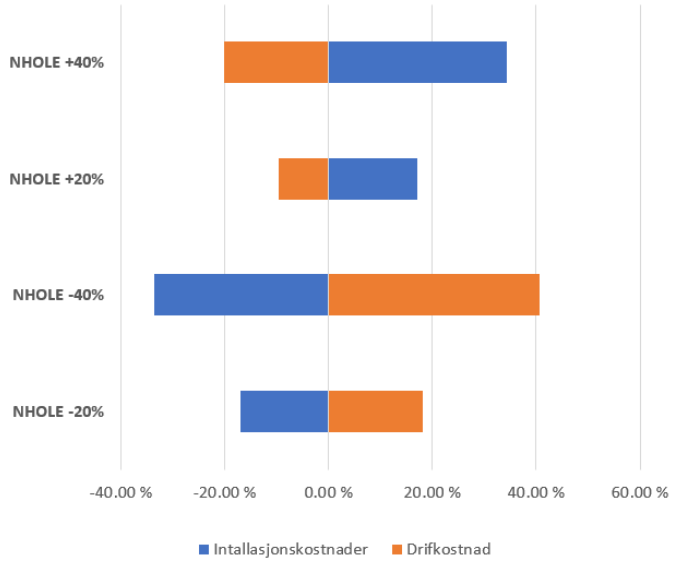


Figur 29: Sammenlikning av effektvarighetskurver ved endring av antall borehull

Figur 29 viser utsnitt av effektvarighetskurvene for 20% og 40% endring av antall borehull. Figuren viser at effekttoppen til varmepumpen blir større ved 20% og 40% flere borehull, mens effekttoppen til varmepumpen blir lavere ved 20% og 40% færre borehull. Effekttoppen for topplasten blir lavere ved økning av antall borehull og høyere ved færre borehull.

Ved endring av energien hentet fra bakken, viser figur 26 hva det utgjør av effekt og energi levert fra varmepumpen og topplasten. Når det totale effektbehovet til bygget er som høyest. Når antall borehull økes og energien hentet fra bakken blir større, blir forholdene på fordampersiden av varmepumpen bedre. Det gjør at varmepumpen kan levere en høyere effekt og mer energi, som vist i figur 26. Det betyr mindre maks effekt og energi fra topplasten. Til sammenlikning vil varmepumpen levere lavere effekt og mindre energi, ved kortere borehull.

For å kunne utnytte energien fra varmepumpen mest mulig og bruke minst mulig effekt og energi fra topplasten, vil det være best å ha flere borehull. Men hvordan vil investering og driftskostnadene se ut ved flere eller færre borehull? Figur 30 viser hvordan endringen av investeringskostnadene og driftskostnadene prosentvis.



Figur 30: Prosentvis endring av driftkostnader og investeringskostnader ved endring av antall borehull

Figur 30 viser det samme som den samme figuren gjør for endring av dybden av borehullene. Forskjellene er at i dette tilfelle blir investeringskostnadene høyere og endringen av driftskostnadene blir litt mindre. Som vist i tabell 4 er det ikke lønnsom over 60 år å bore dypere borehull, og med informasjonen fra figur 30 tilsier det at det heller ikke lønnsomt med flere borehull.

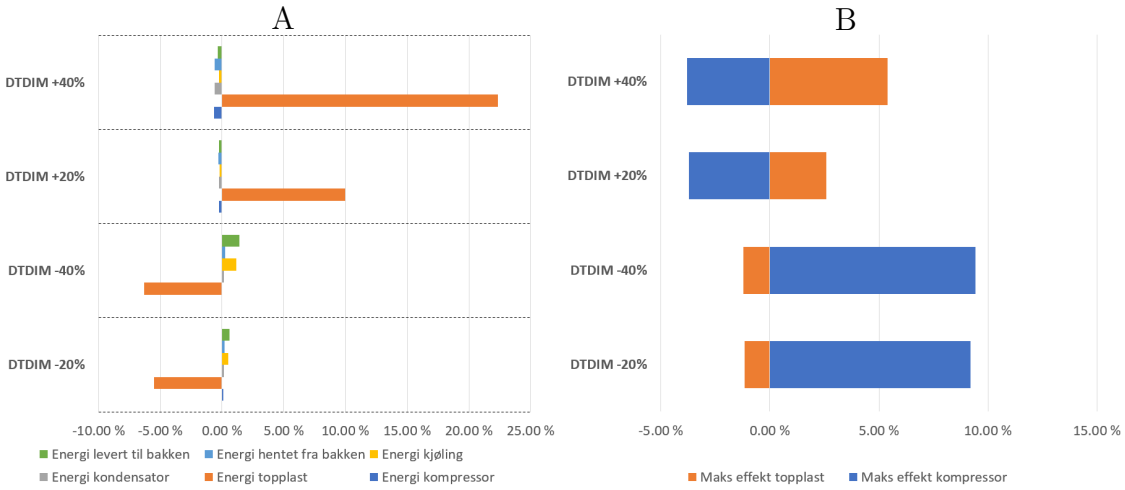
Parameter		ΔNV
Antall borehull	**-20%**	**kr 150 163**
	-40%	**kr 289 912**
	+20%	**-kr 169 474**
	+40%	**-kr 337 805**

Tabell 5: Differansen ΔNV mellom opprinnelig verdi endring av antall borehull

Tabell 5 viser at tapet av å ha flere borehull er vesentlig høyere enn å bore dypere borehull. Samtidig er det viktig å ta høyde for at energien brukt til kjøling blir høyere enn ved dypere borehull. I et videre arbeid av denne oppgaven, vil det være interessant å se på hva denne økningen av passiv kjøling betyr, i form av besparelse.

4.2.3 Endring av ΔT gjennom brønnparken

I dette delkapittelet blir det gått mer inn på de sensitive analysene som utgjør endringen av ΔT pumpen tilknyttet brønnparken styrer massestrømen etter. Under er de sensitive analysene vist i figur 31, hvor både prosentvis endring av energi og maks effekt er tatt med.



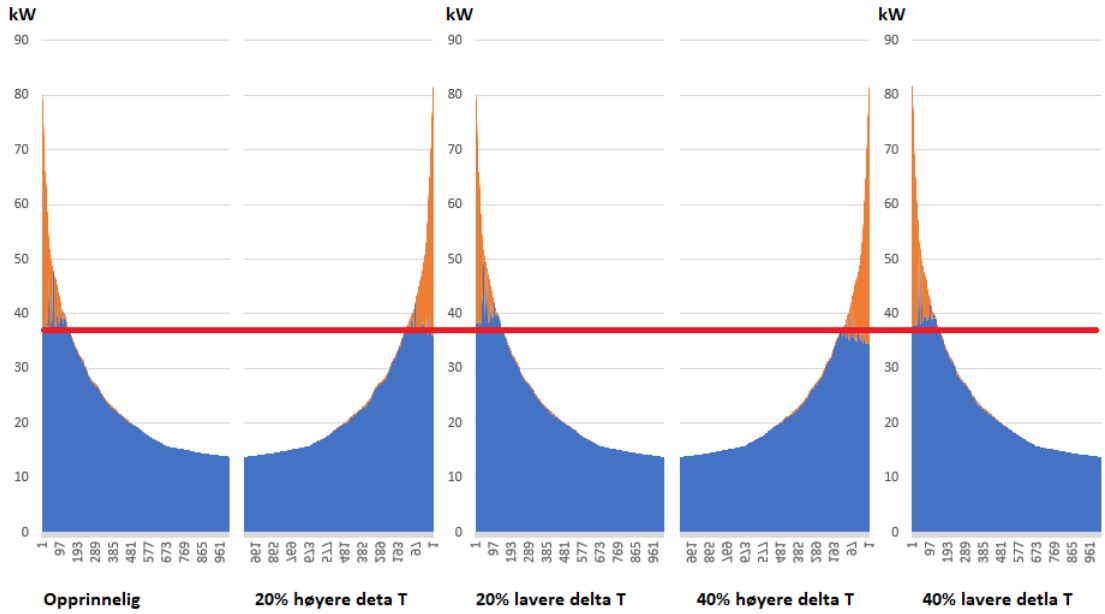
Figur 31: Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av ΔT pumpa til brønnparken styrer etter

Figur 31 viser hvor mange prosent energien og maks effekt endres seg, fra den opprinnelige verdien, når ΔT gjennom brønnparken, endres med +/- 20% og +/- 40%. Diagram A viser at energien hentet opp fra bakken blir større ved ved lavere ΔT. Videre viser den den det samme som ved figur 25 og 28, når energien hentet fra bakken øker, synker energien fra topplasten og motsatt når energien hentet fra bakken synker. Selvom energien hentet fra bakken øker lite i forhold til endringen i energien fra topplasten. Utenom energien fra topplasten, er det energien levert til bakken og energi til kjøling som endres mest. Energien levert til bakken og energien til kjøling endres i positiv retning, når ΔT blir lavere. Ved økning av ΔT blir det derimot minimal endring. Diagram B viser at maks effekt for kompressoren blir høyere ved lavere ΔT, mens maks effekt fra topplasten blir lavere. Ved økning av ΔT er det maks effekt fra topplasten som blir høyere og for kompressoren blir den lavere.

Gjennom endringen av ΔT gjennom brønnparken, blir det mulig å minke energibruken fra topplasten, uten store endringen av brønnparken eller energisentralen. Kun ved å endre settpunktsverdien for hvilken ΔT pumpen tilknyttet brønnparken styrer massestrømen etter. Dermed blir valget av settpunktet for ΔT gjennom

brønnparken viktig, i forhold til å minke energibruken fra topplasten og få lavere maks effekt fra topplasten. Samtidig vil dette være en mulighet for eksisterende anlegg å endre, men da vil det være en fordel å sjekke om det vil minke energibruken fra topplasten før det utføres. Det er fordi det er minimal forskjell på 20% og 40% senking av ΔT.

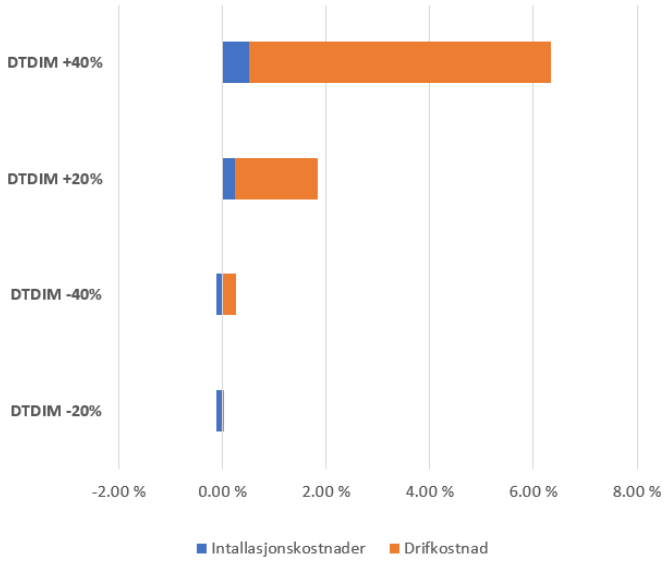
Ved videre undersøkelser for parameterendringen av settpunktverdien ΔT, ble det laget effektvarighetskuver. For å se hvor endringen er.



Figur 32: Sammenlikning av effektvarighetskurver ved endring av ΔT

Gjennom effektvarighetskuvene og den røde linjen i figur 32, er det mulig å se hvor det meste av energien fra topplasten bli mindre og energien fra varmepumpen blir større. Arealet av det blå området over den røde linjen, blir litt større ved 20% og 40% lavere ΔT. Spesielt i det område hvor topplasten begynner å avgi effekt, klarer varmepumpen å gi litt mer effekt enn ved den opprinnelige verdien. Deretter blir effekten mer og mer lik den opprinnelige verdien, ved høyere og høyere total effekt. Det betyr at i de periodene topplasten er på vei til å avgi effekt, vil forholdene på fordampersiden av varmepumpen være bedre ved lavere ΔT enn den opprinnelige. For høyere verdi vil forholdene på fordampersiden være dårligere enn ved den opprinnelige verdien. Her går effekt fra varmepumpen mot å bli lavere og lavere, enn den opprinnelige ved høyere og høyere total effekt. Det betyr at maks effekt fra topplasten blir større ved høyere ΔT, det vises også i figur 31.

For å kunne utnytte energien fra varmepumpen mest mulig og bruke minst mulig effekt og energi fra topplasten, vil det være best å ha lavere ΔT. Men hvordan vil investering og driftskostnadene se ut ved endring av denne parameteren? Figur 27 viser hvordan endringen av investeringskostnadene og driftskostnadene er prosentvis.



Figur 33: Prosentvis endring av driftkostnader og investeringskostnader ved endring av ΔT

Figur 33 viser at det ikke vil være lønnsomt å øke ΔT, siden både investeringskostnaden og driftskostnaden øker. Ved lavere ΔT, er derimot investeringskostnadene og driftskostnadene relativt like i hver sin retning. Det er spesielt for lavere ΔT det er interresant å se hva ΔNV blir.

Parameter		ΔNV
Endring av ΔT	**-20%**	**kr 1 130**
	-40%	**kr 745**
	+20%	**-kr 6 274**
	+40%	**-kr 17 985**

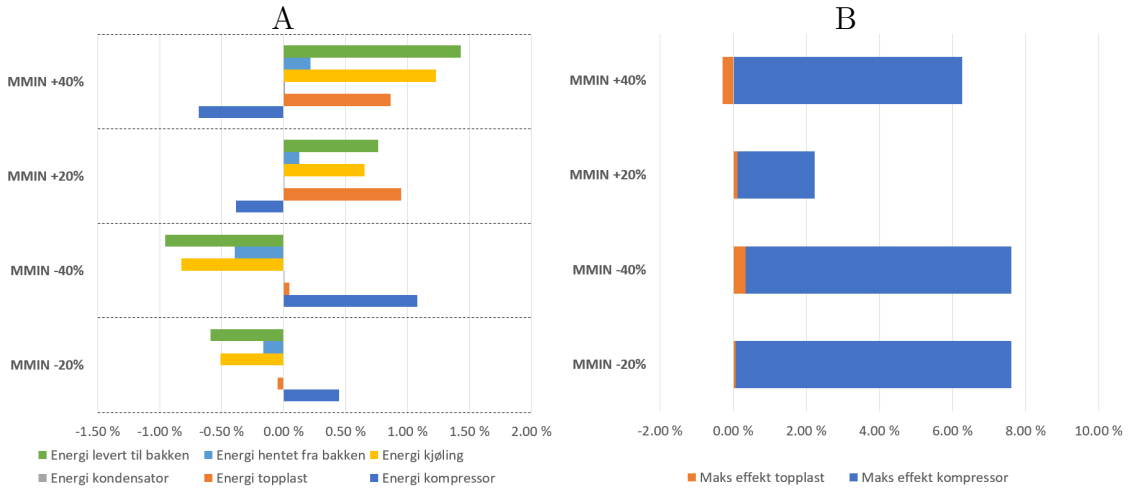
Tabell 6: Differansen ΔNV mellom opprinnelig verdi endring av ΔT

Tabell 6 viser at det vil være lønnsomt å ha lavere ΔT enn den opprinnelig verdien satt inn i denne oppgaven. Fordelen med endring av ΔT er at det også kan gjøres i eksisterende anlegg, gjennom automatikken. Siden det vil være lønnsomt over en

60 års periode for et nybygg å ha lavere ΔT, betyr ikke det at det er lønnsomt i et eksisterende bygg. I et eksisterende bygg burde det gjøres flere beregninger før en eventuell anbefaling kommer. For nybygg, spesielt for dette kontorbygget, blir det anbefalt å ha lavere ΔT enn den opprinnelige verdien i oppgaven.

4.2.4 Endring av minimum massestrøm i brønnparken

I dette delkapittelet blir det gått mer inn på de sensitive analysene for endring av den minimale massestrøm i brønnparken. Under er de sensitive analysene vist i figur 34, hvor både prosentvis endring av energi og maks effekt er tatt med.



Figur 34: Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av minimal massestrøm i brønnparken

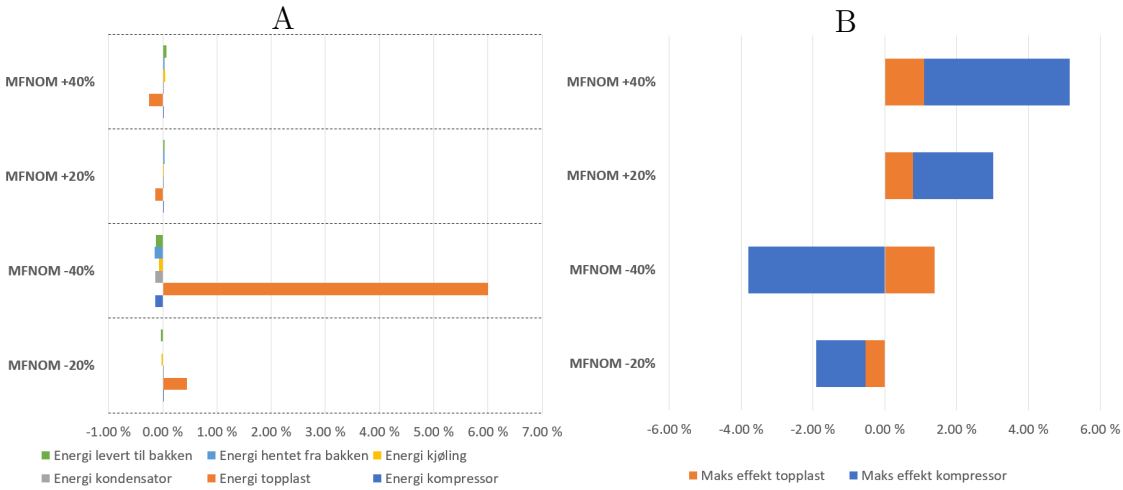
Figur 31 viser hvor mange prosent energien og maks effekt endres, fra den opprinnelige verdien, når den minimale massestrømmen endres med +/- 20% og +/- 40%. Diagram A viser at alle energipostene blir større ved ved høyere minimum massestrøm, utenom energien fra kompressoren som blir lavere. Ved lavere minimum massestrøm, er det energien fra kompressoren som blir høyere og resten av energipostene blir lavere. Endringene i energi fra de ulike kildene endrer seg lite, i forhold til endringen av minimum massestrøm. Selvom energien hentet fra bakken øker i dette tilefelle, øker også energien fra topplasten. Diagram B viser at maks effekt for kompressoren blir høyere ved alle endringene av minimum massestrøm, mens maks effekt fra topplasten endres minimalt.

Siden massestrømen i brønnparken er variabel, vil massestrømen bare være i nærheten av minimum når effektbehovet til kontorbygget er lavt. Det vil være en av grunnene til at det lite endring i de ulike energipostene og at maks effekt fra kompressoren øker ved både høyere og lavere minimum massestrøm. Uansett viser resultatene at kompressoren vil bruke mindre energi, mens kondensatorenergien endres minst av alle. Med hensyn på energi brukt til varme, har endring av minimum massestrøm lite å si. Energien hentet fra bakken blir høyere, men siden det er variabel massestrøm i brønnparken. Vil den energien være fra de periodene hvor

effektbehovet er lavt. Maks effekt fra kompressoren har derimot en større endring enn energien. Det tyder på at forholdene på fordamper siden av varmepumpen blir dårligere enn ved opprinnelig verdi. Dermed vil det med hensyn på maks effekt, være hensiktsmessig å finne den optimale verdien for minimum massestrøm. Selvom endringen av energien og maks effekt er lavere, enn ved endring av dybden på borehullene og antall borehulle, vil minimum massestrøm ha en betydning for energien hentet fra bakken og optimaliseringen av energisentralen. Det positive med høyere minimum massestrøm er at energien til kjøling øker.

4.2.5 Endring av maksimal massestrøm i brønparken

I dette delkapittelet blir det gått mer inn på de sensitive analysene for endring av den maksimale massestrøm i brønnparken. Under er de sensitive analysene vist i figur 34, hvor både prosentvis endring av energi og maks effekt er tatt med. Det er på dette stadiet i oppgavet forventet at leseren forstår figuren under.

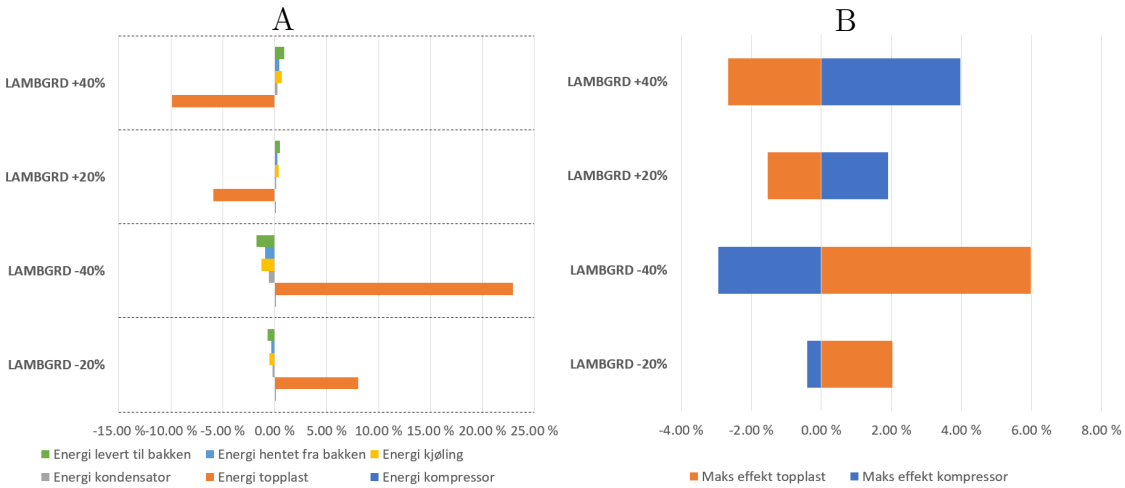


Figur 35: Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av maksimal massestrøm i brønnparken

Figur 35 viser at det er svært lite endring av energi, utenom når den maksimale massestrømmen senkes med 40%. Grunnen til at den ikke blir endret i like stor grad i de andre tilfelle, er at den variable massestrømmen i brønnparken ikke når den maksimale massestrømen. Ved for lav maksimal massestrøm, som også endrer den høyeste massestrømen oppnådd i dette anlegget med variabel massestrøm, går det utover energien hentet opp fra bakken. Energien hentet opp fra bakken blir mindre, det samme gjelder også resterende energiposter, utenom energien til topplasten. Når energien hentet fra bakken synker, øker energi fra topplasten mange ganger mer. Det betyr at det er veldig viktig å ha høy nok maksimal massestrøm i en brønnpark med variabel, for å kunne hente ut mest mulig energi fra bakken. Samtidig kunne minke energien fra topplasten, ved å hente ut mer energi fra bakken. I denne brønnparken er maks massestrøm i brønnparken, satt til verdien som er oppgitt i databladet til varmepumpen (se vedlegg 8.7). Derfor vil det være anbefalt å ikke ha mindre maksimal massestrøm enn det er oppgitt i datablad fra produsenten.

4.2.6 Enerding av varmemotstanden i grunnen

I dette delkapittelet blir det gått mer inn på de sensitive analysene for endring av varmemotstanden i grunnen. Under er de sensitive analysene vist i figur 34, hvor både prosentvis endring av energi og maks effekt er tatt med.



Figur 36: Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av varmekapasiteten i bakken

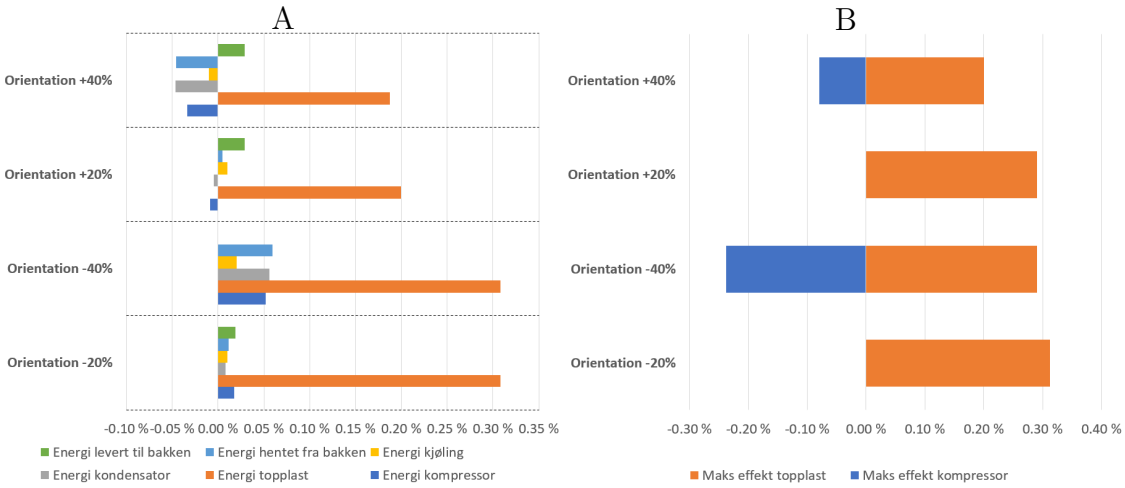
I figur 36 blir det det vist at energien hentet fra bakken blir høyere ved 20% og 40% økning av varmemotstanden i bakken. Mens energien hentet fra bakken blir lavere ved negativ endring av varmemotstanden. Samtidig viser figuren at energien fra topplasten blir lavere, når energien hentet fra bakken blir høyere. Energien fra topplasten blir høyere ved mindre energi hentet fra bakken. I tilegg bli energien levert til bakken og energien brukt til kjøling høyere og lavere, når energien hentet opp fra bakken blir henholdsbis høyere og lavere. Maks effekt fra topplasten blir også lavere når energien hentet fra bakken blir høyere, og høyere når energien hentet fra bakken blir lavere. Samtidig blir maks effekt fra kompressoren høyere når energien fra bakken blir høyere, og lavere når energien fra bakken bli lavere.

Resultatet fra endringen av varmemotstanden i bakken har en betydning for energien hentet opp fra bakken, dermed også energien og maks effekt fra varmepumpen og topplasten. Casasso og Sethi [Casasso and Sethi, 2014] har i sin artikkel funnet at det er varmemotstanden i bakken, som er den parameteren i grunnen som har mest betydning for energiuttak fra bakken. Ved høyere varmemotstand vil bidraget fra topplasten til oppvarming av kontorbyggen minke, og andelen av maks effekt fra topplasten vil bli mindre. Samtidig kan ikke varmemotstanden endres ved prosjektering av en brønnpark, som gjør at varmemotstanden i bakken avhenger

av grunnforholdene de enkelt brønnparkene har. Det betyr at det vil være lokale forskjeller på brønnparkene, selvom de er prosjektert helt likt. En brønnpark som har høy varmemotstand, vil derfor ha bedre potensiale til å hente ut mer energi fra bakken.

4.2.7 Endring av orienteringen til bygget

I dette delkapittelet blir det gått mer inn på de sensitive analysene for endring av orienteringen til kontorbygget. Under er de sensitive analysene vist i figur 34, hvor både prosentvis endring av energi og maks effekt er tatt med.

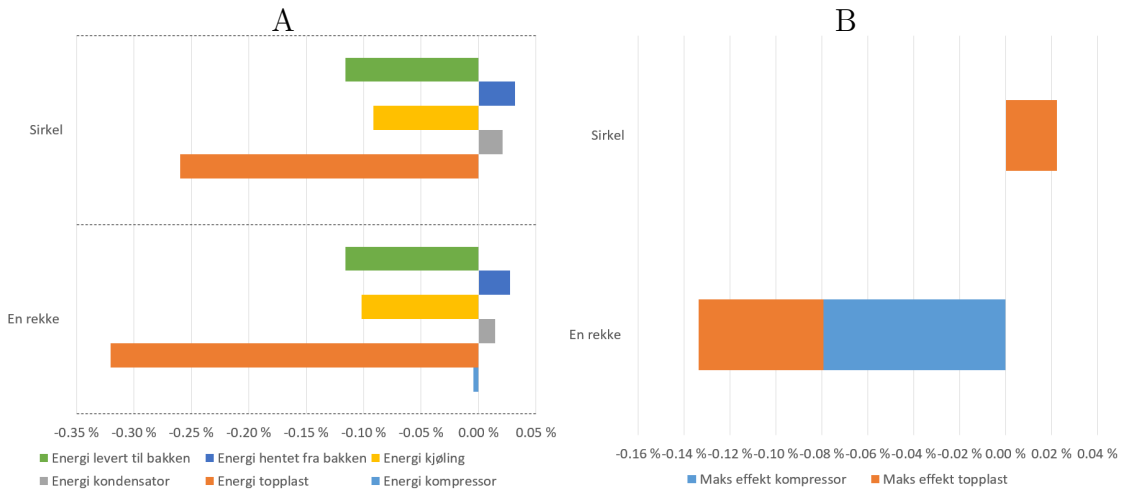


Figur 37: Prosentvis endring av energi og effekt ved 20% og 40% endring av orienteringen til bygget

I et kontorbygg som tilfredsstiller kravene i NS3701:2012 [Standard Norge, 2012], vil orienteringen av bygget har lite å si for endringen av energien hetnet fra bakken. Figur 37 viser hvor lite endring det er. Endringen av orienteringen vil ha noe å si for energibruken til de ulike rommene, da solinnstrålingen vil varme opp ulike rom. Figuren viser at den endringen solinnstårlingen gjør på rommene har liten innvirkning på energien hentet opp fra bakken. Fordi endring av orienteringen av bygget også endrer varmebehovet på romnivå, vil det ikke være hensiktsmessig å sammenlikne om økt energi hentet opp fra bakken vil ha betydning for energien fra topplasten. Disse resultatene vil dermed ikke ha betydning for målet av denne oppgaven, da det blir endring på romnivå som kan endre varmebehovet i bygget. På grunn av liten tid til å fulføre oppgaven har det ikke blitt sjekket om påstanden stemmer.

4.3 Plassering av borehullene

I dette delkapittelet blir resultatene av de manuelle analysene for de tre ulike måtene å plassere borehullene på er fist i figur 38 under. Der plasseringen av borehullene er den opprinnelige verdien fra de sensitive analysene.



Figur 38: Prosentvis endring av energi og effekt ved enerding av plasseringen til borehullene

Figur 38 viser at det er en forskjell mellom hvordan borehullene er plassert, selvom de har samme avstand senter til senter. Prosentvis endring av energiene og maks effektene i figur 38 er liten, men det er en forskjell. Energien fra bakken er høyere når borehullene er plassert i en rekke og i en sirkel, enn ved borehullene i to rekker. Som i de tidligere resultatene synker dermed energien fra topplasten, når energien hentet fra bakken øker. Figuren viser også det er en ulempe med å bytte plasseringen av borehullene fra to rekker til en rekke eller en sirkel, energien levert fra bakken synker. Dermed synker også energien brukt til kjøling. Maks effekt fra topplasten og kompressoren har størst forandring når borehullene plasseres i en rekke. På grunnlag av det figur 38 viser, vil det anbefales å plassere borehullene i to rekker. Fremfor en rekke eller en sirkel. Fordi tapet av energien levert til bakken er større enn gevinsten av energien hentet opp fra bakken.

4.4 Temperaturforhold tur/retur i brønnparken

For å sjekke hvordan temperaturforholdene er på tur- og retursiden av brønnparken bli det presentert to tabeller som viser tur og retur hver for seg. For å se hvor mange timer temperaturen er under 1°C, og dermed hvor mange timer det kan være en fare for at det kan oppstå frost i bakken. Er vist i tabell 7. Retur temperaturen blir presentert for å se hvor mange timer det i teorien er behov for en kjølemaskin; tabell 8. Felles for begge tabellene er at de viser opprinnelig verdig, endring av dybden på borehullene, endring av antall borehull og endring av ΔT.

Hva		**Verdi [timer]**	**Prosent endring fra opprinnelig verdi**
Opprinnelig		**357**	**-**
Dybde på borehull	**-20%**	**496**	**38.94 %**
	+20%	**205**	**-42.58 %**
	-40%	**993**	**178.15 %**
	+40%	**100**	**-71.99 %**
Antall borehull	**-20%**	**460**	**28.85 %**
	+20%	**247**	**-30.81 %**
	-40%	**627**	**75.63 %**
	+40%	**175**	**-50.98 %**
Endring av ΔT	**-20%**	**288**	**-19.33 %**
	+20%	**347**	**-2.80 %**
	-40%	**248**	**-30.53 %**
	+40%	**346**	**-3.08 %**

Tabell 7: Temperaturen inn til brønnparken som er under 1 °C

Tabell 7 viser at det ved opprinnelig verdier er 357 timer hvor temperaturen er under 1°C. Den teoretiske faren for å få frost i bakken, vil være tilstede i 357 timer med de opprinnelige timene. Antallet timer under 1°C skjer ikke sammenhengende men periodevis i vinter månedene. Videre viser tabell 7 at det ikke vil være en fordel å ha kortere borehull eller færre borehull, med hensyn på antall timer hvor turtemperaturen til brønnparken er under 1°C. Samtidig viser tabellen at endringen av ΔT gir færre timer, for både lavere og høyere verdier. Det blir derimot vesentlig færre timer ved lavere ΔT verdi. Tilslutt viser tabellen at det er øking av antall borehull og lengre borehull, som gir færrest timer under 1°C. Ved økning av dybden av borehullene vil antall timer reduseres til 100, som betyr at faren for at det skal oppstå frost er lavere enn ved opprinnelig verdi. For brønnparken kan dette bety at levetiden blir lenger, dette vil være en prosess til videre arbeid av denne oppgaven.

Hva		Verdi [timer]	Prosent endring fra opprinnelig verdi
Opprinnelig		**53**	**-**
Dybde på borehull	**-20%**	**70**	**32.08 %**
	+20%	**37**	**-30.19 %**
	-40%	**138**	**160.38 %**
	+40%	**23**	**-56.60 %**
Antall borehull	**-20%**	**94**	**77.36 %**
	+20%	**16**	**-69.81 %**
	-40%	**248**	**367.92 %**
	+40%	**2**	**-96.23 %**
Endring av ΔT	**-20%**	**71**	**33.96 %**
	+20%	**28**	**-47.17 %**
	-40%	**84**	**58.49 %**
	+40%	**16**	**-69.81 %**

Tabell 8: Temperaturen ut av brønparken som er over 15 °C

Tabell 8 viser at det ved opprinnelig verdier er 53 timer hvor temperaturen er over 15°C. Det teoretiske behovet for å ha behov for en kjølemaskin, vil være tilstede i 53 timer med de opprinnelige timene. Antallet timer over 15°C skjer ikke sammenhengende, men periodevis i sommer månedene. Videre viser tabell 8 at det ikke vil være en fordel å ha kortere borehull, færre borehull eller lavere ΔT; men hensyn på antall timer hvor returtemperaturen til brønnparken er over 15°C. Tilslutt viser tabellen at det er øking av antall borehull, lengre borehull og økning av ΔT; gir færrest timer over 15°C. Ved økning av antall borehulle med 40%, vil antall timer reduseres til 2. Som gjør at potensialet for kun passiv kjøling i kontorbygget er stort.

Med hensyn på både frost og kjøling, vil det anbefales å ha flere borehull og/eller dypere borehull.

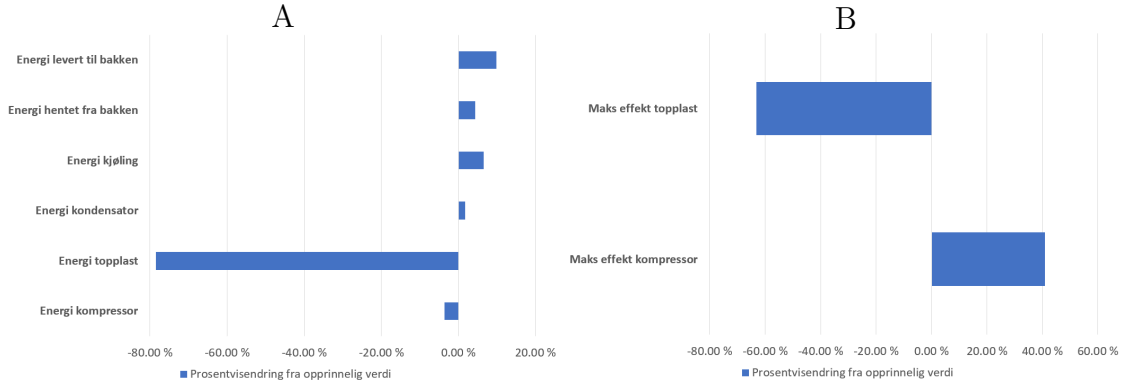
4.5 Optimalisering

Resultatene fra optimaliseringen gjennom GenOpt i IDA-ICE blir presentert i dette delkapittelet. Figur 39 under er den samme som blant annet figur 25 tidligere i oppgaven. Forskjellen på denne er at y-aksen viser hvilken energipost og maks effekt post, istedenfor hvilken parameter som er endret. Først vil tabell 9 bli vist. Denne tabellen viser hvilke verdien optimaliseringen i IDA-ICE, mener er det beste for alle de valgte parametrene.

Parameter	Opprinnelig verdi	Verdi fra GenOpt
Dybde på borehull	**285 m**	**399 m**
Antall borehull	**10 stk**	**14 stk**
ΔT	**4 °C**	**2,4 °C**
Minimum massestrøm	**1 l/s**	**1,4 l/s**
Maksimal massestrøm	**3 l/s**	**3 l/s**
Orientering av bygget	**40 °**	**184 °**

Tabell 9: Opprinnelige verdier i IDA-ICE og optimaliserte verdier gjennom GenOpt

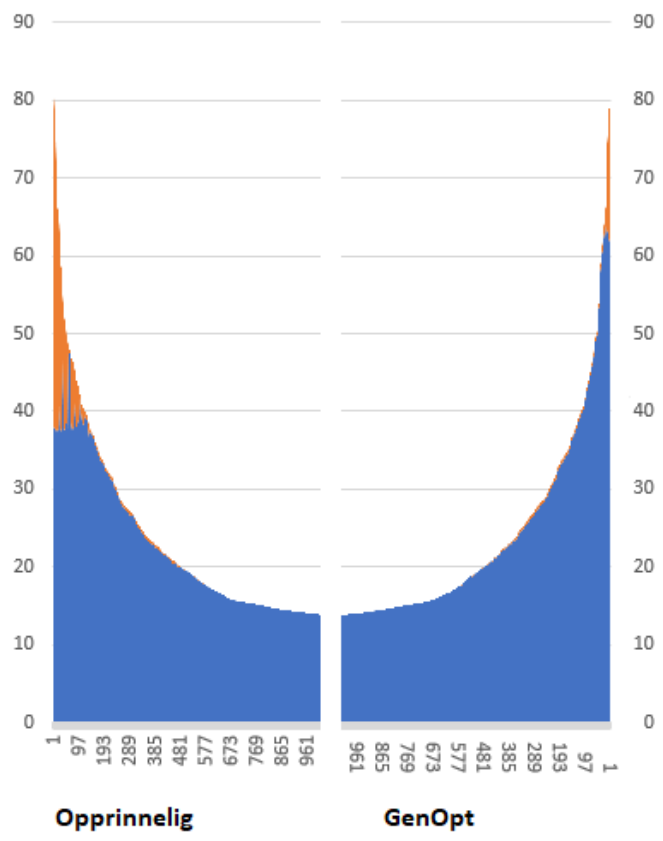
Tabell 9 viser at det som er mest optimalt, med hensyn på å få lavest mulig kjøpt energi i energisentralen. Samtidig viser det at figurer presentert tidligere i oppgaven, stemmer med hva GenOpt har valgt. Utenom maksimal massestrøm, orienteringen av bygget ble det ikke gjort antakelser om hva GenOpt ville velge.



Figur 39: Prosentvis endring av energi og effekt ved optimalisering for å få lavest mulig kjøpt energi til oppvarming

Figur 39 viser som flere av figurer tidligere i oppgaven; ved økning av energien hentet fra bakken, synker energien fra topplasten. Samtidig viser figuren at ved optimalisering blir det også mer energi levert til bakken og energien brukt til kjøling blir større.

For å få kjøpe minst mulig energi til drift av energisentralen i kontorbygget, forteller GenOpt hva som skal til for å oppnå det. Lengst borehull, flest borehull, minst ΔT, høyest minimum massetrøm og maksimal massestrøm som oppgitt fra leverandøren av varmepumpen; dette er parameterene som inngår i prosjektering av en brønnpark, som GenOpt sier er det mest optimale. Det ville også vært interessant å se hva som hadde vært det mest optimale for å oppnå minst mulig kjøpt energi, samt mest mulig energi brukt på kjøling. På grunn av tid vil ikke dette bli sett på i denne oppgaven, men det vil bli anbefalt til videre arbeid av oppgaven.



Figur 40: Sammenlikning mellom utsnitt av effektvarighetskuven for opprinnelige verdier og GenOpt verdier

Som vi ser i figur 40 er det totale effektbehovet i bygget mer eller mindre likt.

Samtidig viser den at varmepumpen øker sitt effektbidrag ved byggets maksimale effektbehov fra under 50% til over 75%. Det viser hvor mye energien hentet opp fra bakken har å si, for å kunne minke energien fra topplasten. Mer energi hentet fra bakken, gjør at varmepumpen kan levere mer energi til oppvarming av bygget og energien fra topplasten blir mindre.

Sammenliknes antall timer temperaturen er under 1 °C ved optimaliseringen, med de tidligere resultatene presentert i oppgaven. Med optimaliserte verdier er antall timer under 1 °C følgende: 26 timer

Dette tilsvarer 93% færre timer under 1 °C, enn ved de opprinnelige verdiene. Dette er å forvente, siden analysene av de sensitive analysene også viser at det blir færre timer under 1 °C. Se vedlegg 8.9 for en tabell med verdiene fra de sensitive analysene og optimaliseringen. Det var øking av dybden på borehullene med 40% som ga færrest timer, med 100 timer. Økning av antall borehull med 40% ga 175 timer under, mens å gjøre ΔT 40% mindre ga 248 timer under 1 °C. Gjennom optimaliseringen vil sammensetningen av blant annet disse tre parameterne gjøre at faren for frost i brønnparken blir meget lav.

Når det blir sett på antall timer hvor temperaturen ut av brønnparken er over 15 °C med de optimaliserte verdien, går temperaturen ut av brønnparken aldri over 15 °C. Det er å forvente, når 40% økning av antall borehull gir 2 timer over 15 °C. Når også økning av dybden på borehullene også har en senkning av antall timer over 15 °C, vil det være tydelig hvorfor temperaturen aldri overstiger 15 °C med de optimale verdiene. Kjølekursen vil dermed ha en bedre evne til å kunne kjøle ned til ønsket temperatur, i dette tilfelle; ventilasjonsluften. Optimaliseringen av den kjøpte energien som blir brukt i energisentralen, vil også forbedre energien brukt til passiv kjøling i bygget.

Fra analysene fra de sensitive analysene under kapittel 4.2, forventes det at de optimaliserte verdiene fra GenOpt ikke vil være lønnsomt. Sammenliknet med de opprinnelige verdiene over en periode på 60 år. Differansemetoden sier følge om GenOpt verdiene, sammenliknet med de opprinnelige verdiene:

$$\Delta NV_{GenOpt} = -kr584680$$

Selvom tapet er bortimot 600 000 kr etter 60 år, er det mange fordeler med å investerere mer penger på de optimaliserte verdiene. Utnytelsen av varmepumpen blir bedre, energiburken fra topplasten synker med nesten 80%, antall timer turtemperaturen er under 1°C blir senket med 93% og det blir ingen timer over 15°C fra returtemperaturen. Dette vil gjøre at driften av energisentraler blir betydelig lavere. Se vedlegg 8.12 for en tabell med alle ΔNV-verdien for de sensitive analysene og optimaliseringen.

4.6 Samfunnsnyttighet

Hvordan vil denne forskningen bidra til positiv utvikling av samfunnet, spesielt byggnæringen? Gjennom denne oppgaven blir det vist hvordan energien hentet fra bakken, endrer energien levert fra varmepumpen og topplasten. I underkapitlene til kapittel 4.2 blir det vist hvordan energien fra varmepumpen og topplasten endres ved endring av energien hentet fra bakken. Det vil gi argumenter til hvorforen en byggherre skal investere mer på en større brønnpark. Samtidig som en større brønnpark også vil gi et mindre behov for en kjølemaskin. Denne forskningen vil dermed bidra positivt til å gi argumenter for hvorfor det bør investeres mer i en større brønnpark, som vil gi bedre utnyttelse av varmeenergien produsert fra varmepumpen og øke utnyttelsen av energi brukt til passiv kjøling. Samtidig som energibruken fra topplasten vil bli mindre.

I tilegg til at kjøpt energi til oppvarming av bygget vil bli minimert gjennom å øke energien hentet fra bakken, vil også temperaturene på tur- og retursiden av brønnparken bli bedre. Temperaturen blir bedre, fordi det færre timer under 1°C og færre timer over 15°C. Færre timer under 1°C vil gjøre at varmepumpen vil ha en bedre effektfaktor, fordi fordamperen kan hente mer energi.

Blir kostnadene for å øke energien hentet fra bakken tatt hensyns til, vil ikke besparelsen i energi gjøre det lønnsomt. Tas de totale investeringskostnadene av et passivhus kontorbygg med i betraktningen. Vil tapet på 600 000 kroner over 60 år, være lite i forhold til de totale kostnadene som vil være mange millioner kroner. Samtidig kan kontorbygget bli mer attraktivt blant leietakere som ønsker å leie et mest mulig miljøvennlig bygg. Større etterspørsel etter et miljøvennlige bygg som kjøper lite energi til oppvarming av bygget, vil gjøre at byggherren kan øke leieprisene. Dersom investeringskostnadene økes, for å få mer energi hentet fra bakken. Som vil gjøre at kontorbygget kjøper mindre energi til oppvarming og får bedre kjølekapasitet. Denne forskningen kan derfor bidra positivt til utvikling av byggnæringen, fordi den viser forbedringen på utnyttelsen av varmepumpen og økningen av energien til kjøling; ved økning av energi hentet fra bakken.

5 Konklusjon

I dette kapittelet besvares spørsmålene som er oppgitt i kapittel 1.1.

Kan IDA-ICE gi samme resultat som en eksisterende brønnpark?

Ut ifra resultatene fra valideringen av ekstrapakken borehull i IDA-ICE, vil det bli konkludert med at den er god. Selvom det er variasjon mellom simulerte verdier i IDA-ICE og verdier fra SD-anlegget. Tas usikkerheten om verdiene satt inn i brønnparken i IDA-ICE og den forenklete metoden for å beregne massestrøm. Er denne valideringen god nok til å bruke videre for å se hvordan energien hentet fra bakken påvirker energien fra varmepumpen og topplasten.

Hva har energien hentet opp fra brønnparken å si for energibruket til varmepumpen og topplasten?

Når energien hentet opp fra bakken blir større, vil energien fra varmepumpen bli større og kontorbygget vil få mindre varme levert fra topplasten. Med hensyn på energien vil det være hensiktsmessig å dimensjonere en brønnparken slik at det kan bli hentet opp mer energi fra bakken.

Vil energi til passiv kjøling bli endre ved forbedring av energi hentet opp fra bakken?

Om brønnparken skal dimensjoneres for å få mest mulig energi fra bakken, bør den også dimensjoneres for å få mest mulig utnytte av energien som kan hentes fra bakken og brukes til passiv kjøling. Dette gjøres med å ha flere litt kortere borehull, enn få og lange borehull. Eller begge deler, som optimaliseringen viser at det bra for både å minke energien til topplasten og øke energien som kan brukes til passiv kjøling.

Hva vil påvirke energien til varmepumpen og kjøling mest?

De parameterne som påvirker energien til varmepumpen og energien brukt til kjøling er både dybden på borehullene og antall borehull. Dybden på borehullene gir mest påvirkning på energien til varmepumpen, mens antall borehull gir mest påvirkning på energien brukt til kjøling.

Hvordan vil energien brukt til passiv kjøling bli påvirket, ved optimalisering av energien levert fra varmepumpen?

Energien brukt til passiv kjøling vil blir høyere ved optimaliseringen, enn ved de sensitive analysene. Ved å optimalisere verdiene på parameterne til å kjøpe mindre energi, vil det også påvirke energien brukt til passiv kjøling i positiv retning.

Hvordan vil plasseringen av borehullene påvirke energien hentet fra og levert til bakken?

Plasseringen av borehullene har minimal påvirkning på energien hentet fra bakken. Uansett er det å plassere borehullene i to rekker, framfor i en sirkel eller i en rekke som er best.

6 Forslag til videre arbeid

Dette kapittelet vil gir forslag til som kan gjøre ved videre arbeid av denne oppgaven.

Validere ekstrapakken videre

Et forslag til videre arbeid av denne oppgaven er å validere ekstrapakken i IDA-ICE mer enn det har blitt gjort i denne oppgaven. Det burde gjøres ved å bruke en virkelig brønnpark som det har blitt gjennomført en testbrønn på. Samtidig som den har nok data om materiene som ligger i bakken. I tilegg til at brønnparken har målepunkter som viser riktige verdier.

Optimalisere energi brukt til oppvarming og til passiv kjøling

I denne oppgaven har kjøpt energi brukt til oppvarming blitt optimalisert. Det hadde vært interessant å se hva som hadde vært optimalt for å få minst mulig kjøpt energi brukt til oppvarming og samtidig fått mest mulig energi til passiv kjøling. Hvilke verdier vil endre seg mest ved en slik optimalisering?

Modellere en virkelig energisentral i IDA-ICE

I denne oppgaven ble det klart at det ville blitt for tidkrevende å modellere energisentralen ved Powerhouse Kjørbo i IDA-ICE. Men det hadde vært interessant å gjort en oppgave hvor dette blir gjort. Da kunne det bli sett på mulige forbedringer av eksisterende anlegg, eller hvor godt IDA-ICE stemmer med et eksisterende anlegg.

7 Referanseliste

Referanser

[Agder Energi Nett, 2019] Agder Energi Nett (2019). Effektmåling. Hentet 09.04.2019 fra: https://www.aenett.no/kundeforhold/kundebetingelser/kundebetingelser-bedriftskunde/effektmaling/#toggle.

[Casasso and Sethi, 2014] Casasso, A. and Sethi, R. (2014). Sensitivity analysis on the performance of a ground source heat pump equipped with a double u-pipe borehole heat exchanger. *Energy Procedia*, 59:301–308. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214017482.

[Cengel, 2015] Cengel, Y. A., . B. M. A. (2015). *Thermodynamics: an engineering approach*. New York: McGraw-Hill Education.

[EQUA Simulation AB, 2017] EQUA Simulation AB (2017). If you can't simulate it, don't build it! (webinar). Hentet fra https://www.youtube.com/watch?v=M9BBJpi_V6o Hentet: 22.01.2019. publisert: 29.03.2017.

[Havellen et al., 2017] Havellen, V., Marienborg, S., Larsen, P. E., Rath, S., Knudsen, K. O., Zijdemans, D., and Fransrus, T. (2017). *Varme normen*. Oslo: Norsk VVS Energi- og Miljøteknisk Forening.

[Molinari et al., 2013] Molinari, M., Lazzarotto, A., and Björk, F. (2013). The application of the parametric analysis for improved energy design of a ground source heat pump for residential buildings. *Energy and Buildings*, 63:119–128. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813002193.

[Noregs vassdrags- og energidirektorat (NVE), 2019] Noregs vassdrags- og energidirektorat (NVE) (15.02.2019). Nettleie for forbruk. Hentet 08.04.2019 fra: https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/nettjenester/nettleie/nettleie-for-forbruk/.

[Novakovic et al., 2016] Novakovic, V., Hanssen, S. O., Thue, J. V., Wangensteen, I., and Gjerstad, F. O. (2016). Enøk i bygninger-effektiv energibruk (3. utg., 3. opplag). *Oslo: Gyldendal undervisning*.

[powerhouse, 2018] powerhouse (2018). Powerhouse kjørbo. Hentet 12.04.2019 fra: https://www.powerhouse.no/prosjekter/kjorbo-2/.

[Standard Norge, 2012] Standard Norge (2012). Kriterier for passivhus og lavenergibyninger yrkesbygninger (ns3701:2012). Hentet fra `https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587802`.

[Standard Norge, 2014] Standard Norge (2014). Beregning av bygningers energiytelse metode og data (ns3031:2014). Hentet fra `https://www-standard-no.ezproxy.oslomet.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386`.

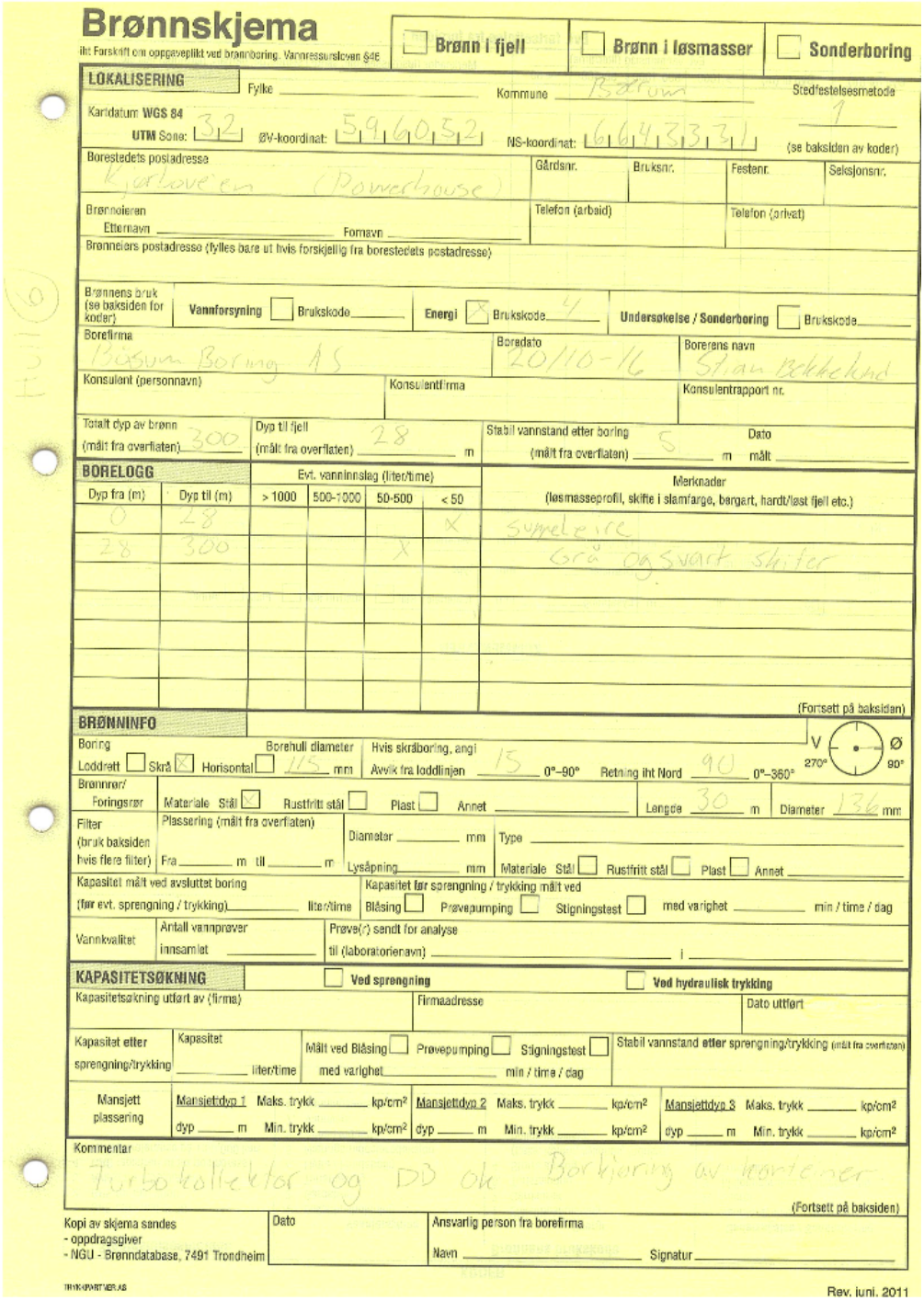
[Wikipedia, 2019a] Wikipedia (2019a). Mean squared error. Hentet 22.04.2019 fra: `https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_squared_error`. oppdatert 19.04.2019.

[Wikipedia, 2019b] Wikipedia (2019b). Root-mean-square deviation. Hentet 22.04.2019 fra: `https://en.wikipedia.org/wiki/Root-mean-square_deviation#cite_note-5`. oppdatert 19.04.2019.

[Zijdemans, 2012] Zijdemans, D. (2012). *Vannbaserte oppvarmings-og kjølesystemer*. Oslo: Skarland.

8 Vedlegg

8.1 Brønnskjema



Brønnskjema

iht Forskrift om oppgaveplikt ved brønnboring. Vannressursloven §46

☐ Brønn i fjell ☐ Brønn i løsmasser ☐ Sonderboring

LOKALISERING

Fylke _____ Kommune Bærum Stedfestelsesmetode 1 (se baksiden av koder)

Kartdatum WGS 84 UTM Sone: 32 ØV-koordinat: 596052 NS-koordinat: 6643331

Borestedets postadresse: Kjørløveien (Powerhouse) | Gårdsnr. | Bruksnr. | Festenr. | Seksjonsnr.

Brønneieren Etternavn _____ Fornavn _____ | Telefon (arbeid) | Telefon (privat)

Brønneiers postadresse (fylles bare ut hvis forskjellig fra borestedets postadresse)

Brønnens bruk (se baksiden for koder): Vannforsyning ☐ Brukskode ____ Energi ☒ Brukskode 4 Undersøkelse / Sonderboring ☐ Brukskode ____

Borefirma: Bærum Boring AS | Boredato: 20/10-16 | Borerens navn: Stian Bekkelund

Konsulent (personnavn) | Konsulentfirma | Konsulentrapport nr.

Totalt dyp av brønn (målt fra overflaten): 300 | Dyp til fjell (målt fra overflaten): 28 m | Stabil vannstand etter boring (målt fra overflaten): 5 m | Dato målt _____

BORELOGG

Dyp fra (m)	Dyp til (m)	Evt. vanninnslag (liter/time) > 1000	500-1000	50-500	< 50	Merknader (løsmasseprofil, skifte i slamfarge, bergart, hardt/løst fjell etc.)
0	28				X	Sumelevire
28	300			X		Grå og svart skifer

(Fortsett på baksiden)

BRØNNINFO

Boring: Loddrett ☐ Skrå ☒ Horisontal ☐ | Borehull diameter 115 mm | Hvis skråborring, angi: Avvik fra loddlinjen 15 0°–90° Retning iht Nord 90 0°–360° (V 270°, Ø 90°)

Brønnrør/Foringsrør: Materiale Stål ☒ Rustfritt stål ☐ Plast ☐ Annet _____ | Lengde 30 m | Diameter 136 mm

Filter (bruk baksiden hvis flere filter): Plassering (målt fra overflaten) Fra ____ m til ____ m | Diameter ____ mm | Lysåpning ____ mm | Type _____ Materiale Stål ☐ Rustfritt stål ☐ Plast ☐ Annet _____

Kapasitet målt ved avsluttet boring (før evt. sprengning / trykking) ____ liter/time | Kapasitet før sprengning / trykking målt ved Blåsing ☐ Prøvepumping ☐ Stigningstest ☐ med varighet ____ min / time / dag

Vannkvalitet: Antall vannprøver innsamlet ____ | Prøve(r) sendt for analyse til (laboratorienavn) ____ i ____

KAPASITETSØKNING ☐ Ved sprengning ☐ Ved hydraulisk trykking

Kapasitetsøkning utført av (firma) | Firmaadresse | Dato utført

Kapasitet etter sprengning/trykking: Kapasitet ____ liter/time | Målt ved Blåsing ☐ Prøvepumping ☐ Stigningstest ☐ med varighet ____ min / time / dag | Stabil vannstand etter sprengning/trykking (målt fra overflaten)

Mansjett plassering: Mansjettdyp 1 dyp ____ m Maks. trykk ____ kp/cm² Min. trykk ____ kp/cm² | Mansjettdyp 2 dyp ____ m Maks. trykk ____ kp/cm² Min. trykk ____ kp/cm² | Mansjettdyp 3 dyp ____ m Maks. trykk ____ kp/cm² Min. trykk ____ kp/cm²

Kommentar: Turbokollektor og DD ok Borkjøring av hørtemer

(Fortsett på baksiden)

Kopi av skjema sendes
- oppdragsgiver
- NGU - Brønndatabase, 7491 Trondheim

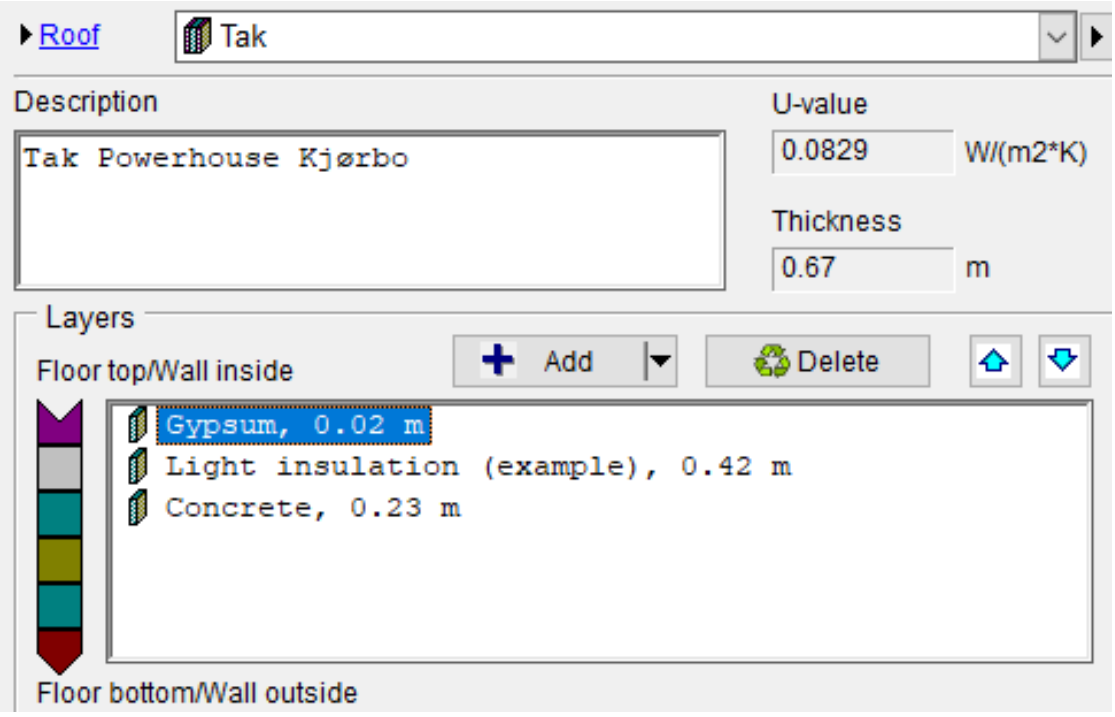
Dato | Ansvarlig person fra borefirma: Navn _____ Signatur _____

TRYKKPARTNER AS Rev. juni 2011

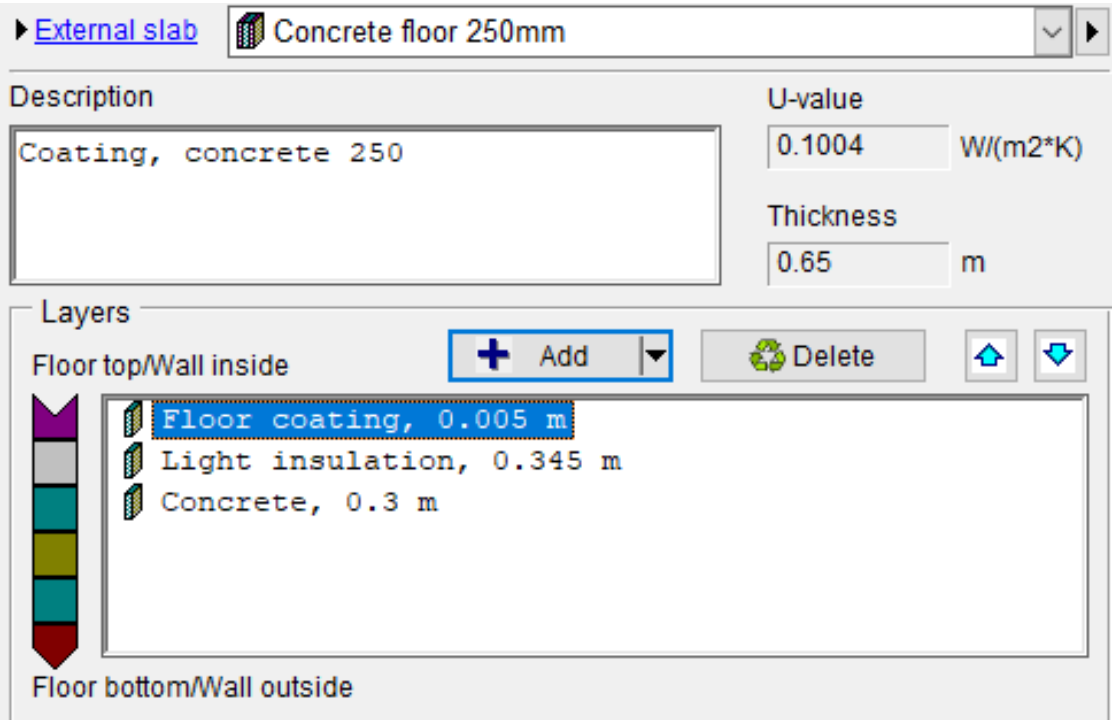
8.2 Borehull innputt

Input		Kilde		
Liquid				
LIQTYPE	Ethanol			
TFREEXZE	-17.5	https://basum.no/wp-content/uploads/HX_brosjyreark-1.pdf		
LAMBLIQ	0.41	http://www.recochem.com/media/uploads/downloads/Denatured_ethanol_Geo-Flo.pdf		
Kons	35 %	https://basum.no/wp-content/uploads/HX_brosjyreark-1.pdf		
Tetthet	0.955 kg/dm3	https://basum.no/wp-content/uploads/HX_brosjyreark-1.pdf		
Flammepunkt	27 °C	https://basum.no/wp-content/uploads/HX_brosjyreark-1.pdf		
Kokepunkt	83.7 °C	https://basum.no/wp-content/uploads/HX_brosjyreark-1.pdf		
Frysepunkt	-17.5 °C	https://basum.no/wp-content/uploads/HX_brosjyreark-1.pdf		
Ground				
surface layer				
CPSURFLAY	1140 J/kgK	https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html (gjennomsnitt av våt/tørr)		
LAMBDA	0.75 W/mK	https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html (gjennomsnitt av våt/tørr)		
THOSURFLAY	1680 kg/m3	https://www.engineeringtoolbox.com/dirt-mud-densities-d_1727.html (gjennomsnitt av våt/tørr)		
		http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2004/2004_013.pdf		
ground (syenitt)		https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/syenite		
CPGRD	0.76 kJ/kgK	https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html		
LAMBGRD	2.01 W/mk			
RHOGRD	2800 kg/m3	https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html		
yearky mean temp in ground				
TMEAN	5.4 (antar likt årsmiddeltemperatu	https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frostsikring#tab3		
GEOTGRAD	0.02 C/m	https://www.ngu.no/emne/tcn-sonde		
Pipe				
CPPIPE	930 J/kgk	S.S. Chang and A.B. Bestul; Heat Capacities of Polyethylene from 2 to 360 K.		
LAMBPIPE	0.42 W/mK	https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html		
EPSILON	1.52E-06	https://www.pipeflow.com/pipe-pressure-drop-calculations/pipe-roughness		
RPIPE	0.0163	https://www.engineeringtoolbox.com/pe-pipe-dimensions-d_321.html		
THICKPIPE	0.0024m	http://katalog.pipelife.no/dev/		
Grout				
CPGROUT	1200	https://www.andra.fr/mini-sites/lille2007/abstract_lille2007/donnees/pdf/579_580_P_THME_19.pdf		
LAMBGROUT	1.15	https://www.andra.fr/mini-sites/lille2007/abstract_lille2007/donnees/pdf/579_580_P_THME_19.pdf		
RHOGROUT	1700	https://www.andra.fr/mini-sites/lille2007/abstract_lille2007/donnees/pdf/579_580_P_THME_19.pdf		
Heat Resistances			$R = \frac{d}{\lambda}$	
RPIPEGROUT	0.176		Rearth	0.05721393
RPIPEEARTH	0.233		Rpipe	0.076190476
RGROUTGROUT	0.00001		Rgrout	0.1
RGROUTEARTH	0.157			
RRINGEARTH	0.00001			

8.3 Oppbygning av taket i IDA-ICE



8.4 Oppbygning av gulvet i IDA-ICE



8.5 Parameter run

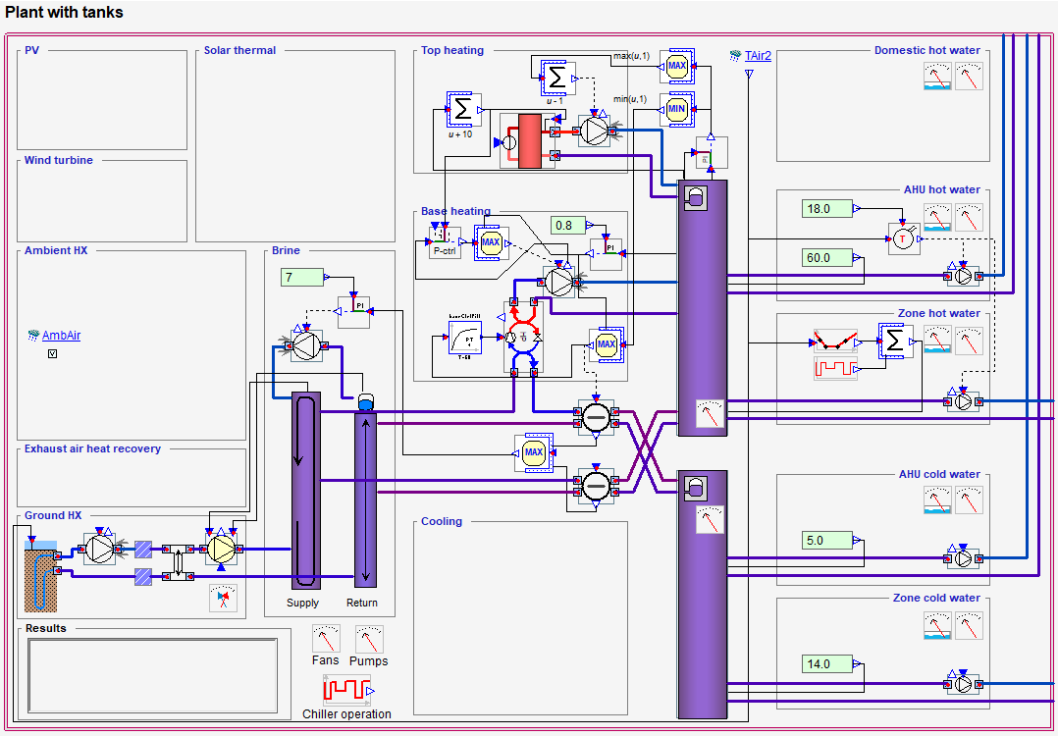
Input

Name	Value	Unit	OK range	Distribution	Resolution	Target
ZHOLE	285.0	m	[171 399]	UNIFORM	5	Plant.BoreHole.ZHOLE
NHOLE	10	ite...	(6 10 14)	UNIFORM	n.a.	Plant.BoreHole.NHOLE
LAMBGRD	2.01	W...	[1.206 2.814]	UNIFORM	5	Plant.BoreHole.LAMBGRD
LAMBGROUT	1.15	W...	[0.69 1.61]	UNIFORM	5	Plant.BoreHole.LAMBGROUT
DTDIM	4.0	°C	[2.4 5.6]	UNIFORM	5	Plant.ghxPump.DTDIM
MMIN	1.0	kg/s	[0.6 1.4]	UNIFORM	5	Plant.ghxPump.MMIN
MFNOM	3.0	kg/s	[1.8 4.2]	UNIFORM	5	Plant.ghxPump.MFNOM
Orientation	40.0	Deg	(256 40.0 184)	UNIFORM	n.a.	Site object.Orientation

Output

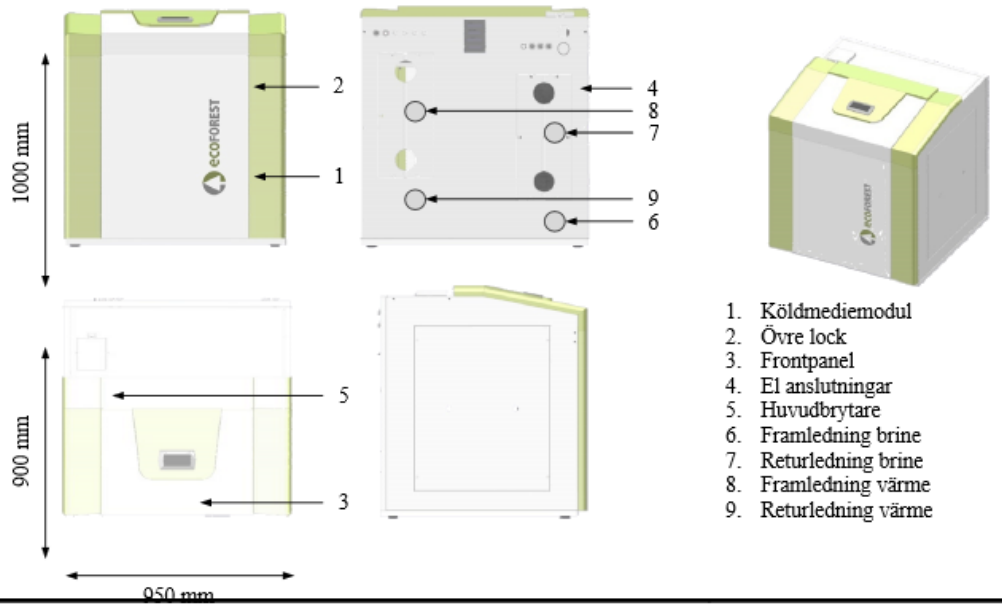
Name	Target	Function	Role	Min	Max	Description
Energi kompressor	Delivered Energy.Purchased e...	[:TOTAL]	SHOW			
Maks effekt kompres...	Delivered Energy.Purchased e...	(? [:PARENT :PARENT ...	SHOW			
Energi topplast	Delivered Energy.Purchased e...	[:TOTAL]	SHOW			
Maks effekt topplast	Delivered Energy.Purchased e...	(? [:PARENT :PARENT ...	SHOW			
TOTENERGY	Plant.EMETER1.TOTENERGY		SHOW			Energi kondensator
TOTENERGY1	Plant.EmeterCentChil.TOTEN...		SHOW			Energi kjølebatteri
POSENERGY	Plant.EmeterGrndHX.POSEN...		SHOW			Energi hentet fra brønnpark
NEGENERGY	Plant.EmeterGrndHX.NEGEN...		SHOW			Energi levert til brønnpark
Innstallasjonskostnader	Kostnader.Innstallasjonskostn...		SHOW			
Energiledd	Kostnader.ADDER3.OUTSIGN...		SHOW			

8.6 Opprinnelig energisentral i IDA-ICE



8.7 Datablad varmepumpe

ecoGEO HP



Bergvärmepumar ecoGEO HP TEKNISK DATA		Enhet	ecoGEO HP 12-40	ecoGEO HP 15-70	ecoGEO HP 25-100
Användningsområde	Värme och VV	-	•	•	•
Köldmedium	Typ	-	R410A		
Komponenter	Kompressor	-	Scroll med inverter Danfoss		
	Expansionsventil	-	Elektronisk Carel		
	Värmeväxlare	-	Plattvärmeväxlare Alfa Laval		
	Vätskebehållare	-	Inkluderat, 5 litros		
	Torkfilter	-	Inkluderat		
	Synglas	-	Inkluderat		
Elektrisk data	Nätspänning	V	400 V / 50 Hz, 3/N/PE~		
	Säkring	A	25	32	50
Effekt och prestanda	Värme-effekt[1]	kW	12-40	15-70	25-100
	El-förbrukning[1]	kW	3,5-15	4,5-20	6,5-30
	COP[1]	-	4,6-5	4,6-5	4,6-5
Kylkrets	Köldmediemängd	kg	--	--	--
	Max funktionstryck	bar	42		
	Olja	-	POE		
	Oljemängd kompressor	kg	--	--	--
Värmekrets	Max/min temperatur	°C	60/20		
	Max funktionstryck	bar	3		
	Nominellt flöde (ΔT = 5 °C)	l/h	2000-7000	2500-7200	4300-17200
Brinekrets	Max/min temperatur	°C	20/-10		
	Max funktionstryck	bar	3		
	Nominellt flöde (ΔT = 3 °C)	l/h	2500-8500	3200-15000	5400-21700
	Rekommenderat frysskydd	-	Enligt lokala normer och bestämmelser		
Ljudisolering	Ljudnivå[2]	dB	--	--	--
Dimensioner	Höjd x bredd x djup	mm	1000 x 950 x 900		
Vikt	Vikt (ej fylld)	kg	280	320	350

1) Enligt EN 14511, 0/-3 – 30/35 °C.

1) Enligt EN 14511

8.8 Beregning av netto spesifikk energibehov

Systems energy

	kWh
Zone heating	32963.3
Zone cooling	0.0
AHU heating	14857.1
AHU cooling	9831.1
Dom. hot water	15893.0
Cooling	9831.1
Heating	63713.4

Energibehov oppvarming [kWh/år]:

47820.4

Netto spesifikk beregnet energibehov til oppvaming [kWh/(m^2 * år)]:

19.25

Netto spesifikk beregnet energibehov til kjøling [kWh/(m^2 * år)]:

3.96

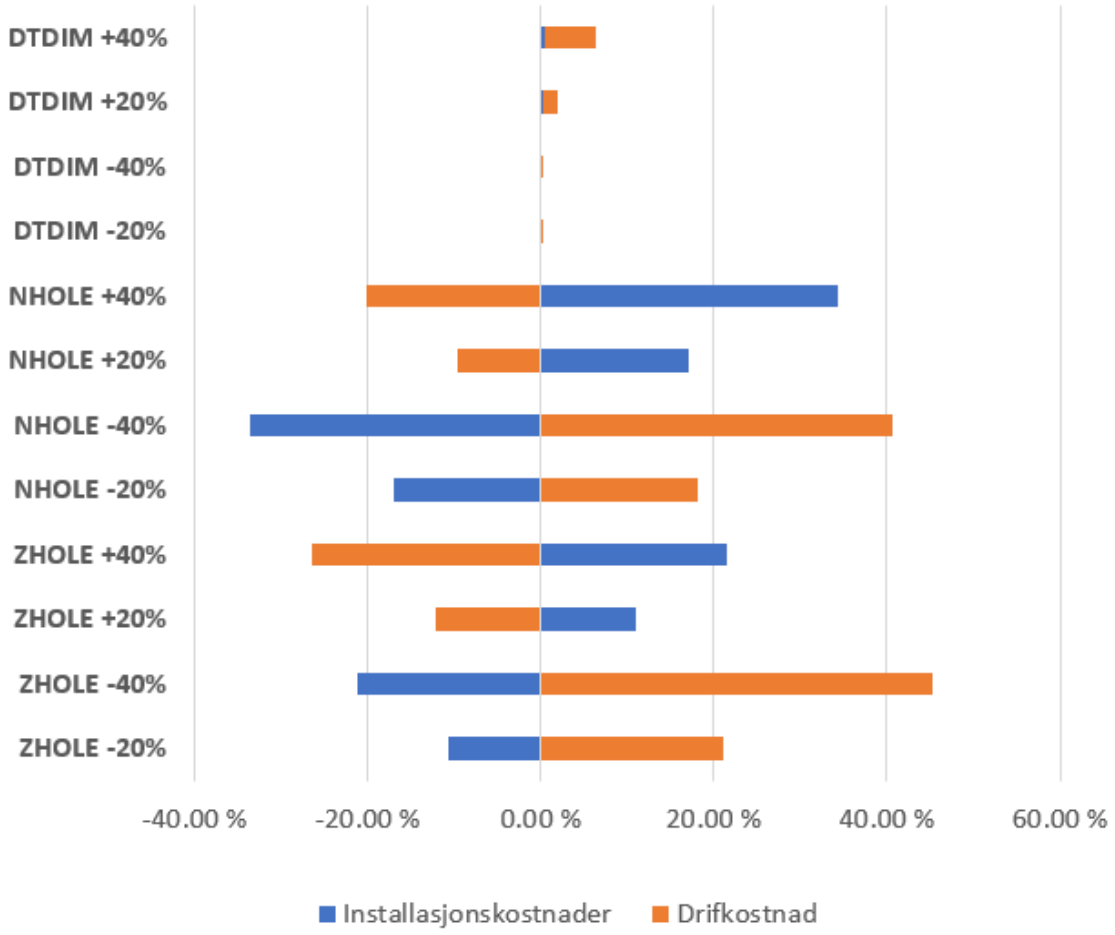
8.9 Antall timer turtemperaturen til brønnparken er under 1 °C

Hva		Verdi [timer]	Prosent endring fra opprinnelig verdi
Opprinnelig		357	-
Dybde på borehull	-20%	496	38.94 %
	+20%	205	-42.58 %
	-40%	993	178.15 %
	+40%	100	-71.99 %
Antall borehull	-20%	460	28.85 %
	+20%	247	-30.81 %
	-40%	627	75.63 %
	+40%	175	-50.98 %
Endring av ΔT	-20%	288	-19.33 %
	+20%	347	-2.80 %
	-40%	248	-30.53 %
	+40%	346	-3.08 %
GenOpt		26	-92,72 %

8.10 Antall timer returtemperaturen fra brønparken er over 15 °C

Hva		Verdi [timer]	Prosent endring fra opprinnelig verdi
Opprinnelig		53	-
Dybde på borehull	-20%	70	32.08 %
	+20%	37	-30.19 %
	-40%	138	160.38 %
	+40%	23	-56.60 %
Antall borehull	-20%	94	77.36 %
	+20%	16	-69.81 %
	-40%	248	367.92 %
	+40%	2	-96.23 %
Endring av ΔT	-20%	71	33.96 %
	+20%	28	-47.17 %
	-40%	84	58.49 %
	+40%	16	-69.81 %
GenOpt		0	-100 %

8.11 Prosentvis endring av investeringskostnader og driftskostnader - samlet



8.12 Samlet tabell for resultatene fra differansemetoden

Hva		ΔNV
Dybden på borehullen	**-20**	**kr 75 934**
	-40	**kr 143 300**
	+20	**-kr 96 473**
	+40	**-kr 185 142**
Antall borehull	**-20**	**kr 150 163**
	-40	**kr 289 912**
	+20	**-kr 169 474**
	+40	**-kr 337 805**
Endring av ΔT	**-20**	**kr 1 130**
	-40	**kr 745**
	+20	**-kr 6 274**
	+40	**-kr 17 985**
GenOpt		**-kr 584 680**