

Energibruk og inneklima i lavenergi skolebygning

Maria Berg Hestad

Master i produktutvikling og produksjon
Oppgaven levert: Juni 2010
Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Oppgavetekst

Bakgrunn

Bygningssektoren ses på som den sektoren hvor det med rimelige kostnader på relativt kort sikt kan gjøres betydelige reduksjoner i energibruken. Bygningssektoren står for ca 40 % av den totale landbaserte energibruken i Norge, tallene for EU er omtrent tilsvarende. Denne sektoren bidrar derfor vesentlig til globale utslipp av CO₂.

Dette har ført til at regelverket for energibruk i nye bygninger har blitt skjerpet, men samtidig er det også stort fokus på bygninger som tar sikte på vesentlig lavere energibruk enn myndighetskravene tilsier. Det er også innført en ny energimerkeordning hvor de beste klassifiseringene stiller vesentlig strengere krav enn forskriftene.

Samtidig er det viktig at redusert energibruk ikke forringer inneklimate slik at brukere blir utilfredse eller får redusert produktivitet.

Trondheim kommune tok sent høsten 2008 i bruk den nye Nardo skole. Skolen har en utførelse og tekniske løsninger som tilsier en energibruk som er vesentlig lavere enn forskriftskravene, men det er så langt ikke gjennomført en grundig analyse av oppnådde resultater. Kommunen har uttrykt et ønske om en slik gjennomgang.

Mål

Målet med oppgaven er å kartlegge total og formålsdelt energibruk for Nardo skole, slik at de valgte løsninger kan vurderes opp mot krav i teknisk forskrift og ny energimerkeordning. Dessuten skal det undersøkes om de benyttede tekniske og bygningsmessige løsninger bidrar til å gi et tilfredsstillende inneklimate.

Det skal også gjøres en helhetsvurdering av de valgte løsninger med tanke på anvendelse i skoler generelt, og en sammenligning med andre løsninger ut fra energibruk, miljøeffekter og økonomi.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

Kandidaten skal i samråd med veileder i løpet av 14 dager lage en plan for oppgaven med beskrivelse av detaljerte mål og hvilke avgrensninger som skal gjelde, men noen hovedpunkter i oppgaven kan være:

1. Beskrivelser og bakgrunnsinformasjon
2. Innsamling og bearbeiding av måledata for energibruk
3. Kartlegging/vurdering av inneklimate
4. Beregninger/simuleringer for sammenligning med målte verdier for inneklimate og energibruk.
5. Vurderinger i forhold til myndighetskrav og energimerkeordning
6. Vurdere de valgte løsningers egnethet generelt, og sammenligne med andre løsninger/ tiltak ut fra energibruk, miljø og økonomi.

" - "

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for energi- og prosesssteknikk ved NTNU-Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet våren 2010. Formålet med oppgaven er å analysere energibruken og inn klima ved Nardo Skole og Barnehage som er en lavenergi skolebygning beliggende på Nardo i Trondheim. Ekstern oppdragsgiver er Trondheim Kommune, som har stilt alle sine data tilgjengelig for analysering.

Det er stor interesse for denne skolen, både lokalt og nasjonalt, på grunn av de høye ambisjonene for lavt energibruk og de tekniske løsninger som er valgt. I og med at det stilles en del usikkerhet til målere og registrerte data i Energioppfølgingssystemene ved Nardo Skole og Barnehage, er resultatene funnet i denne rapporten av sensitiv karakter. Derfor er denne rapporten båndlagt i tre år.

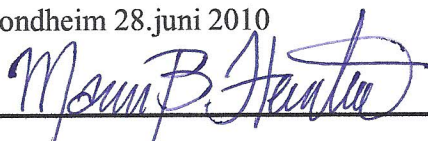
I utgangspunktet skulle oppgaven omhandle like mye inn klima som energibruk. Det skulle ses på hvilken påvirkning utbredt bruk av massivtre har på inn klimaet. Det ble derimot tidlig avklart at massivtre av gran har minimal avdampning av terpener, og samtaler med brukere av bygget gav inntrykk av at de kun hadde temperaturrelaterte problemer med inn klimaet. Da våren 2010 var relativt kjølig ble det ikke nok grunnlag for å gjøre en helhetlig vurdering av temperatursvingninger ved vedvarende solinnstråling. Vurderingen av energibruken har derfor blitt viet en mye større andel av denne rapporten, enn vurderingen av inn klimaet.

Jeg vil også benytte sjansen til å si at denne rapporten er skrevet med et kritisk blikk på energibruken og inn klimaet ved skolen. Ved lesning kan det virke som at dette slett ikke er noen god skole sett i dette perspektiv. Dette medfører ikke riktighet, da levert energi til bygget er svært lavt i forhold til andre skoler. Det ble ikke prioritert i denne rapporten å fokusere mye på det som fungerer godt, men heller fokusere på det som kan forbedres. Dette for å få størst læringsutbytte. Det er også dette som er interessant for Trondheim Kommune å få kartlagt.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til veilederen min ved NTNU – professor Hans Martin Mathisen, for alltid å ha døren på gløtt. Jeg vil også takke Jørn Stene ved Sintef, for engasjerte innspill og heftige diskusjoner, og Linda Eimhjellen for å ha stilt sitt materiale til disposisjon. I Trondheim Kommune vil jeg gjerne takke Liv-Bente Grande, Johannes Lipphardt, Tor Brekke, Stian Haug Sandnes og Roy Tømmervik. Denne rapporten hadde ikke kunne blitt til uten deres bidrag.

Sist, men ikke minst vil jeg gjerne takke samboeren min Rune, og datteren min Milla Johanne, for å holde ut med meg denne siste hektiske perioden av masterstudiet.

Trondheim 28. juni 2010



Stud.tech. Maria Berg Hestad

Sammendrag

Nardo skole og barnehage (NSOB) er en prestisjeskole sett i energi- og byggteknisk forstand. Den ble ferdigstilt i oktober 2008 og har vært i drift i snart to år. Energisystemet ved skolen består av en varmepumpe med energibrønner i fjell, som er grunnlast i oppvarmingssystemet. Fjernvarme er benyttet som spisslast. Skolen er bygd med utbredt bruk av massivtre. Dette gjør at bygget blir karakterisert som en lettbygning, og behovet for kjøling blir dermed større. Dette var grunnen til at det ble valgt en løsning med varmepumpe, for at energibrønner kunne forsyne bygget med *gratis* kjøling.

Denne rapporten tar sikte på å gjøre en analyse av energibruk og inneklima ved skolen, samt å se på egnethet med de løsninger som er valgt ut ifra økonomi og miljø.

Totalt levert energi er svært lav ved skolen, bare 85 kWh/m² per år. Skoledelen har lavere spesifikk energibruk enn barnehagedelen, så selv om NSOB sett under ett får energimerke B, oppnår skoledelen energimerke A.

Når det er sagt så er investeringene gjort i energisystem, med varmepumpe og energibrønner, en relativt stor kostnad. Varmepumpen er ikke veldig effektiv, den har kun COP lik 2,7 ved designtilstander og en årsvarmefaktor på 3. Dette skyldes antakeligvis at det er en kjølemaskin. Dette gjør at lønnsomheten ved investeringen ikke svarer seg ved dagens elektrisitetspris. Da beslutningen ble tatt om å velge varmepumpe ble det lagt til grunn en økt fremtidig elektrisitetspris på 125 øre/kWh. Ved denne forutsetningen blir det lønnsomhet i investeringen.

Inneklimabetraktninger viste at CAV-ventilasjon som er hovedsaklig brukt i bygget, ikke klarer å ta unna effekttopper av kjølebehov ved sommerforhold. Simuleringer viste at noen klasserom mot sør kan oppleve temperaturer opp mot 30 °C over store deler av skoletiden. Dette skyldes i hovedsak utilstrekkelig solavskjerming, men også at innstillinger i SD-anlegg for frikjøling om natten ikke er optimal.

Det er identifisert en del forhold ved skolen som ikke er optimale løsninger, både ved tekniske anlegg og brukervaner, som gjør at energibruken er større enn nødvendig. Dette gjelder punktavtrekksvifter, elektriske varmekabler i utendørs trappepassasje, lysstyring, tørrkjøler over tak på datarom og brukervaner.

Ved simuleringer av energibruken i Simien ble det avdekt at varmebehovet i bygningen er antakeligvis større enn det som er antatt ut ifra krav og tetthetsmålinger. Økt varmebehov i bygningen avdekkes ikke så lett av levert energi, da varmepumpen leverer med en faktor på tre. Dette gjør at resultatet tilsynelatende kan se bedre ut enn det faktisk er.

Innhold

Forord	I
Sammendrag.....	II
Innhold.....	III
Figurliste	V
Tabelliste.....	VII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Rapportens oppbygning	1
1.3 Metode og verktøy.....	2
2 Nardo Skole	4
2.1 Beliggenhet	4
2.2 Konstruksjon og materialer.....	5
3 Lavenergiskole	8
4 Tekniske anlegg	10
4.1 Varmeanlegg	10
4.2 Varmepumpe.....	13
4.3 Klimasystem	16
4.4 Automatikk	19
5 Beregninger.....	22
5.1 NS 3031	22
5.2 U-verdi.....	22
5.3 Bruk	23
5.4 Areal	24
5.5 Varmetilskudd personer.....	25
5.6 Lys.....	26
5.7 Tørrkjøling datarom	29
5.8 Tetthetsmålinger.....	29
6 Målerfeil i EOS, SD-anlegg og VVS-tegninger.....	31
6.1 Energiguide Pluss (EOS)	31
6.2 Feilmerking av målere på VVS tegning	34
6.3 Feil i SD-anlegget.....	35
6.4 Diskusjon målerfeil	36

7	Energibruk	38
7.1	Måledata	38
7.2	Lvert energi	39
7.3	Graddagskorrigerings	40
7.4	Elektrisitetsspesifikt energiforbruk	42
7.5	Energibudsjett	44
7.6	Varmepumpen	48
7.7	Ventilasjon og SFP-faktor	50
7.8	Kjøling, utendørs elektriske varmekabler og avtrekk	53
7.9	Diskusjon energibruk	58
8	Inneklima	59
8.1	Innetemperatur 7.trinn 11.juni 2010	60
8.2	Diskusjon innelima	62
9	Simuleringer i Simien	63
9.1	Inputverdier og fremgangsmåte ved simulering	63
9.2	Energibudsjett	65
9.3	Lvert energi til bygget	67
9.4	Innetemperatur fra simulering	68
9.5	Evaluerings av simuleringen	73
9.6	Diskusjon simulering	74
10	Økonomi	76
10.1	Lønnsomhetsvurdering fra anbud	76
10.2	Lønnsomhetsvurdering målte forhold	78
10.3	Følsomhetsvurdering	82
10.4	Diskusjon økonomi	86
11	Miljø	88
11.1	Utslipp knyttet til elektrisitetsproduksjon	88
11.2	Utslipp knyttet til fjernvarme	88
11.3	CO ₂ utslipp NSOB	91
12	Enovas byggstatistikk og energimerkeordning	93
12.1	Enovas byggstatistikk	93
12.2	Energimerkeordning	94
13	Diskusjon	97

14	Konklusjon	98
15	Forslag til videre arbeid	100
16	Kilder	101

Figurliste

Figur 1: Landskapsarkitektplan fra anbudsgrunnlag. <i>Illustrasjon: Løvetanna Landskap AS (FDVBygg 2008)</i>	5
Figur 2: Bruk av massivtre i konstruksjonen. <i>Illustrasjon Eggen arkitekter</i>	6
Figur 3 Barnehagen vertikal 4 Massivtrevegg/kjelleryttervegg. <i>Illustrasjon Eggen arkitekter</i> .	6
Figur 4 Innvendig Screen NSOB. <i>Foto: Linda Eimhjellen</i>	7
Figur 5 Kravsspesifikasjon fra anbudsgrunnlag NSOB sammenlignet med forskriftskrav og lavenergi- og passivhusstandard. <i>Illustrasjon Linda Eimhjellen</i>	9
Figur 6 Utsnitt av System 3201 Varmesentral og varmedistribusjonssystem eksklusiv varmpumpe og beredere. <i>Illustrasjon: VVS Norplan</i>	11
Figur 7: Forslag til kompeniseringskurve for varmeanlegg, hovedkurs ved NSOB. (VVSNorplan 2008)	12
Figur 8: Utsnitt av System 3202 Varmepumpe ved NSOB (VVSNorplan 2008).....	13
Figur 9 Systemskisse varmpumpe. (Chiller).....	14
Figur 10: Utsnitt av System 3101 Varmtvannsberedning NSOB. <i>Illustrasjon: VVS Norplan (VVSNorplan 2008)</i>	16
Figur 11: Ventilasjonsanleggenes oppbygning. <i>Illustrasjon VVS Norplan</i>	17
Figur 12 Sett punkter for frikjølingsmodus for ventilasjonsanlegg til trinn 7. <i>Illustrasjon: Siemens(Desigo 2010)</i>	19
Figur 13: Systemtopologi (Siemens 2008) <i>Illustrasjon Siemens AS</i>	20
Figur 14 Krav til U-verdier i anbudsgrunnlaget <i>Illustrasjon: Linda Eimhjellen</i>	22
Figur 15 Aktivering av lysfølere kun ved bevegelse i korridor i Undervisningsfløy ved befaring. Rødt viser korridoren hvor det var bevegelse, og LYS indikerer hvilke sensorer som ble aktivert og skrudde på lyset.....	28
Figur 16: Målerfeil i Energiguide Plus. Tilsynelatende ser det ut som det er brukt 10 000 kWh på kjøling i årets kaldeste uke. <i>Illustrasjon Entro</i>	31
Figur 17. Årets kaldeste uke finnes det ikke data for.	32
Figur 18 Utsnitt av energiregnskap under fanen Årsdetaljer. Fanene som må velges for å finne denne oversikten er merket med rødt. <i>Illustrasjon: Entro (Entro 2010)</i>	33
Figur 19 Utsnitt av tegning 3201- Varmesentral viser virkelig plassering og navn på målere.	35
Figur 20 Feil merking av tur- og returkrets varmpumpen til varmeanlegget i SD-anlegg. TF 40, som er merket med rødt (varm side), holder i virkeligheten lavere temperatur enn TF 41, indikert med blått (kald side). <i>Illustrasjon: Siemens(Desigo 2010)</i>	36
Figur 21 Levert energi Fastkraft og Fjernvarme for året mai 2009 t.o.m april 2010. Ukeforbruk.	39
Figur 22 Datarom før og etter aktivering av skjerm.....	44
Figur 23 Varmepumpe el-forbruk og produsert varme. <i>Illustrasjon: Entro</i>	49

Figur 24 Energibruk tilluftsvifter for NSOB året mai 2009 til april 2010.....	52
Figur 25: Energibruk tilluftsvifter gjennom sommeren.....	53
Figur 26 Energi til elektriske kabler i frostfri passasje.....	55
Figur 27 Plassering av trinn 7 i bygget viser himmelretning nordøst.....	60
Figur 28 Innetemperatur 7.trinn målt 11.juni.....	60
Figur 29 Screening i trinn 7 etter stengetid. Samtlige vinduer stod åpne og bortimot all screening er i bruk. Man ser at screeningen er ganske gjennomskinnelig.....	62
Figur 30 Varmebehovet i forhold til kuldebroverdi.....	66
Figur 31 Temperaturvariasjon gjennom et sommerdøgn for rommet <i>tegning/tekstil. (Simien 2010)</i>	69
Figur 32 Varmetilskudd/Kjøling (Simien 2010).....	70
Figur 33 Temperaturkurver ved økt driftstid på ventilasjonsanlegget. (Simien 2010).....	70
Figur 34 Utvendige persiener som solavskjerming. (Simien 2010).....	71
Figur 35 Varmetilskudd/Kjøling ved valg av utvendige persiener. (Simien 2010).....	73
Figur 36 Beregningsunderlag energi fra VVS Norplan sin lønnsomhetsvurdering. Totalt varmebehov er ganske nært det målte forbruket på 330 000 kWh/år.....	76
Figur 37 Beregningsgrunnlag for VVS Norplans lønnsomhetsvurdering av varmpumpeanlegget <i>Illustrasjon: VVS Norplan. (RIV 2007)</i>	77
Figur 38 Beregningsgrunnlag for VVS Norplans lønnsomhetsvurdering av varmpumpen. <i>Illustrasjon: VVS Norplan</i>	77
Figur 39 Nåverdifølsomhet ved varierende elektrisitetspris.....	82
Figur 40 Nåverdifølsomhet ved ulike krav til avkastning, internrente.....	83
Figur 41 Følsomhet for levetidsbetraktning av varmpumpeanlegg ved NSOB.....	84
Figur 42 Følsomhetsvurdering ved økende kjølebehov. Elektrisitetspris lik 1,25 kr/kWh.....	85
Figur 43 Følsomhetsvurdering for økende årsvarmefaktor, SPF.....	86
Figur 44 Brenselmiks levert fjernvarme i Norge, gjennomsnitt fra 2005. Kun 34 % dekkes av avfall. <i>Illustrasjon: Fjernvarmeforeningen.</i>	89
Figur 45 Fjernvarmeproduksjon 1983- 2006 fordelt på de ulike energikilder. Man ser at energi fra avfall utgjør ca. 44 % av den totale produksjonen i 2006, og at andelen fra avfall ikke øker like mye som den totale produksjonen, men har ligget på et stabilt nivå de siste årene. <i>Illustrasjon: Trondheim Energi Fjernvarme AS</i>	90
Figur 46 Spesifikke utslipp fra fjernvarmeanlegg fra 1998 til 2007. Grafen av Olje og gass viser andelen av dette. <i>Illustrasjon: NVE</i>	91
Figur 47 Gjennomsnittlig temperatur og stedskorrigert spesifikk tilført energi i 2007 for de største bygningsgruppene (Enova[2] 2007).....	93
Figur 48: Eksempel på Energiattest (NVE[2] 2009).....	94
Figur 49 Karakterskalaen i energiattesten (NVE 2009).....	95

Tabelliste

Tabell 1: Forslag til settpunkttemperaturer – utekompensering ved NSOB. (VVSNorplan 2008).....	12
Tabell 2: Settpunktverdier for utekompensering av varmepumpe.....	13
Tabell 3: Effekt og energibehov til skolebygg og barnehager gitt av NS 3031 (NS 3031 2007).	22
Tabell 4: Driftstider NSOB.....	24
Tabell 5: Stoffskifte ved ulike aktiviteter. (ENØK 2007).....	25
Tabell 6: Varmetilskudd pr. trinn og for hele skolen og barnehagen.....	26
Tabell 7: Total spesifikk lyseffekt for hele NSOB.....	27
Tabell 8: Eksempel på differanse mellom Målerregistreringsverdier og excelark under Årsdetaljer i Energiguide Pluss.....	34
Tabell 9: Feilmerkinger i VVS tegning i forhold til EOS og virkeligheten.....	35
Tabell 10: Totalt levert energi til NSOB for årene 2009 og nyeste år fra mai 2009 til og med april 2010. Basert på tall fra TEV.....	39
Tabell 11: Graddagskorrigeret energibruk.....	41
Tabell 12: Avvik fra Norm gradtall. De siste fem årene har vært betydelig mildere enn normalåret som brukes som referanse.....	41
Tabell 13: El-spesifikt forbruk. Tall er basert på undermålere i SD-anlegg for de fire første postene, og summen av disse er fratrukket TEVs fastkraft måler og gir dermed restposten belysning, pumper og utstyr, slik at det til sammen blir likt TEVs måler.....	42
Tabell 14: El-spesifikt forbruk med antatte verdier for belysning, tørrkjøler datarom, pumper og utstyr.....	43
Tabell 15: Levert og produsert varme i bygget. Dette representerer det totale varmebehovet.....	44
Tabell 16: Varmedistribusjon brukersiden. Tall er kun basert på undermålere. Data gjelder for året 2009/2010.....	45
Tabell 17: Kjølebehovet i bygget. Frikjøling er basert på tall fra undermåler i SD-anlegget og stilles høy usikkerhet til. Tørrkjøling er et estimert forbruk beregnet i kapittel 5.7.	46
Tabell 18: Energiforbruk brukerside til ulike poster på NSOB. Tall er basert på undermålere fra SD-anlegg, og korrigeret for tall for levert/produsert varme. Belysningsposten er et estimat ut ifra veiledende verdier for skoler. Utstyrsposten er fratrukket belysning.....	46
Tabell 19: Sammenligning av målt energiforbruk med prosjektert energiforbruk fra rådgivende ingeniør VVS Norplan og tredjepartskontroll Isocare AS.....	47
Tabell 20: SPF, årsvarmefaktor varmepumpe NSOB. Tall basert på undermålere fra SD- anlegget.....	48
Tabell 21: Beregnet SFP-faktor for ventilasjonsanleggene på NSOB.....	51
Tabell 22: Energibudsjett i Simien sammelignet med målt energibudsjett og forprosjekterte energibudsjett fra VVS Norplan og Isocare AS.....	65
Tabell 23: Levert energi til bygget fra simulering i Simien sammenlignet med målt forbruk.....	67
Tabell 24: Energiforbruk forutsatt ved lønnsomhetsvurdering, avrundede verdier av målt energiforbruk.....	78
Tabell 25: Vektet levetid for varmepumpeløsningen og tørrkjøleren.....	78

Tabell 26: Ulike lønnsomhetsbetraktninger for sammenligning av varmepumpeanlegg i forhold til kjølemaskin/tørrkjøler for NSOB	80
Tabell 27: CO ₂ -utslipp ved NSOB ved dagens varmepumpeløsning.....	91
Tabell 28: CO ₂ -utslipp ved NSOB ved alternativ løsning.....	91
Tabell 29: CO ₂ -utslipp ved NSOB ved dagens varmepumpeløsning for utslippsrater gitt av Simien	92
Tabell 30: Fordeling av energibruk for skoledel og barnehagedel basert på beregning i Simien.	96
Tabell 31: Målt forbruk fordelt på skoledel (77 %) og barnehagedel (23 %). Merk at det nå er forskjellige arealer benyttet, derfor kan man ikke summere opp spesifikk energibruk.	96

1 Innledning

N SOB er en prestisjeskole med tanke på tekniske løsinger og lavt energibruk. Skolen har vært i bruk i snart 2 år. Man vet at levert energi til bygget er svært lavt, men enda er det ikke foretatt en grundig analyse av energibruken ved bygget. Dette er i hovedsak hensikten med denne rapporten.

1.1 Bakgrunn

Nardo Skole og Barnehage (NSOB) stod ferdig i oktober 2008. Høsten 2008 skrev masterstudent i byggeteknikk, Linda Eimhjellen i sitt forprosjekt om; *Nardo Skole-Prosjekterfaringer*, fra byggefasen av skolen (Eimhjellen 2008). Dette er en rapport som gir innblikk i hvordan prosjektet ble gjennomført, basert på blant annet personlige meddelelser fra entreprenører, konsulenter og underentreprenører. Våren 2009 fortsatte hun arbeidet med å kartlegge brukererfaringer og energibruk ved NSOB i sin masteroppgave *Nardo Skole-Brukererfaringer og energibruk* (Eimhjellen 2009). Her ble det foretatt vurderinger av inn klima basert på målinger og intervjuer med brukere av bygget. Energibruken var det derimot knyttet så stor usikkerhet til siden varmepumpen delvis hadde vært ute av drift, og en del innreguleringsproblemer i starten gjorde at datagrunnlaget var for tynt for å gjøre en reell vurdering av energibruken så langt. Derfor var det ønskelig at en ny oppgave skulle omfatte nettopp dette.

Da disse rapportene til sammen er en god beskrivelse av NSOB, både i form av brukererfaringer, byggeteknikk og tekniske anlegg, er de brukt som et utgangspunkt for bakgrunnsinformasjon og kildesøk.

1.2 Rapportens oppbygning

Først presenteres Nardo Skole og Barnehage, dets beliggenhet og bruk etterfulgt av en teknisk beskrivelse av energisystemet ved skolen. Her vil det også bli vurdert ulike fordeler og ulemper med systemet i forhold til dets oppbygning.

Deretter følger beregninger for ulike inputverdier til simuleringsprogram og andre estimat av formålsdelt energibruk for det som ikke måles, til bruk ved analyse av energibruk.

I utgangspunktet skulle deretter kapittelet om energibruk presenteres. I ettetid ble det klart at usikkerhet til målinger kan være av så stor betydning, at det ble valgt å gjøres oppmerksom på disse *før* evalueringen av energibruken ble presentert. Alle beregninger er gjort med utgangspunkt i totalt levert energi. Usikkerhetene knyttes opp imot undermålere i SD-anlegget, så det er fordelingen av energibruken og effektiviteten til de ulike energisystem det stilles usikkerhet til.

I kapittelet om energibruk vurderes levert energibruk og formålsdel energibruk til de ulike underposter i energibudsjettet. Dette er verdier som er målte via SD-anlegg og presentert i energioppfølgingsystemet. Herfra har de vært tilgjengelig for nedlasting. Der hvor det ikke

har vært målere har denne energibruken blitt estimert ut ifra levert forbruk og ulike antagelser. Gjennom hele kapittelet blir det gjort vurderinger av delresultater, og kommentert der hvor energibruk avviker fra hva som kunne forventes.

Etter at energibruken er presentert vurderes inneklimaet. Her er det tatt utgangspunkt i det døgnet som målte høyeste utetemperatur våren 2010, og vurdert målinger gjort av innetemperaturen ved et klasserom som opplevde de høyeste temperaturene. Her vil også det bli vurdert om tekniske løsninger for ventilasjon er tilstrekkelig for å opprettholde et godt inneklima.

I kapittel 9 presenteres simuleringer av energibruken og inneklima foretatt i simuleringverktøyet Simien. Først presenteres antakelser og forutsetninger gjort ved simuleringen, før resultatet presenteres. Dette resultatet blir sammenlignet med det målte forbruket og beregninger gjort av konsulenter ved forprosjektering. Vurderinger av inneklima vurderes opp i mot resultater fra målinger.

Så vil det bli vurdert økonomi knyttet til investeringen av varmepumpeanlegget med energibrønner, i forhold til alternativet med fjernvarme som varmforsyning og en kjølemaskin med tørrkjøler til å dekke kjølebehovet. Lønnsomhet vil bli vurdert ved ulike krav og forutsetninger, og følsomhetsanalyser blir foretatt for å se hvilke parameter lønnsomheten er mest avhengig av.

Energibruken ved Nardo Skole og Barnehage blir vurdert opp i mot andre bygg, og det blir gjort en vurdering av energimerket. Helt til sist blir CO₂-utslipp knyttet til energibruken ved skolen vurdert.

1.3 Metode og verktøy

For kildesøk og bakgrunnsinformasjon om bygget er det tatt utgangspunkt i Linda Eimhjellens rapporter (Kilde). For mer utfyllende detaljer er det i stor grad benyttet informasjon fra FDV-dokumentasjon både teknisk og byggteknisk. Der det har manglet dokumentasjon har dette blitt innhentet fra totalentreprenør, Skanska, eller direkte fra underentreprenør. Der hvor noe har vært uklart, eller ikke beskrives av FDV-dokumentasjon, er det tatt kontakt med per telefon eller e-post med de som måtte sitte på denne informasjonen. Det har vært en veldig god tilgjengelighet på informasjon gjennom hele prosjektet, både fra Trondheim Kommune og Skanska.

Det er benyttet ulike verktøy ved utforming av denne rapporten:

- Microsoft Word 2007 for tekstbehandling.
- Microsoft Excel 2007 ved beregninger i regneark.
- Energi Guiden Pluss for nedlasting av energidata og grafiske fremstillinger.
- Desigo Insight for å få innblikk i hvordan anlegget styres ved settpunkter, driftstider etc.
- Simien for simulering av energibruk og inneklima i bygget.
- Norske Standarder for forutsetninger og veiledende verdier ved beregninger. I hovedsak NS 3031.

I tillegg er det gjort observasjoner ved befaring av bygget, både av teknisk anlegg og av brukervaner.

2 Nardo Skole

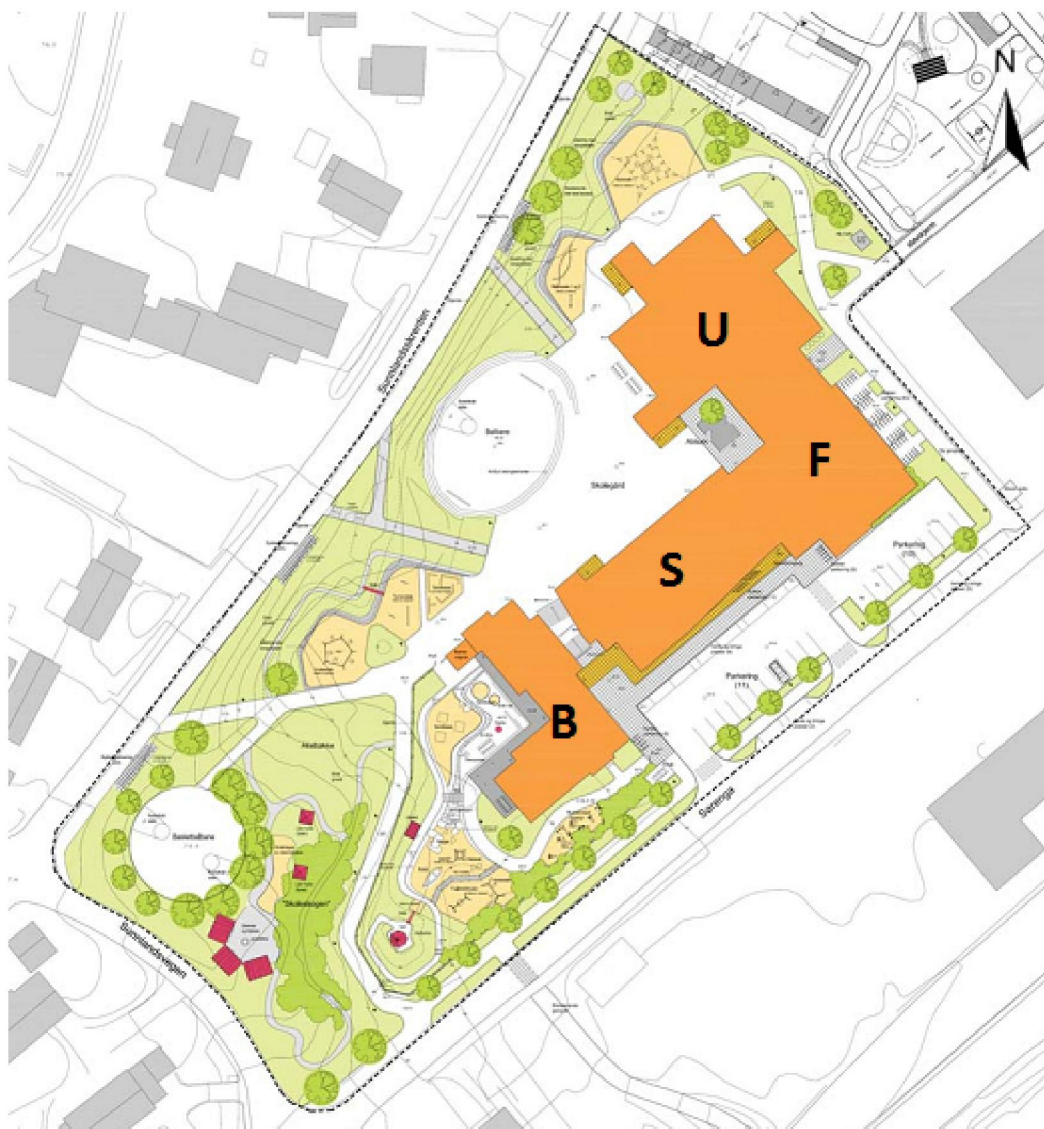
Nardo Skole og Barnehage (heretter kalt NSOB) ble ferdigstilt oktober 2008. Barnehagen flyttet inn i bygget i august 2008. Skolen er dimensjonert for 385 elever, med 55 elever på hvert trinn fra 1.-7.trinn, mens barnehagen er dimensjonert for 72 barn. Bygget er på omtrent BTA=6600 m². Kostnaden til totalentreprisen skrev seg til 185 MNOK, inkludert inventar (Eimhjellen 2009).

I Norge er det en nasjonal satsning på mer utstrakt bruk av tre i bygninger, og i 2006 lanserte Trondheim kommune sin plan for å bli en moderne treby; *Trebyen Trondheim*. NSOB er i dette henseende et pilotprosjekt på grunn av utstrakt bruk av massivtre, men også et pilotprosjekt med tanke på energibruk. Ambisjonen var å bygge en lavenergiskole, og dette gjenspeiles både i bygningskroppen, i tekniske anlegg og i valgt energisystem. Det er benyttet en væske-vann varmepumpe med energibrønner som grunnlast til oppvarming, og fjernvarme som spisslast. Energibrønner benyttes også til kjøling i sommerhalvåret.

2.1 Beliggenhet

Nardo Skole ligger tre kilometer sør for Trondheim sentrum. Nord- og vestenfor er det boliger, mens i sør og øst er det industri. 100 meter sørøst for skolen passerer E6-omkjøringsveien som utgjør en betydelig støykilde i området. Dette er løst ved at skolen ligger lengst sørøst på tomten, slik at skolebygningen skjermes skolegården fra støyen. Skolen er også unik i så henseende at det er skole og barnehage i ett. Barnehagen har dermed tilgang på gymsal og andre fellesområder som gjør aktiviteter mer fleksibel. Det er tenkt at nærheten til skolen skaper trygghet for de barna som er ferdig med barnehagen og som skal begynne på skolen. Barnehage og skole er to separate bygg som er delt av en trappepassasje, *Veita*. De henger likevel sammen av en gangbro i glass som går over *Veita*. Figur 1 viser hvordan NSOB er plassert i terrenget.

Figur 1: Landskapsarkitektplan fra anbudsgrunnlag. Illustrasjon: Løvetanna Landskap AS (FDVBygg 2008)



Barnehagen er bygningen mot sørvest merket med B. U indikerer undervisningsfløy, F er Fellesbygg med kunst og håndverk og gymsal, og S står for sørfløy med trinn 1, SFO og administrasjon på plan 0.

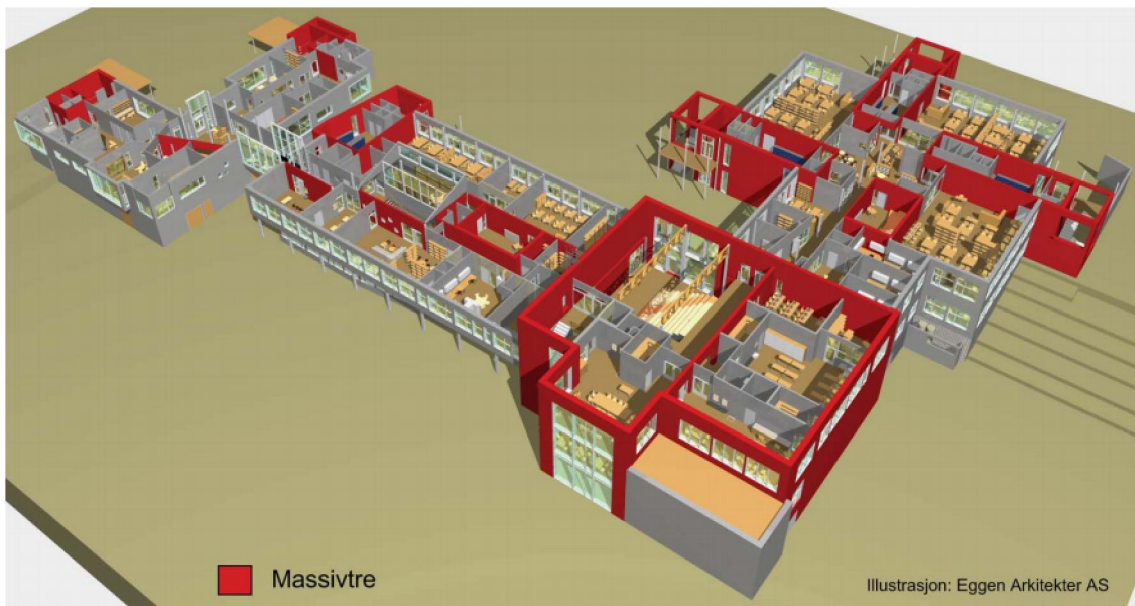
2.2 Konstruksjon og materialer

Informasjon om konstruksjon og materialer er hentet fra Linda Eimhjellens masteroppgave ”Nardo-Brukererfaringer og energibruk” (Eimhjellen 2009) som er basert på muntlig meddelelse fra entreprenør, samt FDV Byggteknisk dokumentasjon. (FDVBygg 2008)

Nardo skole er bygd med utstrakt bruk av trematerialer, både i bygningskonstruksjonen, kledning og interiør. De to øverste etasjene er en kombinasjon av en konstruksjon med limtre i dragere og søyler, bærende massivtre og massivtre i etasjeskillere og vegger. Til sammen er det brukt 10 000 m² massivtre i bygget. Sokkeletasjen er bygd på tradisjonell måte i betong med hulldekker. Figur 2 viser hvor det er brukt massivtre i bygget. Hovedsakelig er det brukt

massivtre i alle garderober, noen formidlingsrom og i *hjørnebygget*, som ligger nærmest på illustrasjonen.

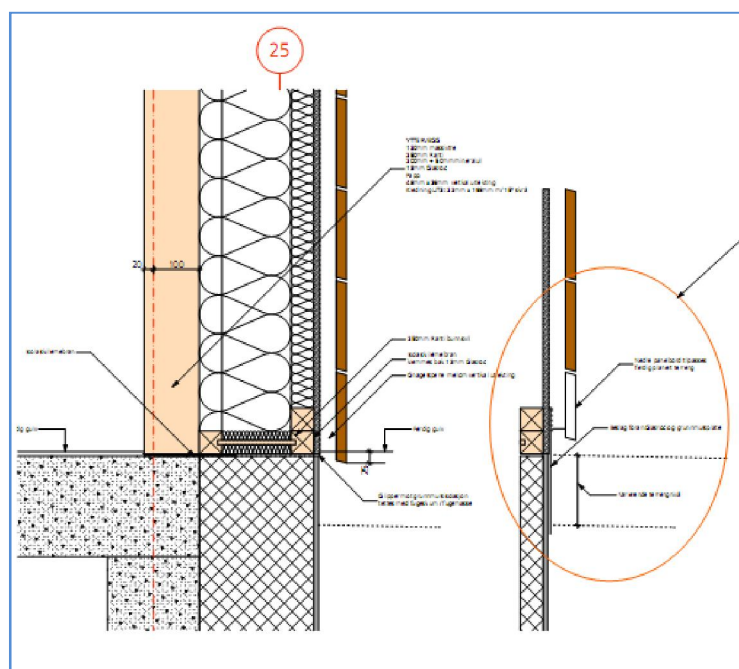
Figur 2: Bruk av massivtre i konstruksjonen. Illustrasjon Eggen arkitekter



Massivtre av gran kommer i store elementer med bredder på inntil 1,2 meter og lengder på inntil 12 meter. Tykkelsen er på inntil 181 mm. Det består av inntil 5 lag krysslagte trebord som er limt sammen under høyt trykk. I dekkekonstruksjonen er massivtre levert i T-profiler med skrudd og limt limtrebjelke på undersiden.

Figur 3 viser et eksempel på oppbygning av massivtrevegg ved NSOB. Eksemplene gjelder for barnehagen massivtrevegg/kjelleryttervegg.

Figur 3 Barnehagen vertikal 4 Massivtrevegg/kjelleryttervegg. Illustrasjon Eggen arkitekter



Taket er flatt med varierende tykkelse for å få helning og avrenning av regnvann. Konstruksjonen består innenfra og utover av 147 mm massivtre, diffusjonssperre og limt omleggskjøter, 250 mm mineralull og tolags tekking. Entreprenøren har oppgitt en U-verdi for taket på $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Vinduene er levert av Nordan og består av tolags vindu av typen Soldemp 6132 med superspacer og argonfylling og isolert karm. I følge entreprenør gir dette en U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Solavskjermingen på NSOB er såkalt innvendig screen. Disse styres manuelt som persienner av brukere. Hensikten med disse er at de skal slippe gjennom lys, men ikke varme. Figur 4 viser et eksempel på bruken av solavskjerming på NSOB.

Figur 4 Innvendig Screen NSOB. Foto: Linda Eimhjellen.



3 Lavenergiskole

Lavenergibygg er bygninger som bruker betydelig mindre energi enn vanlige bygninger. Det finnes enda ikke noen standard eller retningslinjer for hva som gir et lavenergibygg, men for lavenergiboliger er det utarbeidet en Norsk Standard ”prNS 3700 Kriterier for lavenergi- og passivhus -Boligbygninger”. I tillegg har et samarbeid mellom Husbanken, Enova og SINTEF ført til resultatet ”Energieffektive boliger for fremtiden En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger” (Dokka 2006). Her defineres lavenergiboliger som boliger med levert energi på under 100 kWh/m² per år.

Boliger og skoler har veldig ulik energibruk, og kan ikke sammenlignes uten videre, men siden det mangler kriterier for hva som gir en lavenergiskole forutsettes det her at det er gitt det samme kravet som for boliger, altså 100 kWh/m² per år.

Norge har ambisjoner om å innføre passivhusstandard innen 2020 (Stoltenberg 2008). Vi trenger derfor teknologi og erfaring på dette området. Det var dette Trondheim Kommune hadde i tankene da de besluttet å bygge NSOB som en lavenergiskole, for å være et forbildeprosjekt og signalbygg man kan ta lærdom av i fremtiden (Eimhjellen 2009). De nye tekniske forskriftene, TEK 07, var enda ikke trådt i kraft da skolen ble bygd, men byggherren ønsket likevel å følge disse. Det viste seg at TEK 07 ikke ble like streng som forslaget, så NSOB er bygd med strengere krav enn forskriften. Forskriftskrav sammenlignet med NSOB og krav til passivhus og lavenergiboliger er presentert i Figur 5.

Figur 5 Kravsspesifikasjon fra anbudsgrunnlag NSOB sammenlignet med forskriftskrav og lavenergi- og passivhusstandard. Illustrasjon Linda Eimhjellen.

Egenskap	Nardo skole [51]	TEK 07 [21]	Lavenergihus [46]	Passivhus [46]
U-verdi yttervegg	$\leq 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi gulv	$\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi tak	$\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi vindu	$\leq 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
U-verdi dør	$\leq 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Normalisert kuldebroverdi, ψ^*	ikke angitt	$\leq 0,06 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$
Virkningsgrad varmegjenvinner, η_T	$\geq 80 \%$	$\geq 70 \%$	$\geq 70 \%$	$\geq 80 \%$
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	$\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
Lekkasjetall ved 50 Pa, n_{50}	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 0,60 \text{ h}^{-1}$

4 Tekniske anlegg

Ved NSOB er det høyteknologiske løsninger på varme- og ventilasjonsanlegg, samt for styring og overvåkning av energibruk. I dette kapittelet presenteres de tekniske løsningene valgt ved NSOB.

4.1 Varmeanlegg

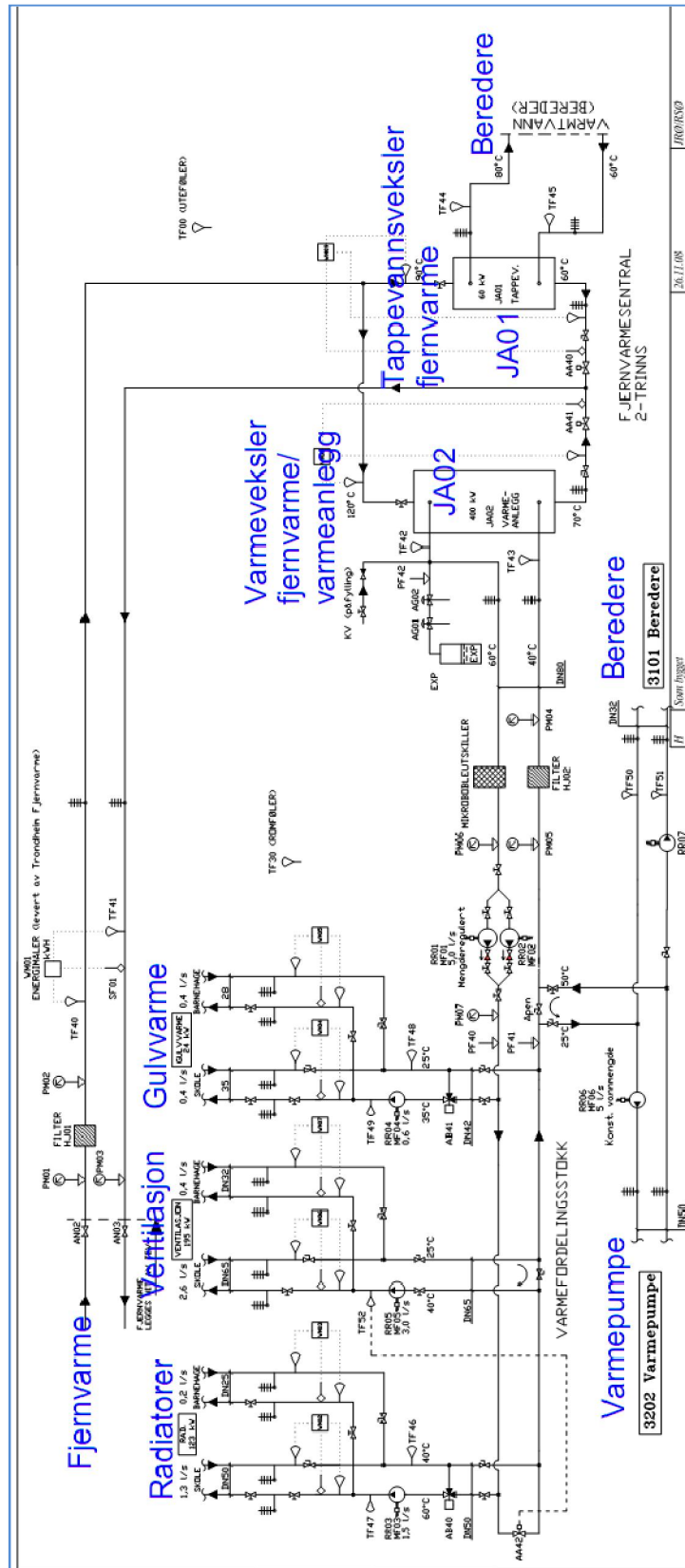
Varmeanlegget på NSOB består av en varmepumpe som grunnlast til romoppvarming med radiatorsystem og gulvvarmesystem. Varmepumpen dekker også oppvarming av ventilasjonsluft og forvarming av tappevann. Som spisslast benyttes fjernvarme. Elektrisitet er benyttet til varmekabler utendørs og i snøfeller til ventilasjonsanlegg.

På NSOB er det to tekniske rom. Varmesentralen med varmesystem og ventilasjonsanlegg til barnehagen er plassert i 0-plan under barnehage. Det andre er plassert i bakkant av undervisningsfløy U, plan 0, og inneholder kun ventilasjonsanlegg til skolen.

Styring av varmeanlegget er gitt av disse forhold:

- Varmepumpen skal gå med 100 % effekt i minst 5 minutter før varmeveksler til fjernvarme, JA02, kobles inn.
- Tidsstyring er utstyrt med urprogram for døgn, uke og år, med program for nattsinking og optimal start/stopp.
- Pumpene i vannkretsen er frekvensregulert. Temperaturen på vann i varmesystemet for klimaavhengig behov, er utetemperaturkompensert. Figur 6 viser systemet i sin helhet.

Figur 6 Utsnitt av System 3201 Varmesentral og varmedistribusjonssystem eksklusiv varmpumpe og beredere. *Illustrasjon: VVS Norplan*

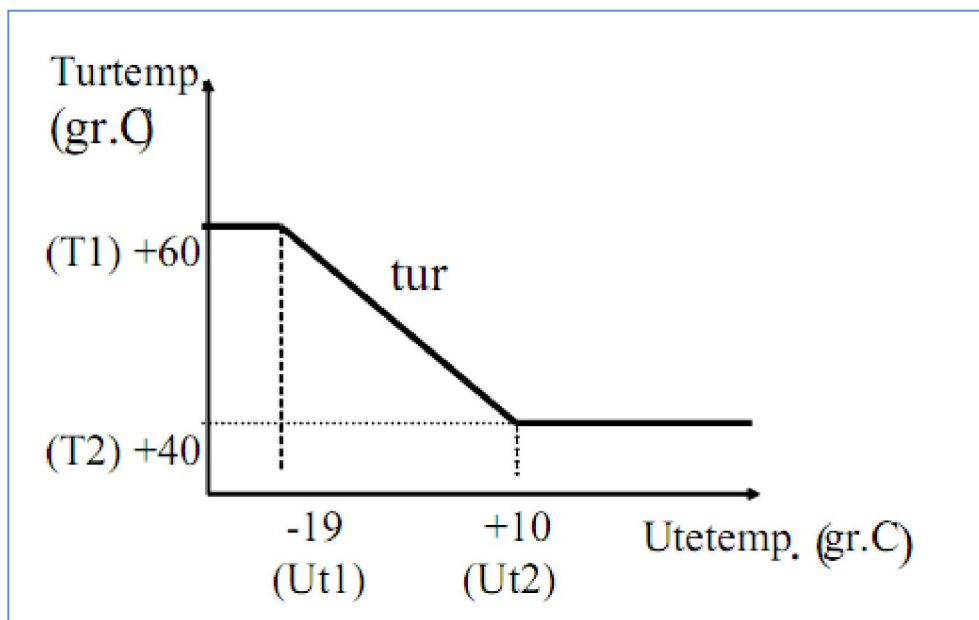


Utetemperaturkompensering

For å kunne utnytte energi optimalt er det viktig med fornuftig temperaturstyring. Derfor er varmeanlegget utetemperaturkompensert. Varmebehovet i en bygning er tilnærmet omvendt proporsjonal (lineær) med utetemperaturen. $P = k \cdot (t_{inne} - t_{ute})$. For å ha best effektfaktor (COP) på varmepumpen er det gunstig med minst mulig differanse mellom kondensator- og fordampertemperatur. Da COP øker med 2-3 % per °C reduksjon av kondensatortemperaturen, ønsker man derfor til enhver tid å kjøre med så lav turtemperatur som mulig.

Turtemperaturen til varmeanlegget (vanntemperatur) og ventilasjonsanleggene (tilluftstemperatur) er styrt av utetemperaturen etter en kurve som vist i Figur 7. Deretter er det individuell regulering av varmekursene for gulvvarme, radiator og ventilasjonsbatterier. Settpunkttemperaturene kan stilles/justeres via SD-anlegget. Forslag til settpunkttemperaturer er vist i Tabell 1.

Figur 7: Forslag til kompenseringskurve for varmeanlegg, hovedkurs ved NSOB. (VVSNorplan 2008)



Tabell 1: Forslag til settpunkttemperaturer – utekompensering ved NSOB. (VVSNorplan 2008)

System	T1 [°C]	T2 [°C]	Ut1 [°C]	Ut2 [°C]
Varmelegg hovedkurs	60	40	-19	10
Varmelegg radiator	60	40	-19	10
Varmelegg gulvvarme	35	30	-19	10

4.2 Varmepumpe

Varmepumpen er en væske-vann varmpumpe som er koblet til 14 energibrønner, som er et kollektorsystem av brønner med borehull på 150 mm diameter og kollektorslanger med diameter på 40 mm.

Varmepumpen og varmeanlegget

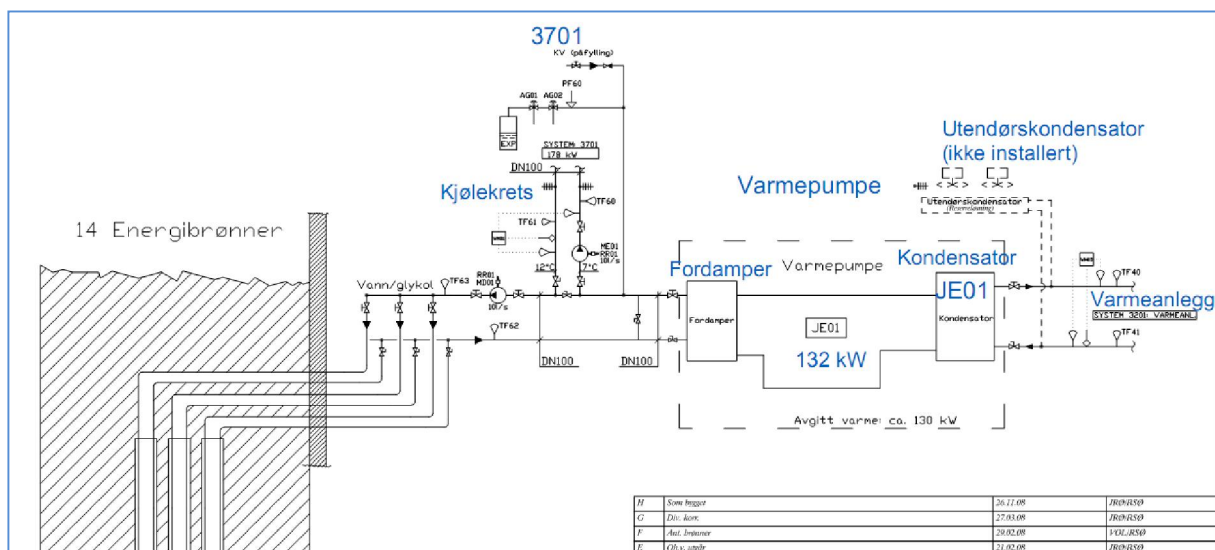
I vinterdrift styres varmpumpen etter varmebehov til byggoppvarming og til forvarming av tappevann. Den avgir varme til vannkrets i system 3201 og tar opp varme fra energibrønner i fjellgrunnen. Varmepumpen er utetemperaturkompensert. Settpunktverdier er vist i Tabell 2. I tillegg er det satt en maksimalbegrensning på 55 °C. (VVSNorplan 2008)

Tabell 2: Settpunktverdier for utekompensering av varmpumpe.

System	T1 [°C]	T2 [°C]	Ut1 [°C]	Ut2 [°C]
Varmepumpe	60	40	-19	10

System 3202 varmpumpe er vist i Figur 8.

Figur 8: Utsnitt av System 3202 Varmepumpe ved NSOB (VVSNorplan 2008).



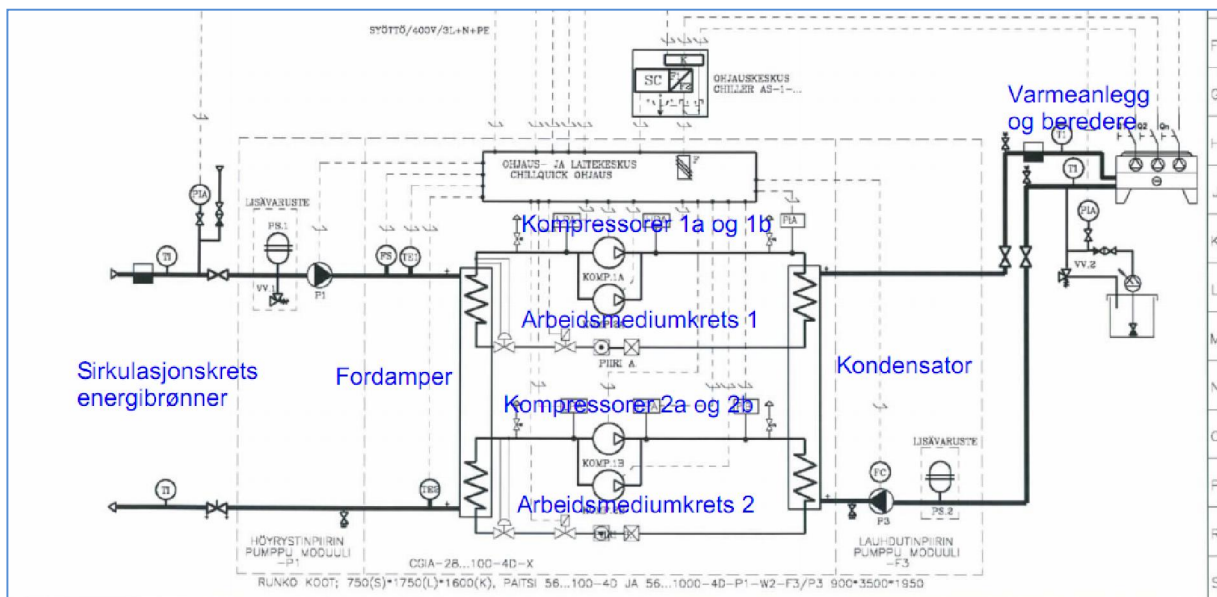
Varmepumpen er tilknyttet varmeanlegget, 3201, ved varmeveksler JE01. Dette er varmpumpens kondensator. Den er også tilknyttet kjølebatteri i ventilasjonsaggregater, system 3701. Sirkulasjonskretsen til energibrønnene er direkte tilknyttet kjølebatteri slik at det ved kjølebehov primært benyttes frikjøling fra grunnen uten å koble inn varmpumpen. Det er lagt til rette for at varmpumpen kjøres som kjølemaskin ved å tilkoble en utendørskondensator/tørkjøler for dumping av overskuddsvarme, men så stort kjølebehov har det enda ikke vært så en slik tørkjøler er ikke installert.

Varmepumpen er levert av Reftec AS, og produsert av Chiller, og er av typen Chiller 132 med produktbeskrivelse CGIW-56-4D-X-W1-W2-W3-STD. Arbeidsmediet er R-134a. Mediet er ikke giftig, ikke brennbart og har gunstige termodynamiske egenskaper. Derimot har det en

relativt høy GWP (Greenhouse Warming Potential) på 1300, og er et medium som er blitt innlemmet i internasjonale miljøavtaler, som Kyoto-protokollen (Stene 1997). Ammoniakk (R717) eller CO₂ (R744) er mer miljøvennlige arbeidsmedier med tilnærmet ingen GWP og ingen ozonnedbrytende effekt. Ammoniakk er til gjengjeld giftig og er kanskje derfor ikke et ønsket arbeidsmedium til bruk i barnehage og skole. Derimot er det svært høye konsentrasjoner av ammoniakk-gass som skal til for å ha en giftig effekt, og gassen har en sterk stikkende lukt ved 150-200 ganger lavere konsentrasjon. Med de rette sikkerhetstiltakene er dette et naturlig medium med GWP=0 og med overlegent bedre termodynamiske egenskaper, som kan komme til å erstatte R-134a i fremtiden også på grunn av de positive globale miljøegenskapene.

Systemskissen til varmepumpen, Figur 9, viser en vannkjølemaskin Chiller 132.

Figur 9 Systemskisse varmepumpe. (Chiller)



Anlegget består av 4 scroll kompressorer som gjør at anleggets ytelse kan reguleres i 4 trinn. Kompressorene kan styres på/av. Varmepumpen har to kuldemediekretser som hver varmeveksles mot halve fordamper- og kondensatorflatene. Varmeytelsen er 132 kW.

Effektfaktor COP

Varmepumpens effektfaktor, COP (Coefficient of Performance), er et mål på hvor godt varmepumpen jobber i øyeblikket. Den er gitt av formel 1.

$$COP = \frac{\text{Levert varmeeffekt}}{\text{Tilført e. effekt}}$$

Formel 1

COP er avhengig av ulike parameter, men den er hovedsakelig avhengig av temperaturløftet mellom fordamper og kondensator. Temperaturløftet bør være så lite som mulig for å få høy COP. Temperaturene i fordamper og kondensator er avhengig av temperaturen på varmekilden og varmeavgivelsessiden henholdsvis. Det er derfor gunstig med utetemperaturkompensering av turtemperaturen. Varmekilden, som er varme i grunnen,

varierer lite gjennom året, og er anslagsvis mellom 6-8 °C (Eimhjellen 2009). Effektfaktoren vil derfor være mest avhengig av turtemperaturen på varmeavgivelsessiden, og dermed utetemperaturen. COP går altså ned når utetemperaturen synker. COP er også avhengig av del-lastkjøring. Kompressorene har størst virkningsgrad dersom de kjører på 100 %, og COP synker dersom kompressorene kjører på del-last. Er det lite behov for varme i bygget er det derfor gunstig dersom varmepumpen kan opprettholde produksjonen og avgi varme til varmtvannsberedere.

I henhold til databladet til varmepumpen(Chiller) er tilført elektrisk effekt til kompressorer oppgitt til 49 kW ved design tilstander. Dette gir en COP ved designtilstander til lik 2,7. Datablad er lagt ved i vedlegg. Designtilstander, for væske-vann varmepumper med vannbåren distribusjonssystem i varmemodus, er 0 °C på opptaksside og 45 °C på avgivelsesside (EN14511-2 2007). Carnoteffektfaktoren (ideell varmepumpeprosess) er gitt av formel nedenfor.

$$\varepsilon_c = \frac{T_K}{(T_K - T_0)} \quad \text{Formel 2}$$

Ved de gitte designtilstander blir Carnoteffektfaktoren $\varepsilon_c=7$. Dette gir en

Carnotvirkningsgrad, som er forholdet mellom ideell- og virkelig prosess, lik $\eta_c=0,38$.

Carnoteffektfaktor for anlegg av denne størrelsen (132 kW) er typisk lik 0,55 (Stene 1997), som skulle gitt en virkelig effektfaktor på cirka 3,9. Den virkelige COP til varmepumpen ved NSOB er altså ganske lav.

Dette kan ha sammenheng med at det er en *kjølemaskin*, og ikke en *varmepumpe* designet for å avgi varme.

Det kan også være ugunstig at varmepumpen er delt inn i to arbeidsmedium kretser.

Varmeoverføring i varmevekslere er avhengig av forholdet:

$$Q = U \cdot A \cdot LMTD \quad \text{Formel 3}$$

Når varmepumpen går ved del-last, altså kun en arbeidsmediumkrets, så har den ene kretsen kun halve fordampnerflaten å varmeveksle mot. Ved del-last vil massestrømmen reduseres og dermed også varmeoverføringen, Q. LMTD holdes konstant ved like temperaturforhold.

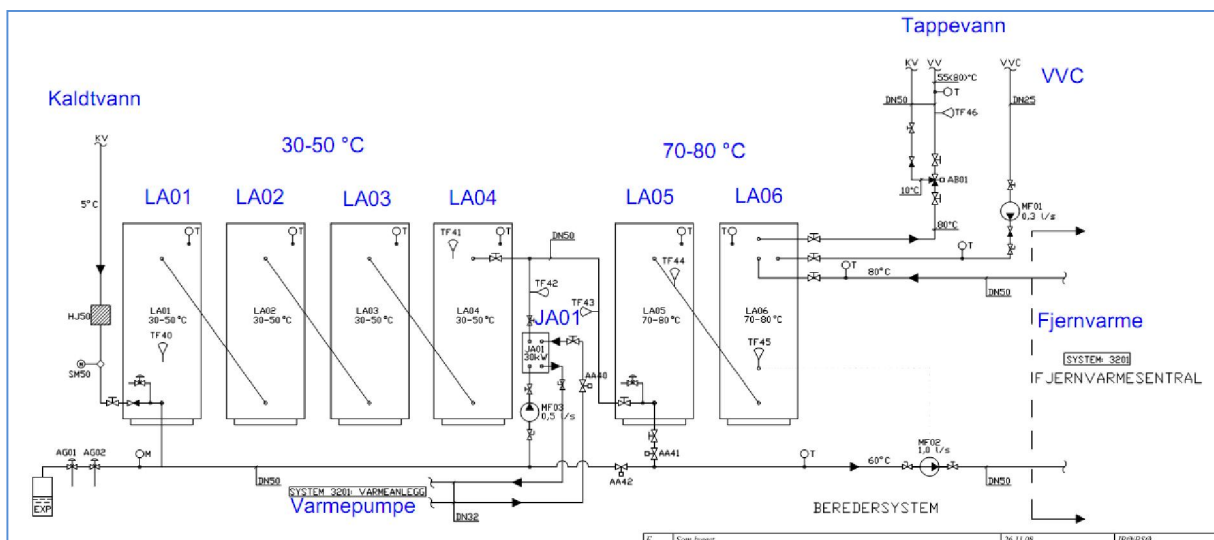
Dersom A hadde vært den samme, altså hele varmevekslerflaten, ville man fått en heldig effekt av dette. Når massestrømmen blir redusert, ville også U blitt redusert på grunn av at konveksjonstallet h blir lavere. Når derimot A blir halvert, som i dette tilfellet, vil man ikke oppnå samme reduksjon av U, og COP vil derfor bli lavere ved del-last. (Det kan også ha motsatt viking dersom Q reduseres mer enn produktet av U*A, da kan COP bli bedre, men dette avhenger av design (Stene[3] 2010))

Å dele inn anlegget i to arbeidsmediumkretser er antakeligvis gjort for å redusere utslipp ved en eventuell lekkasje, men nye skjerpede krav til rutiner for kontroll gjør at dette ikke lenger er et vanlig problem.

På systemskissen er anlegget tegnet som et kjøleanlegg med varmeavgivelse til utendørs tørrkjøler, dette er det også lagt til rette for på NSOB, men tørrkjøler er ikke installert siden behovet ikke har vært gjeldende. Systemskissen er fra produsent og avviker på dette punktet fra anlegget på NSOB. På varmeavgivelsessiden er anlegget som i Figur 8.

Dersom det ikke er direkte varmebehov, går varmtvann til forvarming av tappevann i varmtvannsberedere, system 3101 Figur 10, der det veksles i varmeveksler 3101 JA01 (30 kW).

Figur 10: Utsnitt av System 3101 Varmtvannsberedning NSOB. Illustrasjon: VVS Norplan (VVSNorplan 2008)



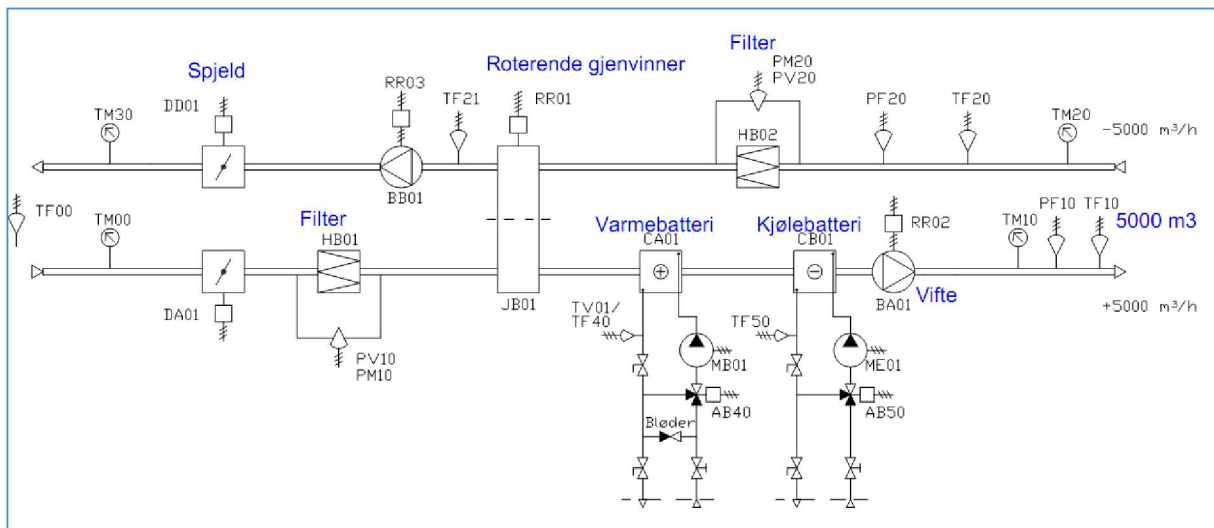
Det er satt følgende temperaturrenser på tappevann: maks 55 °C til tappevann til skole, 80 °C til kjøkken og 30 °C for barnehage. For at det ikke skal ta for lang tid å få varmtvann i tappekranen, på grunn av lange avstander, er det en egen sirkulasjonskrets som sirkulerer varmtvann konstant, merket VVC på tegningen. Systemskissen er lagt ved som vedlegg.

Dersom det i øyeblikket ikke er behov for tappevann går vannet fra varmeveksler 3101 JA01 til varmtvannsbereder LA04 til LA01, som holder et temperaturnivå på mellom 30-50 °C. Kaldt påfyllingsvann går gjennom LA01 og får innblandet vann til høyere temperatur før det går til varmeveksler 3101 JA01. I følge NS 3031(NS 3031 2007) har man tap i varmesystemer på mellom 5-10 % på grunn av distribusjon og regulering.

4.3 Klimasystem

Anleggsinformasjon (GK 2008). I alle klimaceller er det balansert ventilasjon. I sekundære rom som toalett, lager, bøttekott er det kun avtrekk og overstrømning av luft fra tilliggende rom. Det er hovedsakelig brukt omrøringsventilasjon og CAV, med unntak av de større forsamlingslokalene som amfi og gymsal der fortreningsventilasjon og VAV er valgt.

Prinsippskisse av ventilasjonsanlegget er vist i Figur 11, som er det faktiske ventilasjonsanlegget for administrasjon og kontorer på NSOB.

Figur 11: Ventilasjonsanleggenes oppbygning. Illustrasjon VVS Norplan

Uteluften kommer inn via inntaksrist og spjeld, behandles i filter, roterende varmegjenvinner, vannvarmebatteri, isvannkjølebatteri og fordeles i kanalnettet ved hjelp av tilluftsvifte. Avtrekk fra klimaceller trekkes av ved avtrekksvifte, gjennom stengespjeld, filter, varmegjenvinner og ut. Fordelen med at viftene er plassert etter varmegjenvinner er at de "suger" luften istedenfor å "trykke" den gjennom varmegjenvinner. Dette er gunstigste plassering med tanke på lekkasje av avtrekksluft til tilluften.

Kanalnettet føres fra teknisk rom, gjennom sjakter og fordeles i etasjene via korridortraséer.

Systemet blir regulert i økonomisk sekvens, dvs. at ved økende varmebehov kobles varmegjenvinner inn før varmebatteri. Varmegjenvinner skal gå med 100 % kapasitet før varmebatteri kobles inn. Ved kjølebehov kobles varmebatteri og varmegjenvinner ut før kjølebatteri kobles inn.

Det er totalt syv ventilasjonsanlegg på NSOB, ett til barnehage og seks fordelt på skolen. Sonene er delt inn strategisk etter hvordan driftsmønster er, og dette samsvarer godt med hvordan de lå situert i forhold til hverandre.

I ettertid har det meldt seg et kjølebehov i datarom på skolen. Her var det ikke lagt til rette for store nok luftmengder slik at frikjøling var nok til å dekke behovet. Derfor er det installert en tørrkjøler (luft/luft) lokalt som dumper varmen mot luft over tak. Energibehovet til denne vil bli estimert i kapittel 5.7.

Konstant luftmengder skole og barnehage

Det er i hovedsak benyttet ventilasjon med konstant luftmengde på skolen og i barnehagen. Viften er utstyrt med frekvensomformer for å regulere viftetrykket for å overkomme trykkfallet gjennom kanalnettet. Dette gjør at den i utgangspunktet kunne vært behovsstyrt, men klimasonene er ikke utstyrt med følere som kan gi signal om å øke eller minke luftmengden etter behov. Hver klimacelle er i utgangspunktet balansert, det vil si det tilføres like mye tilluft som det trekkes av. I områder hvor det er plassert kjøkken, eller

forskerstasjoner er det tilført litt mer tilluft enn avtrekk for å kompensere for avtrekk over tak. Avtrekk på hovedkjøkken har opptrekkstur som i utgangspunktet kun skal stå på i ca. 3 timer pr. dag. Her trekkes det av 2500 m³/h. Ventilasjonssystemenes oppbygning er lik for alle ventilasjonsanleggene, og er som i Figur 11. Alle systemer er lagt ved som vedlegg.

Variabel luftmengde Gymsal/Garderobe og Amfi.

Det er benyttet behovsstyrt ventilasjon for Amfi og Gymsal, med CO₂-følere og temperaturfølere. Settpunkter for disse er henholdsvis 800 ppm. og 22 °C for amfi, og 700 ppm. og 19 °C for gymsal. Ved normaldrift ventileres det med 1900 m³/h i gymsal, og 5600 m³/h ved bruk. For amfi er 1000 m³/h normalventileringen, mens ved behov kan det økes til 6600 m³/h. I tillegg kommer ventilasjon til garderober på konstant 1500 m³/h.

Ventilasjonsanlegget er dimensjonert for 10 000 m³/h totalt, og 4400 m³/h ved normaldrift. CO₂-føler og temperaturføler er koblet til spjeldene som åpnes eller lukkes når det overstiger eller går under innstilt nivå.

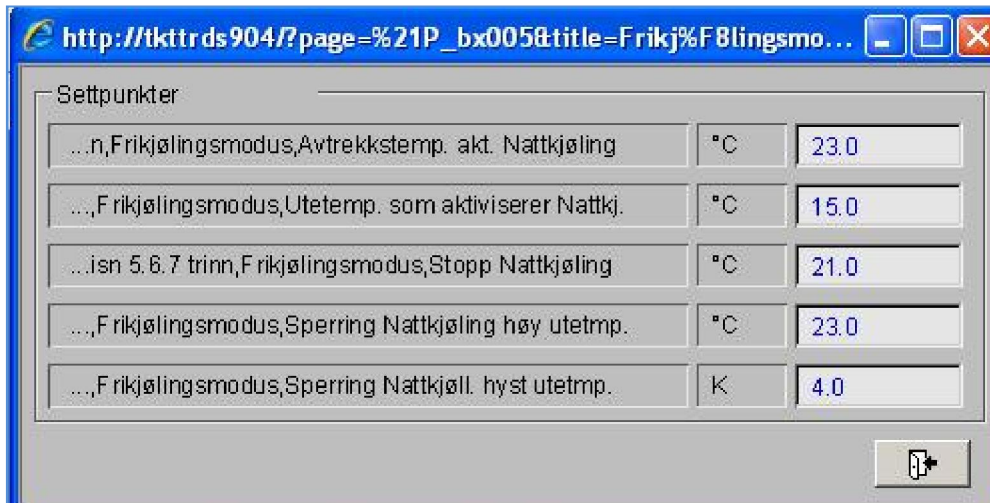
Kjøling

Bygget er definert som en lettbygning og har derfor behov for kjøling. Dette er løst ved frikjøling fra ventilasjonsanlegget. Siden det i hovedsak er konstante luftmengder i ventilasjonsanleggene er det ikke mulighet for å oppjustere luftmengden for å få kjølt bygget. Den eneste muligheten man derfor har til å fjerne varme fra bygget er ved å senke temperaturen på tilluften. Ved kjølebehov benyttes uteluften i hovedsak for å senke tilluftstemperaturen. Det vil si at varmegjenvinner reduserer sin virkningsgrad, eller kobles helt ut avhengig av utelufttemperaturen. Er ikke utelufttemperaturen lav nok, så kobles kjølebatteri inn for å kjøle tilluften ytterligere. Laveste temperatur på tilluft i oppholdssoner er 14 °C (Norplan 2010). Kjølingen er styrt av temperaturen på avtrekksluften.

Frikjøling

I tillegg er det mulighet for nattekjøling. Da brukes det kun frikjøling (ikke innkobling av kjølebatteri) som ventilerer lokalene og senker temperaturen ned til et visst nivå før ventilasjonsanleggene skrur av igjen. Settpunkter for frikjølingsmodus ved nattekjøling for ventilasjonsanlegg er vist i Figur 12.

Figur 12 Settpunkter for frikjølingsmodus for ventilasjonsanlegg til trinn 7. *Illustrasjon: Siemens(Desigo 2010)*



Frikjøling på natt styres altså ved NSOB både av utetemperaturen og avtrekkstemperaturen. Overstiger utetemperaturen 15 °C og/eller avtrekkstemperaturen er høyere enn 23 °C starter nattekjølingen. Når temperaturen synker til 21 °C stopper ventilasjonen. Overstiger utetemperaturen 23 °C, så sperrer dette frikjølingsmodus fordi man ikke vil klare å kjøle bygget ved frikjøling når utetemperaturen er høyere enn settpunkttemperaturen (21 °C).

Problemet med dette er at ventilasjonsanlegget på natt er avskrudd, derfor har man ingen luftgjennomstrømning i avtrekkskanalen som kan aktivere frikjøling. Da vil frikjøling på natt kun aktiveres av utelufttemperaturer høyere enn 15 °. Om dette er tilstrekkelig vil bli drøftet mer i kapittel 0 om Inn klima.

4.4 Automatikk

For å ha god kontroll med både drifting av bygget og for å overvåke og følge opp energibruk ved NSOB, er det utbredt bruk av automatikk ved de tekniske anleggene. Her redegjøres for systemoppsett av SD-anlegg, målere og energioppfølgingssystem (EOS), Energi Guiden Pluss.

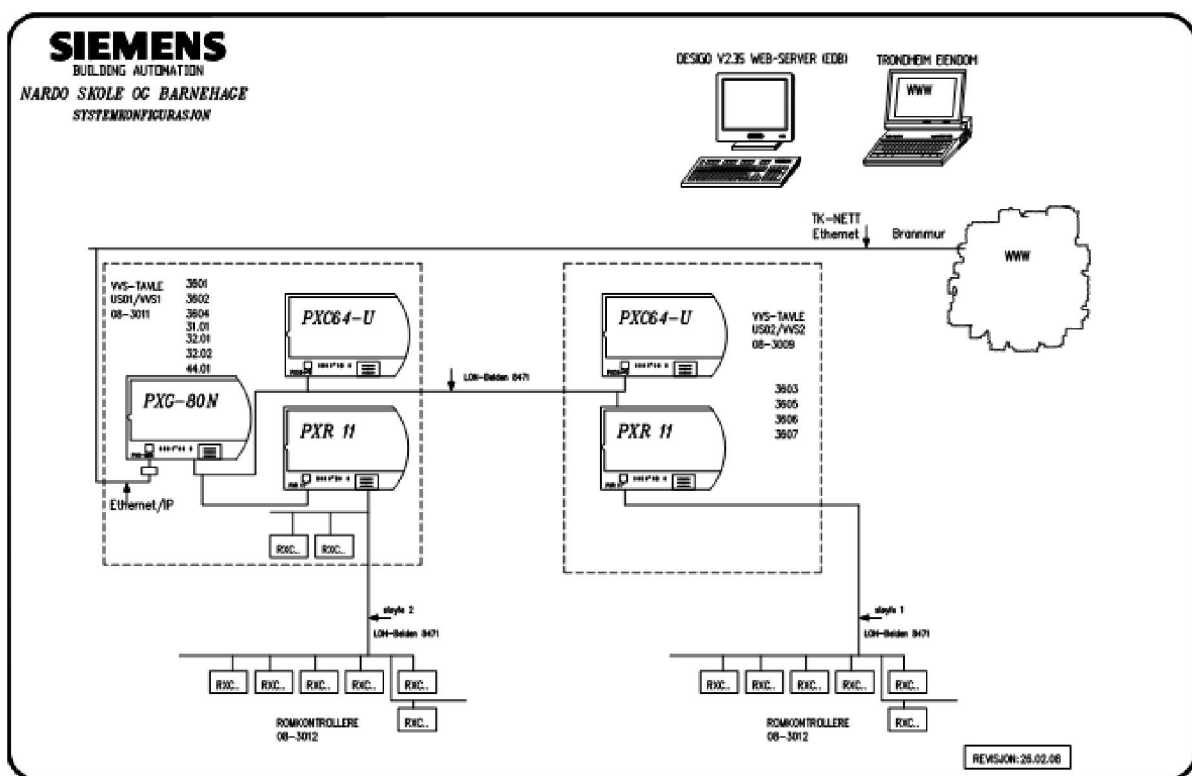
SD-anlegg

Sentral driftskontroll (SD) ved NSOB består av to undersentraler (Desigo PX) fra Siemens AS og en hovedmaskin med toppsystemet Desigo Insight versjon 2.35. Undersentralene er dataprosessorer som foretar all regulering, styring og signalgiving av tilkoblet periferiutstyr. Periferiutstyret består av temperatur,- trykk,- fuktighetsfølere etc. og pådragsorganer som ventiler, frekvensomformere og spjeldmotorer. Periferiutstyret er plassert rundt om i bygget og inngår som en del av automatiseringsanlegget. Undersentralene er plassert i elektriske fordelingsstaver med inn og utgangsmuligheter for periferiutstyr. Her finnes også alle sikrings- og kontaktorutstyr for styring og regulering av tilkoblede motorer og annet elektrisk utstyr. Det er benyttet BUS-kabel for kommunikasjon mellom undersentralene (Siemens 2008).

Et SD-anleggs hovedfunksjon er å styre og overvåke de tekniske installasjonene i bygget. Toppystemet gir driftspersonell en grafisk oversikt over tekniske anlegg slik at det er enkelt å

holde seg oppdatert på status på anleggene. Tidskatalogen og kalenderfunksjonen i SD-anlegget er en viktig funksjon for å sikre effektiv og energiriktig drift av anlegget. Parametere settes opp i tidskatalogen slik at varmeanlegg og ventilasjonsanlegg starter og stopper i samsvar med bruken i bygget. Av sikkerhetsmessige årsaker lagres dataene for tidkjøring i undersentralen slik at funksjonene ivaretas dersom toppsystemet skulle være ute av drift. Systemet har funksjoner for alarmbehandling med forskjellige nivåer, slik at riktig varsel blir sendt riktig person når feil skulle oppstå. Det finnes funksjoner som varsler via e-post eller SMS ved kritiske feil, som for eksempel dersom en varmegjenvinner skulle stoppe midt på vinteren. SD-anlegget har mulighet for fjernbetjening som forenkler jobben for personell ved behov for service og assistanse. Figur 13 viser systemtopologien av SD-anlegget.

Figur 13: Systemtopologi (Siemens 2008) Illustrasjon Siemens AS



Målere

NSOB mottar energi i form av fastkraft og fjernvarme fra Trondheim Energiverk (TEV). TEV har derfor to målere som måler levert energi til bygget. Trondheim Kommune har sentral drifting av skolene sine og har derfor installert et SD-anlegg for å overvåke og styre de tekniske installasjonene i byggene som nevnt over, samt for å overvåke energibruken. Det er derfor installert energimålere på strategiske plasser for å få oversikt over energiflyten i bygget.

I hovedsak er det energimåler på alle varmebatterier, gulvvarmekurser, radiatorkurser, produksjon av tappevann og avgitt varme fra varmpumpen. I tillegg er det installert elektrisitetmålere som registrerer energibruk til viftene i ventilasjonsanlegget og

elektrisitetsforbruk. Energi til pumper, belysning og utstyr, samt punktavtrekksvifter måles ikke så dette må antas ut ifra totalt elektrisitetsforbruk.

Elektrisitetsmålerne og energimålerne ved NSOB kommuniserer med SD-anlegget via BUS. Det vil si at SD-anlegget mottar signal fra den aktuelle måleren som sier hvilken målerstand den har. Dette er den samme verdien som vises på avlesningsdisplayet på måleren. En annen type målere er pulsmålere. Disse fungerer på den måten at de sender et fast antall pulser til undersentralen for hver kWh som brukes (for eksempel 1000 pulser pr. kWh). Med slike målere er det ekstremt viktig at det hele tiden er kontakt mellom pulsmåler og undersentral. Dersom det oppstår brudd i kommunikasjonen vil ikke pulsene registreres, og dermed mister en oversikt over energibruken. Den store fordelen med målere som kommuniserer via BUS i motsetning til pulsmålere er at de husker hvilken verdi de har dersom det skulle oppstå et strømbrydd eller dersom det skulle bli problemer med undersentralen.

SD-anlegget innhenter målerdata fra alle målerne i bygget og videresender disse til Energiguident Pluss.

Energiguident Pluss

Entro AS er leverandør av energioppfølgingssystemene Energiguident og Energiguident Pluss. Dette er nettbaserte program som kan leveres til kunder av energileverandører slik at kundene kan følge med på energibruken i sine bygg. Ønsker man å få energibruken sin grafisk fremstilt kan man oppgradere til Energiguident Pluss som har flere funksjoner enn Energiguident. Trondheim Kommune bruker begge programmene, og disse er satt opp med målerdata fra SD-anlegget i tillegg til hovedmålerne fra TEV. Energiguident Pluss benyttes også av skoleelever som har en elevdemo på programmet, slik at de kan gå inn og følge opp energibruken på sin skole. Det er denne versjonen som er brukt i denne oppgaven.

5 Beregninger

I dette kapittelet er det sett på ulike parameter som påvirker energibudsjettet i en bygning. Det er sett på U-verdier på vinduer og beregnet internlaster og belysning. Dette for å få en kontrollregning av opplyste verdier, i tillegg til noen manglende verdier til å bruke som inputverdier i simuleringsprogrammet Simien.

5.1 NS 3031

I NS3031 (NS 3031 2007) gis det noen veiledende verdier for internlaster for skoler og barnehager, disse er gitt i Tabell 3. Senere vil det bli sett på belysning på NSOB for å se målt forbruk.

Tabell 3: Effekt og energibehov til skolebygg og barnehager gitt av NS 3031 (NS 3031 2007).

Bygningskategori	Belysning		Utstyr		Varmtvann	
	[W/m]	[kWh/(m ² *år)]	[W/m]	[kWh/(m ² *år)]	[W/m]	[kWh/(m ² *år)]
Skolebygg	10	22	6	13	4,5	10
Barnehage	8	21	2	5	3,8	10

Standarden NS 3031 sier også at dersom det benyttes styringssystem for dagslys, eller for tilstedeværelse kan behovet for lys reduseres med 20 %. Styringssystem for lys er installert på NSOB. Lyseffekter vil beregnes i kapittel 5.6.

5.2 U-verdi

I anbudsgrunnlaget ble det satt noen krav til U-verdier. Krav i anbudsgrunnlag opp i mot krav fra TEK 07 (TEK07 2007) er fremsatt i Figur 14 (*Eimhjellen 2008*).

Figur 14 Krav til U-verdier i anbudsgrunnlaget *Illustrasjon: Linda Eimhjellen*

Bygningsdel	Krav til U-verdi	TEK07
Golv på grunn	0,13 W/m ² K	0,15 W/m ² K
Betong yttervegger U-etg mot terreng	0,16 W/m ² K	0,18 W/m ² K
Betong yttervegger U-etg. over terreng	0,16 W/m ² K	0,18 W/m ² K
Utstikkende dekker som isoleres på undersiden	0,13 W/m ² K	0,15 W/m ² K
Massivtrevegger og bindingsverkvegger i U-/ 1-/ 2-etg	0,16 W/m ² K	0,18 W/m ² K
Vindu- og dørkonstruksjoner	1,10 W/m ² K	1,20 W/m ² K
Yttertak	0,13 W/m ² K	0,13 W/m ² K
Solvarmetilskudd	0,34 %	
Infiltrasjon	0,15 h ⁻¹	

Man ser at med unntak av yttertak så er kravene til U-verdi for de ulike bygningselementene strengere ved NSOB enn i TEK 07.

U-verdi vinduer

Vinduene ved NSOB er levert av Nordan. Glassene kommer fra underleverandør Glaverbel og har produktbeskrivelse Stopray 6132 m/argon/superspacer og oppbygning 6*+16G+4. Dette

vil si det er 2-lags glass der det første glasset er 6mm av type solbeskyttende, så 16 mm med argongass og til slutt 4 mm med floatglass, som er et isolerglass. Rammene er laget av furu og er isolerte med varmkant. Karmen er 92 mm. Det er noen vinduer som har annen oppbygning, type brannvinduer og annen type solbeskyttelse, men dette er sett bort ifra ved beregning da dette blir for detaljert.

Det er utført en U-verdi beregning av glasset ved hjelp av Pilkingtons program Pilkington Spectrum On-Line (Pilkington 2010). Resultatet fra denne ble en U-verdi av glasset på 1,0 W/m²*K, lysgjennomgang 66 % og solenergi på 36 %. Resultat av beregning er lagt ved som vedlegg.

Videre er det tatt utgangspunkt i ordrebekreftelsen og arkitekttegninger for å fastsette vindusareal i forhold til karmarealet. Dette er gjort for hvert vindu, og resultatet er brukt som inputverdier i Simien. Vindusareal og karmandel er et element i energisimuleringen som har stor betydning, og små endringer kan få store utfall. Derfor er det lagt stor vekt på å få dette så nøyaktig som mulig. Regneark for vinduer er lagt ved som vedlegg.

5.3 Bruk

Både lokalt og nasjonalt er det unikt at en barnehage og en skole ligger i samme bygning. Dette sambruket er tenkt å gi barna som går i barnehagen en trygghet når de skal begynne på skolen, da de allerede kjenner til den. Barnehagen tar i bruk mange av lokalene til skolen, de kan dra på "tur" til skolen. Amfi, gymsal, heimkunnskapskjøkken, kunst og håndverkslokaler, bibliotek og spesialrom er lokaler som er disponibel for barnehagen. Også skolegården og "skogen" brukes av barnehagen. Da barnehagen er utendørs til ulike tidspunkt fra skolebarna gjør dette at utearealene blir brukt mer effektivt. Elever i skolen kan også komme inn i barnehagen. Kontakt på tvers av alder er et av skolens mål. I tillegg er det arealbesparelse med tanke på at skole og barnehage har felles administrasjon, personalgarderobe, personalkantine, møterom etc.

- Barnehagens åpningstider er fra 07:15 til 17:00. Ventilasjonssystemet slås på et kvarter før.
- Administrasjonen er åpen fra 08:00 til 16:30.
- Gymsalen, amfi og garderober ventileres for normaldrift mellom 08:15 og 15:00. I tillegg leies gymsal ut på kveldstid fra kl. 16:30-22:00 mandag til fredag.
- Åpningstider for SFO er 07.30 til 16.30. Ventilasjonen slås på 07:00 til 17:00.
- Undervisningsfløy er aktiv fra 08:15 til 14:00. Ventilasjonen går fra 08:00 til 14:30.

Timeplaner for NSOB har vært vanskelig å oppdrive. Det er en utfordring å skjematiskere hvor elevene er til hvilken tid i en slik åpen skole. Det som er fast er hvilke fag de har, men lokalene kan variere fra dag til dag, uke til uke. For enkelthetskyld er driftstider satt lik ventilasjonsdriftstidene for de ulike sonene, og internlastene er generalisert.

Driftstid

Her blir det sett på gjennomsnittlig driftstid for hele skolen, til bruk for å foreta forenklede beregninger. Skolen er åpen 5 dager i uken. Det er ferie 10 uker i løpet av sommeren, i tillegg

er det en ukes høstferien, juleferie, vinterferie og påskeferie. Dette gir 14 uker med ferie per år og 190 skoledager i året. Den delen av skolen som ikke brukes til SFO er åpen 6 timer om dagen. Dette gir en driftstid på 1140 timer per år.

Barnehage er stengt to uker på sommeren, en uke for planleggingsdager, og den er stengt alle helligdager. Det vil variere over et år om helligdager faller på ukedager eller ikke, så her er det antatt 2 uker til sammen for helligdager. Samlet gir dette 47 uker med drift i året. 10 timer om dagen, fem dager i uken gir 2350 timer drift per år.

SFO er åpen samtidig som barnehagen.

Gymsal er utleid på kveldstid til kl. 22. Antatt like mange dager i året som skole.

Administrasjon er åpen samtidig med SFO og barnehage, men har 8 timer driftstid per dag. Det er foretatt et anslag av driftstider for de ulike delene av NSOB. Resultatet kan ses av Tabell 4.

Tabell 4: Driftstider NSOB.

		Vektet timeantall
	[h/år]	[h]
Skole	1 140	408
SFO	2 350	841
BH	2 350	395
Administrasjon	1 880	219
Vekte driftstid		1 862
Med utleie gymsal		1 971

Vektet timeantall har ingen bruksverdi i seg selv, men er kun for å beregne en gjennomsnittlig total driftstid i forhold til areal. Arealene er regnet med rund hånd, siden deler av fellesarealet brukes av SFO på ettermiddag. Dette er også ment bare som et grovt estimat. Fullstendig utregning i vedlegg.

5.4 Areal

Kommunen bruker et program som heter Jonathan for å beregne arealer i sine bygninger. Dette arealet er arealet av skolen, inkludert yttervegger. I beregninger gjort i denne rapporten er det tatt utgangspunkt i arealer målsatt av arkitekt for hvert rom og summert opp. Disse romarealene er inkludert innervegger, men ikke yttervegger. Differansen på oppvarmet areal tilsvarer ca. 550 m². Da inkluderer begge beregningsmetoder tekniske rom som er oppvarmet.

Fra NS 3031 står det følgende angående bruksareal (NS 3031 2007):

Oppvarmet del av BRA, A_{β} , er den delen av BRA som tilføres varme fra bygningens varmesystem og eventuelt kjøling fra bygningens kjølesystem og som er omsluttet av bygningens klimaskjerm.

MERKNAD BRA beregnes av målverdige deler etter reglene i NS 3940. BRA er bruttoarealet minus arealet som opptas av yttervegger.

Yttervegger for NSOB måler rundt 1100 m i omkrets og ytterveggene er omtrent 0,5 m i tykkelse, som til sammen utgjør cirka 550 m². I Simien vil det bli benyttet arealet 6010 m², fordi der defineres sonene som innvendig areal. Ved sammenligning med målt forbruk blir det tatt utgangspunkt i total energibruk og delt på BRA=6010 m² for energibehov og spesifikke energiforbruk.

I ettertid har kommunen korrigert arealet for NSOB i Jonathan, og dermed i EOS. De har her ekskludert noen soner som teknisk rom, utelager og melkerom blant annet, og kommet til et areal som tilsvarer 6097 m², men som fremdeles inkluderer yttervegger. I areal benyttet i denne oppgaven er det inkludert teknisk rom fordi dette holder over 18 °C. Antakeligvis skulle det vært fratrukket utelager som ikke er oppvarmet, men dette ble oppdaget for sent. Dette tilsvarer 156 m². Det er ikke fratrukket kjølerom og melkerom, men dette er gjort i beregningen i Jonathan.

5.5 Varmetilskudd personer

Når man skal regne varmetilskudd fra personer må man ta utgangspunkt i aktivitetsnivå. Stoffskifte er normalt mellom 65-110 W/m² for sittende aktivitet i skolen. Se Tabell 5.

Tabell 5: Stoffskifte ved ulike aktiviteter. (ENØK 2007)

Aktivitetsnivå	Stoffskifte	
	[W/m ²]	[met]
Sovende	48	0,8
Stillesittende, avslappet	58	1
Stående, avslappet	70	1,2
Sittende (kontor, skole, lab)	65-110	1,1-1,5
Stående (forretning, lab, lett industri)	90-120	1,6-2,1
Moderat aktivitet	115-160	2,0-2,8
Middel høy aktivitet	165-200	2,8-3,5
Gå (2 km/h)	110	1,9
Gå (5 km/h)	200	3,4
Løpe (9 km/h)	435	7,5

Det er foretatt en enkel beregning av antatt varmeproduksjon fra elever, lærere og barnehagebarna ved to ulike aktivitetsnivå. Et ved met=1,3 Sittende (kontor, skole, lab) og et ved met=3 Middels høy aktivitet, som er antatt fri lek. Ved disse aktivitetsnivå er varmeproduksjonen hhv. 88 W/m² og 180 W/m². For å finne overflatearealet av et gjennomsnittlig barn ved de ulike alderstrinnene er det tatt utgangspunkt i en størrelsesguide fra en nettbutikk som selger barneklær (Toppgaver 2010). Resultatet av beregningen er vist i Tabell 6.

Det er 55 elever pr. trinn og antatt 4 lærere. I barnehagen er det antatt 72 barn og 16 voksne.

Tabell 6: Varmetilskudd pr. trinn og for hele skolen og barnehagen.

Størrelser	Varmetilskudd ved 1,3 met	Varmetilskudd ved 3 met
	[W]	[W]
1.trinn	4 234	8 660
2.trinn	4 745	9 706
3.trinn	5 246	10 731
4.trinn	5 862	11 990
5.trinn	6 421	13 134
6.trinn	6 738	13 781
7.trinn	7 053	14 427
Lærer	4 536	4 536
BH	3 711	7 591
Assistent	2 592	2 592
Totalt	51 137	97 147
Spesifikt varmetilskudd	[W/m ²]	[W/m ²]
	8,5	16,2
Snitt	12,3	

Vi ser av tabellen at i et undervisningstrinn, når alle elevene sitter ved pultene sine, har man en varmeproduksjon mellom 4,9- 7,7 kW, avhengig av hvilket trinn. Er det friminutt og barna er i fri lek innendørs har man derimot en varmeproduksjon på mellom 8,6 – 14,5 kW. I tillegg kommer varmeproduksjonen fra de voksne som er satt lik til met=1,3 hele tiden. Summert opp for hele NSOB får man en varmeproduksjon på 8,5 W/m² ved sittende aktivitet, og 16,2 W/m² ved fri lek. I skolen sitter man stille og leker til ulike tider så sannheten ligger nok en plass i mellom dette. NS3031 gir anbefalinger for skoler på 12 W/m², og man ser at snittet mellom disse to er 12,3 W/m².

5.6 Lys

Lysstyringsanlegget ved NSOB er både styrt av bevegelsessensorer, lysfølere og manuelle brytere. Hvordan disse er fordelt er oppsummert i punkter under.

- I korridorer styres lyset av SD-anlegget og er på i kjernetiden. Bevegelsessensorer er utstyrt for å slukke lyset når det ikke er aktivitet.
- I undervisning og grupperom styres lyset av bevegelsessensorer.
- I gymsal er lysanlegget dimmet. Brytere ved dører.
- I amfi er det montert lysbom. Her kan lyset dimmes.
- I undervisningsrom mot sør overstyres en lysføler lysanlegget. Ved tilstrekkelig tilførsel av lys fra solen, reduseres belysningen i rommet.
- I sekundære rom styres lys av lokal bryter.

Det er tatt utgangspunkt i ordrebekreftelse fra elektroleverandør Vintervoll (FDVBygg 2008) med tilhørende plassering av lysarmaturer og effekt til disse for å finne spesifikke effekter som går til belysning. Resultatet for hele NSOB er presentert i Tabell 7. Det er beregnet 20 % reduksjon på grunn av lysstyring etter veiledning fra NS3031 (se kapittel 5.1). I tillegg er det beregnet egne spesifikke lyseffekter for de ulike sonene som er definert i Simien, som er brukt som inputverdier i programmet.

Tabell 7: Total spesifikk lyseffekt for hele NSOB

	Lyseffekt			Redusert
	[W]	[m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
Total lyseffekt	57 353	6 010	9,6	7,7

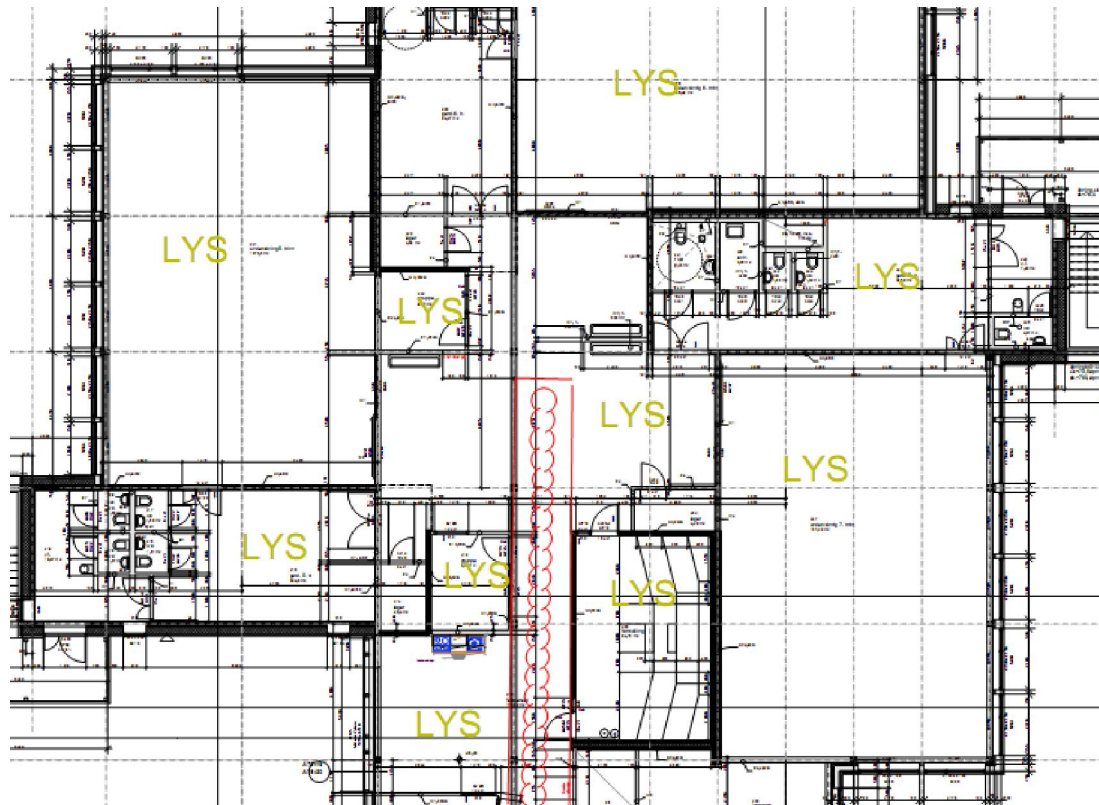
Ved NSOB er spesifikk effekt til belysning 9,6 W/m². I NS 3031 er veiledende spesifikk lyseffekt 10 W/m² for skole og 8 for barnehagen. Dette tilsvarer etter veiledningen ca. 9,7 W/m², noe som samsvarer godt med beregningen. Dette er det totale bruksareal, inkludert lagerrom og teknisk rom, men ekskl. vegger. Inkludert i effekt er også utelys. Når det korrigeres for 20 % reduksjon på grunn av lysstyring i form av beveggelsessensorer og dagslysfølere, oppnås en spesifikk effekt til belysning på 7,7 W/m².

Lysstyringsanlegget reduserer lyseffekten med 11,4 kW i lyseffekt for hele NSOB, og på det totale årlige energibudsjettet kan dette utgjøre en forskjell på rundt 20 000 kWh i forhold til verdien fra NS3031. Hvis man antar en teknisk levetid for et lysanlegg på 20 år, kan investeringen av lysstyringsutstyr enkelt forsvares, da dette er relativt billige installasjoner.

Det finnes ingen målere som måler energibruk til belysning, det vil derfor her bli estimert et årlig forbruk av elektrisitet til belysning. Antatt 1860 h/år i driftstid, 7,7 W/m² og 6010 m² gir en energibruk til belysning lik 86 000 kWh og 14,3 kWh/m².

Ved befaring og observasjon på skolen ble det registrert at lysfølere er veldig sensitive. Da undertegnede beveget seg gjennom gangen i undervisningsfløy, ble det merket at all belysning omkring ståsted var påskrudd, det gjaldt grupperom, formidlingsrom de tre undervisningsrommene og to garderober, (samtlige rom med unntak av en garderobe) og dette var uten å ha tredd inn i rommene.

Figur 15 Aktivering av lysfølere kun ved bevegelse i korridor i Undervisningsfløy ved befaring. Rødt viser korridoren hvor det var bevegelse, og LYS indikerer hvilke sensorer som ble aktivert og skrudde på lyset.



Dørene sto på gløtt og at det var bevegelse i gangen var altså nok til at lyset ble skrudd på. Det tok deretter hele 15 minutter før lysene skrudde seg av igjen. Dette var etter kl. 14 og undervisningsfløyen er inaktiv. Derimot hender det at lærerne som er igjen på lærerværelse går gjennom korridoren, eller at elever på SFO ferdes i disse korridorene også. Da jeg oppholdte meg i denne undervisningsfløyen i perioden 14-15 var det 5-6 personer som kom og gikk. Dette antas å ikke være uvanlig. Da er det synd at lyset skrues på og står på i et kvarter i samtlige rom i denne fløyen. I verste tilfelle kommer disse personene med 15 minutters mellomrom, slik at de holder lysene i gang i halvannen time, eller mer, unødig. Sensorene var ikke følsomme gjennom glassene som skilte sonene, så en mulig løsning er å passe på å lukke dørene når skolen stenger. Da vil lyset kun slås på der hvor det er folk. Eventuelt kunne lysfølere vært nedjustert forsinkelsen til for eksempel fem minutter. Det kan oppleves irriterende for bruker dersom lyset skrues av mens de oppholder seg i rommet, men i et klasserom med opptil 55 elever er det neppe et problem med for liten bevegelse. Med den følsomheten som var på disse sensorene vil hver minste bevegelse aktivere sensoren slik at lyset forblir påskrudd. I grupperom, møterom og på lærerværelse er det mer passende med en forsinkelse på 15 min, siden aktiviteten her normalt er roligere.

Det er ikke sensorer på lys over tavle, her er det manuelle brytere, og noen steder var disse ikke avskrudd etter stengetid. De har derimot rutiner for at en fra personalet går over lokalene før de går hjem og skrur av evt. tavlebelysning og låser dørene. Samtlige lys på toaletter stod

på under befaring, disse ble ikke slukket og heller ikke datamaskiner. Disse kan da antas stå på hele natten.

På grunn av forhold nevnt over kan det hende lysstyringen ikke virker så optimal som først antatt, og det er vanskelig å vite hva NS 3031 har lagt til grunn for 20 % reduksjon av lys ved styringssystem og om forholdene ved NSOB er bedre eller dårligere enn disse forutsetningene. Det som imidlertid gjør seg gjeldene er at elforbruket ved NSOB er relativt høyt, og ved evaluering av dette senere i kapittel 7.4, er det naturlig å tro at energiposten til belysning antakeligvis er høyere enn her beskrevet. Dette vil derfor bli evaluert på nytt i nevnte kapittel, når målt forbruk er evaluert.

5.7 Tørrkjøling datarom

Da kjøling på datarom er elspesifikk energibruk er det ingen målere som registrerer dette forbruket, men det inngår som en del av den totale elektrisitetsbruken. En enkel beregning av dette elforbruket er gjort. Forutsetninger lagt til grunn er at datarommet holder en settpunkttemperatur uavhengig av elevene er til stede. Det vil si at all varmen som tilføres rommet når elevene er til stede og skrur på datamaskiner må fjernes. Fra tidligere er det funnet varmeproduksjon fra elevene og en gjennomsnittlig elev går i 5.trinn og produserer 117 W ved sittende aktivitet. Er det 30 elever og 30 maskiner som avgir 150 W i rommet samtidig med en samlet driftstid på 1140 h/år, gir dette en varmemengde på ca. 9000 kWh per år som må fjernes. Tørrkjølemaskiner har vanligvis en virkningsgrad på 2,5 (NS 3031 2007), det vil dermed si at den bruker ca. 3600 kWh/år i elektrisitet for å fjerne denne varmen.

5.8 Tetthetsmålinger

Det var stilt strenge krav til tetthet av bygget under bygging. Oppfølging og visshet om at bygget skulle tetthetstestes i etterkant har motivert til å gjøre godt arbeid i følge entreprenør (Eimhjellen 2009). Trykktester og termografering i etterkant bekreftet dette, da lekkasjetallene ble funnet til å være $n_{50}=0,27$ og $n_{50}=0,47$ hhv. for skole og barnehage. Kravet i anbudsgrunnlaget var $n_{50}<1,5$ så kravet er oppnådd med god margin.

Av Figur 5 i kapittel 3, ser man at kravet til tetthet i passivhus er $n_{50}=0,60$ og målinger viser at NSOB ligger rundt halvparten av dette. Dette er ekstremt god tetthet. Entreprenør har oppgitt at det stilles en del usikkerhet i forhold til disse målingene. Erfaringer gjort av Pro Teknologi AS, som er et firma som trykktester isolat på sykehus og lignende, sier at de er godt fornøyd når de oppnår et lekkasjetall til å bli $n_{50}=0,5$, og et lekkasjetall på $n_{50}=0,2$ er veldig sjeldent (ProTeknologi 2010). At NSOB er tettere enn isolater på sykehus er ganske oppsiktsvekkende. Dette kom også frem i simuleringen av bygget i Simien. Med denne tettheten var det helt umulig å oppnå det varmeforbruket som skolen faktisk har. Mer om denne simuleringen i kapittel 7.9.

Derimot er NSOB et bygg med stort volum, oppimot 20 000 m³. Når dette er fordelt på 6010 m² og yttervegger på rundt 3000 m² gir dette et relativt stort volum i forhold til mulige utettheter. Termografen AS som målte tettheten, sier at tetthetstesten ble foretatt på hele bygget under ett, dette gjør at det er ikke vanskelig å oppnå så stor tetthet når volumet er så stort. Det stilles stor usikkerhet til slike målinger, og kanskje burde tetthetsmålingene vært

delt opp i ulike soner for å få et riktigere bilde av tettheten i bygget. Det er godt mulig at tettheten ved en slik måling, i stedet ville ha vist 1,5 luftskifte per time (Termografen 2010). Kanskje hadde det vært behov for å revurdere testmetodene for sammenligning av store bygg i forholdt til små. Kravet til tetthet i bygninger fra TEK 07 på 1,5 luftskifte per time ved 50 Pa trykkforskjell, viser seg ved denne testmetode å være svært enkelt å oppnå når man har store luftvolumer i bygningen.

Siden tettheten er et mål på samlet tetthet i bygget, blir det uansett feil å bruke $n_{50}=0,27$ i simulering i Simien. Dette fordi at i Simien deles bygget opp i ulike soner, og de sonene som har større andel av ytterflater vil naturligvis ha større utetthet enn indre soner.

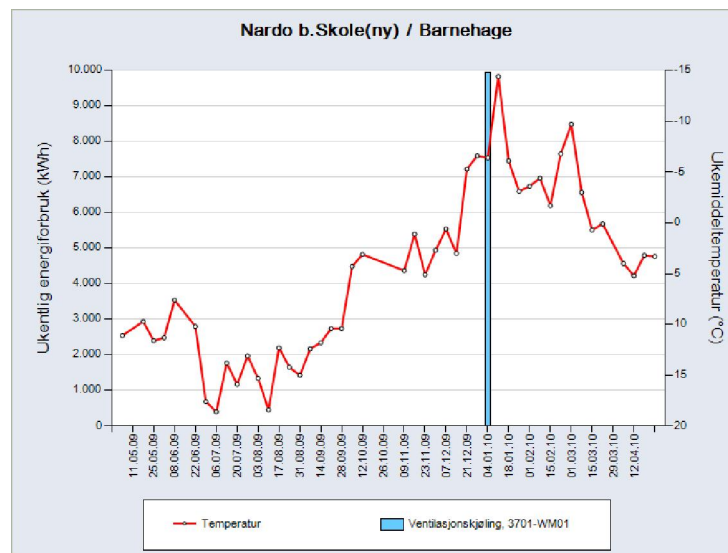
6 Målerfeil i EOS, SD-anlegg og VVS-tegninger

Ved evaluering av energibruken ved hjelp av tilgjengelig verktøy, har det gjort seg gjeldene ulike feil i tilknytning til disse. Disse har blitt notert og i størst mulig grad har det blitt forsøkt og funnet årsaken til disse. I begynnelsen var dette et kapittel som skulle komme etter evalueringen av energibruken som et kapittel om feilkilder, men etter hvert har det blitt mer og mer klart at det tidvis er stor usikkerhet til en del av målerne og dette vil ha sterk innvirkning på resultatene funnet i neste kapittel. Derfor er det valgt å gjøre oppmerksom på disse før det presenterer energibruken ved NSOB. Siden denne oppgaven går ut på å kartlegge energibruk ved NSOB, har det ikke vært tid til en grundig gjennomgang av målere og feil knyttet til disse. Derimot har det blitt registrert de feil som eventuelt har dukket opp, og disse presenteres i dette kapittelet.

6.1 Energiguident Pluss (EOS)

I noen tilfeller i Energiguident Pluss kan det tilsynelatende se ut som noe er feil. For eksempel i uken 4.januar 2010, melder det seg et veldig stort energiforbruk, oppimot 10 000 kWh på denne uken, til ventilasjonsskjøling, se Figur 16. Dette er veldig usannsynlig for årets kaldeste uke.

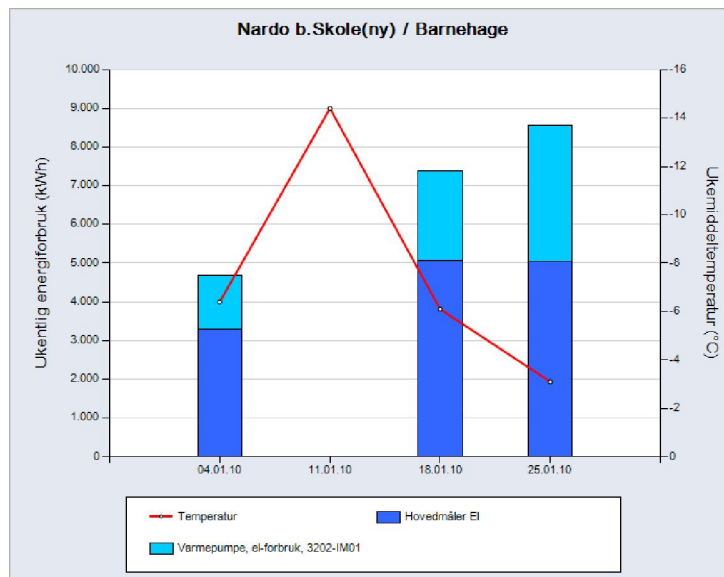
Figur 16: Målerfeil i Energiguident Pluss. Tilsynelatende ser det ut som det er brukt 10 000 kWh på kjøling i årets kaldeste uke. Illustrasjon Entro



Dette skjer også for Hovedmåler El i mars 2010, der det ser ut som det er brukt over 180 000 kWh på en uke. Det som kan ha skjedd her er at det ikke har blitt avlest energi til kjøling og El. for forestående år, så det som gjør seg gjeldene her kan være akkumulert energibruk fra forrige avlesning. Elektrisitetmåleren har utover i 2010 derimot målt forbruk som er tett opp imot TEVs måler, så denne er antatt å kun ha hatt en feil denne uken. Det samme har skjedd med fjernvarmemåleren på samme tidspunkt, så det kan ha skjedd en feil en annen plass enn i måleren. Dette er derimot ikke sjekket opp i, siden trendene for denne perioden var tapt da det

ble oppdaget.¹ Den uken det ble satt kulderekord i Trondheim har man ikke data for, som ses av Figur 17.

Figur 17. Årets kaldeste uke finnes det ikke data for.



Slike utfall av registreringer har skjedd 15 ganger i løpet av året 2009/2010. For å få et estimat av hva energibruken disse ukene har vært, har det måttet bli antatt en energibruk. Det er tatt høyde for ukemiddeltemperatur og trender fra innværende periode. Mer om dette i kapittel 0.

Hovedmåler El. i SD-anlegget som rapporterer til EOS, ligger konsekvent mellom 0,6 % og 0,9 % over Tev sin energimåler. Denne kunne vært kalibrert for å måle likt som TEV sin måler. Det er vanskelig å vite om energimålere til vifter og varmpumpe er kalibrerte, siden det resterende elektrisitetsforbruket ikke registreres og man dermed ikke har noen totalsum som man kan sammenligne mot.

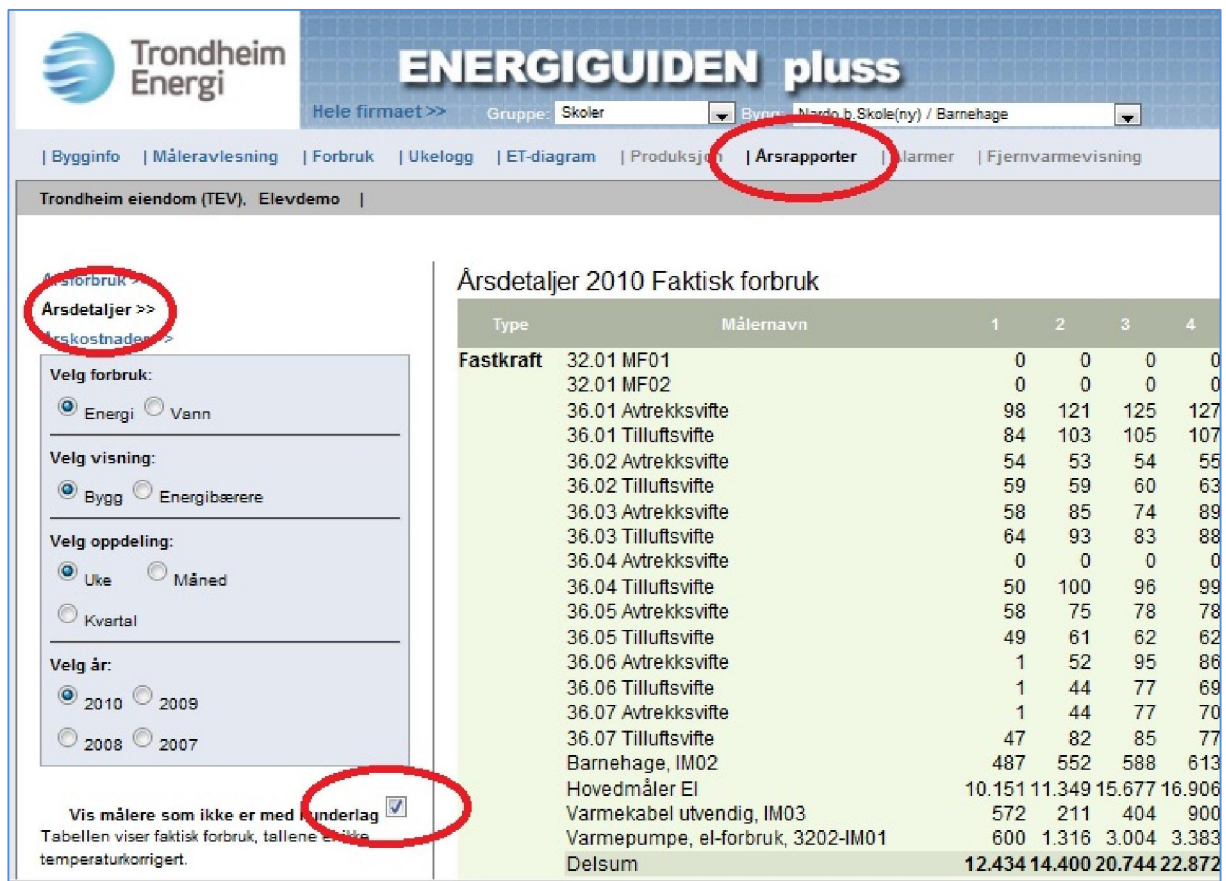
For varmeenergi har man tilsynelatende rundt 360 000 kWh i forbruk på brukersiden, mens måler til TEV for fjernvarme addert med varmpumpe produsert gir kun 310 000 kWh. Man kan ikke forbruke mer energi enn man får tilført, og vanligvis har man i tillegg også tap i distribusjon og regulering, så summert forbruk er vanligvis mindre enn det man har kjøpt. Dette indikerer at noe er galt et sted. Da 310 000 kWh er basert på en undermåler (varmpumpe produsert) kan man ikke slå fast at dette er riktig, så det er vanskelig å vite om feilen ligger i at målerne er kalibrert feil, og dermed alle viser litt for mye, eller om dette kun gjelder en måler som ødelegger for alle. I analyse om energibruk blir det forutsatt at det gjelder alle målerne, derfor er disse kalibrert mot 310 000 kWh. Det gjøres oppmerksomt på at dette muligens er en *drøy* antakelse, men at feilsøking er ansett å være en for stor jobb til å kunne omfattes av denne rapporten.

¹ (Trondheim Kommune har en avtale for lagring av data for 3 måneder med Siemens. Etter dette er de fortsatt lagret, men ikke lengre lett tilgjengelig for Trondheim Kommune.)

Årsrapporter

Under fanen Årsrapporter/Årsdetaljer og man haker av for *Vis målere ikke med i underlag*, får man frem en oversikt som tilsynelatende er et energiregnskap, der man kan velge år med uker, måneder eller kvartal som oppløsning, Figur 18.

Figur 18 Utsnitt av energiregnskap under fanen Årsdetaljer. Fanene som må velges for å finne denne oversikten er merket med rødt. *Illustrasjon: Entro (Entro 2010)*



Dette energiregnskapet er uriktig på mange områder. Hovedmåler EI, for eksempel, stemmer ikke med TEV sin måler i denne oversikten Den stemmer heller ikke overens med Hovedmåler EL som fås av målerregistrering, da disse verdiene burde være like siden de kommer fra samme måler. I samtale med Entro ble det insinuert at det kanskje kunne være hovedmåler EI addert med de andre energimålere for vifter og varmpumpe etc. Dette stemmer godt for noen uker, men ikke alle. Uansett gir det ingen mening da man totalt får en differanse på opp mot 80 000 kWh på et år i forhold til TEV sin måler. Noen eksempler på differansene mellom Målerregistreringsverdier og oversikten under Årsdetaljer er vist i Tabell 8.

Tabell 8: Eksempel på differanse mellom Målerregistreringsverdier og excelark under Årsdetaljer i Energiguident Pluss.

	målernavn	1	2	3	4	5
		[kWh/uke]	[kWh/uke]	[kWh/uke]	[kWh/uke]	[kWh/uke]
Årsdetaljer	Hovedmåler EI	10 151	11 349	15 677	16 906	16 011
Målerregistrering	Hovedmåler EI	9073	9359	10681	10872	10735
Årsdetaljer	Varmepumpe, el-forbruk, 3202-IM00	600	1 316	3 004	3 383	3 236
Målerregistrering	Varmepumpe, el-forbruk, 3202-IM01		2303	3530	3273	3210
Årsdetaljer	Nardo b.skole(ny)-fastkraft-68778430-timesmålt	8 385	8 525	10 528	10 973	10 148
Målerregistrering	Nardo b.skole(ny)-fastkraft-68778430-timesmålt	8992	9275	10589	10770	10636

I tillegg er det i denne oversikten summert opp delsummer av energibruk, der for eksempel fjernvarme på tilførselssiden er summert opp med fjernvarme på forbrukssiden. Dette er verdier som ikke gir noen mening og burde absolutt ikke vært der. De gir bare et uriktig bilde av energistrømmene. TEV sine verdier i dette arket stemmer heller ikke overens med verdier fra målerregistrering, så alt i alt er dette en oversikt som florerer av feil og burde vært rettet opp i eller fjernet.

Det er *målerregistreringene* som gir den mest riktige verdien, og det er disse som er tatt utgangspunkt i ved beregninger i denne rapporten.

Oversikten under *Årsdetaljer* gir mulighet for å overføre verdiene til Excel, denne muligheten har man også for *målerregistreringene*, men kun for én målerregistrering av gangen. Derfor blir man, ved ønske om å summere opp energibruken for de ulike målingene, nødt til å laste ned målerregistreringene manuelt for hver uke. Nettopp derfor burde denne *Årsdetaljer*-oversikten blitt korrigert mot målerregistreringene slik at man enklere kunne laste ned data til Excel.

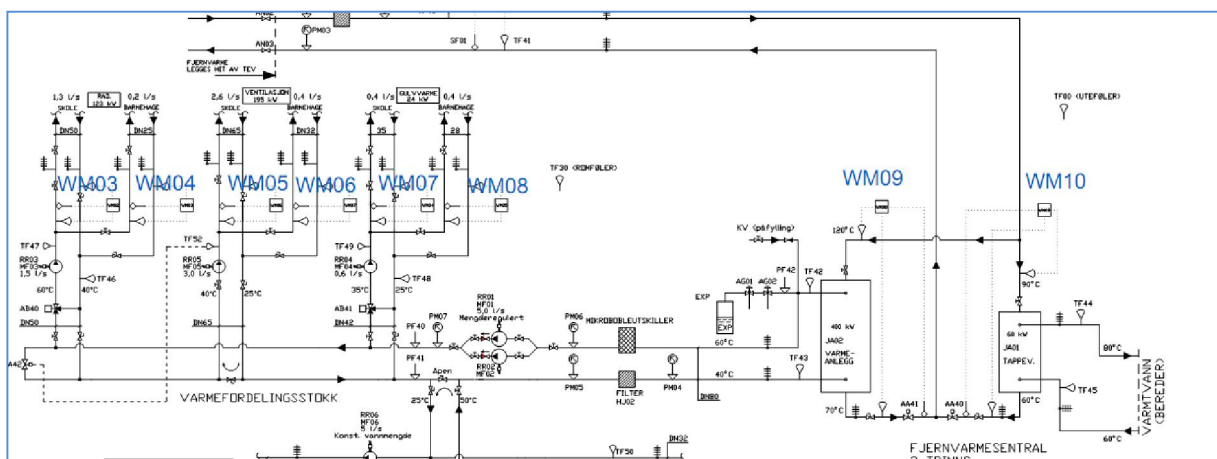
6.2 Feilmerking av målere på VVS tegning

De ulike undermålerne, med prefiks WM, som måler energibruk er utbredt merket feil i forhold til VVS tegning. Dette har ikke så stor praktisk betydning da målerne er rett merket i EOS i forhold til virkeligheten. Et eksempel er 3201-WM03 Radiatorkurs Skole. Det er kombinasjonen av navnet (3201-WM03) og beskrivelsen (radiatorkurs skole) som er feil i VVS-tegninger. Her har måler 3201-WM03 beskrivelsen radiator barnehage. Dette kan være irriterende og forvirrende for driftsleder og andre som skal se på VVS-tegningene, derfor kunne disse vært korrigert.

Tabell 9: Feilmerkinger i VVS tegning i forhold til EOS og virkeligheten.

Tegning 3201- Varmesentral	tegning	virkelighet	EOS
Radiator skole	WM02	WM03	WM03
Radiator BH	WM03	WM04	WM04
Ventilasjon Skole	WM06	WM05	WM05
Ventilasjon BH	WM07	WM06	WM06
Gulvvarme skole	WM04	WM07	WM07
Gulvvarme BH	WM05	WM08	WM08
Fjernvarme tappevann	WM09	WM10	WM10
Fjernvarme varmeanlegg	WM08	WM09	WM09

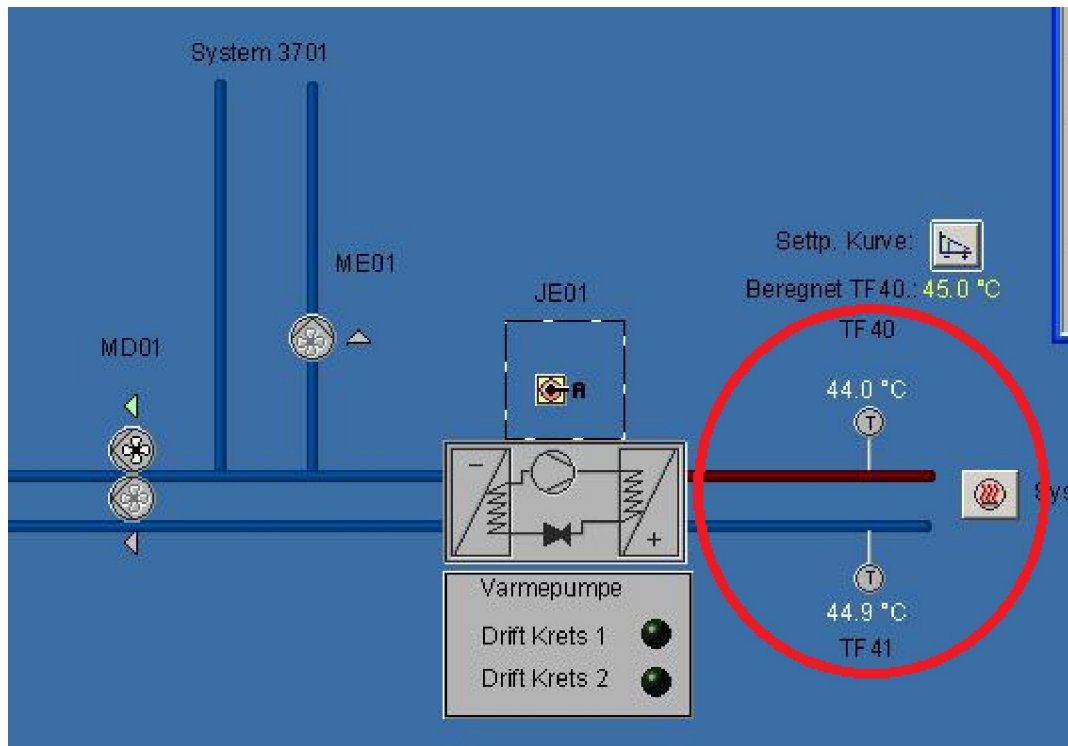
Figur 19 Utsnitt av tegning 3201- Varmesentral viser virkelig plassering og navn på målere.



6.3 Feil i SD-anlegget

Tur- retur temperaturen på varmpumpen, henholdsvis temperaturfølere 3202- TF 40 og 41 er merket feil på SD-anleggets tegning. Her indikerer blått rør retur, altså kald side, og rødt indikerer varm side, turtemperatur. Imidlertid viser disse følerne at returtemperaturen til varmpumpen er høyere enn turtemperaturen. Driftsleder ved kommunen antok at disse var merket feil. Dette burde vært ordnet opp i, da dette i høyeste grad har innvirkning på behandling av data. Dersom denne feilen også dukker opp i videre rapportering til EOS (Energiguident Pluss) vil dette gi meget uheldig utfall. Feilsøking av dette er kun basert på data fra våren 2010, da det kun var dette som var tilgjengelig da feilen ble oppdaget. Da er returtemperaturen konsekvent høyere enn turtemperaturen, se Figur 20, så det indikerer at disse er merket feil.

Figur 20 Feil merking av tur- og returkrets varmpumpen til varmeanlegget i SD-anlegg. TF 40, som er merket med rødt (varm side), holder i virkeligheten lavere temperatur enn TF 41, indikert med blått (kald side). *Illustrasjon: Siemens(Desigo 2010)*



Skulle denne feilen gå igjen i EOS ville dette slått ut som at varmpumpen ikke leverer noe. Da ville ytelsen til varmpumpen være null og det er den derimot ikke. Så i dette henseende indikerer dette at i EOS så har merkingen blitt riktig.

En mer alvorlig konsekvens kan det derimot ha dersom følerne i SD-anlegget *IKKE* er merket feil, men at temperaturen faktisk i perioder er høyere på retursiden enn tursiden. Da vil varmpumpen ikke klare å levere varme og dette vil ha sterk innvirkning på årsvarmefaktoren til varmpumpen, da den vil trekke like mye strøm til kompressorene i en slik situasjon. Da disse temperaturverdiene ikke er lagret fra vinteren har det ikke vært mulig å kontrollsjekke dette, men for de som er tilgjengelig (3 mnd) er dette en konsekvent feil, noe som indikerer at det kun gjelder merkingen i SD-anlegget.

6.4 Diskusjon målerfeil

Da Linda Eimhjellen skrev sin masteroppgave skulle også hun kartlegge energibruk ved NSOB. Dette lot seg da ikke gjøre siden det fortsatt var utbredt innreguleringsproblemer med anlegget våren 2009, og varmpumpen var hyppig ute av drift. Hele 13 tilfeller av driftsstans er identifisert (Eimhjellen 2009). Ved prosjektstart av denne oppgaven ble det også insinuert av kommunen at det var feil ved noen av målerne, og at kommunen ønsket å få oversikt over hva dette gjaldt. Utover i dette prosjektet har det blitt mer og mer klart at feil knyttet til målerne har vært et mye større problem enn først antatt. En utredning og gjennomgang av disse hadde kanskje vært en mer passende oppgave enn å se på energibruk ved skolen, når det stilles så stor usikkerhet til målerne som det faktisk gjør.

Da det stilles så stor usikkerhet til måler av kjølekurs, er den målte verdien høyst tvilsom. Men siden dette er eneste data som er tilgjengelig er det likevel valgt å bruke denne i beregninger av energibruken.²

² Det er veldig mange meninger å oppdrive fra ulike hold angående målerne ved NSOB, da det i begynnelsen ble meg fortalt at denne verdien sannsynligvis var akkumulert forbruk var det dette som ble forutsatt. Da det derimot ble klart at dette sannsynligvis var høyst tvilsomt, var det for sent å gjøre om alle beregninger.

7 Energibruk

I dette kapitlet skal jeg se på den målte energibruken i bygget. Informasjonen er basert på loggdata hentet fra Energiguide Pluss og loggdata fra Siemens Desigo Web. Energibruk for et år er gjengitt. Det er valgt å beregne et år fra mai 2009 til og med april 2010, som er nyeste data. Dette på grunn av at det i nye bygg tar det gjerne litt tid før anlegget er riktig innkjørt og tilpasset bruker. Siden bygget var nytt i 2008 kan det i begynnelsen av 2009 fortsatt ha vært litt innkjøringsproblemer med anlegget. Siden vinteren 2009/10 var en rekordvinter med tanke på kulde, med temperaturer ned mot minus 30 °C, er behovet for graddagskorrigering desto viktigere for å få et mest mulig riktig bilde på energibruken.

7.1 Måledata

Målere

NSOB mottar energi i form av fastkraft og fjernvarme fra Trondheim Energiverk (TEV). TEV har derfor to målere som måler energibruken levert til bygget. Trondheim Kommune har sentral drifting av skolene sine og har derfor installert et SD-anlegg for å overvåke og styre energibruken og driftingen av bygget. I hovedsak er SD-anleggets formål å styre driften, men det kan også brukes til å måle energibruken. Det er derfor installert en del termiske energimålere på strategiske plasser. I hovedsak er det energimålere på alle varmebatterier, gulvvarme, radiatorer og tappevann. I tillegg registreres elektrisitetsforbruk til viftene i ventilasjonsanlegget, samt elektrisitetsforbruk og levert varme fra varmepumpen. Energi til pumper, belysning og utstyr måles ikke så dette må antas ut ifra totalt elektrisitetsforbruk.

Usikkerhet i data

Tallene i dette kapitlet er basert på verdier for total energibruk registrert av TEV. I tillegg er formålsdelt energiflyt på brukersiden sett på ut ifra målere fra SD-anlegget. Data er hentet ut ifra Energiguide Pluss. Det er tatt utgangspunkt i ukesforbrukverdier som er summert opp for det gjeldende året, mai 2009 til og med april 2010. Av og til blir det feil på målere fra SD-anlegget, dette gir utslag i at verdiene enten blir lik null, eller at det brukes siste registrerte verdi. Dette kan gjelde hovedmåler EL eller alle undermålerne.

Der det har vært manglende data er det antatt verdier med utgangspunkt i trender (hvordan energibruken normalt fordeler seg i inneværende periode) og faktisk energibruk fra TEV. Der det har vært mangel på data sammenfallende med ferier, er dette tatt høyde for. Siden det er relativt hyppig feil på undermålere, og mye materiale som mangler og like mange antakelser, må det gjøres oppmerksom på at disse tallene er et estimat og kan avvike fra virkelige verdier.

Det er også mistanker om at målerne kan være koblet feil, og/eller at de ikke har riktig omregningsfaktor slik at de måler feil verdi. Dette vil selvsagt ha stor innvirkning på

resultatet, spesielt dersom måleren for produsert varme fra varmepumpen er feil. Dette vil slå ut på årsvarmefaktoren og dermed lønnsomheten til hele anlegget.

Til og med TEV sine målere kan gjøre feil. Disse skal kvalitetssikres av TEV, men det hender at feil ikke blir plukket opp. Det er altså usikkerhet knyttet til disse verdiene også, men i forhold til målerne i SD-anlegget er TEVs målere ganske pålitelige, og er det nærmeste sannheten man kommer.

7.2 Levert energi

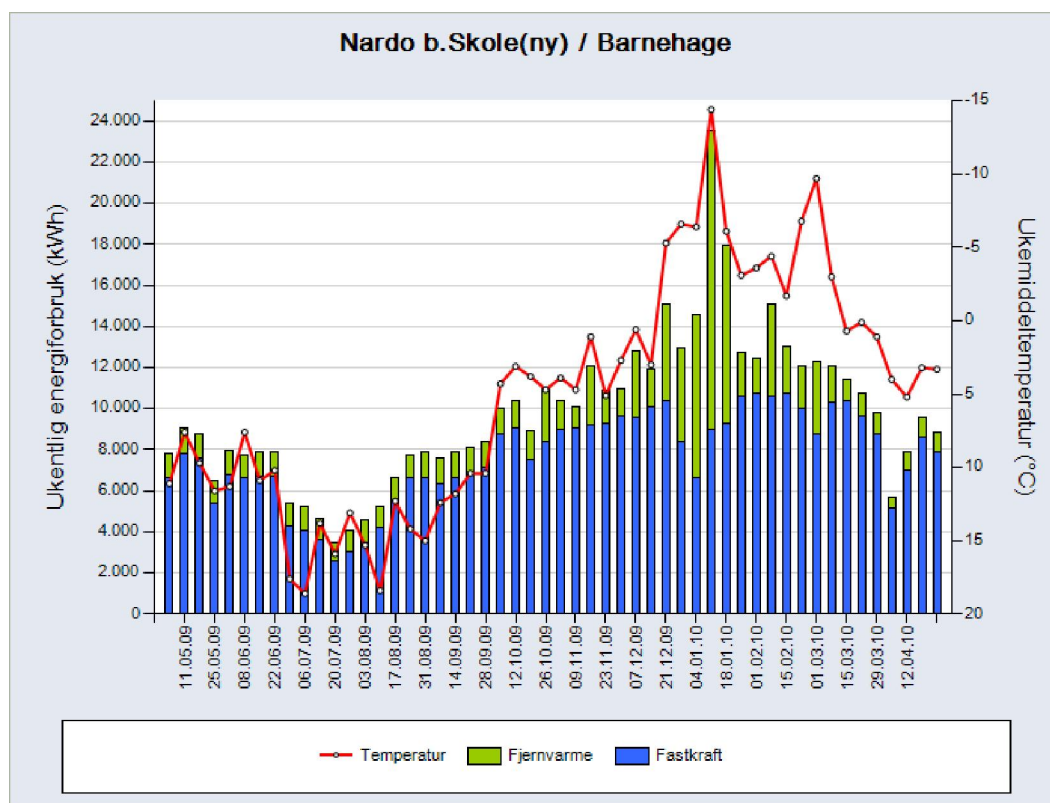
Siden 2009 fortsatt var preget av innreguleringsproblemer der varmepumpen tidvis var ute av drift tidlig på året, er det valgt å ta utgangspunkt i det nyeste året tilgjengelig, altså fra mai 2009 til og med april 2010. Levert energi til bygget basert på tall fra TEV er vist i Tabell 10.

Tabell 10: Totalt levert energi til NSOB for årene 2009 og nyeste år fra mai 2009 til og med april 2010. Basert på tall fra TEV.

Levert energi målt forbruk				
	2009		2009/2010	
	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]
Fastkraft	412 308	68,7	398 975	66,5
Fjernvarme	112 658	18,8	110 194	18,4
Totalt	524 966	87,5	509 169	84,9

Av tabellen ser man at forbruket har gått ned fra år 2009, på tross av at vinteren 2010 har vært en rekordkald vinter. Dette skyldes nok at anlegget er bedre innregulert og energibruken derfor mer effektiv. Senere vil energibruken bli graddagskorrigert.

Forbruk av fastkraft og fjernvarme per uke for året 2009/2010 er grafisk fremstilt i Figur 21.

Figur 21 Levert energi Fastkraft og Fjernvarme for året mai 2009 t.o.m april 2010. Ukeforbruk.

Man ser at forbruket følger temperaturkurven ganske godt. Og at fastkraft er den største andelen av energiforbruk og at fjernvarme brukes som spisslast på toppen. Heretter vil jeg kunne se på året fra mai 2009 til og med april 2010.

7.3 Graddagskorrigerering

For å kunne sammenlike energibruk i bygninger over ulike år, er det behov for å korrigere energibruken i forhold til temperaturstatistikk. Dette kalles graddagskorrigerering. Det er kun energibruk som er temperaturavhengig som skal korrigeres, det vil si termiskenergi til romoppvarming og ventilasjon. Belysning, utstyr og tappevann er ikke avhengig av temperaturen og derfor skal ikke denne energibruken graddagskorrigeres. Utgangspunktet for beregningen er at det antas at bygningen ikke trenger oppvarming når utedøgnmiddeltemperaturen overstiger 17 °C. Temperaturen som brukes er døgnmiddeltemperaturen. Dersom temperaturen er over 17 °C, er graddagstallet $GD=0$, dersom temperaturen er under 17 °C, legges det til det antall °C som skal til for å komme opp i 17 °C. Normalt graddagstall for Trondheim kommune er $GD=4441$, basert på data fra 1961-1990. Graddagstallet for året mai 2009 til og med april 2010 er funnet basert på månedsgraddagstall som er summert opp. $GD(09/10)=4420$.

Tilgjengelige data er andel fjernvarme som går til tappevann, andel av produsert varme fra varmepumpe som går til tappevann. Derfor er det beregnet en andel av fjernvarme og varmepumpe som bidrar til tappevannsforbruket. Det resterende forbruket av energi til fjernvarme og varmepumpen har blitt graddagskorrigert i Tabell 11.

Tabell 11: Graddagskorrigert energibruk.

Graddagskorrigert energibruk				
	Målt forbruk		Graddagskorrigert	
	[kWh]	[kWh/år*m ²]	[kWh]	[kWh/år*m ²]
Fastkraft	398 975	66,4	401 102	66,7
Fjernvarme	110 194	18,3	114 580	19,1
Totalt levert energi	509 169	84,7	515 683	85,8

Som man ser av Tabell 11 er det liten forskjell fra målt forbruk 09/10 til det graddagskorrigerede forbruket. Kun ca. 6500 kWh/år skiller, noe som utgjør kun 1,1 kWh/år pr. m². Det var forventet at graddagskorrigeringen skulle ha en større innvirkning på energibruken grunnet den rekordkalde vinteren 2010. Derimot var 2009 et relativt mildt år. Juli, august, september og november 2009, samt april 2010 var måneder som lå langt under normen i antall graddager. Disse har utliknet januar og februar 2010, og bidratt til at året 2009/2010 faktisk, tross rekordkald vinter, har blitt mildere enn normalåret.

Tabell 12 viser hvordan graddagstallene har vært de siste årene, for Voll i Trondheim, og hvordan de har vært i forhold til normalåret, basert på data fra 1961-90.

Tabell 12: Avvik fra Norm gradtall. De siste fem årene har vært betydelig mildere enn normalåret som brukes som referanse.

Årstall	GD-tall	Avvik fra Norm [%]
Norm	4 441	
2005	3 974	10,5 %
2006	3 740	15,8 %
2007	4 056	8,7 %
2008	3 859	13,1 %
2009	4 013	9,6 %
2009/2010	4 420	0,5 %
Snitt	4 010	9,7 %

Samtlige år har vært mildere enn normen og avviket kan være så stort som 16 % som vi ser fra 2006, og behovet for graddagskorrigerer blir veldig viktig. I tilfellet 2009/2010 derimot, er avviket fra normalåret knapt en halv prosent. Som vi så av Tabell 11 utgjorde ikke dette mye på den totale energibruken.

For de siste årene, inkludert året 2009/2010, er et normalår betydelig mildere enn normen, rundt 10 % mildere. Kanskje mer interessant ville det vært å graddagskorrigert energiforbruket mot dette normalåret, for å se forventet energibruk neste år. Grunnet stor usikkerhet i data fra før, velges det å ikke graddagskorrigere all delenergi for året 2009/2010 da avviket fra normen er såpass lite (<0,5 %). Videre beregninger baseres altså på energibruken slik den var året 2009/2010, da dette ikke avviker stort fra slik det vil være i et såkalt normalår.

Det er ikke tatt hensyn til elektriske varmekabler utendørs ved graddagskorrigerings siden disse ikke har noe med oppvarming av bygget å gjøre, og forholder seg ikke til 17 °C. Derimot er det et energibehov som er avhengig av utetemperatur og nedbør/snø, og vil derfor variere over ulike år. Dette avviker er det sett bort ifra. Graddagskorrigeringsdata er lagt ved i vedlegg.

7.4 Elektrisitetsspesifikt energiforbruk

Det behovet som kun kan dekkes ved elektrisitet kalles el-spesifikt forbruk. Dette gjelder belysning og diverse utstyr som varmpumpe, vifte, pumper, datamaskiner etc. Ved NSOB tilsvarer dette rundt 400 000 kWh per år. Trekker man fra det som indirekte går til varmeproduksjon, varmpumpe og varmekabler utvendig, er el-spesifikt forbruk rundt 300 000 kWh. Dette tilsvarer rundt 50 kWh/m² per år, inkludert belysning, vifter og pumper.

Tabell 13: El-spesifikt forbruk. Tall er basert på undermålere i SD-anlegg for de fire første postene, og summen av disse er fratrukket TEVs fastkraft måler og gir dermed restposten belysning, pumper og utstyr, slik at det til sammen blir likt TEVs måler.

El.spesifikt forbruk		
	[kWh]	[kWh/år*m ²]
Vifter	57 170	9,5
El. Varmepumpe	73 972	12,3
Varmekabler utvendig	20 827	3,5
Barnehagen utstyr og belysning	27 514	4,6
Belysning, pumper og utstyr	219 494	36,5
Totalt el. spesifikt forbruk	398 975	66,4

Legg merke til at energi til varmekabler er nesten like stor som energibruken til barnehagen. Det er altså en betydelig mengde energi som brukes på å holde trappepassasjen isfri vinterstid. En bedre løsning på dette hadde vært å bruke returvann fra varmedistribusjonssystemet, dette kommenteres mer i kapittel 7.8.

Teknisk utstyr

I utgangspunktet var internlaster i form av teknisk utstyr lik veiledende verdier fra NS3031, da dette vanskelig lar seg måle. NS 3031 gir en veiledning for internlaster på henholdsvis 6 W/m² per år og 2 W/m² per år for skole og barnehage. Når elektrisitetsforbruket skulle ses på, ble det fort klart at dette tallet avviker mye fra forbruket av el. ved NSOB. Av Tabell 14 vises el.spesifikt forbruk mer detaljert. Her er det forsøkt å dele opp posten *belysning, pumper og utstyr* fra Tabell 13. I tillegg er posten for *Barnehagen utstyr og belysning* lagt til denne for å se forbruket under ett. Vifter, varmpumpe (VP), varmekabler og hovedmåler elektrisitet er det som måles. Tørrkjøling er estimert verdi som er beregnet i kapittel 7.8.

Belysning var i utgangspunktet som beregnet i kapittel 5.6, men siden elektrisitetsforbruket for de resterende postene da ble uvanlig stor, ble det naturlig å anta at belysningsposten var høyere. Estimerte verdier fra forprosjekterte verdier til VVS Norplan og Isocare AS (Eimhjellen 2009), viste at begge beregninger hadde et belysningsforbruk på rundt 140 000

kWh/år. Denne verdien ble derfor valgt. Forprosjekterte energibudsjett vises i sin helhet i neste kapittel 7.5. Pumper og utstyr er altså det resterende elektrisitetsforbruket.

Tabell 14: El-spesifikt forbruk med antatte verdier for belysning, tørrkjøler datarom, pumper og utstyr.

El.spesifikt forbruk		
	[kWh]	[kWh/år*m ²]
Vifter	57 170	9,5
El. Varmepumpe	73 972	12,3
Varmekabler utvendig	20 827	3,5
Pumper og utstyr	103 407	17,2
Belysning	140 000	23,3
Tørrkjøling datarom	3 600	0,6
Totalt el. spesifikt forbruk	398 975	66,4

Det brukes altså 103 400 kWh på elektrisk utstyr og pumper. Da det ikke er målere på avtrekksviftene som går over tak, vil energibruk til disse også inngå under denne posten. Forutsettes vektet driftstid funnet i kapittel 0, lik 1860 timer, blir dette et spesifikt effektforbruk til teknisk utstyr på 9,2 W/m² per år. NSOB er en høyteknologisk skole med moderne utstyr. I administrasjonen og lærerværelser har selvfølgelig alle hver sin pc. De har dessuten eget datarom for elever. De har kjølerom for skolemelk, og kjølerom på kantine. Hovedkjøkken med stor avtrekksvifte er uvanlig på en barneskole. De har egne avtrekk på forskerstasjoner og heimkunnskapskjøkken. Naturligvis trekker det strøm til disse viftene, som ikke inngår i viftebudsjettet. Det er utstrakt bruk av Smartboard i undervisning ved NSOB i tillegg til at temperaturfølere, lysfølere og annet overvåkningsutstyr trekker noe strøm. Totalt fører dette til at NSOB har et høyere elektrisitetsforbruk til teknisk utstyr enn skoler av eldre slag.

Ved befaring ble det registrert at det finnes datamaskiner også andre steder enn bare datarom. De har 7 datamaskiner i hvert fellesareal undervisningsfløy, i tillegg til stasjonære datamaskiner på hvert klasserom i tillegg til et par bærbare per klasserom. Biblioteket hadde også et par datamaskiner. Printer, cd-spiller og telefon er det på hvert klasserom. Smartboard på hvert klasserom, i tillegg til i formidlingsrommene. På møterommene og SFO er det i tillegg tv. Flesteparten av datamaskiner observert ved befaring, med unntak av klasserommene, var påskrudd, men logget av. Det står oppfordringer om ”Husk å skru av datamaskin” alle steder hvor det er datamaskiner, men oppfordringen blir ikke fulgt. I følge lærer på stedet vet elevene godt forskjell på avskrudd og avlogget, så det er ikke mangel på informasjon som er årsaken. Figur 22 viser datarom ved befaring.

Figur 22 Datarom før og etter aktivering av skjerm.

Tilsynelatende så det ut som datamaskinene var avskrudd, men ved å bevege på mus kom skjermen på og viste at 14 av 17 maskiner var påskrudd.

Det kan gjøres et estimat av hvor mye elektrisitet som forbrukes unødig ved at datamaskinene ikke blir skrudd av. Forutsatt at datamaskinen trekker 150 W når den er på, og at den i verste fall står på hele året.

$150 \text{ W} * 8760 \text{ h} = 1300 \text{ kWh}$ for et helt år.

Altså for hver datamaskin som står på, i verste fall, hele året trekker det 1300 kWh per maskin. Etter observasjon på stedet og personalet som fortalte at de ikke var *flinke* til å skru av maskinene, er det ikke utenkelig at opptil 10 maskiner står på til sammen hele året. Dette gir da altså et elektrisitetsforbruk på over 13 000 kWh per år.

7.5 Energibudsjett

Oppvarming

Varmebehovet i bygget er basert på TEV sin måler for fjernvarme i tillegg til undermåler for produsert varme fra varmpumpen. TEVs måler er pålitelig, men måleren til varmpumpen stilles det en del usikkerhet til. Men det forutsettes her at dette er den samla varmen levert til bygget.

Tabell 15: Levert og produsert varme i bygget. Dette representerer det totale varmebehovet.

Varmeenergi		
	[kWh]	[kWh/år*m ²]
Fjernvarme levert (TEV)	110 194	18,3
Varmepumpe produsert (SD-måler)	219 825	36,6
Totalt levert/produsert varmeenergi	330 019	54,9

Distribusjon av varme og kjøling på brukersiden

Det finnes i tillegg undermålere som måler varme levert til de ulike delformål. Det gjelder varmbatterier ventilasjonssystemer, gulvvarmekretser, radiatorkretser og bidrag til tappevannsberedning fra fjernvarme og varmpumpe. Tabell 16 viser hvordan dette fordelte seg for året 2009/2010.

Tabell 16: Varmedistribusjon brukersiden. Tall er kun basert på undermålere. Data gjelder for året 2009/2010.

Varmedistribusjon brukerside		
	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]
Radiatorkurs bhg, 3201-WM04	29 775	5,0
Varmbatterier bhg, 3201-WM06	10 947	1,8
Gulvvarme skole, 3201-WM07	70 448	11,7
Gulvvarme bhg, 3201-WM08	9 063	1,5
Varmbatterier skole, 3201-WM05	59 265	9,9
Radiatorkurs skole, 3201-WM03	133 135	22,2
Varmpumpebidrag tappevann	7 463	1,2
Fjernvarme tappevann	41 269	6,9
Totalt varmeforbruk	361 365	60,1
Korreksjonsfaktor	0,91	

Man ser at total forbruk av varme er rundt 30 000 kWh høyere enn antatt varmeleveranse fra Tabell 15. Det er derfor beregnet en korreksjonsfaktor for å korrigere dette delenergiforbruket mot levert varmeenergi. Som nevnt i kapittel 6.1, er det umulig å vite om det gjelder kun en måler eller alle. Det er her forutsatt at alle målerne måler litt for høyt og dermed blir de korrigert mot forutsatt levert varme for videre bruk.

Kjølebehov

Som nevnt tidligere benyttes frikjøling via ventilasjonsanlegg i hovedsak til kjøling. Når uteluften er tilstrekkelig lav for å kjøle ved frikjøling, er det ingen ekstra energibruk knyttet til dette i og med at kun temperaturen på tilluften senkes. Er utetemperaturen derimot ikke tilstrekkelig, må den senkes ved hjelp av kjølebatteriet. Det er denne energien som måles og som i Tabell 17 er kalt *Frikjøling mot grunn 3701*. Det understrekes her at denne verdien er høyst tvilsom, på grunn av usikkerhet knyttet til måleren nevnt i kapittel 6.1. Derimot er det eneste data som er tilgjengelig, så det antas, under sterk tvil, at denne er et bilde på kjølebehovet i bygget.

Tørrkjøling fra datarom er total termisk energi beregnet i kapittel 5.7.

Kjølebehovet er termisk energi og uavhengig av hvilken løsning som velges, enten det er varmpumpe, frikjøling eller tørrkjøler. Brukt energi for å fjerne denne varmen vil altså være avhengig av effektfaktor knyttet til den valgte løsningen.

Tabell 17: Kjølebehovet i bygget. Frikjøling er basert på tall fra undermåler i SD-anlegget og stilles høy usikkerhet til. Tørrkjøling er et estimert forbruk beregnet i kapittel 5.7.

Kjøling		
	[kWh]	[kWh/år*m ²]
Frikjøling mot grunn 3701	9 960	1,7
Tørrkjøling datarom	9 000	1,5
Total kjøling	18 960	3,2

Man ser av tabellen at tørrkjøling utgjør omtrent like mye som kjølebehovet i resten av bygget. Varmepumpeløsningen ble valgt foran fjernvarme som grunnlast, på grunn av at kjølebehovet var anslått til å være betydelig. Da er det synd at man bruker en egen tørrkjøler som går over tak, som ikke får utnyttet ”gratiskjøling” fra grunnen, når dette tilsvarer omtrent halvparten av kjølebehovet. Det stilles stor usikkerhet til begge disse verdier, kjølebehovet ifra anbudsgrunnlaget til VVS Norplan var anslagsvis 30 000 kWh og *tørrkjøler* er et estimert forbruk ut ifra gitte antakelser.³ I realiteten kan altså dette forholdet være mye større.

Energibudsjett fordelt på underposter

Energibehovet til bygget er energibehov til de ulike formål på brukersiden, dette er verdier som er uavhengig av energikilde. Det vil si at det el-spesifikke behovet kan selvsagt kun dekkes av elektrisitet, men varmebehovet kan i utgangspunktet dekkes av hvilken som helst energikilde. Her kommer det følgelig ikke frem at det er installert varmepumpe i bygget. Denne oversikten viser hva bygget behøver av energi for å tilfredsstille bruker, og for å opprettholde et godt inn klima. Data er fra året 09/10. Det er ikke graddagskorrigert grunnet lite avvik fra normalår, se kapittel 7.3.

Tabell 18: Energibehov brukerside til ulike poster på NSOB. Tall er basert på undermålere fra SD-anlegg, og korrigeret for tall for levert/produsert varme. Belysningsposten er et estimat ut ifra veiledende verdier for skoler. Utstyrsposten er fratrukket belysning

Energipost	Målt	
	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]
Oppvarming	221 393	36,8
Ventilasjon	63 190	10,5
Varmtvann	44 505	7,4
Vifter	57 170	9,5
Belysning	140 000	23,3
Utstyr	124 233	20,7
Kjøling	18 960	3,2
Totalt	669 451	111,4

Det må understrekes at dette *ikke* er energi *levert* til bygget. Mye av varmebehovet forsynes fra varmepumpen og kjøling dekkes av frikjøling som er bortimot gratis når man benytter

³ Det stilles også stor usikkerhet til beregning av kjølebehov datarom fra kapittel 5.7, da det i beregning er antatt flere datamaskiner enn det faktisk er.

sirkulasjonskretsen mot energibrønnene. Tørrkjøleren har også en antatt systemeffektfaktor på 2,5 så energi kjøpt til dette formål er lavere.

Det er dette forbruket som brukes når sammenligning mot prosjektert forbruk gjøres i nest kapittel.

Sammenligning målt energibruk med prosjektert energibruk

Rådgivende ingeniør VVS (RIV) for NSOB var under prosjektering VVS Norplan. De foretok en beregning av energibruk av skolen før den ble bygd. I tillegg ble det foretatt en tredjepartskontroll av Isocare AS (Eimhjellen 2009). Verdiene for energiforbruk er hentet fra rapport til Linda Eimhjellen. Der var også oppgitt spesifikt energiforbruk, men ved nærmere undersøkelse viste det seg at arealene i disse beregningene er ulike. VVS Norplan har tatt utgangspunkt i et totalt areal på 6300 m², mens Isocare AS har brukt et areal på 6360 m². Ikke store differansen, men det faktiske arealet er mindre enn begge disse. Totalt areal for NSOB, inkludert tekniske rom er ca. 6010 m²⁴. I Tabell 19 og i hele denne rapporten for øvrig, er totalt areal ved NSOB, A=6010 m². Dette arealet er det også korrigert for i beregningene til VVS Norplan og Isocare AS.

Tabell 19: Sammenligning av målt energiforbruk med prosjektert energiforbruk fra rådgivende ingeniør VVS Norplan og tredjepartskontroll Isocare AS.

Energipost	Målt		VVS Norplan		Isocare AS	
	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]
Oppvarming	221 393	36,8	65 520	10,9	183 906	30,6
Ventilasjon	63 190	10,5	157 500	26,2	107 923	18,0
Varmtvann	44 505	7,4	81 900	13,6	63 610	10,6
Vifter	57 170	9,5	115 920	19,3	100 722	16,8
Belysning	140 000	23,3	147 420	24,5	139 920	23,3
Utstyr	124 233	20,7	69 300	11,5	82 940	13,8
Kjøling	18 960	3,2	0	0,0	0	0,0
Totalt	669 451	111,4	637 560	106,1	679 021	113,0

Man ser av Tabell 19 at Isocare AS har vært nærmest i sine antakelser av energiforbruket på NSOB. De kommer ut med et spesifikt forbruk på 113 kWh/år m², mot det målte forbruket som er 111,4 kWh/år m². VVS Norplan har vært litt mer optimistiske i sine beregninger, men 106,1 kWh/år m² er heller ikke så altfor langt unna. Det som avviker mest er energibruken til de ulike postene, og spesielt til oppvarming avviker det mye. Det målte forbruket er oppimot 250 000 kWh, mens Isocare AS har beregnet et til drøye 180 000 kWh og VVS Norplan har forbausende 65 000 kWh, som er ned imot 1/4-del av det målte oppvarmingsbehovet. Til gjengjeld har VVS Norplan over dobbelt så mye energi til oppvarming av ventilasjonsluft. De har også antatt nesten dobbelt så mye energi til vifter som det målte forbruket. Mesteparten av energien til vifter og pumper kommer systemet til gode på grunn av at elektrisk energi går

⁴ Dette er også betydelig mindre enn hva kommunen har oppgitt på Energiguide Pluss, hvor det er oppgitt et areal på 6564 m². I ettertid er dette blitt korrigert til 6097 m², men med litt andre definisjoner enn det som forutsettes her. Se kapittel 5.4.

over til varmeenergi. Dette gjelder også belysning som har 100 % energigjenvinning, så i utgangspunktet spiller det ingen rolle hvor man tar energien fra så lenge man opprettholder riktig innetemperatur. Likevel, fra et samfunnsmessig perspektiv burde man bruke elektrisitet mest mulig effektivt, og det vil si å unngå mest mulig elektrisitet til oppvarming. Det er ikke samfunnsmessig riktig å bruke lyspærer som energikilde til oppvarming, for å sette det på spissen, selv om det i teorien er mulig. (Unntaket fra dette er selvsagt passivhus)

Man bør også prøve å effektivisere elektrisitetsforbruket mest mulig for å få det varmespesifikke energiforbruket til å bli dekt mest mulig av lavverdige energikilder som varmepumpe og fjernvarme.

7.6 Varmepumpen

Varmefaktor, SPF

Ønsker man å vite hvor godt varmepumpen jobber og leverer gjennom et år må man se på Varmefaktoren, SPF (Seasonal Performance Faktor). Denne er gitt av hvor mye varmeenergi varmepumpen leverer i forhold til hvor mye den bruker av elektrisitet.

$$SPF = \frac{\text{Produsert energi[kWh]}}{\text{Tilført el.energi[kWh]}} \quad \text{Formel 4}$$

Som nevnt tidligere tar det gjerne over ett år å innregulere et nytt anlegg. Januar 2009 var anlegget fortsatt ganske nytt og varmepumpen leverte kun 2915 kWh, som er halvparten av hva den leverte i juni samme år, og i underkant av 1/10-del av hva den leverte i januar 2010, hvor den leverte 31 778 kWh. Dette kan ikke alene skyldes temperaturforskjellene på årene, men skyldes nok i hovedsak innregulering. Mot slutten av året 2009 leverte varmepumpen opp i mot normalen av hva som kan forventes. Derfor er det mest riktig å anse SPF fra året mai 2009 til og med april 2010 som den riktige verdien.

I Tabell 20 er det vist beregnet SPF for varmepumpen.

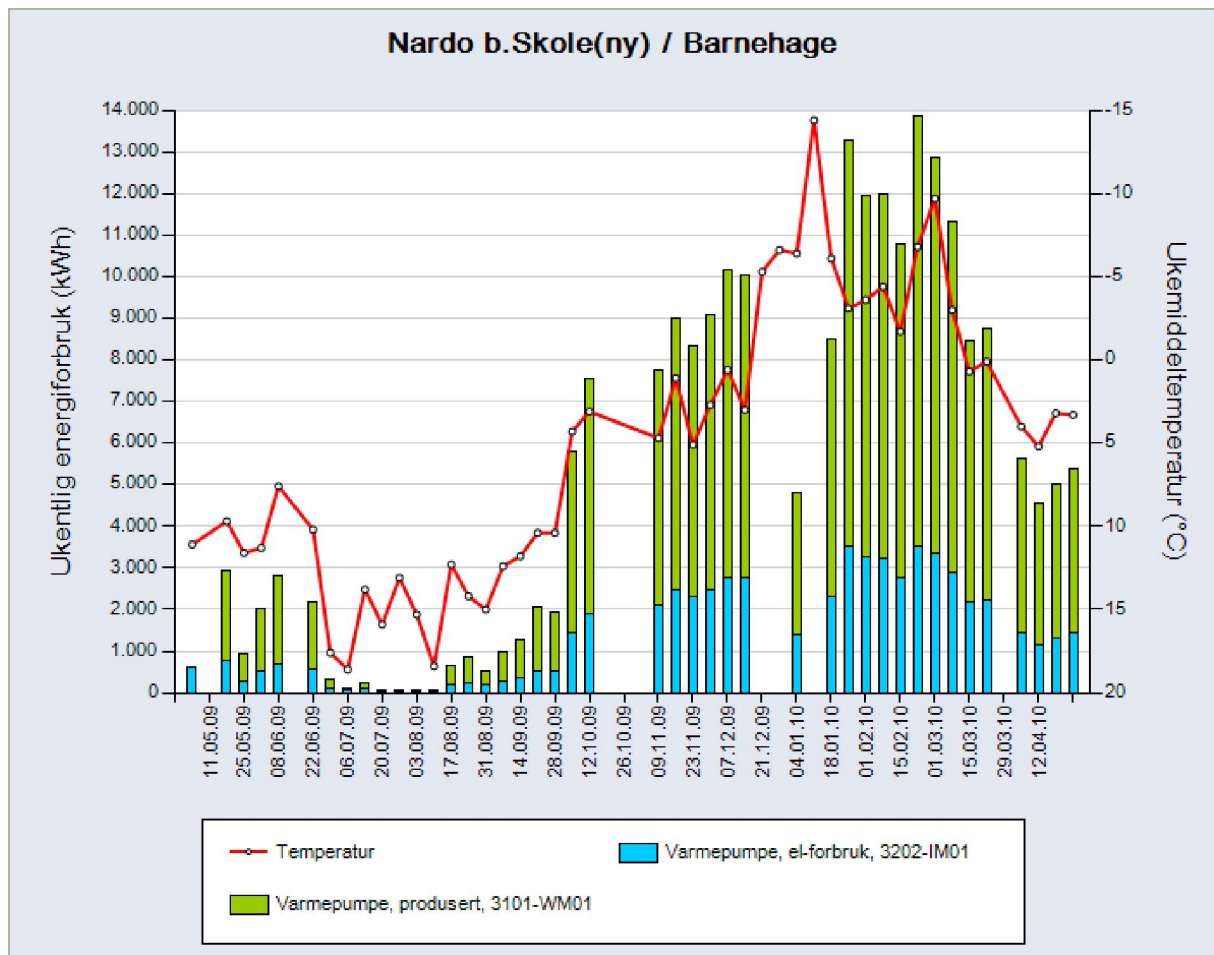
Tabell 20: SPF, årsvarmefaktor varmepumpe NSOB. Tall basert på undermålere fra SD-anlegget.

SPF	mai 09- april 10
	[kWh/år]
Varmepumpe produsert	219 825
Varmepumpe elforbruk	73 972
SPF	2,97

Årsvarmefaktoren målt er altså SPF= 3. Vanligvis er en årsvarmefaktor lavere enn COP ved designtilstander. Dette er fordi designtilstander vanligvis er mer gunstig enn gjennomsnittlige tilstander over året. Ved design forutsettes 0 °C på varmekilden, men ved NSOB holder energibrønnene en temperatur på mellom 6-8 °C, som gir mindre temperaturløft, så i dette tilfellet er faktiske tilstander bedre enn designtilstandene, og følgelig blir SPF bedre enn COP ved designtilstander.

Figur 23 viser elektrisitetsforbruk og produsert varme for varmepumpen for året mai 2009 til april 2010.

Figur 23 Varmepumpe el-forbruk og produsert varme. *Illustrasjon: Entro*



Aktiviteten til varmepumpen følger temperaturkurven godt. Man kan fort identifisere når det har vært ferietid ved NSOB ved å se på denne kurven, da er det enten lav aktivitet eller ingen som i tilfelle juleferien 21.12.2009 eller påskeferien 29.03.2010. Den 11.01.2010 kan det se ut som at varmepumpen også var skrudd av, men dette skyldes feil på målere som nevnt i kapittel 0, og skyldes ikke feil på varmepumpen. Siden en stor andel av elektrisitetsforbruket skyldes varmepumpen, vil man kunne se en kraftig nedgang i dette forbruket og en tredobling (SFP=3) av fjernvarmeforbruket ved en eventuell driftsstans av varmepumpe.⁵ Elektrisitetsforbruket og fjernvarmebruken har ikke endret seg forholdsmessig nevneverdig denne uken, noe som indikerer at varmepumpen har gått som normalt og at det dermed er målerne det har vært feil på. Dette gjelder også en periode rundt 26.10.2009. Tre uker denne perioden finnes det ikke data fra målerne, men fastkraftmåler og fjernvarmemåler fra TEV viser at forholdet mellom disse er som normalt denne perioden, derfor antas at varmepumpen har fungert som normalt.

⁵ Dette kan ses av målerne til TEV som man alltid har målinger på.

Man kan også se fra Figur 23 at varmfaktoren (SPF) forbedres når varmepumpen jobber opp imot maksimal kapasitet. Der hvor det er lav aktivitet er elektrisitetsforbruket tilnærmet halvparten av produsert varme, mens ved de høye stolpene ses det tydelig at varme produsert er tilnærmet tre ganger så stor som elektrisitetsforbruket. Denne grafen viser derfor tydelig at effektiviteten går ned ved del-last-kjøring.

Varmepumpen har altså en SPF, årsvarmefaktor, på 3. I anbudsgrunnlaget og lønnsomhetsvurderingen gjort på forhånd ble det antatt en SPF på 4, og en energisparing fra aggregatet på 80 %. Med en faktisk SPF=3 gir dette bare en energisparing på 67 %. Det er flere forhold kan være skyld i denne ineffektiviteten. (Stene[2] 2010)

Som nevnt i kapittel 4.2, er COP ved designtilstander for denne varmepumpen ganske lav, så varmepumpen er ikke særlig effektiv allerede ved design.

I starten av driftstiden av varmepumpen var det problemer med noen av energibrønnene, at det ikke var sirkulasjon i to av disse. At to energibrønner ikke leverer, gjør at temperaturen på varmekilden (vann/glykol) blir lavere enn antatt. Dette vil medføre at COP til varmepumpen vil gå ned, på grunn av høyere temperaturløft. Driftsleder ved bygget sier det ikke har vært problemer med varmepumpen siden vinteren 09, dette er derfor forutsatt når energiflyten er analysert. Det må grundigere analyser til for å lese av, ut ifra energibruken, om det er noe feil med sirkulasjonen i energibrønnene da dette vil gi minimale utslag på varmeleveransen sett over en uke. Over et år derimot, vil stadige problemer med dette kunne gi store utslag. For å overvåke dette burde det kanskje ha vært en temperaturmåler på kaldsiden av varmepumpen, for å få et bilde av om alle energibrønner fungerer som de skal.

Lav SPF kan også skyldes feil innregulering av distribusjonssystemet. Dersom returtemperaturen fra distribusjonskretsen er høyere enn temperaturen i kondensatoren, vil varmepumpen ikke klare å avgi varme, og følgelig vil SPF bli lavere. Som nevnt i kapittel 6.3 er dette tilfelle, at returtemperatur er høyere enn turtemperatur, men at dette skyldes mest sannsynlig feilmerking.

7.7 Ventilasjon og SFP-faktor

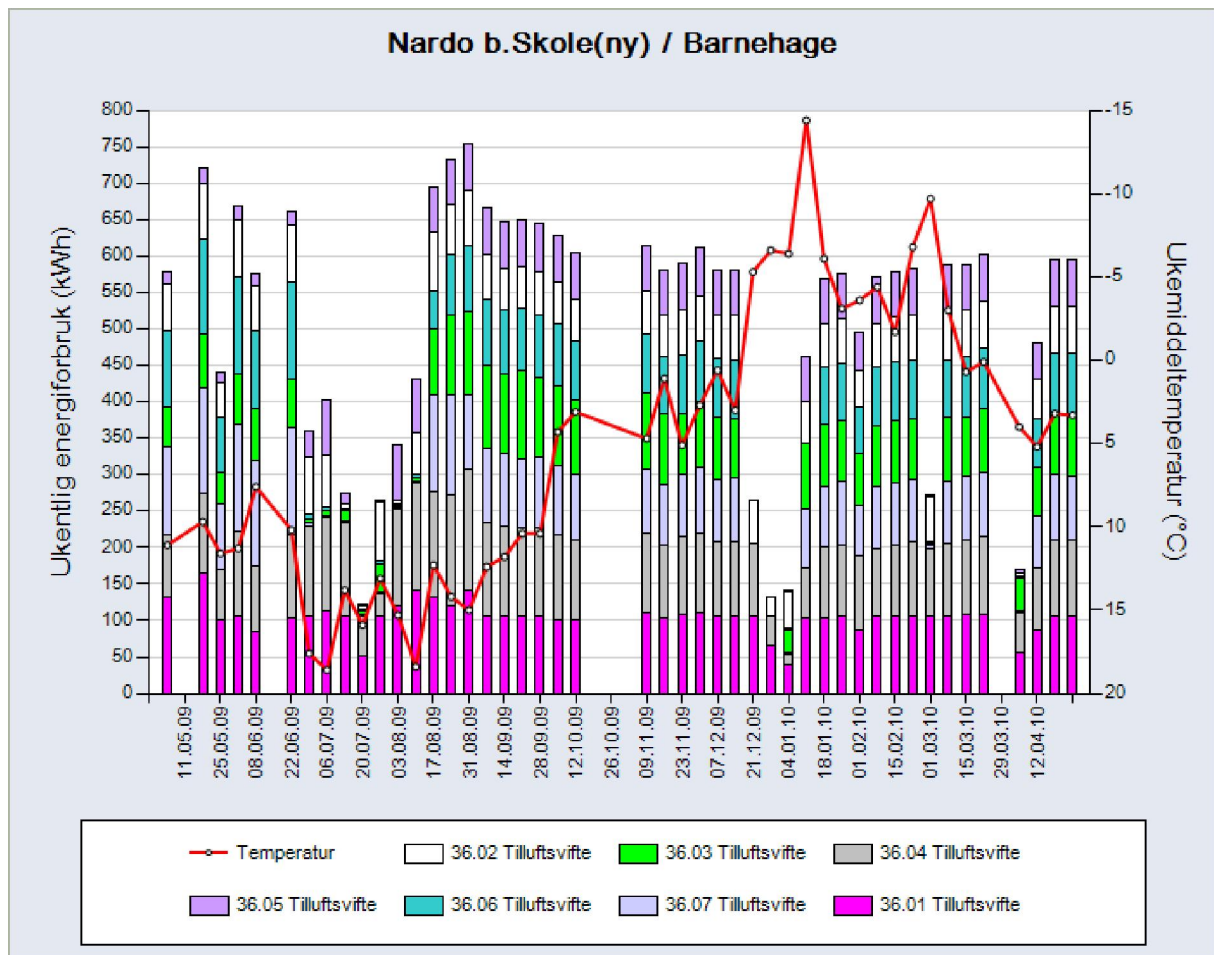
SFP-faktor (Spesifik Fan Power) er et mål på hvor mye effekt viftene i ventilasjonsanleggene bruker, i forhold til hvor mye luft de leverer. Det er tatt utgangspunkt i brukt energi til viftene, gjort et overslag på driftstid og dermed funnet midlere effektbruk for viftene over året. Målt luftmengde fra ventilasjonsaggregatene er gjort ved innregulering av anlegget, og disse verdiene er brukt. Resultatet av SFP-faktor er vist i Tabell 21. Dette er verdier under drifting, siden ventilasjonsanleggene er avskrudd utenfor driftstid.

Tabell 21: Beregnet SFP-faktor for ventilasjonsanleggene på NSOB

Ventilasjonsanlegg		SFP
Navn	Soner	[kW/(m ³ /s)]
36.01	Barnehage	1,9
36.02	ADM/Kontorer	2,9
36.03	Gymsal/Garderober og Amfi	2,0
36.04	1.trinn, SFO, bibliotek og Heimkunnskap.	1,7
36.05	K&H, Pers.Kantine og musikk	1,9
36.06	Undervisning 2,3 og 4.trinn	1,8
36.07	Undervisning 5,6 og 7. tinn	1,8
	Totalt	1,9

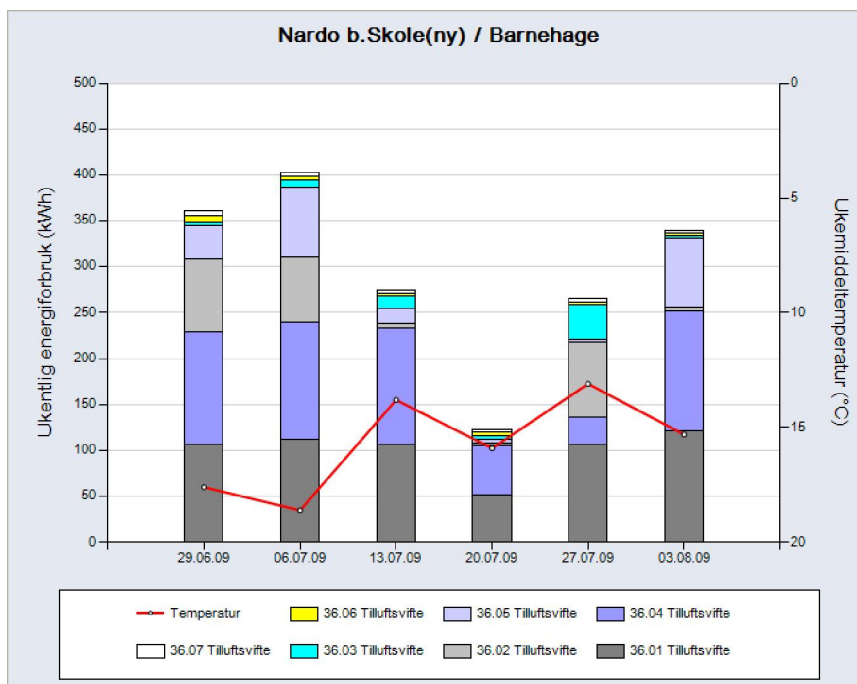
Samlet SFP-faktor er 1,9. Kravet i TEK for Skoler og Barnehager er SFP=2. Man ser av tabellen at alle ventilasjonsaggregatene med unntak av 36.02 Administrasjon/kontorer, holder en akseptabel SFP-faktor på under 2. Derimot har 36.02 Administrasjon/kontorer en SFP = 2,9, som er ganske høyt. Dette er det minste ventilasjonsanlegget med i underkant av 5000 m³/h. Derimot er kanalføringer like lang som for eksempel for 36.04. Dess mindre luftmengder dess mindre kanaldiameter, og dess større trykktap grunnet friksjon i kanalene. Dette i tillegg til at det kjøres større luftmengder, ca. 100 m³/h mer enn det anlegget er dimensjonert for, gjør at hastigheten blir større og trykktapet som viften må overkomme blir større, og dermed vil SFP-faktor også bli større. Det er lite å gjøre med høy SFP-faktor etter at anlegget er bygd, men det er viktig å bytte filter regelmessig slik at trykktapet over filteret blir minst mulig. Nye ventilasjonsanlegg har filteralarm. Underlag for beregning er lagt ved i vedlegg. Figur 24 viser energibruk til vifter ved NSOB.

Figur 24 Energibruk tilluftsvifter for NSOB året mai 2009 til april 2010.



Det valgt kun å illustrere med tilluftsvifter for å få frem 7 farger og ikke 14. Så dette representerer ikke hele energibehovet. Av denne grafen ser man ikke like tydelig når det har vært ferie på NSOB. Perioden rundt 26.oktober, 11.mai og 15. juni mangler det data, som nevnt tidligere. Da gjenstår kun en uke der det er ingen aktivitet og det er 29.03, altså i påskeferien som man kunne forventet. Man ser at rundt juletider er det redusert aktivitet, og det er kun 36.01 barnehage (rosa), 36.04 1.trinn med SFO (grå) og 36.02 Administrasjon (hvit) som er aktiv. Første uken i januar blir også 36.03 Gymsal og amfi (grønn) aktiv. Dette antakeligvis fordi det blir pånytt aktivitet i gymsalen på kveldstid som utleie.

Når det kommer til sommerstid er det flere forhold som gjør seg gjeldende. Figur 25 viser en graf fra kun denne perioden.

Figur 25: Energibruk tilluftsvifter gjennom sommeren.

SFO (mørk lilla) og barnehagen (mørk grå) er stengt to uker om sommeren, det kommer ikke frem av denne grafen. Da burde ventilasjonsanleggene være skrudd av, det er de til gjengjeld ikke. Det er redusert energibruk uken 20.juli, men ellers er energibruken til viftene jevn gjennom sommeren. Administrasjon (grå) ser ut til å ta ferie i uken 13.- og 20. juli. Likevel ser man noe aktivitet i kantine denne uken, muligens fordi personalet i barnehagen benytter denne.

7.8 Kjøling, utendørs elektriske varmekabler og avtrekk.

I dette avsnittet ser jeg nærmere på tekniske løsninger som er valgt, som jeg mener kunne vært løst bedre med tanke på energi. Det gjelder elektriske varmekabler utendørs, tørrkjøler over tak på datarom, avtrekk forskerstasjoner og opptrekkstur på avtrekk hovedkjøkken.

Kjøling datarom

Da bygget ble prosjektert ble det ikke beregnet at det kom til å bli kjølebehov på datarom. Dette har fremkommet i ettertid, derfor er det plassert tørrkjøling som går over tak på datarommet. Dette kunne vært løst bedre ved og hatt frikjøling fra ventilasjonsanlegget dersom kanalene og ventilene hadde vært dimensjonert større. Da kunne varmen fra datarommet blitt gjenvunnet i ventilasjonsanlegget, istedenfor å bli dumpet via tørrkjølere. Behovet for kjøling på datarom er antakeligvis ganske konstant over året, så store deler av året er det behov for denne varmen. I kapittel 5.7 er det beregnet et varmeoverskudd på rundt 9000 kWh og et elektrisitetsforbruk på 3600 kWh for å fjerne denne varmen. Hadde denne kjølingen blitt dekt av frikjøling fra ventilasjonsanlegget, med varmegjenvinnere på 80 % virkningsgrad ville besparelsen blitt rundt 11 000 kWh per år, forutsatt at all varmen kommer til nytte. Da er det ikke tatt høyde for at energi til vifter vil øke noe.

Grunnen til at dette ikke er gjort er nok fordi det ikke er lagt til rette for dette i ventilasjonsanlegget da det ble bygget. Å bygge om i etterkant vil bety store kostnader og vil ikke være økonomisk lønnsomt når besparelsen er bare rundt 2 % av totalt forbruk

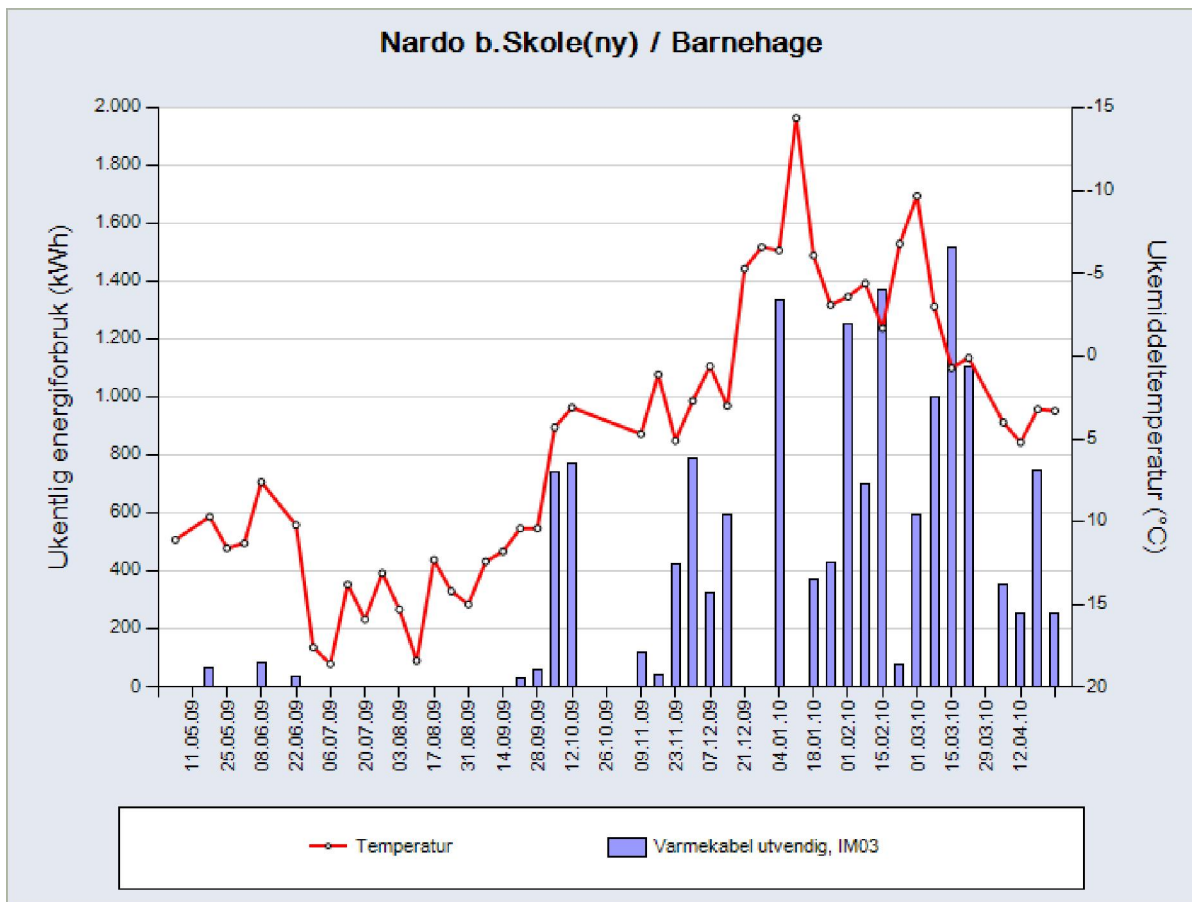
Et annet alternativ hadde naturligvis vært og lagt en kjølekrets om datarommet, slik at frikjøling fra grunnen kunne vært benyttet. Dette kunne vært gjort ved at rørføringene hadde vært lagt i tak, slik som for varmekabler i gulv, med varmeveksling mellom rørene og luften. Dette hadde krevd rørføringer som eventuelt måtte ha gått i åpne føringer, (siden de ville bli installert etter at bygget sto ferdig) noe som antageligvis ikke er ønskelig rent estetisk sett. Det beste hadde vært dersom dette hadde vært lagt til rette for under bygging. Det er merkelig at ingen tenkte på at det ville bli behov for kjøling på et rom med 15 datamaskiner og like mange mennesker fordelt på 36 m², som gir en varmeavgivelse på rundt 110 W/m².⁶

Elektriske varmekabler i frostfri passasje

Det er merkelig at det er valgt elektriske varmekabler i utendørs gangvei for å hindre ising. Energibruket til dette formålet er betydelig og det hadde vært mer gunstig å legge vannbårene varmekabler isteden, da det er dette som er brukt i resten av bygningen. For eksempel returvarme til fjernvarmeanlegget kunne blitt brukt. Dette er varme av veldig lav kvalitet, men som er utmerket til dette formålet som kun krever at snø og is skal smelte. Elektrisitet er energi av høyeste kvalitet som ikke bør brukes til lavverdig varmeformål. Varmekabler er plassert gunstig i forhold til fjernvarmeveksler så rørføringen hadde ikke blitt veldig lang. Figur 26 viser hvordan energibruken til elektriske varmekabler i frostfri passasje fordeler seg for året mai 2009 til april 2010.

⁶ Forutsatt 117 W/person og 150 W/datamaskin.

Figur 26 Energi til elektriske kabler i frostfri passasje



Man ser at man har energibruk til dette helt frem til 22.juni selv om ukemiiddeltemperaturen er cirka 10 °C. Dette gjelder også uke 28.09 og uken før selv om disse også ligger på rundt 10 °C i utetemperatur. Det er godt mulig at temperaturen har sunket under 0-punktet i løpet av natten disse periodene og man har ønsket å holde passasjen frostfri til elevene kommer på skolen om morgenen. Det kan også være at temperaturen på morgenkvisten er høy nok til å ta unna evt. frost fra natten uten at man trenger å bruke varmekablene, men at disse derimot er innstilt for å ta unna frost hver gang utetemperaturen synker under nullpunktet, og muligens står de på gjennom hele natten. Det er ikke snakk om det store energibruket, under 50 kWh for uke 22.06. Men akkurat denne uken kan være med på å indikere at innstillingene på varmekablene kanskje ikke er optimale, og da kan dette gjelde for resten av året også og en rutinesjekk kunne avdekt at her kan det være energi å spare.

Driftsleder har opplyst at varmekabler ble først koblet opp mot SD-anlegg i mai/juni 2010, før det har de stått på Auto hele tiden. Nå har imidlertid driftsleder muligheter til å skru av varmekablene sommerstid. Det er vanskelig å estimere besparelsen ved dette, men nå kan bruken styres av driftsleder, som er den som kjenner behovet best. Sannsynligvis vil det være behov for de gjennom hele vinteren for å unngå høye effekter ved en eventuell opphopning av snø. Hadde hele skolen tatt ferie i julen kunne man unngått å ha de stående på i denne perioden, men siden barnehagen er åpen og passasjen må være snøfri er det ikke gunstig å skru de av denne perioden. Men i fremtiden vil man nå forhåpentligvis unngå unødig bruk på sommerstid.

Avtrekk forskerstasjoner

I undervisningsfløy plan 2 (5,6 og 7.trinn) finnes det en såkalt forskerstasjon. Her kan elevene drive ulike forsøk med vann og lignende. Derfor finnes det her et lite tekjøkken med komfyr og avtrekk. Ved befaring på skolen etter stengt, ble det lagt merke til at denne viften i ventilatoren stod og gikk. Man kunne høre tydelig et sus fra denne. Det var en bryter på ventilatoren, men denne var frakoblet så den kunne ikke styres manuelt.

Vaktmester/driftsleder ved skolen er relativt ny i jobben, så han visste ikke nøyaktig hvordan denne ble styrt. Fra SD-anlegget er det heller ikke mulig å finne ut hvilke parameter som styrer denne. Den står i AUTO, men om den dermed er trykkstyrt eller tidsstyrt vites ikke. Hadde den hatt egen tidsstyring, skulle det vært en urstyring av dette i SD-anlegget. Det er det ikke. Den kan heller ikke være styrt etter resten av ventilasjonsanlegget siden dette var skrudd av ved det gitte tidspunkt.

Ved kontrollsjekk av denne via SD-anlegget, etter at skolen var stengt for sommeren 23. juni 2010, kunne det se ut som at viften stod på fremdeles, men spjeldet var tilsynelatende stengt. (Driftsoperatør 2010)

En avtrekksvifte av denne typen burde være manuelt regulert, altså ved behov, og helst med et opptrekksur med lavt intervall for å unngå feilbruk. Det eneste som er funnet i funksjonsbeskrivelsen til denne viften er at det er en vifte med en hastighet med kapasitet på 300 m³/h. Da det stilles stor usikkerhet til om det kun er viften som går hele tiden, eller om spjeldet også er åpent ved unødige tidspunkt (kanskje hele tiden) eller hvordan denne er regulert, er det svært vanskelig å estimere et forbruk på grunn av denne. Men i verste fall kan denne viften stå og trekke av 300 m³/h hele døgnet og hele året. Ved forutsetninger gitt i neste kapittel om avtrekk på kjøkken, vil dette kanskje være i størrelsesorden 10 000 kWh per år. Dette er inkludert energibruken som går til den nødvendige driften av dette avtrekket, det er ikke sett på den faktiske bruken av dette lokalet.

Opptrekksur på hovedkjøkken

Avtrekksvifte på hovedkjøkken har opptrekksur som går opptil 6 timer. Her burde det vært et opptrekksur som hadde lavere intervall da dette ville medført mindre risiko for feilbruk. Avtrekket er betydelig, og man får ikke gjenvunnet varmen som går over tak. Derfor er det viktig at denne brukes bare ved behov. Dersom den står på i 6 timer om dagen, noe som er dobbelt så lenge som angitt normaldrift, medfører dette unødvendig stort energibruk. Ved befaring etter kl. 14, det var ingen aktivitet på kjøkkenet det så ut som det var vasket ned og muligens forlatt for dagen. Uret var derimot trukket opp og hadde igjen 5 timer.

Avtrekksluftmengden gjennom denne hetten er ikke funnet i innreguleringsprotokoll, så det tas utgangspunkt i tegningene fra RIV som gir avtrekksmengde på rundt 2500 m³/h. All den luftmengden som forsvinner ut her, må erstattes av ny oppvarmet luft. For å estimere dette energitapet tas det utgangspunkt i årsmiddeltemperaturen på 4,9 °C og at luften må varmes opp til 20 °C. Luftens varmekapasitet per volum er 0,33 Wh/m³K. Dette gir en effekt på 12,5 kW som må dekke dette varmetapet. Kantine er funksjonell 47 uker i året, 5 dager i uken. (Den følger SFO og barnehagen). I verste fall trekkes dette opptrekksuret opp til maks 6 timer

hver dag, tre timer mer enn estimert behov. Dette gir en *ekstra* driftstid på 705 timer per år som igjen gir en ekstra og unødvendig energibruk på 8800 kWh/år. Simulering i Simien viser at dette øker levert energi med 4 300 kWh per år. Å bytte ut dette uret med et opptreksur på 3 timers intervall kunne løst dette problemet. Forutsatt at ikke personalet trekker opp to ganger. En oppfordring og bedre rutiner om å ikke trekke opp uret unødig kunne også vært en løsning.

Vinduslufting

I klasserom hvor sola står på tidlig om dagen kan det tidvis bli varmt. Personalet er ikke fornøyd med screeningen, de mener den verken skjerner for varmen eller lyset. I Norge er vi veldig glad i vinduslufting når det blir for varmt, vi stoler ikke på at ventilasjonsanlegget skal ta varmen. Dette gjelder også på NSOB. Ved befaring stod samtlige vinder opp på et klasserom som lå mot nordøst. Temperaturmålinger har avdekket at dette er antakeligvis det rommet som opplever høyeste temperaturer ved høy solinnstråling. Dette klasserommet blir veldig oppvarmet av solinnstråling fra morgenen av på grunn av himmelretningen, det er antakeligvis da vinduene blir åpnet. Befaringen fant sted etter skolens stengetid i 15 tid, da stod vinduene fortsatt åpen og har antakeligvis stått åpen hele dagen. Ulempen med denne vindusluftingen er at fra morgenen av har man antakeligvis et overordnet varmebehov i bygget, når man lufter ut går denne varmen til spille istedenfor å bli gjenvunnet i ventilasjonsanlegget til bruk i andre deler av sonen. Lærerne har rutiner for å gå over og sjekke klasserommene før de forlater bygningen, og det ble denne dagen oppdaget av vinduene stod åpen så det er neppe et stort problem at de blir stående over natten, men det hender nok.

7.9 Diskusjon energibruk

Levert energi til bygget har gått ned fra 2009 til 2010, på tross av den rekordkalde vinteren 2010. Dette skyldes nok at innregulering av bygget har blitt mer optimal, og at varmpumpen har fungert stabilt.

Ved graddagskorrigerer kom det fram at året 2009/2010, på tross av den kalde vinteren faktisk var litt mildere enn normalåret. Bare en halv prosent skilte graddagstallet fra 2009/2010 fra normen basert på tall fra 1961-90. Det ble derfor besluttet at videre graddagskorrigerer ikke ville være nødvendig.

Elsesifikt forbruk ved NSOB er relativt høyt. Av et totalt levert energiforbruk på 85 kWh/m² år, er 66,4 av disse elpesifikt forbruk. Kun 12,3 kWh/m²år skyldes varmpumpen. Dette skyldes nok at det er endel teknisk utstyr på skolen. Det er utbredt bruk av pcer og smartboard i undervisning og lignenede. Det er ikke gode rutiner ved skolen på å skru av pcer etter bruk. Disse blir logget av, men ikke skrudd av. Dette er estimert til å kunne utgjøre et elforbruk på rundt 13 000 kWh/år. Det er også mistanker om at styring av lys ikke fungerer optimalt. Følere er svært sensitive og har lang forsinkelse. Dette fører til mye unødig belysning forårsaket av at personer går gjennom korridorer og aktiverer lys i alle tilliggende rom. Et annet forhold som bidrar til høyt elforbruk er at det er benyttet elektriske varmekabler i utendørs trappepassasje. Dette gir et årlig elforbruk på 21 000 kWh og 3,5 kWh/m². Hadde det vært benytte returvarme fra distibusjonsanlegget til dette formålet, kunne man brukt energi fra varmpumpen til dette, som hadde kuttet energibruken med en faktor på tre.

Ved sammenligning av prosjekterte energibruk fra anbudsgrunnlag kom det frem at energibruken er innenfor de rammer som er estimert. Men energibruken til de ulike postene er ulik. Prosjekterte verdier for romoppvarming var estimert lavere, mens ventilasjon var prosjektert høyere. Varmtvannsforbruket er lavere enn det som var forventet.

Ved analysering av varmpumpen ble det bekreftet mistankene fra kapitel 4, at varmpumpen har lav effektivitet. En årsvarmefaktor SPF på 3 er en del lavere enn man kan forvente av et så kostbart anlegg med energibrønner. Dette skyldes antakeligvis designen av varmpumpen, som egentlig er en kjølemaskin.

SFP faktor til vantilasjonsanleggene ble beregnet til 1,9 basert på innregulerte luftmengder og målt energibruk. Dette er innefor kravet som var stilt til 2 kW/(m³/s). Dette er ikke inkludert avtrekksvifter.

8 Inneklima

I masteroppgaven til Linda Eimhjellen ble det foretatt en undersøkelse basert på spørreundersøkelser og logging av temperaturer for å avdekke om innemiljøet er tilfredsstillende ved skolen. Denne viste at det tidvis ble forhøyede temperaturer i klasserom, og solavskjerming ikke fungerte som den skulle. I ettertid har personalet fått fornyede instruksjoner om å benytte solavskjerming tidligere, før det blir for varmt, for å unngå dette. Det var derfor ønskelig å se på temperaturene ved de mistenkte sonene og se om temperaturen har forbedret seg, eller om det fremdeles blir for varmt.

På grunn av manglende temperaturdata fra sommeren 2009, måtte data fra våren/forsommeren 2010 brukes. Da denne perioden har vært relativ kjølig, og gradestokken i skrivende stund enda ikke har målt høyere enn 19 grader vil ikke dette gi et helt riktig bilde av innetemperaturen, slik den muligens vil være med forhøyede utetemperaturer opp mot 25 °C. Det er simulert for bygget i Simien, og en del av resultatet fra denne simuleringen er maksimaltemperaturer for de ulike sonene, disse vil også vurderes opp i mot faktiske målinger.

Statens helsetilsyn har nedsatt i *Veileder til forskrift om miljørettet helsevern i barnehager og skoler m.v* visse normer for innetemperatur: (Helsevern 1998)

Normer:

- *Operativ temperatur: 19 – 26 °C, det anbefales at temperaturen så langt som mulig holdes under 22 °C, særlig i fyringssesongen. Overskridelser av den høyeste verdien kan godtas i varme sommerperioder, men bør ikke utgjøre mer enn to uker i et normalår.*
- *Gulvtemperatur: 19 – 26 °C.*
- *Vertikal temperaturgradient: ikke over 3 °C pr. høydemeter*
- *Lufthastighet (middelastighet over 3 minutter): maks. 0.15 m/s i oppholdssonen.*

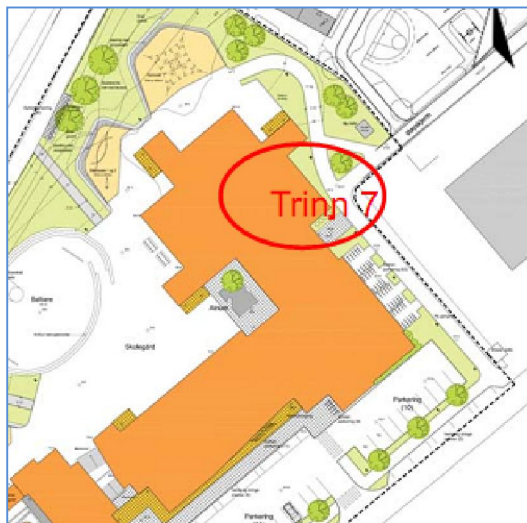
Det har ikke blitt tid til å gjøre en grundig vurdering av inn klimaet i hele skolen, isteden har det blitt tatt stikkprøver av innetemperaturen i soner som kan mistenkes å komme opp i høye temperaturer ved høy solinnstråling.

I alle soner finnes temperaturfølere som logges hvert kvarter til SD-anlegget. Siden disse data kun lagres i tre måneder, fantes bare data om innetemperaturer fra 2010. Våren 2010 var en relativ kjøling vår, uten noen dager med sterk solstråling og høye temperaturer. Ikke før 11.juni 2010 var det solstråling og utetemperatur nok til å gjøre bemerkelsesverdig utslag på innetemperaturen ved NSOB. Selv denne dagen målte maksimumstemperaturen ved Voll kun 19 °C (eklima 2010). Det var en dag som var klarest fra morgenen av og som skyet over utover dagen. Dette gjenspeiles i temperaturene i de sørvendte rommene ved NSOB. Etter samtaler med personalet var inntrykket at tegning/tekstil var det rommet som var plaget mest av høye temperaturen når solen stod på. Denne dagen var det derimot trinn. 7, som ligger i nordøstfasaden som opplevde den høyeste temperatur. Dette kan ha sammenheng med at det skyet mer over da solen kom rundt mot de sørøstvendte lokalen.

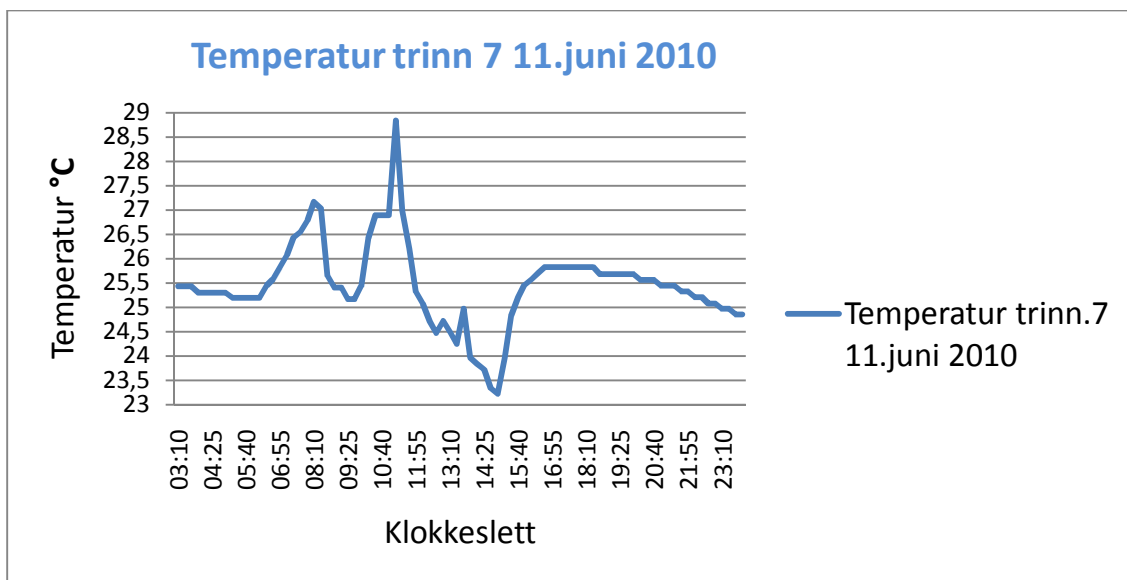
8.1 Innetemperatur 7.trinn 11.juni 2010

Figur 27 viser plassering av trinnarealet i bygget og himmelretningen. Temperaturkurve fra 11.juni 2010 i klasserommet vises i Figur 28.

Figur 27 Plassering av trinn 7 i bygget viser himmelretning nordøst.



Figur 28 Innetemperatur 7.trinn målt 11.juni



Av Figur 28 ses at ved inngangen av døgnet, kl. 03:10, er temperaturen relativt høy. Den synker sakte ned mot 25 °C gjennom natten. At temperaturen gjennom natten ikke har vært lavere enn 25 °C indikerer at frikjølingsmodus ikke har blitt aktivert. Fra Figur 12 i kapittel 4.3 om Klimasystem, var settpunkt utetemperatur som aktiverer nattekjøling 15 °C. Klimadata for dette døgnet viser at laveste temperatur har vært 12 °C og for døgnet før 4,9 °C (eklima 2010). Sannsynligvis har utetemperaturen gjennom natten vært lavere enn 15 °C.

Frikjølingsmodus har derfor ikke blitt aktivert. Og som mistenkt i samme kapittel, har ikke frikjøling blitt aktivert av avtrekkstemperaturen fordi ventilasjonsanlegget ikke har vært på.

Hadde ventilasjonsaggregatet derimot blitt aktivert av utetemperaturen, kan det være at plassering av temperaturføleren på avtrekk har innvirkning. Dersom ventilasjonen skrues på og det er kun en temperaturføler langt inn i kanalnett, eller ved aggregatet, vil innblanding av luft fra de andre sonene som ikke er like varm, gjøre at ventilasjonsanlegget skrues av før det er oppnådd 21 °C i trinn 7, som er settpunkt for deaktivering av frikjøling.

At frikjølingen ikke har blitt aktivert resulterer i at innetemperaturen i trinn 7 ved morgenen i utgangspunktet er unødig høy, noe som vil gi utslag i høy temperatur utover dagen.

I sekstiden står solen opp over Moholtlia og temperaturen i rommet stiger raskt til over 27 °C. Når klokken er 08:15 slås ventilasjonsanlegget på, derfor ser man en rask nedgang til rundt 25 °C. I følge timeplan skal trinn 7. være tilstede i første dobbeltime, og være i *kunst og håndverk* i andre dobbeltime altså fra kl.10:15. Det kan imidlertid se ut som det først er aktivitet her til andre time, for da stiger temperaturen igjen raskt og når et toppunkt på 28,83 °C klokken 11:10⁷. Klokken 11:45 er det friminutt, men temperaturen begynner å falle før dette. Dette kan være et resultat av at vinduslufting, siden utetemperaturen denne dagen er tilstrekkelig lav til å kjøle rommet relativt hurtig ved gjennomtrekk, men mest sannsynlig er det nok at solen har flyttet seg rundt bygget slik at man ikke lenger har solinnstråling her. Etter dette faller temperaturen ned mot 23 °C, dette skyldes nok slutt på solstråling, men også at klassetrinnet ikke er tilstede mer denne dagen da de har IKT i siste dobbeltime, fra 12:30. Det er altså ikke internlaster i trinn 7. etter klokken 11:45. Når ventilasjonsanlegget skrues av kl. 14:30 stiger temperaturen på nytt opp mot 26 °C, for så å falle sakte men sikkert mot 24 °C gjennom den neste natten.

Det er CAV-ventilasjon i denne sonen, derfor er det ikke mulighet for å oppjustere luftmengdene ved økende kjølebehov, kun å senke temperaturen på tilluften. Men det går en nedre grense ved 14 °C, og denne dagen viser at ventilasjonsanlegget ikke har vært tiltrekkelig til å kjøle dette rommet nok. Antakeligvis er det ikke et stort kjølebehov i de nordvestvendte rommene i denne sonen så tidlig på dagen, så å tilføre så lav temperatur på tilluften i hele ventilasjonsanlegget er ikke gunstig, da blir det for kaldt i de andre sonene som eventuelt må kompensere med økt varme fra radiatorer. Dette er derfor et problem med CAV. Hadde man hatt behovsstyrt ventilasjon her (VAV), så hadde man kunne økt luftmengden kun på dette rommet uten å måttet senket temperaturen i hele ventilasjonsanlegget.

Samtlige som er møtt av de voksne ved befaring på skolen, sier at de ikke er fornøyd med skjermingen i form av screen-persiennene. De sier den skjerner verken for solinnstråling eller for sollys. Det blir rett og slett for lyst for elevene til tider. Det er også et problem ved bruk av Smartboard at man ikke får blendet lyset nok. De forteller at de ble fortalt at disse var bare på prøve, og nå er det er utbredt forventning om at disse burde vært byttet ut. Etter innetemperaturen å dømme viser det at solavskjermingen ikke fungerer godt nok for å dempe soltilskuddet. Dette beror nok ikke på feilbruk og at de ikke benyttes riktig, som var mistanken da Linda Eimhjellen skrev sin rapport. De har i ettertid fått instruksjoner om å benytte skjermingen *før* det blir for varmt. Jeg sykler forbi skolen hver dag, da dette er på min

⁷ Et kvarter før er temperaturen *bare* 26,9 °C og et kvarter etterpå er den 26,98 °C, så det kan skyldes en feilmåling.

hjemvei, og jeg har registrert av denne screeningen er nede stort sett hele tiden i de solutsatte fasadene. Likevel stiger temperaturen såpass mye i sekstiden i klassetrinn 7 som kun kan skyldes solinnstråling.

Figur 29 Screening i trinn 7 etter stengetid. Samtlige vinduer stod åpne og bortimot all screening er i bruk. Man ser at screeningen er ganske gjennomskinnelig.



8.2 Diskusjon inn klima

I denne oppgaven er det dedikert mye tid til vurdering av energibruk og simulering av energibruk i Simien. I tillegg har det ved sjekk av temperaturmålinger tidligere i prosessen, ikke vært indikert noe problem med høye innetemperaturen. Dette har gjort at denne delen av evalueringen ikke har blitt viet like mye oppmerksomhet som energibruken. Da det likevel kom en dag da utetemperaturen ble tilstrekkelig høy til at det kunne mistenkes at det ville få konsekvenser for inn klima på NSOB, ble det gjort noen undersøkelser av disse målingene. Resultater fra dette kapittelet viser at temperaturen tidvis overstiger anbefalt øvre grense på 26 °C-

9 Simuleringer i Simien

Simien er et simuleringsprogram laget av EnergiByggerne. Det simulerer energibruken i bygninger, og gir resultater i form av Energibudsjett, levert energi til bygget, og grafiske fremstillinger av energiflyten. I tillegg gir det et innblikk i innemiljøet med hensyn på temperatur og CO2 konsentrasjoner for definerte tidsintervall. Det kan også sammenligne bygget mot forskriftene. Dette er et godt verktøy for å estimere et grovt anslag av energibruken i bygninger enten før de bygges, eller for å simulere hvordan energibudsjettet påvirkes av ulike energitiltak. Det er viktig å understreke at det ikke gir et resultat som reflekterer virkeligheten 100 %, men at det er en subjektiv versjon av energibruken sett fra simulererens ståsted. Versjonen som er brukt i denne oppgaven er versjon 4.034 Undervisningslisens.

9.1 Inputverdier og fremgangsmåte ved simulering

Simien er et program som man kan gjøre enkle og kjappe beregninger av energibruk i bygninger, dersom man gjør noen forenklinger av bygget og bygningselementene. Man kan også være veldig detaljert der man kan legge inn hvert enkelt vindu og hvert rom er sin egen sone. Dette krever mye detaljinformasjon om bygget og på gamle bygg har man ofte ikke dette tilgjengelig. I NSOB sitt tilfelle, som er et nybygg, er det gode rutiner for å samle FDV-dokumentasjon om bygget, så dette har vært tilgjengelig. Dette gav muligheter til å simulere bygget mest mulig detaljert og nøyaktig. I stedet for å anslå en prosentandel av bygget som er vindusflater, ble det sett på arkitekttegninger og beregnet vindusarealer og tilhørende karmarealer for hvert enkelt vindu. Dette fordi vindusarealer har relativt stor innvikning på energiflyten i bygningen. Dette ble også gjort for dører og glassfasader.

Internlaster

I utgangspunktet var det beregnet internlaster for både belysning og personbelastning. Etter evaluering mot målt forbruk av disse, ble disse forkastet til fordel for verdier fra NS 3031, som er gitt av Tabell 3 i kapittel 5.1. For evaluering mot forskrifter er det uansett disse verdiene som blir brukt, så disse ble ansett til å være de mest hensiktsmessige å bruke. Når det gjelder teknisk utstyr derimot, måtte denne justeres opp litt på grunn av såpass høyt energibruk til varmekabler utvendig og evaluering av teknisk utstyr fra kapittel 7.4 om at denne posten er høyere for NSOB enn for andre skoler av eldre slag. Siden det i Simien er lagt inn avtrekksvifter, vil denne energibruken komme som en del av *vifte*posten. Derfor blir ikke beregnet verdi på $9,2 \text{ W/m}^2$ per fra kapittel 7.4 justert ned litt, for å kompensere for dette. Denne ble dermed satt til 8 W/m^2 per år.

Ventilasjon

Ventilasjonsanleggene er det lagt inn spesifikke effekter til kjøling og varme, samt effektivitet varmegjenvinner og målte luftmengder til hver enkelt sone, ut ifra opplysninger fra VVS entreprenør.(GK 2008)

Soneinndeling

Soneinndelingen er valgt ut ifra plasseringer i bygget, dette samsvarer ikke alltid med hvordan soneinndelingen til ventilasjonsanleggene er. Det er totalt 13 inndelte soner for skolen, og 5 for barnehagen. Barnehagen(BH) er simulert for seg selv. Det er valgt noen strategiske soner der det er mistanke om at temperaturene kan bli tidvis høye, dette gjelder kantine og tegning/tekstil. Disse er valgt som egne soner. Ellers er det vanligvis flere rom per sone. Siden bygget består av ulike bygningselementer er veggene/fasadene delt opp der de består av standardkonstruksjon og massivtre.

U-verdier

U-verdier er det gjort beregninger for i kapittel 0, da disse verdiene ble noe bedre enn hva entreprenør hadde oppgitt, og tidlige simuleringer viste at varmemforbruket var usannsynlig lite, ble disse forkastet som inputverdier i Simien. I stedet ble det valgt bygningkonstruksjoner som tilsvarte den U-verdien som ble kravsatt i anbudsgrunnlaget. Forskriftskrav sammenlignet med NSOB og krav til passivhus og lavenergiløsninger er presentert i Figur 5.

Tetthet

Tidlige beregninger viste at levert energi til bygget lå rundt 150 000 kWh under det målte forbruket. Tross alle anstrengelser om å prøve å få opp varmemforbruket ved NSOB, var det lite som hjalp. Bygget var altfor tett til at simuleringen kunne imøtekomme det målte forbruket av varme.

Fra før av var det mistanker om at tettheten var altfor god, og det ble derfor forsøkt en simulering der luftskifte ble satt lik 1,5 luftskifte per time. Da var det som om simuleringen plutselig var på nett med virkeligheten, og det var nå lite som skilte modellen fra virkeligheten. Likevel manglet det litt før modellen viste samme varmemforbruk som virkeligheten, men det ble valgt å ikke senke tettheten ytterligere da det kan være mange feilkilder til dette.

Temperaturer

Settpunkttemperaturen i Simien er satt til 21 °C. Samtale med fagleder på skolen indikerte at noen ganger føltes det for kaldt på skolen, spesielt om morgenen. Elevene og lærerne har muligheten til å regulere temperaturen opp og ned et par grader, så det kan være at noen steder er denne settpunkttemperaturen høyere enn definert settpunkt for Simien. Det er stor takhøyde ved NSOB, det totale volumet er på rundt 20 000 m³ fordelt på 6010 m². Dette gir i snitt 3,3 meter takhøyde, barna oppholder seg stort sett i 1/3-part av denne høyden. Varmen stiger opp i taket og det føles kaldere nede på gulvet. Derfor kan det være at de ønsker å skru opp varmen i oppholdsrommene.

Vinduslufting, andre driftstider utvidede driftstider, ventilasjonen kan være ulik innreguleringen. Kuldebroer i konstruksjonen kan være høyere enn antatt i simuleringen.

9.2 Energibudsjett

Som et resultat av simuleringen gir Simien et energibudsjett. Simien beregner et varmebehov ut ifra bygningskroppen som er designet i programmet, med tilhørende U-verdier for ulike bygningskomponenter, samt kuldebroer og tetthet. Dette må altså defineres på forhånd, og i denne simuleringen er det tatt utgangspunkt i de bygningsselementene som er kjent fra FDV-dokumentasjonen.

I Tabell 22 er det vist resultatet fra simuleringen i samme tabell som energibudsjett fra kapittel 7.5, for å sammenligne det med målt energibudsjett, og forprosjekterte energibudsjett til VVS Norplan og Isocare AS.

Tabell 22: Energibudsjett i Simien sammelignet med målt energibudsjett og forprosjekterte energibudsjett fra VVS Norplan og Isocare AS.

Energipost	Faktisk		VVS Norplan		Isocare AS		Simien	
	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]	[kWh/år]	[kWh/år*m ²]
Oppvarming	221 393	36,8	65 520	10,9	183 906	30,6	149 693	24,9
Ventilasjon	63 190	10,5	157 500	26,2	107 923	18,0	45 493	7,6
Varmtvann	44 505	7,4	81 900	13,6	63 610	10,6	62 956	10,5
Vifter	57 170	9,5	115 920	19,3	100 722	16,8	83 485	13,9
Belysning	140 000	23,3	147 420	24,5	139 920	23,3	112 487	18,7
Utstyr	124 233	20,7	69 300	11,5	82 940	13,8	107 054	17,8
Kjøling	18 960	3,2	0	0,0	0	0,0	13 689	2,3
Totalt	669 451	111,4	637 560	106,1	679 021	113,0	574 857	95,7

Resultatet fra Tabell 22 vil bli diskutert i underkapitler som følger.

Varmebehov

Man ser av resultatet at det spesifikke energibehovet lyder på 95,7 kWh/m² per år fra simuleringen. Dette er 15,7 kWh/m² per år mindre enn det målte behovet. Den største forskjellen ses av varmebehovet. Legger man sammen postene som er varmespesifikk og utetemperaturavhengig, oppvarming og ventilasjon, skiller det 89 000 kWh/år og 14,8 kWh/m² per år fra simuleringen til det målte forbruket.

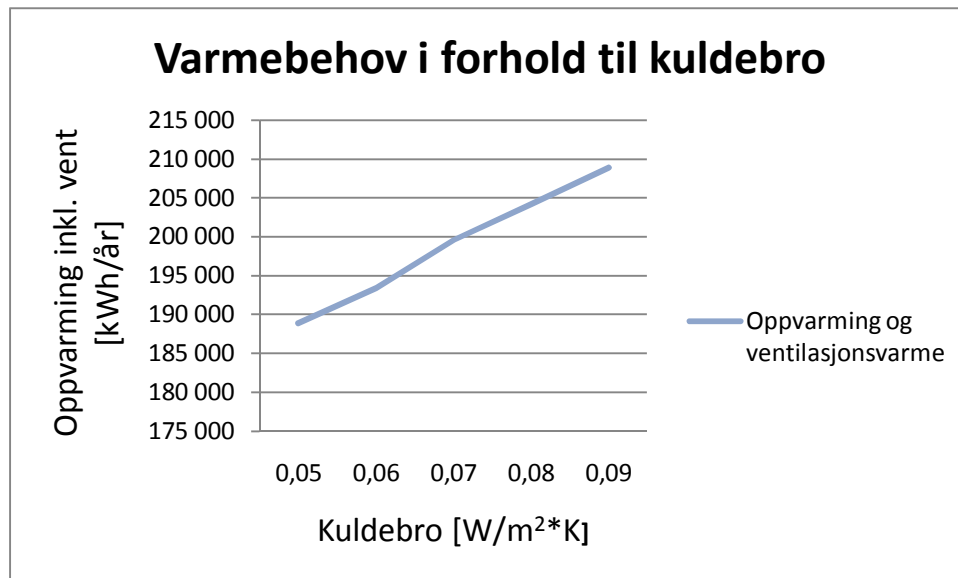
At simuleringen viser lavere varmebehov kan være forårsaket av ulike ting. Som nevnt innledningsvis så var tettheten i utgangspunktet satt til 0,27 luftskifte per time ved 50 Pa trykkforskjell. Dette gjorde bygget så tett at det hadde ekstremt lite oppvarmingsbehov, kun rundt 89 000 kWh/år som er under halvparten av det målte forbruket. Derfor ble tettheten redusert til 1,5 h⁻¹. Det kan være at tettheten egentlig er ytterligere redusert enn dette. Det vil i tilfelle øke varmebehovet i bygget, på grunn av økt infiltrasjonstap.

I Simien er det ikke lagt inn vaner for vinduslufting, da det er veldig vanskelig å stadfeste brukervaner uten at dette har blitt observert, dette kan være en mulig årsak. At vinduer blir åpnet om morgenen ved sterk solinnstråling, for så å bli stående åpen hele dagen selv om det

blir kjøligere når solinnstrålingen opphører. Bruker av bygget merker seg ikke at vinduet er åpent, fordi ventilasjonsanlegget og radiatorsystemet klarer å opprettholde temperaturen i rommet.

Det er valgt å benyttet standardisert verdi for kuldebro for *bygning med bæresystem i tre* lik $0,05 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (NS 3031 2007). Det kan være at denne i realiteten er høyere. Figur 30 illustrerer hvordan varmebehovet øker ved økende kuldebroverdi.

Figur 30 Varmebehovet i forhold til kuldebroverdi



Varmebehovet øker tilnærmet lineært i forholdt til kuldebroverdien, med i underkant av 5000 kWh/år for hver gang kuldebroverdien øker med 0,01. En kuldebroverdi på 0,09 tilsvarer standardisert verdi for bygning med bærekonstruksjon i betong, mur eller stål som leder varme bedre enn tre, så verdien er antakeligvis ikke så høy, men dersom den er for eksempel 0,07 så har man 10 000 kWh/år mer i varmebehov enn simuleringen viser.

Den store differansen i varmebehov kan også skyldes at det faktisk ventileres med større luftmengder enn innregulert mengde, som er utgangspunktet for simuleringen. Som nevnt i kapittel 7.8 er det grunn til å tro at det tapes store luftmengder ved feilbruk av avtrekksvifte på hovedkjøkken. Dette vil også gi større varmetap og dermed større varmebehov for å dekke dette tapet. Dersom varmegjenvinnere ikke er like effektiv som det er forutsatt, 81 %, har dette også en del å si for det totale varmebehovet.

Kjølebehov

Av simuleringen ses at kjølebehovet er rundt 13 700 kWh per år. Datarom er ikke definert som en egen sone i simuleringen, og dermed er kjølemaskinen tilhørende datarom heller ikke med i simuleringen. Det understrekes at i *målt* energibudsjett, ca 19 000 kWh/år, er romkjøling på datarom medregnet, så sammenligningen i dette henseende blir ikke helt riktig

uten å trekke ifra romkjøling, som er beregnet til rundt 9000 kWh.⁸ Det vil si at det totale kjølebehovet vil i realiteten være større enn dette når.

Når det er sagt, ble det i etterkant av simuleringen oppdaget at det var forutsatt en høyere effekt på kjølebatteri, enn det som faktisk er installert. Maksimal samtidig effekt for kjøling viste fra simuleringen 232 kW, mens installert effekt er 178 kW. Dette betyr at faktisk installert effekt til kjøling, i følge simuleringen, ikke er nok til å dekke kjølebehovet. Følgelig blir også det egentlige kjølebehovet lavere enn 13 000 kWh (eksklusive romkjøling).

Det målte kjølebehovet levert av energibrønner er rundt 10 000 kWh/år, som samsvarer brukbart med simuleringen. Dette bygger opp under teorien om at måleren kan ha målt akkumulert kjøling over året 2009. Simuleringen viser at det antakeligvis ikke er så stort behov for kjøling som antatt i lønnsomhetsberegningen i anbudsgrunnlaget, som var estimert til 30 000 kWh/år (RIV 2007).

Vifter

Energibehov til vifter er større i modellen enn ved målt forbruk. Dette skyldes i hovedsak at ved målt forbruk inkluderer dette kun vifter som inngår i ventilasjonsanleggene, mens i modellen inkluderer det også vifter til avtrekkspunkter og avtrekk hovedkjøkken. Siden disse derfor ikke kan sammenlignes, er det vanskelig å si noe om det kan være andre årsaker til differansen.

Varmtvann

Varmtvannsbehovet er også høyere i modellen enn for målt. I Simien er det valgt å bruke veiledende verdier gitt av NS 3031 (NS 3031 2007). Siden dette er en skole med høy fokus på energi er det rimelig å anta at i garderobene er det installert sparedusjer, for redusert vannforbruk. Dette kan være en forklaring på hvorfor varmtvannsforbruket er relativt lavt, uten at dette er sjekket opp i.

9.3 Levert energi til bygget

Av Tabell 23 ses levert energi til bygget, simulert verdi er sammenlignet med målt energi levert til bygget.

Tabell 23: Levert energi til bygget fra simulering i Simien sammenlignet med målt forbruk

	Levert energi			
	Simien		Målt	
	[kWh]	[kWh/år*m ²]	[kWh]	[kWh/år*m ²]
El	303 026	50,4	325 003	54,1
El VP	64 057	10,7	73 972	12,3
Fjernvarme	101 413	16,9	110 194	18,3
Totalt	468 496	78,0	509 169	84,7

⁸ Som nevnt tidligere skulle dette vært nedjustert, i og med at det er færre datamaskiner i realiteten enn forutsatt i beregning.

Selv om energibudsjettet og totalt energibehov avvek ganske mye fra modellen til målt energibehov, hele 15,7 kWh/år*m², er det mye mindre avvik ved levert energi. Bare 6,7 kWh/år*m² og 41 000 kWh/år skiller modellen fra målt energibruk i dette henseende. Både el. til varmepumpe og fjernvarmeforbruket er rundt 10 000 kWh/år lavere for modellen enn virkeligheten, som virker naturlig i og med lavere varmebehov.

El-spesifikt forbruk kunne vært justert opp i modellen ved å justere internlastene inntil modellen hadde møtt virkeligheten på dette punktet. Det ble valgt å ikke gjøre dette, fordi en oppjustering av internlasten påvirker dynamikken slik at oppvarmingsbehovet går ned. Da blir det økt differanse i energibudsjettet, fordi man bruker større andel av elektrisitet indirekte til oppvarming. Men levert energi til bygget ville blitt mer tilnærmet, fordi mindre varmeenergi hadde blitt levert av varmepumpen som har en effektfaktor på 3. Med dette i betraktning ville simuleringen derfor ha gitt et feilaktig inntrykk.

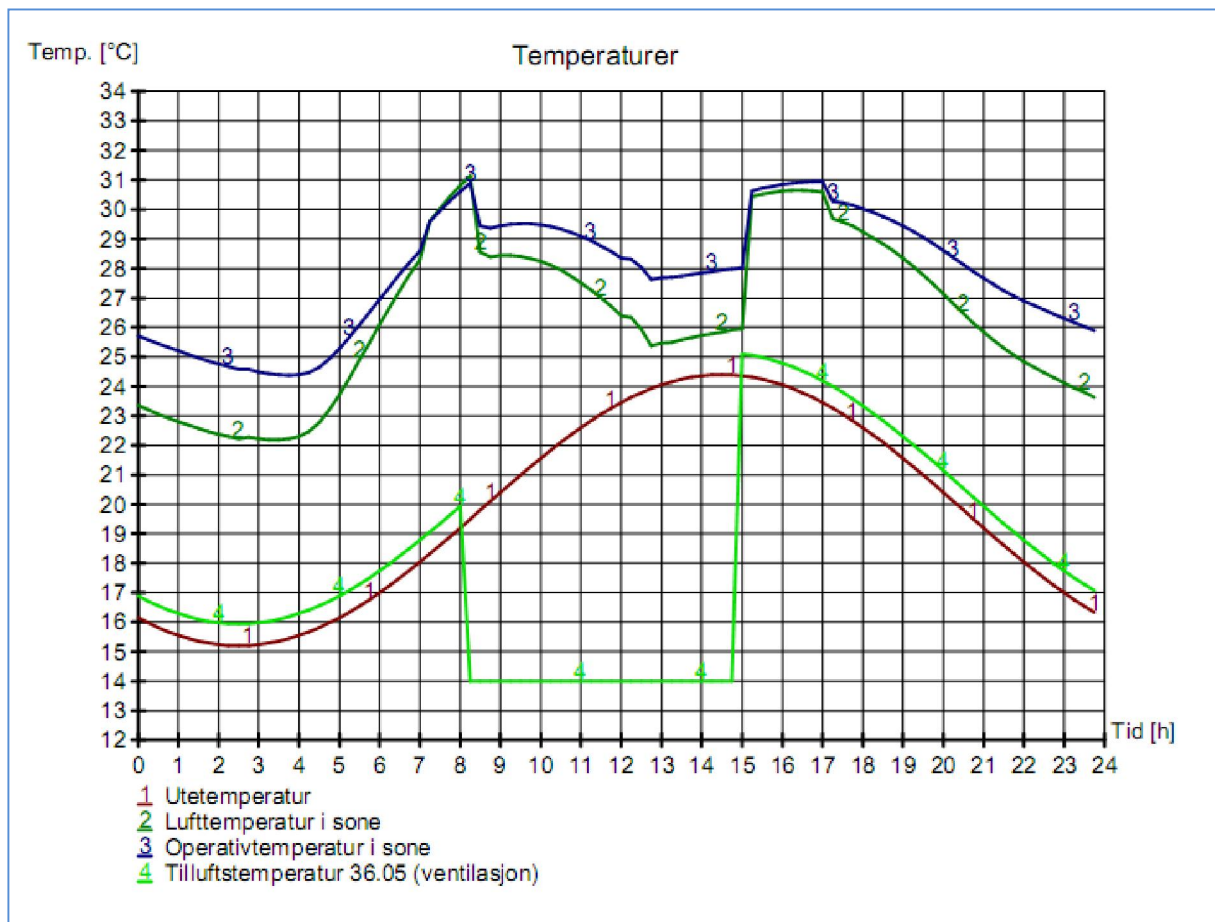
Det er altså forsøkt å justere alle parametre for å få økt varmebehov i bygget, men uten å redusere kravene til U-verdier, tetthet og kuldebroer. Uten hell. Dette indikerer at det kanskje nettopp er disse som avviker fra virkeligheten. Det er derfor nærliggende å konkludere med at man har et større varmetap enn hva som er forutsatt ved simuleringen.

9.4 Innnetemperatur fra simulering

Da det ved simulering var antatt at *tegning/tekstil* var det rommet som kom til å ha høyeste temperatur ved varme dager, var det dette rommet som ble definert som egen sone i Simien. Dette resultatet lar seg dermed ikke direkte sammenligne med resultater fra målte verdier for trinn 7 i kapittel 8.1.

I Simien er det foretatt en *Sommersimulering* som viser hvordan utvalgte inn klima parameter (temperatur og CO₂) varierer i sonene over definerte tidsintervall. Resultatene fra sommersimuleringen ses i Figur 31.

Figur 31 Temperaturvariasjon gjennom et sommerdøgn for rommet *tegning/tekstil*. (Simien 2010)



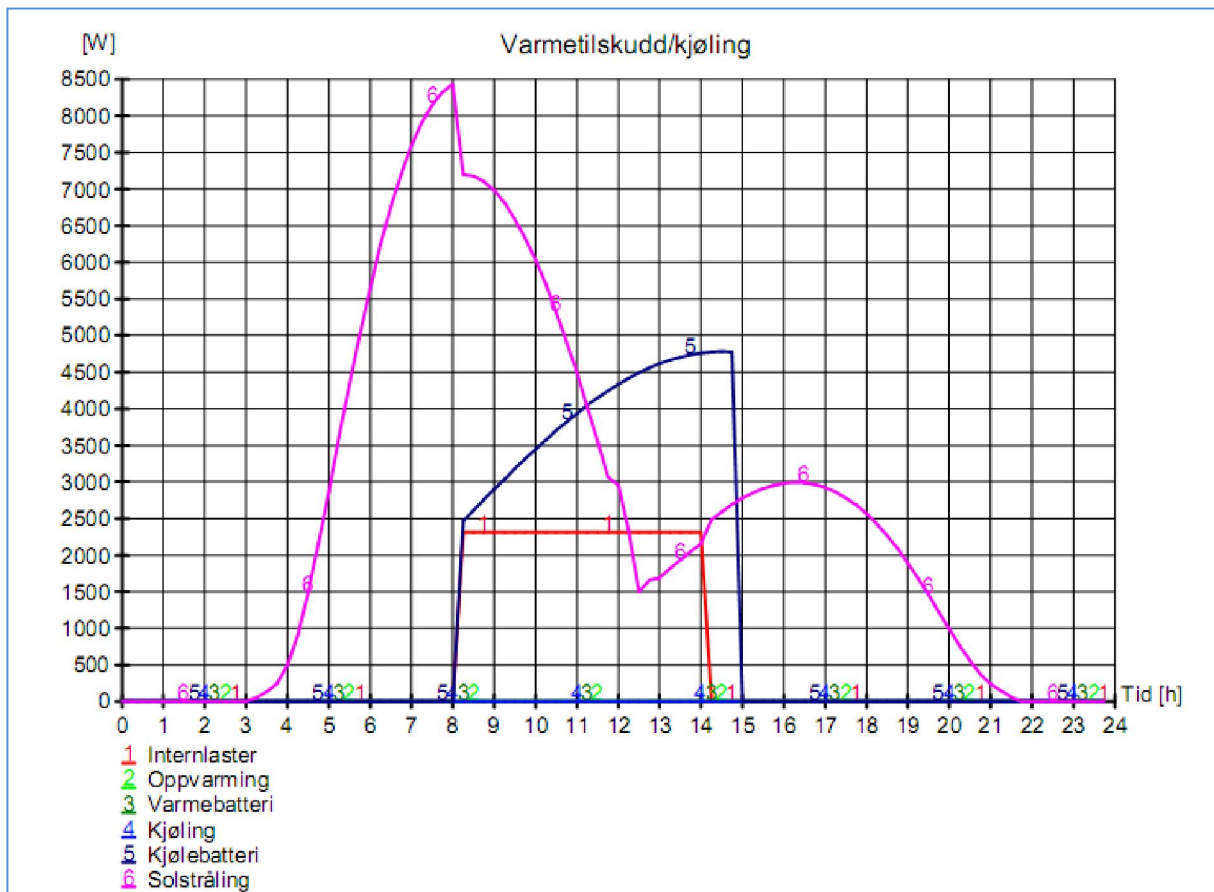
Man ser at temperaturkurvene for lufttemperatur og operativ temperatur stiger og følger utetemperaturkurven fra morgenen av. De når toppunktet på 30,5 °C rett etter kl. 08, samtidig som ventilasjonsanlegget slås på. Den første halvtimen synker innetemperaturene brått, på grunn av at tilluft fra ventilasjonsanlegget tilføres ved 14 °C, og det er ingen internlast enda. Kl. 08:30 kommer elevene til et klasserom som har en temperatur på 28,5 °C.

Operativtemperaturen er ytterligere en grad høyere. Nå har man internlast i form av elever og kanskje også belysning, derfor synker temperaturen saktere heretter. Den når et bunnpunkt klokken 13. Så stiger den litt igjen. Antakeligvis har man her nådd et krysningpunkt for hvor energitilskuddet til rommet overstiger energimengden som ventilasjonsluften klarer å ta opp. Fordi det er konstant luftmengde og siden man ikke kan tilføre luft ved enda lavere temperatur enn 14 °C. Dette indikerer at innregulert/prosjektert luftmengde ikke er tilstrekkelig for å buktes med overopphetning av dette rommet. Operativ temperatur i dette rommet er knapt under 28 °C i løpet av hele dagen, og i første dobbelttime er den over 29 °C. Etter at ventilasjonen skrues av kl. 15 stiger naturligvis temperaturen hurtig opp til 31 °C.

Man kan også lese ut av dette resultatet at nattekjøling, selv om dette har blitt aktivert av settpunkt over 15 °C på uteluften, ikke klarer å senke temperaturen ned til 21 °C, som er settpunkt for når nattekjøling opphører.

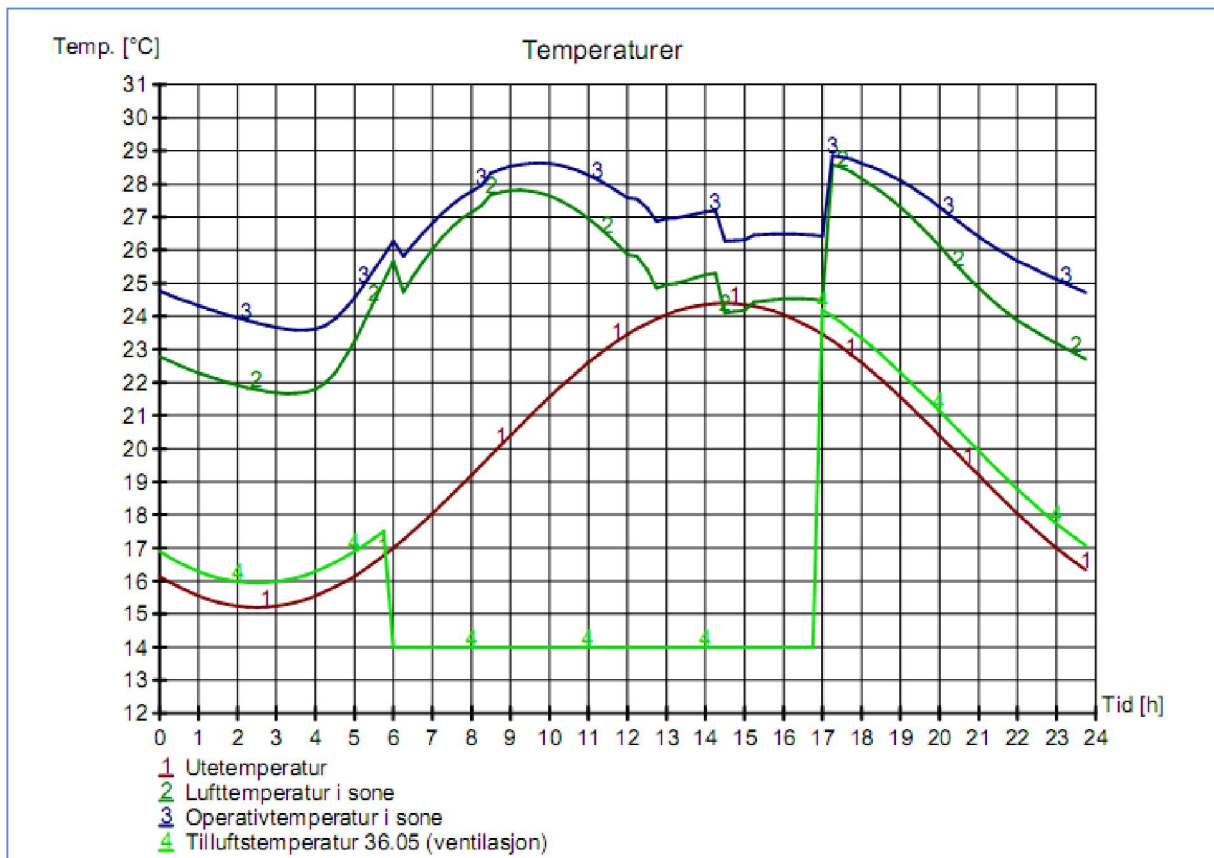
Figur 32 viser varmetilskudd i form av solinnstråling og internlast.

Figur 32 Varmetilskudd/Kjøling (Simien 2010)



På grunn av himmelretningen til dette rommet, sørøst, har det størst solinnstråling rundt klokken 8 om morgenen. Skjermingen er definert som manuell styring etter solfluks gitt i NS 3031 (NS 3031 2007). Derfor synker solinnstrålingen bratt med en gang, før den reduseres ytterligere utover dagen på grunn av at solen forflytter seg.

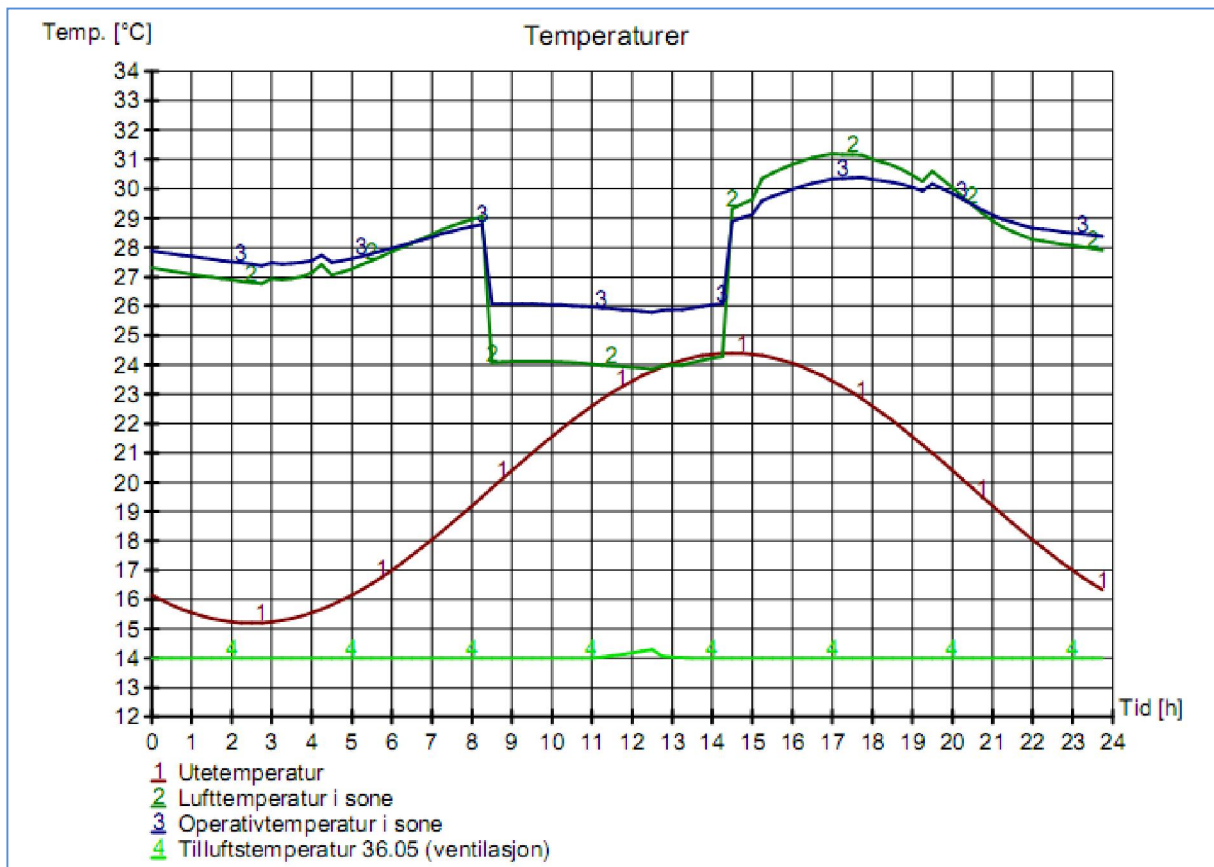
Dersom ventilasjonsanlegget hadde startet før på morgenen, for eksempel klokken 06:00 da lufttemperaturen i rommet passerer 26 °C, og slå av ventilasjon klokken 17, kunne man kanskje ha unngått så høy temperatur fra morgenen som man drar med seg resten av dagen. Resultat fra denne simuleringen er presentert i Figur 33.

Figur 33 Temperaturkurver ved økt driftstid på ventilasjonsanlegget. (Simien 2010)

Man ser at dersom man starter ventilasjonsanlegget klokken 06 vil dette redusere temperaturen (lufttemperatur) cirka en grad med en gang, fra 25,8 til 24,8 °C, men på grunn av den høye solinnstrålingen vil ikke ventilasjonen klare å fjerne nok varme til å unngå at temperaturen øker til opp mot 28,5 °C. Det kan derfor se ut som at man må bruke kjølebatteriet også ved nattekjøling dersom man skal oppnå akseptable temperaturer i klasserommet når skolen begynner om morgenen.

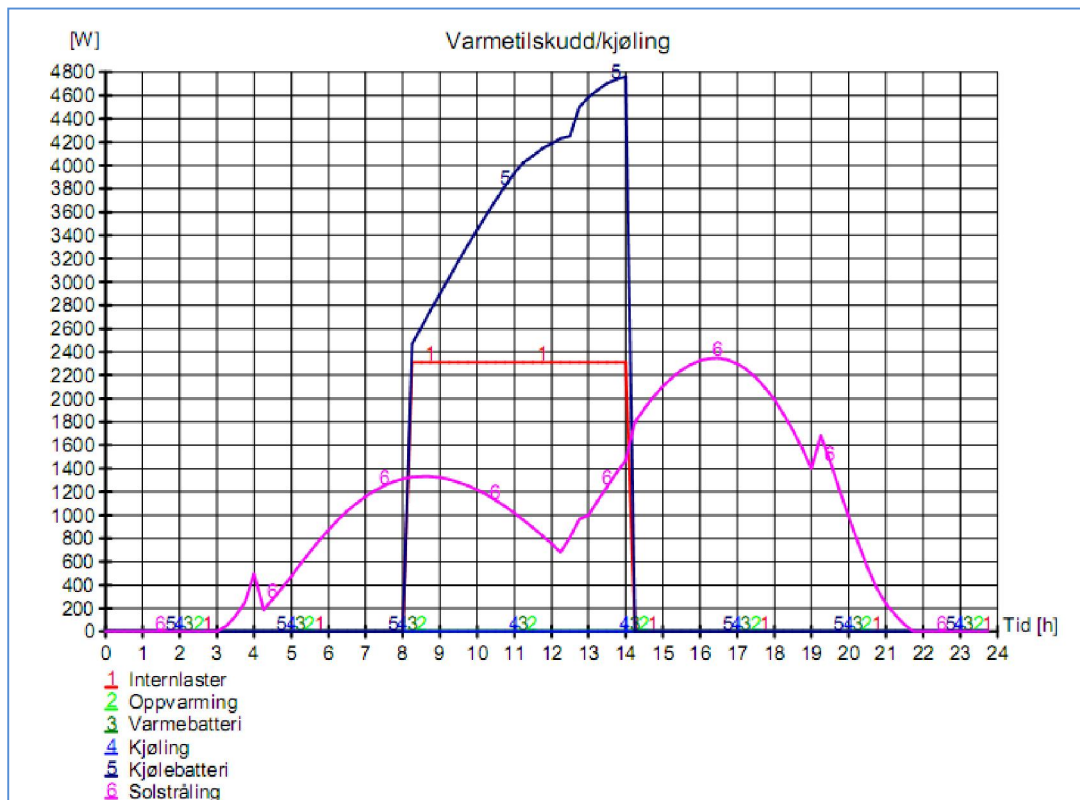
Et annet alternativ er å bytte ut solavskjermingen med en som skjermer både lys og varmetilskudd, for eksempel utvendige persiener. Argumentet mot disse på en skole er at det blir stor slitasje på disse fordi elevene klatrer i de og lignende, dessuten står ikke disse høyt i kurs hos arkitekter på grunn av estetikken. Men et kompromiss kan være innvendige persiener. Det ble derfor forsøkt en simulering med innvendige persiener valgt fra katalogen i Simien. Da blir skjerming i aktivert stilling redusert fra 0,43 til 0,38. Dette hadde liten innvirkning på innnetemperaturen, også dersom solavskjermingen ble styrt av utvendig solfluks. Når utvendige persiener ble valgt, ble G-faktor redusert til 0,06. Resultatet av denne simuleringen vises i Figur 34.

Figur 34 Utvendige persiener som solavskjerming. (Simien 2010)



Først må det bemerkes at det skjer en *bug* i programmet når man velger solstyring ved utvendig solfluks. Tilsynelatende ser det ut som at ventilasjonsanlegget går med kjøling (14 °C) hele døgnet, dette stemmer derimot ikke som kan ses av Figur 35.

Figur 35 Varmetilskudd/Kjøling ved valg av utvendige persiener. (Simien 2010)



Her ser man at kjølebatteriet kun har vært i drift innenfor den angitte driftstiden, og ikke hele døgnet som indikeres av Figur 34.

Ved valg av utvendig lyse persiener som aktiveres ved en solfluks ved 50 W/m^2 oppnås en operativtemperatur når elevene kommer på skolen på rundt $26 \text{ }^\circ\text{C}$. I følge simuleringen vil altså dette løse problemet med både overopphetning. I tillegg vil disse antakelig være mer egnet til blending av lys ved bruk av Smartboard.

9.5 Evaluering av simuleringen

Simien er et godt verktøy for å si noe om hvordan et eventuelt ENØK-tiltak vil ha innvirkning på energibudsjettet og levert energi, da man raskt kan endre input verdier og få ut et nytt energibudsjett/regnskap korrigert for dette.

Det har derimot sine svakheter også. Det vises i denne beregningen der det ikke har vært mulig å få modellen til å møte virkeligheten. Dette viser at simuleringen er sterkt påvirket av ståsted til simulereren. Siden det var så pass stor informasjonsmengde tilgjengelig i FDV-dokumentasjon fra bygget, ble det satt høye ambisjoner om å få modellen mest mulig lik virkeligheten, ved å detaljere bygget i størst mulig grad. Når det nå i etterkant skal evalueres, må det sies at dette ha like store ulemper som fordeler. Ved å detaljere for mye mister man fort oversikten over den store sammenheng. Det blir mye vanskeligere å kontrollere om det er begått feil, siden det er så store mengder informasjon. Det blir også vanskeligere å variere de ulike parametere for hver ekstra sone som legges til, fordi de ulike parametere må endres for hver enkelt sone. Man har en funksjon, *Globale endringer*, men denne gjelder kun for et

begrenset antall variable. Skal man for eksempel endre ventilasjonsluftmengder, må dette gjøres for hvert enkelt aggregat tilhørende hver enkelt sone.

Det stilles en del usikkerhet knyttet til beregning av vinduer, da dette måtte gjøres i regneark med en form for standard formel for karmandel, da mange av vinduene hadde ulik form. Alle vinduer i Simien er lagt inn for seg, med egen karmandel som på forhånd var utregnet. Dette tilsvarte over 50 forskjellige slags vinduer, glassfasader og dører som ble vanskelig å kontrollsjekke. Det viste seg at i snitt så hadde vindusarealene cirka 20 % karmareal i forhold til glass. Det er dette som er standardverdi fra NS 3031, så man hadde antakeligvis kommet like godt ut med det ved å bruke denne antagelsen, eller bedre siden det hadde vært lettere og kontrollsjekket det totale vindusarealet. Andelen av vindusflater beregnet av Simien utgjør 13,5 % av bruksarealet, noe som muligens er litt lavt. Dersom det i virkeligheten er større vindusflater, for eksempel opp i mot 20 %, vil dette også kunne forklare hvorfor modellen har mindre varmetap enn det målte.

Erfaringer som er gjort under simuleringen er at modellen ikke alltid svarer slik som man forventer. Energibruken er dynamisk og veldig avhengig av mange variable. Dersom man oppjusterer en variabel, kan dette få negativ innvirkning på en annen, noe som gjør at det totale energibehovet ikke endrer seg. Derfor er det mye prøving og feiling som skal til for å finne frem til riktig parameter som virkelig har innvirkning på resultatet. I dette henseende er Simien et godt verktøy, det gir et bilde på hva som virkelig monner og i motsatt fall hva man kan se bort ifra.

9.6 Diskusjon simulering

Det ble altså ikke valgt å nedjustere inputverdier som tetthet, U-verdier og kuldebroer lavere enn kravene gitt i anbudsgrunnlaget. Dette gjorde at modellen ikke klarte å komme opp i det varmebehovet som det *målte* forbruket viste. NSOB har et relativt høyt elektrisitetsbehov, delvis grunnet varmepumpen, men også mye tekniske utstyr i undervisning etc. Da det ble forsøkt å sette elektrisitetsforbruket i modellen lik det målte forbruket av el, ble levert energi til bygget omtrent likt, selv om energibudsjettet viste at varmebehovet var mye større i det målte tilfellet enn for modellen. Dette viser at varmetapet i bygningen antakeligvis er større enn definert i simuleringen.

Energibruken i bygg er svært dynamiske. Erfaringer gjort ved denne omfattende simuleringen, viste at endringer i input verdier ikke alltid hadde det forventede utfallet. Selv om det nå kan se ut som om det er flere ting som skiller modellen fra virkeligheten, kan det ved å for eksempel redusere tettheten, muligens påvirke mange av parameterne, og energibudsjettet kan plutselig ha et helt annet utseende. Dette er en av fordelene ved simuleringsprogrammet, at man ved å endre noen få inputverdier får et raskt bilde av hvordan dette påvirker hele energiflyten.

Man ser av simuleringen at svingninger i varmebehov har mye mindre innvirkning på levert energi når man har en varmepumpe som grunnlast til varmforsyning. Dette fordi man har et energiforbruk tilsvarende kun 1/3-del av det varmebehovet man har.

Sommersimulering av utvalgt rom i sørøstfasade indikerte at det ved høye utetemperaturer og høy solinnstråling, blir tidvis altfor høye operativtemperaturer i dette klasserommet. Operativtemperaturen var over 28 °C nesten hele dagen, og store deler var den over 29 °C. Dette er temperaturer som er ubehagelig varme å oppholde seg i over lengre tid, resultatet av dette må bli ukonsentrerte og uproduktive elever. Simuleringen viste også at de innregulerte luftmengdene ikke er tilstrekkelig for å kjøle rommet ned til mer enn dette, på grunn av at man ikke kan tilføre luft ved lavere enn 14 °C.

Resultatene fra simulering underbygger altså mistankene, fra målt inneklima i kapittel 8.1, om at når man har konstante luftmengder kan man komme til kort når det gjelder å frikjøle bygget, da eneste mulighet er å senke temperaturen på tilluften. Heller ikke nattekjøling oppnådde å kjøle bygget ned tilstrekkelig før det igjen opplevde å bli oppvarmet.

10 Økonomi

Med utgangspunkt i målt energibruk funnet i kapittel 0 er det foretatt en økonomisk analyse for å se om investeringene som ble gjort har gitt avkastning, og om den vil være lønnsom med gitte avkastningskrav. Varmepumpeanlegget kostet 3,3 millioner kroner eksklusiv moms, mens et anlegg med fjernvarme og tørrkjøler ville ha kommet på 1,4 millioner kroner. Varmepumpen og fjernvarmeanlegget har forventet levetid på 20 år, mens energibrønnene har forventet levetid lik byggets levetid cirka 40 år. Lønnsomhet som ble beregnet var årlig kostnadsbesparelse for varmpumpe i forhold til alternativet, årskostnad for begge, inkludert avkastningskrav, største tillatte investering, spesifikk energipris og nåverdi. Begge alternativ krever at fjernvarme er dimensjonert for å dekke hele varmebehovet, (dersom varmpumpen skulle settes ut av drift) derfor ses det bort i fra investeringskostnader til fjernvarme siden denne er lik for begge alternativ. Først er det presentert lønnsomhetsvurdering av varmpumpeløsning fra anbudsgrunnlag, så vil det bli sammenlignet med dagens situasjon og sett på forskjellen i forutsetningene. Deretter blir det foretatt en følsomhetsanalyse som ser på lønnsomhet når ulike parameter varierer, for eksempel elektrisitetspris og levetid til anlegget.

10.1 Lønnsomhetsvurdering fra anbud

Det ble foretatt en lønnsomhetsvurdering av varmpumpeanlegget i anbudsgrunnlaget. Denne er foretatt av VVS Norplan. Utgangspunktet for vurderingen er sammenlignet med alternativet med fjernvarme til å dekke hele varmebehovet og en kjølemaskin med tørrkjøler som skulle dekke kjølebehovet. Fra Figur 36 ses varmeforbruket som ble forutsett ved vurderingen, og Figur 37 viser hvor stor andel av dette som skal dekkes av henholdsvis varmpumpe og fjernvarme. Det ble videre antatt et kjølebehov for bygningen ut ifra veiledende verdier for kjøling i kontorbygg, på 5 kWh/m² per år. Dette ble antatt skulle gi et kjølebehov på cirka 30 000 kWh per år. Kjølemaskinen ble antatt hadde en systemeffektfaktor på 3. (RIV 2007)

Figur 36 Beregningsunderlag energi fra VVS Norplan sin lønnsomhetsvurdering. Totalt varmebehov er ganske nært det målte forbruket på 330 000 kWh/år.

System	Energiforbruk (kWh/år)	Effektbehov (kW)
Romoppvarming	40.000	140
Oppvarming av ventilasjonsluft	205.000	250
Oppvarming av varmt tappevann	80.000	50 (normtall)
Sum	325.000	440

Figur 37 Beregningsgrunnlag for VVS Norplans lønnsomhetsvurdering av varmepumpeanlegget
Illustrasjon: VVS Norplan. (RIV 2007)

	Andel (%)	Varme-produksj. (kWh)	Års-varmefakt.	El. kraft-forbruk (kWh)	Energi-besp. (kWh)
Varmepumpe	80	260000	4	65000	195000
Fjernvarme	20	65000	1		
Sum varmeproduksjon		325000		65000	195000

Figur 37 viser beregningsgrunnlag for VVS Norplans lønnsomhetsvurdering av varmepumpeanlegget. Totalt varmebehov er ganske likt det målte forbruket, men årsvarmefaktoren er antatt for høy. Her er den SPF=4 i forhold til den målte på SPF=3. Derfor leverer varmepumpen kun 67 % av varmebehovet og ikke 80 % som antatt her.

Figur 38 Beregningsgrunnlag for VVS Norplans lønnsomhetsvurdering av varmepumpen.
Illustrasjon: VVS Norplan

Input lønnsomhetsberegninger:	
• Økte service- og vedlikeholdskostnader:	2 % av investeringskostn. pr. år
• Levetid på VP:	15 år
• Nom. rente:	4 %
• Prisstigning:	3 %
• Enerkipris el.:	85 øre pr. kWh (alt. utført for 125 øre)
• Enerkipris fjernvarme :	60 øre pr. kWh
• Kostnader:	

Ved disse forutsetninger ble konklusjonen at ved et kjølebehov lik 30 000 kWh/år og en elektrisitetspris på 1,25 kr/kWh ville inntjeningstiden bli rundt 10 år.

Denne lønnsomhetsvurderingen er som sagt utført av VVS Norplan i forprosjekt. Noen av forutsetningene i denne beregningen finnes å være noe merkelige. For det første er elektrisitetspris og fjernvarmepris altfor stort sprik mellom, det skiller mindre enn 25 øre som forutsatt her. Det er antatt en systemvirkningsgrad på 1 for fjernvarmeanlegg, når den i følge NS 3031 er 0,88 (NS 3031 2007). Dette ville ha gitt et høyere energibehov til fjernvarme. Totalentreprisen på varmeanlegget er også uvanlig høy, 3,3 millioner for en varmepumpeinstallasjon og 1,4 millioner for en kjølemaskin med tørrkjøler. Dette er tall gitt til VVS Norplan av Skanska, som har gjort en kostnadsvurdering i forkant av lønnsomhetsanalysen. Når man ser i etterkant hva denne totalentreprisen inneholder, (som VVS Norplan antakeligvis ikke hadde innsikt i) ser man at den inneholder kostnader til system langt utenfor det som kun har med varmepumpen å gjøre. Hva som er inkludert i prisen er gjengitt i nest kapittel i Tabell 25. Derimot for å få en lønnsomhetsanalyse som kan sammenlignes med den som er gjort i forprosjekt, er det derfor valgt å bruke de samme totalkostnadene ved lønnsomhetsberegning av målt energibruk.

10.2 Lønnsomhetsvurdering målte forhold

Energibruk forutsatt ved lønnsomhetsvurdering er gjengitt i Tabell 24. Her er det tatt utgangspunkt i målt energibruk, avrundede verdier.

Tabell 24: Energibruk forutsatt ved lønnsomhetsvurdering, avrundede verdier av målt energibruk.

	Varmepumpe +FV	FV + tørrkjøler
Energi levert		
Varme levert grunnlast	220 000	330 000
Varme levert spisslast	110 000	0
Kjøling	10 000	10 000
Totalt levert energi [kWh/år]	340 000	340 000

Vektet levetid

Levetiden til anleggene stilles det stor usikkerhet til. VVS Norplan har forutsatt en levetid på varmpumpen til 15 år og anslått brønnene til å ha en levetid på 40-50 år. I og med at entreprisen på varmpumpen inkluderer så mye mer enn kun varmpumpe og energibrønner, må det beregnes en *vektet* levetid for å kunne beregne lønnsomheten for hele installasjonen. Denne beregningen er vist i Tabell 25. Det er antatt at roterende komponenter har en levetid på 15-20 år, mens rør og lignende har en levetid på 40 år og automatikk en levetid på 15 år (Statsbygg 2010). Dette er et grovt estimat, siden rør gjerne har denne levetiden, men ventiler og liknende har kortere levetid. Det vil derfor senere bli gjort en følsomhetsanalyse for å se lønnsomheten som funksjon av levetiden.

Tabell 25: Vektet levetid for varmpumpeløsningen og tørrkjøleren

Levetid			
		Levetid	Vektet levetid
	[kr]	[år]	[år]
Varmepumpe, komplett installasjon			
Kjølemaskin	312 000	15	1,4
Akkumulatortanker	135 000	40	1,6
Oppdim. av rad/varmeanlegg	420 000	40	5,1
El.kraft	60 000	15	0,3
Kjølebatterier	90 000	15	0,4
Prosjektering	170 000		0,0
Brønner inkl. utvendig rør	1 273 000	40	15,4
Rør anlegg kald side	840 000	40	10,2
Total	3 300 000		34,4
Tørrkjøler			
Kjølemaskin/Tørrkjøler	1 400 000	20	20

Man ser av de ulike postene at varmpumpen (kjølemaskinen) kun utgjør rundt 10 % av den totale investeringen, mens for eksempel oppdimensjonering av radiator/varmeanlegg utgjør

mer, rundt 13 %. Derimot må dette tas hensyn til ved lønnsomhetsvurderingen siden disse utgiftene hadde man ikke hatt dersom man hadde valgt tørrkjøler. Siden tørrkjøleralternativet er estimat av hva det vil koste, har det ikke vært mulig å oppdrive spesifikke delkostnader for denne løsningen. Det må derfor forutsettes at dette inkluderer alt av røranlegg etc. slik som for varmepumpeinstallasjonen. Levetiden til tørrkjøler er anslått til 20 år. Beregningen viser at varmepumpeinstallasjonen har en vektet levetid på 34 år.

Forutsetninger

Det er ulike måter å se på lønnsomhet ut ifra hvilke avkastningskrav som er gitt. Beregninger for ulike lønnsomhetsbetraktninger er gjengitt i Tabell 26. Denne beregningen er basert på energibesparelse som er funnet i denne oppgaven. Den tar utgangspunkt i sammenligning mellom varmepumpeinstallasjon og alternativ løsning med fjernvarme og kjølemaskin/tørrkjøler. Merinvesteringen er på 1.9 millioner kroner.

Videre forutsetter beregningen en nominell rente og prisstigning, som er hentet fra anbudsgrunnlaget til VVS Norplan, på henholdsvis 4 % og 3 %, som gir en realrente på 0,97 %. Dette er en veldig lav realrente, men kommunale anlegg vurderes vanligvis ikke ut i fra avkastning, her er det andre vurderinger som legges til grunn (Spjøtvold 2010), derfor vil dette avkastningskravet være reelt ved en kommunal investering som denne.

Da elektrisitetsprisen er i konstant forandring, den varierer fra hvert år og fra sesong til sesong, er det vanskelig å fastsette en gjennomsnittlig elektrisitetspris som representerer dagens elektrisitetspris. Det er derfor gjort noen antakelser basert på tall fra Trondheim Kommune og Trondheim Energi. Det ble dermed konkludert med at antakelse i lønnsomhetsvurderingen fra forprosjektet, elektrisitetspris 85 øre/kWh, var like representativt som noe annet. Denne ble derfor valgt.

Det er deretter valgt å gjøre en beregning av to ulike scenarioer der elektrisitetsprisen er for alternativ 1. lik dagens elektrisitetspris 85 øre/kWh og alternativ 2. lik en fremtidig elektrisitetspris 125 øre/kWh. Fjernvarmeprisen er 10 øre lavere i begge tilfeller. Beregningsgrunnlag er lagt ved som vedlegg.

Forutsetninger for lønnsomhetsvurdering er:

- Investering varmepumpe inkludert energibrønner 3.3 millioner kroner.
- Investering tørrkjøler er 1.4 millioner kroner.
- Årlige vedlikeholdskostnader er 2 % av investeringen for både varmepumpe- og tørrkjølerløsning.
- Vektet levetid for varmepumpeanlegg er 34,4 år og kjølemaskin/tørrkjøler er 20 år.
- Fjernvarmepris er 10 øre lavere enn elektrisitetspris.⁹

⁹ Energioven sier at fjernvarmeprisen skal være lavere enn kundens alternativ, det finnes derfor ikke noe fast forholdstall mellom disse. TEV (2010). Personlig meddelelse per telefon med Trondheim Energiverk ved Morten Fossum

Tabell 26: Ulike lønnsomhetsbetraktninger for sammenligning av varmepumpeanlegg i forhold til kjølemaskin/tørrkjøler for NSOB

Lønnsomhet				
	Elpris= 0,85 kr/kWh		Elpris= 1,25 kr/kWh	
	Varmepumpe	Tørrkjøler	Varmepumpe	Tørrkjøler
Årskostnad [kr/år]	276 571	356 254	350 171	489 854
Årskostnad differanse [kr/år]	79 683		139 683	
STI (Største tillatte Investering) [Kr]	1 967 911		3 717 165	
SE (Spesifikk Energi pris) [kr/kWh]	0,81	1,05	1,03	1,44
Nåverdi [kr]	67 911		1 817 165	
IT (Inntjeningstid) [år]	33		16	
TB [år]	28		15	
Minste årlige netto inntjening [kr]	65 171		65 171	
Internrente [%]	0,5		0,5	

Resultatene vil bli diskutert videre i de neste underkapittel.

Årskostnad

Når man beregner lønnsomhet i form av årskostnad ser man på total årskostnad for den ene løsningen i forhold til den andre, altså hvilken som gir lavest årskostnad. Dette inkluderer energikostnad, drifts- og vedlikeholdskostnader og kapitalkostnad. *Årskostnader representerer de gjennomsnittlige årlige kostnader (annuitet) gjennom hele varmepumpeinstallasjonens levetid.* (Stene 1997). Med de gitte forutsetninger gitt i Tabell 26 ser man at investeringen er lønnsom ved årskostnadsbetraktning for begge alternativene. Det koster rundt 80 000 kr mindre i året for varmepumpeanlegg enn for fjernvarmeløsningen med kjølemaskin/tørrkjøler for alternativ 1, og tilsvarende 139 700 kroner for alternativ 2.

Største tillatte investering

Ved gitt årlig netto inntjening, realrente og levetid på anlegget kan man finne største tillatte investering (STI). Dette er et mål på summen av alle kontantstrømmer i prosjektets levetid diskontert til dagens kroneverdi. Merk at med investering menes merinvesteringen for varmepumpeanlegget i forhold til løsning med tørrkjøler. Merinvesteringen er 1,9 millioner kroner. Fra resultatet i Tabell 26 ser man at STI er 1,968 millioner kroner for alt.1, altså er STI så vidt over 1,9 millioner kroner og investeringen er akkurat lønnsom. Siden det er lagt til grunn en del forutsetninger som kan avvike fra virkeligheten, er dette derfor ikke en overveiende lønnsomhet. En forretningsmann med kun profitt for øyet, ville ikke ha tatt denne risikoen.

For alt.2 er STI=3,7 millioner kroner og er mye større enn merinvesteringen, og i størrelsesorden med totalinvesteringen (3,3 millioner kroner). Ved høy energipris blir derfor investeringen ved betraktningen *Største Tillatte Investering* altså meget lønnsom.

Spesifikk energipris

Spesifikk energipris er et mål på energipris i forhold til årlige kostnader. Det tas da utgangspunkt i årskostnad og total termisk energibruk inkludert kjøling.

$$SE \text{ [kr/kWh]} = \frac{AK[\text{kr}]}{Q[\text{kWh}]} \quad \text{Formel 5}$$

Bruker man dette som parameter for å bestemme lønnsomhet i investeringen på NSOB er investeringen lønnsom for begge alternativene, fordi energiprisen per kilowatttime er mindre for varmepumpeløsningen enn for løsningen med kjølemaskin. Henholdsvis er $SE=0,81$ og $1,05$ kr/kWh for alt.1 og henholdsvis $SE=1,03$ og $1,44$ kr/kWh for alt.2. Man ser at differansen i Spesifikk energipris blir større når elektrisitetsprisen blir høyere. Dette er fordi kostnaden til energi ved økende energipris, utgjør en større andel av total kostnaden, og kapitalkostnaden blir forholdsvis mindre. Da vil den lave energibruken ved bruk av varmepumpe komme tydeligere frem i kostnadsbildet og derfor blir varmepumpeløsningen mer lønnsom ved økende energipris.

Nåverdi

Mest brukte metode ved lønnsomhetsberegninger er nåverdi og internrent. Nåverdi vil si at man tar høyde for hvor mye fremtidige inntekter (i form av besparelse) er verd i dagens kroneverdi. Det må tas hensyn til avkastningskrav og prisstigning og diskonteres til dagens korneverdi. Nåverdi er et *absolutt* uttrykk for lønnsomhet. Dersom nåverdien er større enn null, er investeringen lønnsom. Er den derimot negativ er den ikke lønnsom i henhold til de gitte avkastningskrav. Man sier at dersom lønnsomheten er i størrelsesorden med investeringen er det en *meget* lønnsom investering.

Nåverdien ved de gitte forutsetninger fra Tabell 26 gir en nåverdi for alt.1 lik 69 000 kr.

Inntjeningstid og tilbakebetalingstid

Et annet parameter for å måle lønnsomhet i en investering er inntjeningstid. Som navnet sier regner man da ut hvor lang tid det tar før man har inntjent investeringen. Da tar man utgangspunkt i merinvesteringen, besparelsen og realrenten. Dette er forskjellig fra tilbakebetalingstid, som ikke tar hensyn til avkastningskrav, men kun når besparelsen har kommet opp i samme sum som merinvesteringen.

Ved denne betraktningen ser man at både tilbakebetalingstiden (28 år) og inntjeningstiden (33 år) er mindre enn levetiden til varmepumpeanlegget (34 år) for alt.1. Ved denne betraktningen er investeringen så vidt lønnsom. For alt. 2 er tilbakebetalingstiden lik 15 år og inntjeningstiden lik 16 år. Dette vil derfor være en lønnsom investering sett i dette perspektiv.

Det er inntjeningstid som er brukt som lønnsomhetsparameter beregnet i forprosjektet, og som er lagt til grunn ved beslutningen da varmepumpeløsningen ble valgt fremfor fjernvarme med kjølemaskin og tørrkjøler. Grunnlaget for disse beregningene er fremsatt i forrige kapittel 10.1.

10.3 Følsomhetsvurdering

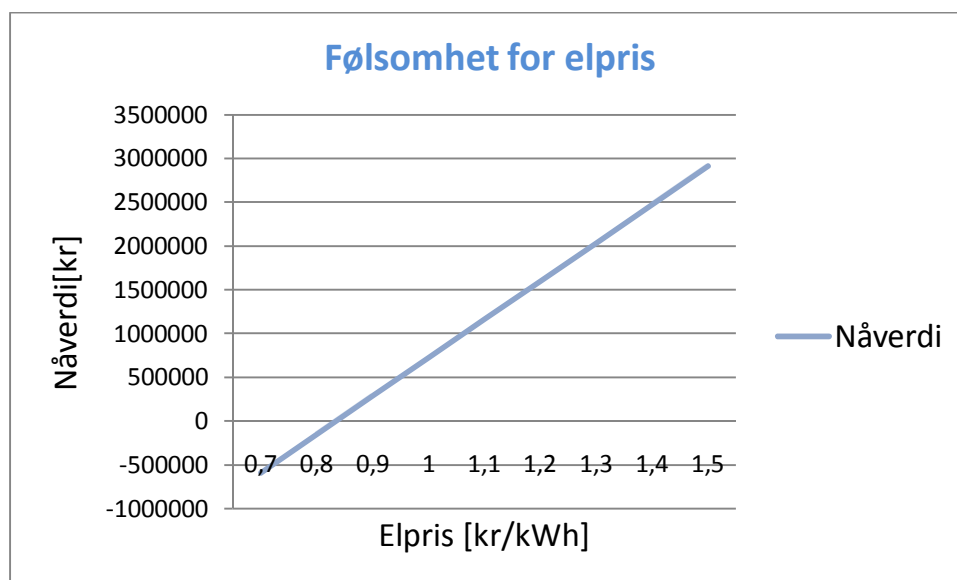
For å synliggjøre hvor følsom nåverdien og dermed lønnsomheten er ovenfor de ulike forutsetninger er det foretatt en følsomhetsanalyse. Siden det stilles usikkerhet knyttet til alle forutsetninger, det gjelder like mye for energibruk som energipriser og levetid, blant annet. I dette kapitlet er det presentert lønnsomhetsfølsomheten for de parametere som virker mest avgjørende.

Følsomhet for elektrisitetspris

Energi i form av elektrisitet har historisk sett vært svært lav i Norge på grunn av at vi har hatt overskudd av dette i form av vannkraft. Nå er vi derimot en del av energimarkedet i Europa, og vi har dessuten behov for å importere elektrisitet. Det er gode grunner til å tro at energiprisen i fremtiden vil øke betraktelig blant annet på grunn av økende behov for energi på verdensbasis, og avtagende funn av nye forekoster. Dette er en av forutsetningene som ble avgjørende ved beslutning av å velge varmepumpeanlegg ved NSOB, fremfor et fjernvarmeanlegg med kjølemaskin med tørrkjøler (Eimhjellen 2009).

De andre forutsetningene er holdt konstante og er som angitt før. Resultatet er presentert i Figur 39.

Figur 39 Nåverdifølsomhet ved varierende elektrisitetspris.



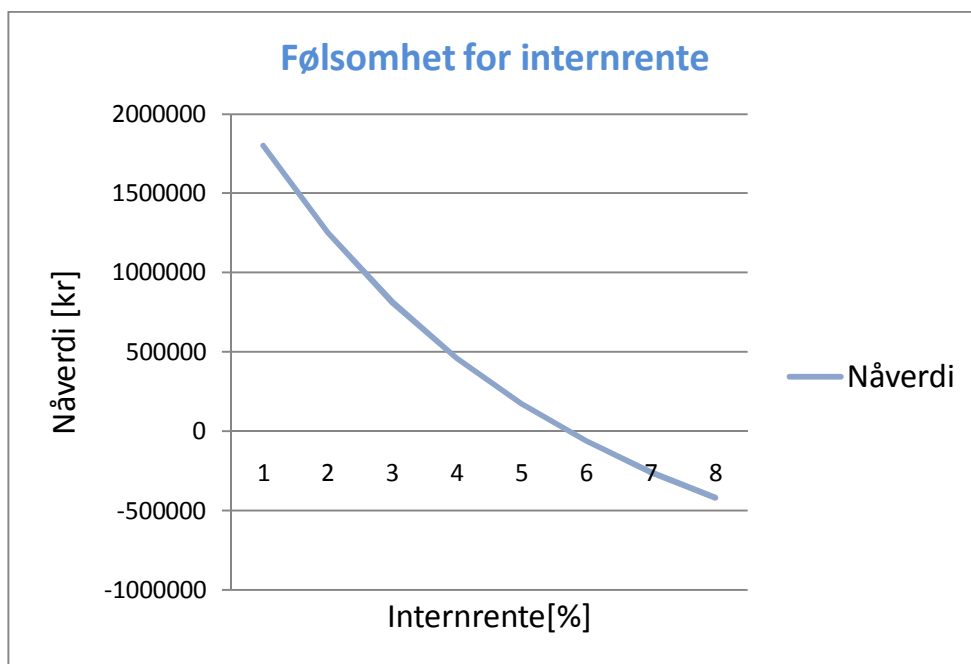
Nåverdikurven (lønnsomheten) øker lineært med økende elektrisitetspris og er ganske bratt, derfor kan man si at lønnsomheten er veldig følsomhet for varierende elektrisitetspris. $NV=0$ ved cirka 0,85 kr/kWh. Dette vil derfor si at investeringen vil bli lønnsom ved en elektrisitetspris større enn denne, når de andre forutsetninger holdes konstant.

Følsomhet for internrente

Avkastningskravet til varmepumpeløsningen er veldig lav i NSOB sitt tilfelle, under 1 %. Siden nåverdien så vidt er positiv ved de gitte forutsetningene, er det valgt å beregne en

internrente ved økt energipris. Beslutningen om å velge varmepumpeløsningen var basert på antakelser om at energiprisen i fremtiden kommer til å øke betydelig. Det ble derfor her valgt å gjøre en beregning for elektrisitetspris lik 1,25 kr/kWh og fjernvarme 10 øre under, 1,15 kr/kWh. Resultatet er fremsatt i Figur 40.

Figur 40 Nåverdifølsomhet ved ulike krav til avkastning, internrente.

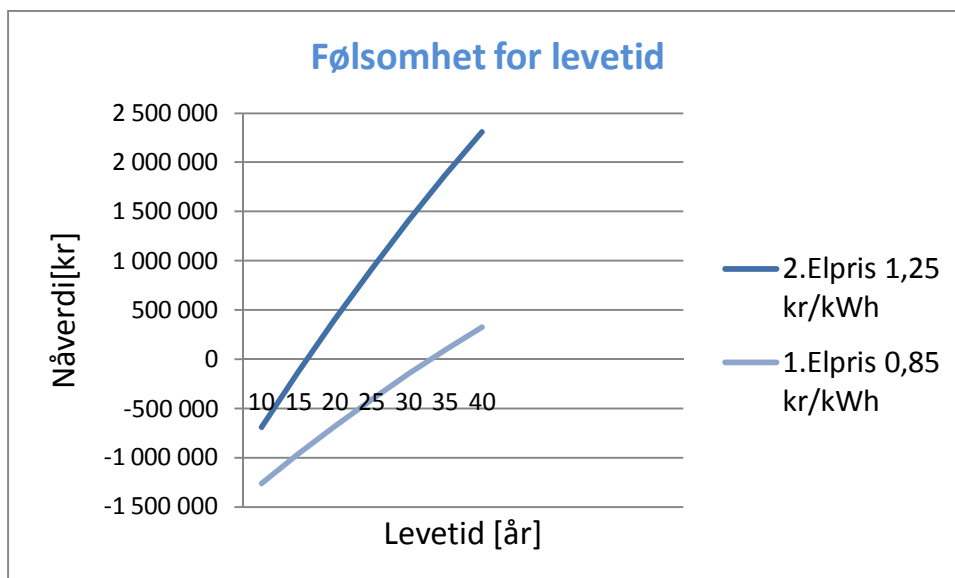


Nåverdien avtar eksponentielt med økende internrente, altså avkastningskrav. Ved disse forutsetninger (høy energipris), er krysningpunktet mellom lønnsomhet og ulønnsomhet ($NV=0$) ved en internrente/realrente på rundt 5,75 %. Ved de gitte avkastningskrav fra anbudsgrunnlag som er realrente lik 0,97 %, blir nåverdien lik 1,8 millioner kroner og investeringen er derimot meget lønnsom.

Følsomhet for levetid

For å se hvor følsom investeringen er for levetid av det tekniske anlegget, er de andre forutsetningene holdt konstant, mens levetiden er variert. Det er gjort to følsomhetsbetraktninger, en for elektrisitetspris lik 0,85 øre/kWh og en for antatt fremtidig elektrisitetspris lik 1,25 øre/kWh. Resultatene er fremsatt i Figur 41. Levetiden er variert mellom 10 og 40 år.

Figur 41 Følsomhet for levetidsbetraktning av varmepumpeanlegg ved NSOB.



Man ser at nåverdien (lønnsomheten) øker lineært med økende levetid. Stigningen er bratt, derfor kan man slutte at lønnsomheten er sterkt avhengig av levetiden på varmepumpeanlegget. Man ser at alternativ 2 (høy energipris) er mer følsom for levetiden enn alt. 1.

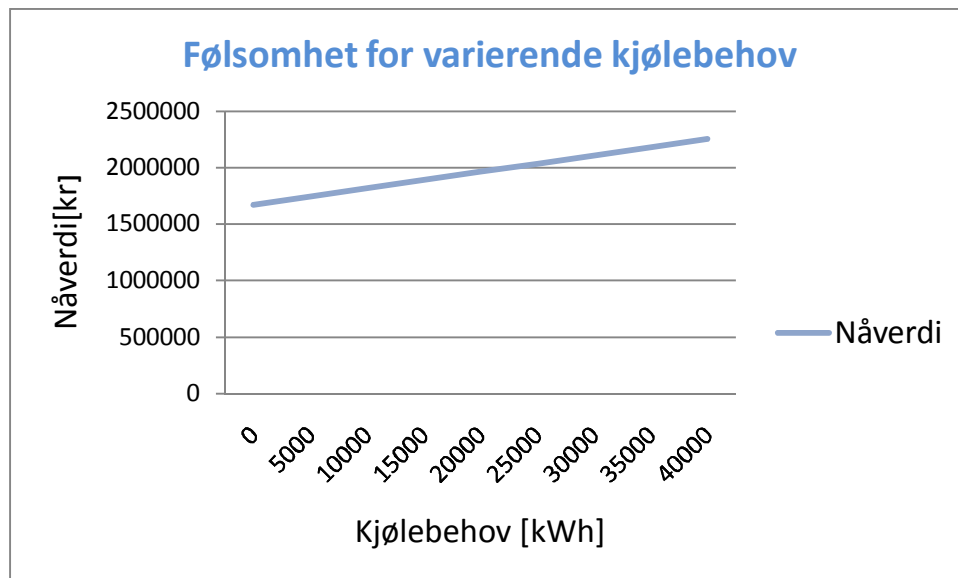
For alt. 1 vil investeringen bli lønnsom ved cirka 33 år, som er ganske lik antatt levetid på varmepumpeanlegget, 34,4 år. Ved lavere levetid enn denne vil altså investeringen være ulønnsom.

For alt. 2 vil investeringen bli lønnsom ved en levetid på 16,5 år, som er langt mindre enn den vektete levetiden på 34,4 år. Derimot er det ikke en ubetinget lønnsomhet siden levetiden til varmepumpen er antatt lik 15 år, mens brønnene og røranlegg har lengre levetid. Dette vil si at man i løpet av denne perioden må gjøre en ny investering i ny varmepumpe. Av Tabell 25 *Vektet levetid* ser man at varmepumpen (kjølemaskinen) kun utgjør rundt 10 % av den totale investeringen, så en eventuell ny investering kan antakeligvis forsvares når resten av anlegget har en gjenværende levetid tilsvarende levetiden til den nye varmepumpen.

Følsomhet kjølebehov

Til nå er det forutsatt at energibehovet i bygget er likt det målte fra kapittel 0 og gjengitt i Tabell 24. Da det stilles stor usikkerhet til kjølebehovet på 10 000 kWh per år, er det sett på lønnsomhet dersom denne parameter endres. VVS Norplan forutsatte et kjølebehov på 30 000 kWh, så øverste grense settes ved maks 40 000 kWh. Da beregningen viste at nåverdien først passerte null ved et kjølebehov på 100 000 kWh for alt. 1, ble det valgt å se på følsomheten til varierende kjølebehov kun for alt. 2.

Figur 42 Følsomhetsvurdering ved økende kjølebehov. Elektrisitetspris lik 1,25 kr/kWh



Man ser av Figur 42 at nåverdikurven ikke er så bratt som de forrige. Lønnsomheten er altså ikke så sterkt avhengig av kjølebehovet. Ved null kjølebehov er investeringen fortsatt ganske lønnsom $NV = 1,67$ millioner kroner. Lønnsomheten er altså ikke veldig avhengig av kjølebehovet. Dette er ganske naturlig siden kjølebehovet er i størrelsesorden 1/10-del av det totale termiske energibehovet til bygget.

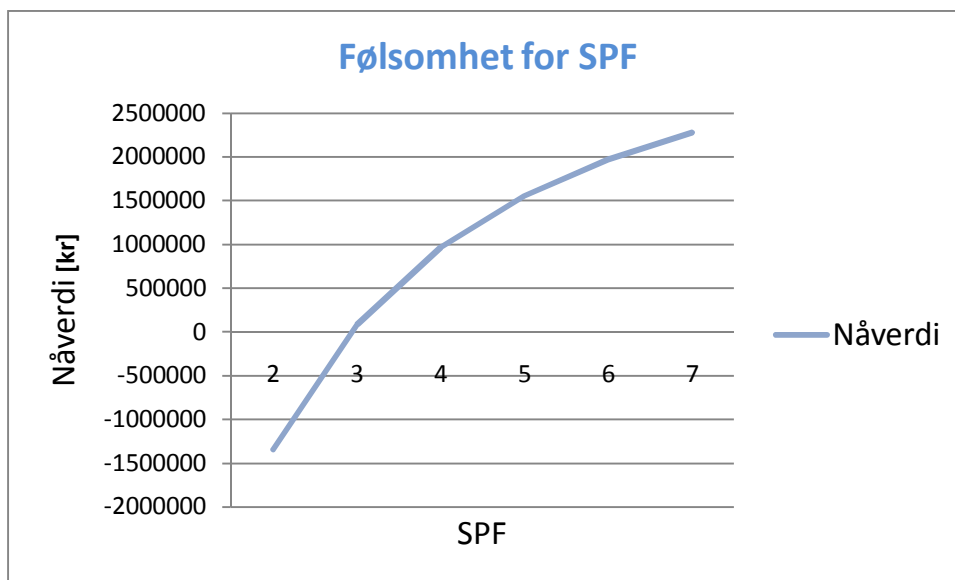
Følsomhet for årsvarmefaktor, SPF

Da det stilles såpass stor usikkerhet til målinger, kan man ikke med sikkerhet si at årsvarmefaktoren beregnet i denne rapporten er den reelle. Derfor er det valgt å se på lønnsomhet i forhold til økende årsvarmefaktor.

Forutsetningene lagt til grunn er:

- Levetid 34,4 år for varmepumpeanlegget, 20 år for kjølemaskin med tørrkjøler
- Realrente 0,97 %
- Elektrisitetspris 0,85 kr/kWh og fjernvarmepris 0,75 kr/kWh.
- Kjølebehov 10 000 kWh/år.

Figur 43 viser resultatet fra analysen.

Figur 43 Følsomhetsvurdering for økende årsvarmefaktor, SPF.

Man ser at nåverdien er eksponentielt avhengig av årsvarmefaktoren. Kurven flater ut mot toppen og man har derfor mest å hente ved å øke varmfaktoren litt ved lav varmfaktor, enn å øke den når den allerede er ganske god. Man ser at ved den gitte energiprisen vil nåverdien være cirka null ved en SPF=3, og NV= 1 millioner kroner ved SPF=4. Det ligger derfor stor lønnsomhet knyttet til å få varmepumpen til å fungere optimalt. Ved prosjektering var det antatt en årsvarmefaktor lik 4.

10.4 Diskusjon økonomi

Når beslutningen om å velge varmepumpeanlegget med energibrønner ble tatt, ble det valgt å legge stor vekt på at energiprisen kommer til å stige i fremtiden. Da er det lønnsomt å tenke på å være så energieffektiv som mulig, og varmepumpe er den mest effektive måten man kan produsere varme til oppvarmingsformål på. Man får igjen 3 ganger det man putter inn i varmepumpen. En varmepumpe installasjon er derimot en relativt dyr investering, som også bekreftes i tilfellet NSOB, hvor spesifikk investering lyder på 25 000 kr/kW installert effekt. Som nevnt innledningsvis inkluderer denne kostnaden alle røranlegg og lignende knyttet til denne. Det kan være at det blir feil å benytte denne totale kostnaden, men denne ble likevel valgt på grunn av sammenligning mot forprosjektets lønnsomhetsvurdering.

Når man legger forutsetninger om energibruk funnet i denne rapporten til grunn, og en elektrisitetspris lik dagens, på rundt 85 øre/kWh, viser lønnsomhetsanalysen at nåverdi er så vidt positiv, og største tillatte investering er lik den faktiske merinvesteringen. Derfor er investeringen akkurat i grenseland for om den er lønnsom eller ikke.

Ved samme energibruk og andre forutsetninger holdes konstant, men forutsatt en høyere elektrisitetspris, 125 øre/kWh, viser lønnsomhetsanalysen at investeringen derimot er meget lønnsom.

Det fremkommer av følsomhetsanalyser at lønnsomheten er sterkt avhengig av hvilke forutsetninger som legges til grunn. Lønnsomheten er svært følsom ovenfor både

avkastningskrav, energipris, levetid og årsvarmefaktor (SPF) til varmepumpen. Den er derimot ikke så følsom ovenfor kjølebehov. Ved en fremtidig elektrisitetspris på 125 øre/kWh viste følsomhetsanalysen at investeringen vil være meget lønnsom selv om man ikke har kjølebehov i bygget.

Det var i utgangspunktet tenkt å bruke el. og fjernvarmepriser lik de som er brukt i lønnsomhetsgrunnlaget fra anbudsgrunnlaget, altså $e_{el}=0,85$ kr/kWh og $e_{FV}=0,6$ kr/kWh. Dette for å få så like forutsetninger som mulig for å kunne sammenligne. Som nevnt innledningsvis ble det funnet merkelig at forskjellen mellom disse var såpass stor, hele 25 øre, og dette gjenspeilet seg i beregningene. Ved så stor forskjell ble investeringen meget ulønnsom både ved betraktning STI som ble 1,0 millioner kroner og ved nåverdibetraktning $NV = -900\,000$ kroner. For at investeringen skulle være lønnsom viste følsomhetsberegninger at levetiden måtte være over 80 år for varmepumpeanlegget. Siden denne differansen er såpass usannsynlig, ble derfor disse beregningene forkastet til fordel for $e_{el}=0,85$ kr/kWh og $e_{FV}=0,75$ kr/kWh.

11 Miljø

11.1 Utslipp knyttet til elektrisitetsproduksjon

Det er gjort beregninger for CO₂-bidrag ved de ulike energikildene. Statnetts CO₂ kalkulator. Norges CO₂ utslipp på grunn av elektrisitetsproduksjon er svært lav. Vi baserer produksjonen nesten ensidig på vannkraft, ispedd noe vindkraft og avfallsforbrenning. Totalt utslipp fra innenlands produksjon er bare 8,7 gram/kWh (Ecoinvent 2004). Skal man derimot i dag bygge nytt og tilføre samfunnet et nytt elektrisitetsforbruk, kan man ikke alene bruke dette utslippstallet. Det meste av elektrisitetsproduksjonen som vi produserer i Norge i dag, går til det behovet vi selv har innenlands per i dag. Derfor sies det at skal man dekke et nytt behov med elektrisitet, så må denne elektrisiteten importeres utenfra. Da må man ta utgangspunkt i utslipp fra produksjon av elektrisitet fra Europa, den såkalte Europamiksen. Denne består av litt fornybarenergi i form av vannkraft og vindkraft, noe atomkraft, men mesteparten av elektrisitetsproduksjonen kommer fra fossilt brennstoff som har høye utslipp av CO₂. Utslipp av CO₂ ved brenning av fossiltbrennstoff avhenger av teknologi og kvalitet på brennstoffet, så dette varierer mye gjennom Europa. Danmark for eksempel som har relativt god teknologi på kullkraftverkene sine og har en utslippsrate på 510 gram/kWh, mens i Polen er utslippsraten hele 1,1 kg/kWh. Europamiksen, inkludert fornybar energi og atomkraft blir rundt 355 gram/kWh. (Ecoinvent 2004)

Det finnes ikke noe standardiserte verdier for hvilket elektrisitetsmiks man skal bruke. Det avhenger veldig ofte av hvilken *hatt* man har på seg. Man bruker kanskje en norsk miks når man skal gi en beskrivelse av eksisterende anlegg, mens det derimot er viktigere å få frem større utslipp knyttet til elektrisitetsforbruk dersom man skal forsvare energiltak som for eksempel etterisolering. En europamiks er ofte brukt, men importen til Norge skjer i hovedsak fra våre naboland i Norden, så den mest riktige vil antakeligvis være Nordisk miks (NISA 2010), på 160 gram/kWh (Ecoinvent 2004). Denne er såpass lav på grunn av stor andel vannkraft og atomkraft som utligner utslippene fra kullkraftverkene i Danmark.

11.2 Utslipp knyttet til fjernvarme

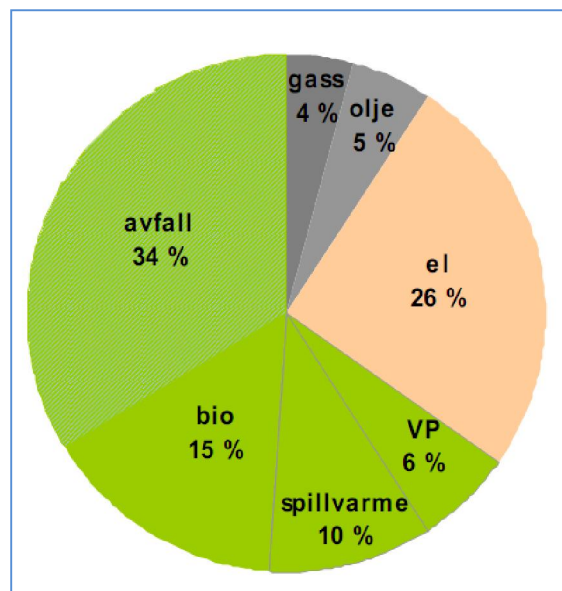
Utslipp knyttet til fjernvarme finnes det heller ingen standard for. Her er det også avhengig av hvilken *hatt* man har på, og hvor man setter grensen for hva som skal tas med i beregningen. Direkte utslipp fra forbrenningsanlegg er ikke alltid representativt. Miljøkonsekvenser ved avfallsforbrenningsanlegg kan ses i sammenheng med hvilken avfallshåndtering den fortrenger, og hvilken annen energikilde den fortrenger og utslipp knyttet til denne. I Trondheim har man et forbrenningsanlegg på Heimdal som produserer fjernvarme, distribusjon av varmtvann til byens bygninger. Den har i hovedsak fortrent oljekjeler og elektrisk oppvarming da det er dette som er konvensjonelle oppvarmingskilder i Norge. Den har også fortrent deponering av avfall, med store utslipp av metan som har høy *Global Warming Potential*, GWP. I tillegg til avfallsforbrenning har kommunen gode rutiner for gjenvinning av materialer. For avfallsforbrenning til fjernvarme som fortrenger deponering og med materialgjenvinning gir en utslippsrate på -0,13 kg CO₂-ekvivalenter/MJ fjernvarme. (Eriksson, Finnveden et al. 2007). Dette tilsvarer -0,47 kg CO₂-ekvivalenter per kilowatttime.

Tar man altså hensyn til LCA ved fjernvarme der man inkluderer alternativet til avfallshåndtering, har fjernvarme altså et negativt bidrag til global oppvarming. Så kan man deretter diskutere om man gjenvinner nok material, eller at forbrenningsanlegg kan delvis fortrenge materialgjenvinning. Avfallsforbrenning kan fortrenge gjenvinning av matavfall fordi avfallet som skal i forbrenningsovnene må inneholde en viss mengde med vått avfall for at temperaturen ikke skal bli så høy at den kan gjøre skade på komponentene i prosessen.

Dersom man skal sammenligne totale utslipp mellom land, blir dette ikke en riktig måte å se på utslippene, siden for eksempel U-land har en mye mindre avfallsproduksjon, og har ikke de samme utslippene knyttet til deponiproblematikken som I-landene. Da må heller LCA-grensen begynne der hvor avfallet hentes (transport av kilden), og slutte ved bruker av fjernvarme, og regne alle direkte utslipp knyttet til produksjonen av fjernvarme.

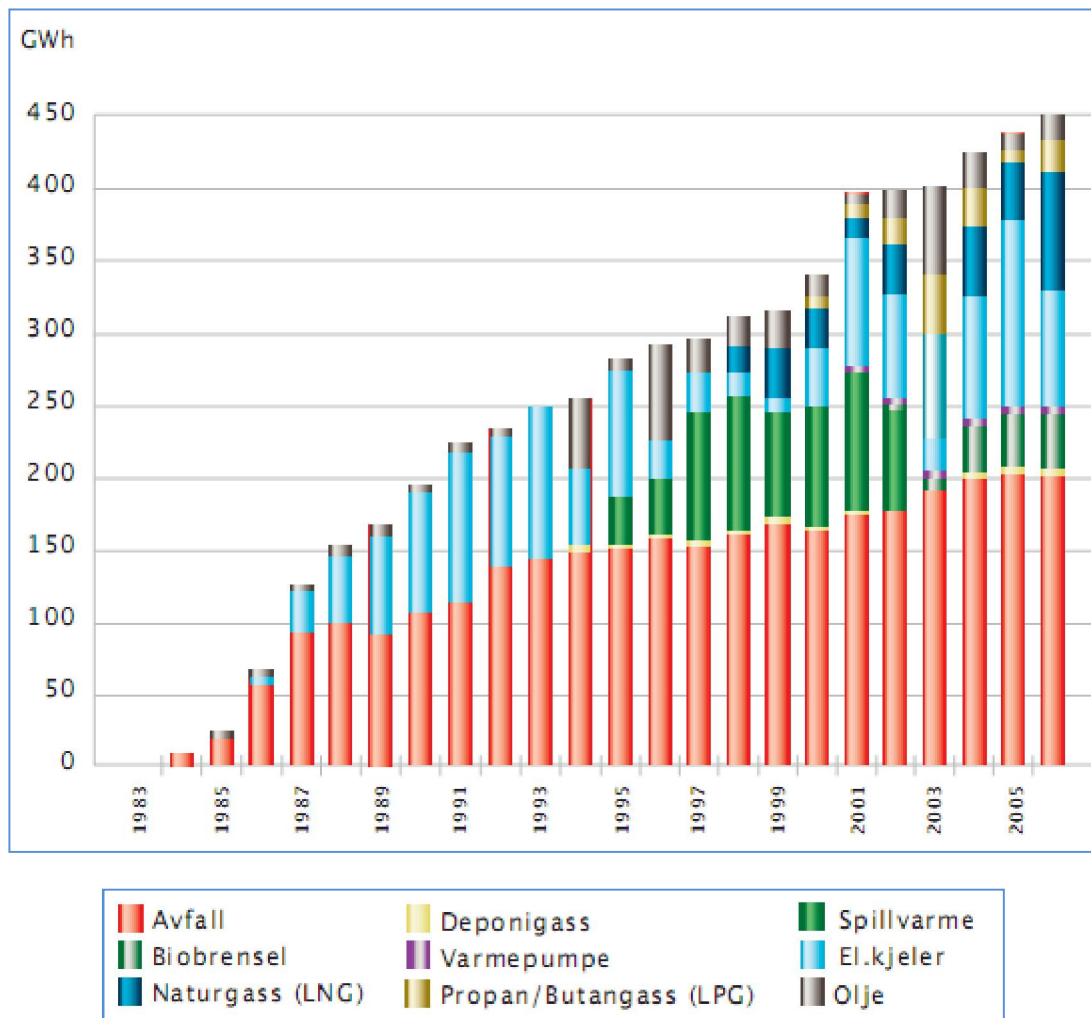
Så må det også tas hensyn til at ikke avfall alene er energikilden i et forbrenningsanlegg. Ved lave utetemperaturer og høye effektbehov trengs det en spisslast for å dekke dette behovet. Ofte brukes elektrisitet til dette formålet.

Figur 44 Brenselmiks levert fjernvarme i Norge, gjennomsnitt fra 2005. Kun 34 % dekkes av avfall. Illustrasjon: Fjernvarmeforeningen.



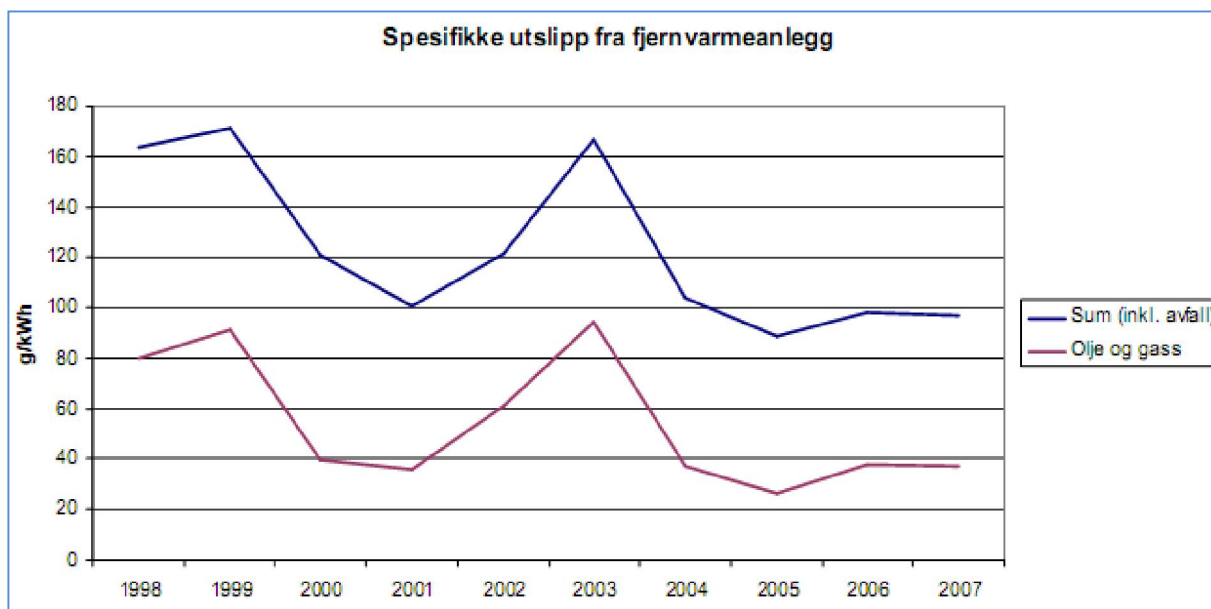
I Trondheim er total effekt 297 MW der 70 MW kommer fra avfallsforbrenning, 12 MW fra andre fornybare energikilder og 215 MW er topplast der størsteparten er elektrokjeler på 85 MW.

Figur 45 Fjernvarmeproduksjon 1983- 2006 fordelt på de ulike energikilder. *Illustrasjon: Trondheim Energi Fjernvarme AS*



Man ser at energi fra avfall utgjør ca. 44 % av den totale produksjonen i 2006, og at andelen fra avfall ikke øker like mye som den totale produksjonen, men har ligget på et stabilt nivå de siste årene.

Rundt 73 % av den energien som går inn i fjernvarmeanlegget når sluttbruker. 11 % går tapt i omforming, 11 % til avkjøling mot luft og 7 % i fordelingsnett. (NVE 2010).

Figur 46 Spesifikke utslipp fra fjernvarmeanlegg fra 1998 til 2007. Grafen av Olje og gass viser andelen av dette. *Illustrasjon: NVE*

Man ser av Figur 46 at utslippene har gått ned de siste årene og ligger nå litt under 100 gram/kWh.

11.3 CO₂ utslipp NSOB

Ut ifra de utslippsrater som er funnet innledningsvis i dette kapittelet er det gjort en beregning av utslipp knyttet til energibruk ved NSOB. Resultatet av beregningen vises i Tabell 27 og Tabell 28 for henholdsvis målt energibruk ved dagens løsning og alternativ løsning med fjernvarme med kjølemaskin.

Tabell 27: CO₂-utslipp ved NSOB ved dagens varmepumpeløsning

	Totalt energibruk betalt for i 2009/2010		Utslippsrate	Utslipp
	[kWh]	[gram/kWh]		
Fastkraft	398 975	160	63,8	
Fjernvarme	110 194	100	11,0	
Totalt levert energi	509 169		74,9	

Tabell 28: CO₂-utslipp ved NSOB ved alternativ løsning

Energibruk alternativ			Utslippsrate	Utslipp
	[kWh]	[gram/kWh]		
Totalt levert/produsert varmeenergi	330 019	100	33,0	
El. levert ekskl. el. til varmepumpe	325 003	160	52,0	
Økt elforbruk grunnet kjøling	10 000	160	1,6	
Totalt	665 022		86,6	

Man ser at ved å velge varmepumpeløsningen fremfor fjernvarme, sparer man miljøet med 11,7 tonn CO₂-utslipp per år, med de utslippsrater forutsatt. Selv om utslipp knyttet til elektrisitetsforbruk er høyere enn ved fjernvarme, så kommer man positivt ut på grunn av effekt faktoren til varmepumpe.

I Simien ligger det inne i programmet noen standardverdier for utslippsrater ved de ulike energisystemene, der er det definert helt andre utslippsrater enn forutsatt her. Utslipp ved elektrisitetsforbruk er gitt lik 355 gram/kWh og til fjernvarme er utslipp lik 211 gram/kWh som er over dobbelt så mye som forutsatt ved nordisk miks og tall gitt av NVE. Det vites ikke hvilken kilde som ligger til grunn for disse antagelsene, men siden disse ligger i programmet er de antakeligvis utbredt i bruk, derfor tas de med her til sammenligning. Tabell 29 viser CO₂-utslipp beregnet i Simien, energiforbruket er målt forbruk.

Tabell 29: CO₂-utslipp ved NSOB ved dagens varmepumpeløsning for utslippsrater gitt av Simien

Total energibruk betalt for i 2009/2010	Utslippsrate	Utslipp
	[kWh]	[gram/kWh]
		[tonn/år]
Fastkraft	398 975	141,6
Fjernvarme	110 194	23,3
Totalt utslipp		164,9

Utslippene over dobbles dersom disse utslipprater gitt av Simien legges til grunn.

Når det gjelder utslipp av CO₂-utslipp knyttet til produksjon av energi er dette er veldig komplekst tema. Siden det er helt avhengig av hvilket ståsted man har, og hvilke systemgrenser man setter så kan det ha så store avvik i resultat som disse resultatene presentert her. Her er det behov for noen standardiserte verdier slik at man har bedre sammenligningsgrunnlag ved analysing av utslipp, og vurdering av tiltak.

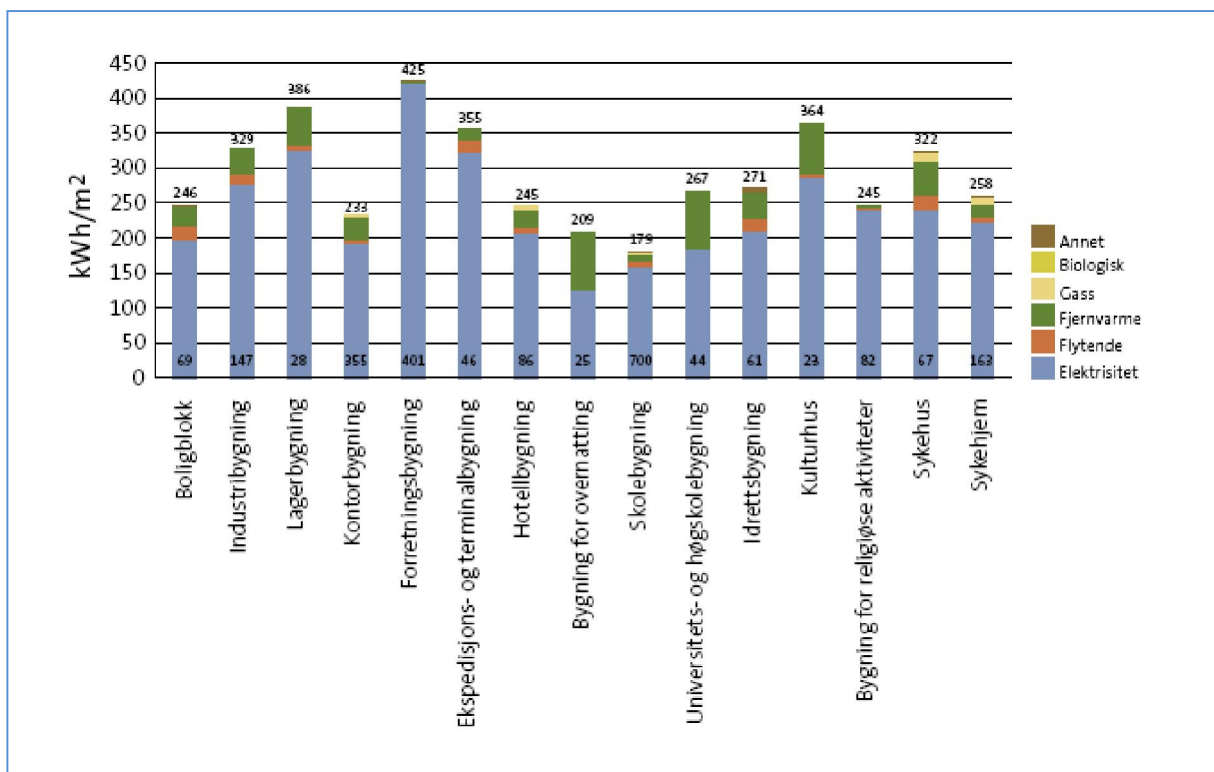
12 Enovas byggstatistikk og energimerkeordning

Til nå i denne rapporten er det sett på energibruk ved NSOB fra et kritisk ståsted. Hensikten med denne rapporten er ikke å skryte av skolen, men derimot se på forhold som kunne vært bedre ut ifra de mulighetene som ligger til rette. Skal man derimot se på energibruken ved NSOB i et større perspektiv blir bildet et helt annet. I dette kapittelet presenteres energibruken sammenlignet med andre skoler, og det er gjort en evaluering av energimerking av bygget.

12.1 Enovas byggstatistikk

I 2007 var samlet energibruk for bygninger i Norge 3.366 GWh (Enova[3] 2007). Bygninger har gjerne en levetid på opp imot 50 år, og noen enda lengre. Dette gjør at man har et stort avvik i energibruk i bygninger avhengig av hvilke forskriftskrav som var lagt til grunn ved bygging. Enova utgir årlig en byggstatistikk som gir et bilde på gjennomsnittlig energibruk i ulike bygningstyper Figur 47..

Figur 47 Gjennomsnittlig temperatur og stedskorrigert spesifikk tilført energi i 2007 for de største bygningsgruppene (Enova[2] 2007).



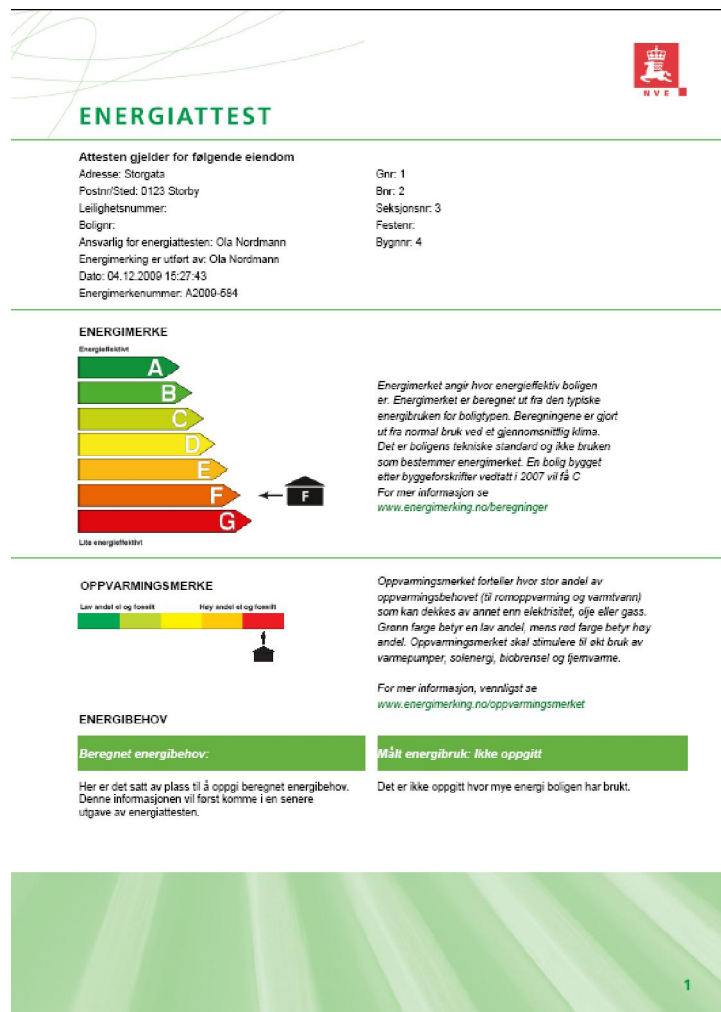
Energibruken er temperatur- og stedskorrigert til å ligge i Oslo. Skolebygning ser man har en gjennomsnittlig energibruk på 179 kWh/m² per år. NSOB bruker til sammenligning kun 85 kWh/m² per år. I og med at NSOB også har en del som er barnehage, vil denne sammenligningen ikke bli helt riktig i og med barnehager har ofte et høyere energibruk enn skoler. Mer om dette i neste kapittel. Uansett har NSOB en veldig lav energibruk i dette henseende, under halvparten av det som er normal spesifikk energibruk på nasjonalt plan.

Sammenligner man deretter NSOB med andre skoler som ligger i Trondheim, blir differansen enda større. Trondheim har et kaldere klima enn Oslo Klima, derfor øker energibruken her til oppvarmingsformål. Fra Enovas sammenligningskalkulator fås for skolebygning beliggende i Trondheim et spesifikt forbruk på 196,9 kWh/m² per år (ENOVA[4] 2010), som er nesten 2,5 ganger mer enn NSOB. Det kan derfor konkluderes med at både nasjonalt og lokalt er energibruken på NSOB veldig lav i forhold til andre skoler.

12.2 Energimerkeordning

Ca. 40 % av den landbaserte energibruken i Norge går til bygningssektoren. Energikostnader blir ofte sett på som en fastkostnad og er sjelden avgjørende når vi kjøper eller leier boliger eller yrkesbygg. For å skape en mer bevisst holdning til energibruk i bygninger er det nedsatt i energiloven (Lovdata 2009) forskrift om at alle yrkesbygg eller boliger som selges eller leies ut skal ha en energiattest. Slik blir det enklere for kjøper eller leier å bli bevisst de faktiske energikostnader ved bygget. Energiattesten, Figur 48, skal vise hvordan energistandarden er i bygningen.

Figur 48: Eksempel på Energiattest (NVE[2] 2009)



Beregningene er uavhengig av hvordan eier/leier bruker bygget. For boliger finnes en nettside, energimerking.no, der huseier kan legge inn data selv, mens for yrkesbygg og offentlig bygninger på mer enn 1000 m² skal energiattesten utføres av spesialister. Den skal bestå av dokumentasjon av de faktiske opplysninger utregningene bygger på, et energimerke og en tiltaksliste for energisparetiltak. Energimerke er en karakter fra A til G, der A er best. Når energiattesten er utført er den gyldig i 10 år.

Energimerkeordningen trådte i kraft fra 01.01.2010, men blir obligatorisk først fra 01.07.2010.

Karakterskalaen for energimerking er gitt av Figur 49.

Figur 49 Karakterskalaen i energiattesten (NVE 2009).

Bygningskategori	Levert Energi						
	A	B	C	D	E	F	G
	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Småhus	79	118	158	231	305	458	Ingen grense
Boligblokker	67	100	134	184	235	353	Ingen grense
Barnehager	90	135	180	228	276	414	Ingen grense
Kontorbygg	84	126	168	215	263	395	Ingen grense
Skolebygg	79	118	158	208	259	389	Ingen grense
Universitets- og høyskolebygg	95	143	191	240	289	434	Ingen grense
Sykehus	179	268	358	416	475	713	Ingen grense
Sykehjem	136	203	271	328	384	576	Ingen grense
Hoteller	135	202	269	321	373	560	Ingen grense
Idrettsbygg	109	164	218	272	325	488	Ingen grense
Forretningsbygg	129	194	258	309	360	540	Ingen grense
Kulturbygg	105	158	210	256	302	453	Ingen grense
Lett industri, verksteder	106	159	212	270	329	494	Ingen grense

Av karakterskalaen ses at for barnehager gis det karakteren A for de bygg som bruker mindre levert energi enn 90 kWh/m² per år, og karakteren B under 135 kWh/m² per år. Tilsvarende gis for skolebygninger A for levert energi under 79 kWh/m² per år, og B for under 118 kWh/m² per år.

Hittil i oppgaven har NSOB blitt definert som ett bygg. Barnehagen utgjør under 10 % av det totale arealet, men har ofte et større spesifikt forbruk, så denne tilnærmingen er ikke helt korrekt når det kommer til energimerking av bygget. Den målte energibruken er analysert for hele NSOB, men i Simien er simuleringene delt opp, altså en simulering for skolen og en annen for barnehagen. I dette henseende vil det derfor bli brukt forholdstall funnet i Simien for å avgjøre hvor stor andel som går til barnehagen. Dette er gitt Tabell 30.

Tabell 30: Fordeling av energibruk for skoledel og barnehagedel basert på beregning i Simien.

Simien				
	Skole		Barnehage	
	[kWh]	[kWh/år*m ²]	[kWh]	[kWh/år*m ²]
Totalt	382 050	76,4	86 446	85,6

Antatt at barnehagen har et areal lik 1010 m²¹⁰ og skolen BRA 5000 m², gir dette et forholdstall mellom total levert energi til 23 % som skyldes barnehagen. Man ser altså at barnehagen har en mye større energibruk enn arealet skulle tilsi.

Videre er det tatt utgangspunkt i det målte forbruket og korrigert for 77 % og 23 % av totalt levert energi som går til henholdsvis skolen og barnehagen, funnet fra Tabell 30. Resultatet er vist i Tabell 31.

Tabell 31: Målt forbruk fordelt på skoledel (77 %) og barnehagedel (23 %). Merk at det nå er forskjellig arealer benyttet, derfor kan man ikke summere opp spesifikk energibruk.

Målt		Skole		Barnehage	
[kWh]	[kWh/år*m ²]	[kWh]	[kWh/år*m ²]	[kWh]	[kWh/år*m ²]
509 169	84,7	392 060	78,4	115 209	114,1

Man ser at ut ifra beregninger og antakelser gjort i denne rapporten, så vil NSOB sett under ett som skolebygning oppnå et energimerke B, på grunn av et levert energibehov lik 85 kWh/m² per år (79<85<118). Deler man derimot opp skolen og barnehagen i to deler, så ser man at skoledelen vil oppnå et energimerke A på grunn av levert energi lik 78,4<79 kWh/m² per år. Barnehagedelen får energimerke B på grunn av høyere spesifikt energibehov lik 114 kWh/m² per år (90<114,1<135).

Ambisjonene om å være et lavenergibygg er nådd, som er levert energi til bygget under 100 kWh/m² per år.

¹⁰ Dette er areal inkludert varmesentral beliggende i kjeller under barnehagen. BRA til barnehagen er cirka 550 m², men varmesentral er oppvarmet og ble beregnet som en del av barnehagen ved simulering. Dette fordi at et eventuelt varmetap fra barnehagen kommer varmesentral til gode og vice versa. Ved simulering var målet å se på total energibruk, så da ville det ikke spille noen rolle hvor dette ble medregnet. Når det derimot nå skal deles opp, hadde kanskje et mer riktig bilde vært å inkludert varmesentralen i skolen, siden den her vil utgjøre en mye mindre andel av totalt areal.

13 Diskusjon

Trondheim kommune har tatt en relativ stor risk med denne investeringen, og lønnsomheten i prosjektet har kanskje ikke blitt helt som forventet, men det er viktig at noen går foran og tar risiko og gjør slik at vi kan få bygg som dette til å følge opp og lære av, slik at vi i fremtiden kan gjøre det enda bedre. NSOB er en veldig god skole med tanke på funksjonalitet, energi og innemiljø og alle jeg har snakket med snakker om skolen med stolthet, så både brukere og eiere er veldig fornøyd med bygget.

Små endringer i bruksmønster utgjør ikke så mye i seg selv, men mange små gjør en stor å. Dette viser at energibruken ikke er mer effektiv enn det brukerne av bygget ønsker den skal være. Brukerfeilene ved NSOB er nok ikke noe verre enn ved andre skoler eller andre bygninger. Å glemme å skru av pc, lys og ventilator er noe som skjer i alle norske skoler må det antas, men ved NSOB som legger så stor prestisje i å være best, burde de bli bedre på noen områder.

Både målinger av inneklima og simuleringer viste at CAV ventilasjon ved NSOB ikke er dimensjonert for stor nok luftmengde til å ta unna varmetilskuddet på varme dager. Operativtemperatur kan komme opp i mot 30 °C over store deler av dagen. Problemet med CAV er at man har en minimumstemperatur tillatt på tilluften på 14 °C, når denne er nådd har ikke ventilasjonsanlegget mulighet for å øke kjøling ytterligere, selv om kjølebatteri har mer kapasitet. Ved store kjølebehov er det derfor mer gunstig med VAV ventilasjon, for da har man to variable som kan endres, både temperatur og luftmengde. I og med at det ble valgt en varmepumpeløsning ved NSOB, basert på antakelser om at det kom til å bli en del kjølebehov, er det derfor litt merkelig at det er valgt CAV-ventilasjon. Eventuelt kunne det vært dimensjonert for større konstante luftmengder for å få større kjøleeffekt, men dette vil dermed gi større luftmengder (unødig) hele året, noe som fører til større energibruk. Det er ikke gjort noen analyse på hvor store deler av året slike høye operative temperaturer forekommer, så det kan være at en energiøkonomisk analyse vil gi at det ikke vil være lønnsomt med økte luftmengder, på grunn av større energibruk til oppvarming og viftebruk.

Sammenligning med andre skolebygg viste at NSOB bruker mindre enn halvparten av energibruken som en gjennomsnittlig skolebygning bruker, på nasjonalt plan. Sammenlignes det med Trondheim, bruker NSOB kun rundt 40 % av energien som brukes i andre skoler i samme by.

Ut i fra vurdering av energimerking oppnådde hele NSOB et energimerke B, dersom man karakteriserer bygningen som en Skolebygning. Simuleringer gjort av energibruken viste hvor stor andel av energibruken som skyldes barnehagen. Dersom man deler opp skolen og barnehagen i to deler basert på resultatene fra simulering, fikk skolen et energimerke A og barnehagen B.

14 Konklusjon

I beskrivelse og analyse av det tekniske anlegget i begynnelsen av denne rapporten ble det allerede da identifisert forhold som tilsynelatende ikke var helt optimale. Ved beskrivelse av varmepumpen ble det beregnet en COP-faktor til 2,7, ved designtilstander. Dette er en relativt lav effektfaktor. Beregning basert på erfaringstall viser at en typisk effektfaktor for et slikt type anlegg av samme størrelsesorden burde ha en COP på rundt 3,9. Dette kan skyldes at designen av varmepumpen ikke er helt optimal, da varmepumpen er delt inn i to arbeidsmediumkretser. Dette gjør at ved del-last har den ene kretsen kun halve fordampersflate å varmeveksle mot. Mistanken om at varmepumpen ikke var veldig effektiv ble bekreftet ved analyse av energibruk. Årsvarmefaktor SPF ble beregnet til å være 3, som er ganske lavt for et anlegg av denne typen.

Ved beskrivelse av ventilasjonsanlegget ble det mistenkt at nattekjøling ikke ville fungere optimalt, fordi frikjøling nattetid aktiveres av temperaturføler i avtrekksluft når temperaturen overstiger settpunkt. I og med at ventilasjonsanlegget er avslått på natt, vil ikke denne aktiveres. Dette ble også bekreftet ved målinger av inneklima, der det viste seg at temperaturen gjennom natten for et gitt døgn ikke kom under 25 °C. Dette medførte at rommet var overopphetet allerede før solen stod opp og varmet rommet opp ytterligere. Da ventilasjonsanlegget skrues på klarer det ikke å fjerne denne varmen ved kjøling, da laveste temperatur på tilluft ikke kan underskride 14 °C. Dette ble siden også bekreftet ved simuleringer. Det kan derfor konkluderes med at den innregulerte mengde luft i CAV-ventilasjonsanlegget viste seg derfor ikke å være tilstrekkelig for å ta effektoppene av kjølebehovet. Simuleringer viste at det ikke ville hjelpe nevneverdig å starte ventilasjonsanlegget før, på grunn av at man har så høy solinnstråling og eksisterende solavskjerming ikke fungerer hensiktsmessig. Derimot viste simulering for utvendige persienner med styring etter solinnstråling på 50 W/m², at dette ville i stor grad hindre overoppheting av klasserommet.

Når det kommer til målere og energioppfølgingsverktøy ved NSOB, er det knyttet stor usikkerhet til disse. Det er i denne rapporten identifisert en del feilmerking av målere i forhold til tegninger, noe feil i SD-anlegget og mye feil ved måleren og målerregistreringer. Dette gjør derfor at det stilles en del usikkerhet til energibudsjett- og beregninger for energibehov, men levert energi er håndfast så i størst mulig grad er disse verdier benyttet.

Det er funnet merkverdig at elektriske varmekabler er benyttet utendørs for å hindre isdannelse i trappepassasje mellom barnehagen og skolen. En mye bedre løsning på dette ville ha vært å bruke returvann fra distribusjonssystemet til varmeanlegget da dette energiforbruket er betydelig.

Det er i ettertid installert romkjøling på datarom med tørrkjøler over tak. Dette er uheldig da man har tilnærmet *gratis* kjøling fra energibrønner, som ikke blir benyttet til dette formålet.

Befaringer ved skolen kunne avdekke at lysstyring ikke er optimal. Følere er veldig sensitive for bevegelser lang borte, og tidsforsinkelsen lang. Bare ved å bevege seg gjennom korridor i

undervisningsfløy aktiveres lyset i alle tilliggende rom. Elektrisitetsforbruk ved bygget er relativt høyt, og beregninger gjort av lyseffekter viste at man antakeligvis ikke har den energibesparelsen ved lysstyring som er gitt av NS 3031 på 20 % reduksjon.

Befaring kunne også avdekke at det sannsynligvis skjer en relativt alvorlig brukerfeil ved avtrekksvifte på hovedkjøkken. Opptreksur som styrer denne har 6 timer i makssats. Det er grunn til å tro at denne trekkes opp oftere og lengre enn det som er nødvendig brukstid på cirka 3 timer. Denne unødige energibruken er estimert til å utgjøre rundt 9000 kWh/år.

Simuleringer i Simien viste at varmebehovet til bygningen skulle ha vært mye lavere ved de gitte krav til U-verdier og tetthet. Dette viser at bygningskroppen i realiteten har større varmetap enn kravene skulle tilsi. Selv om energibudsjettet fra simuleringen avvek en del fra virkeligheten, så var levert energi til bygget ganske likt. Dette illustrerer at når man benytter varmepumpe som grunnlast til oppvarming så slår det ikke så mye ut på levert energi til bygget, dersom varmebehovet skulle øke betraktelig, fordi varmepumpen leverer med en faktor på tre.

Når varmepumpeanlegg med energibrønner ble valgt fremfor fjernvarme, var det mistanken om at det ville være betydelig kjølebehov i bygget som ble avgjørende, sammen med antagelse om at energipriser kommer til å øke betraktelig i fremtiden.

Lønnsomhetsvurderinger gjort i anbudsgrunnlaget viste at det allerede da var en tvilsom investering, selv med svært lave avkastningskrav. Men med de gitte forutsetninger om økt energipris, høy levetid på energibrønner og røranlegg ble det likevel funnet lønnsomt nok for å gjøre denne investeringen. Lønnsomhetsvurderinger foretatt i denne rapporten basert på målt energibruk, viser at ved dagens elektrisitetspris vil investeringen som er gjort være verken veldig lønnsom eller ulønnsom. Forutsettes derimot en høyere elektrisitetspris til 125 øre/kWh så blir derimot investeringen ganske lønnsom. Følsomhetsberegninger viser at lønnsomheten er sterkt avhengig av elektrisitetspris, levetid på varmepumpeanlegget, årsvarmefaktor til varmepumpen og internrente. Den er derimot ikke så følsom ovenfor kjølebehov. Ved økt fremtidig elektrisitetspris viste følsomhetsberegning at det vil være lønnsomhet selv ved intet kjølebehov.

Ved sammenligning av NSOB med andre skoler nasjonalt og lokalt viste det seg at NSOB bruker bare rundt halvparten av levert spesifikk energi enn snittet nasjonalt, og bare 40 % av snittet for skolebygninger i Trondheim.

Dersom man regner hele NSOB som en skolebygning oppnår bygningen energimerket B. Ser man derimot på skolen og barnehagen som to enheter viser det seg at barnehagedelen oppnår et energimerke B, mens skoledelen oppnår energimerke A, med knapp margin.

CO₂-utlipp knyttet til energibruk er beregnet i denne oppgaven til å være 86,6 tonn CO₂ per år. CO₂-utslipp beregnet av Simien var over dobbelt så høyt som dette, men det stilles spørsmålstegn til utslippsrater i denne beregningen.

15 Forslag til videre arbeid

Da undermålere i EOS SD-anlegget ikke er til å stole på, hadde en interessant studentoppgave vært og sett på disse og få målekonseptet til å fungere. Som nevnt i kapittel 6.4. For eksempel en masterstudent fra EPT med fordypning innen SD-anlegg kunne ha skrevet en oppgave om dette, men da må det gjøres tilgjengelig data fra mer enn tre måneder tilbake.

Det hadde også vært interessant å gjennomført en helhetsvurdering av innemiljøet i forhold til ventilasjonsanleggene. Sett på opphopning av forurensningskonsentrasjoner gjennom natten når ventilasjonsanlegget er skrudd av, og vurdert om ventilasjonsanlegget starter tidlig nok for å ta unna eventuelle høye forurensningskonsentrasjoner før elevene kommer på skolen.

16 Kilder

- Chiller Datablad som inngår i FDV-dokumentasjon varmepumpe Nardo Skole og Barnehage.
- Desigo (2010). Desigo SD-anlegg levert av Siemens entret 14.05.2010 via teknisk nett fra Trondheim Kommune.
- Dokka, T. H., Käthe Hermstad, Enova SINTEF og Husbanken (2006). "Energieffektive boliger for fremtiden: en håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger."
- Driftsoperatør (2010). Personlig meddelelse per telefon driftssentral Trondheim Eiendom v/Stian Haug Sandnes.
- Ecoinvent, S. (2004). "Lift Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE countries Data v1.1(2004)." Report no. 5.
- Eimhjellen, L. (2008). "Nardo Skole- Prosjekterfaringer." Prosjektoppgave.
- Eimhjellen, L. (2009). "Nardo Skole - Brukererfaringer og energibruk." Referanse 24: s.5.
- eklima (2010, 16.06.2010). 2010.
- EN14511-2 (2007). Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling - Part 2: Test conditions.
- Enova[2] (2007). Gjennomsnittlig temperatur og stedskorrigert spesifikk tilført energi i 2007 for de største bygningsgruppene.
- Enova[3] (2007). ENOVAS BYGGSTATISTIKK 2007.
- ENOVA[4] (2010). Sammenlign energibruk. Sammenligningskalkulator for å sammenligne spesifikk temperaturkorrigert energibruk for ulike bygningstyper. . Enova.
- Entro (2010). "Energiguiden Pluss ". from <http://www.web-eos.no/mnk/eos-loggen/Bygg/Forbruk.aspx>.
- Eriksson, O., G. Finnveden, et al. (2007). "Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion." Energy Policy 35(2): 1346-1362.
- FDVBygg (2008). FDV-Byggteknisk perm Nardo Skole og Barnehage. Skanska.
- GK, G. K. (2008). "Driftsinstruks Vedlikehold....".
- Helsevern (1998). Veileder til forskrift om miljørettet helsevern i barnehager og skoler m.v. . S. helsetilsyn. Oslo.
- Lovdata (2009). "Energiloven." from <http://www.lovdata.no/all/tl-19900629-050-008.html#8-1>> <<http://www.lovdata.no/all/tl-19900629-050-008.html>.
- NISA (2010). Personlig meddelelse per telefon med Hogne Nersund Larsen. .

Norplan (2010). Personlig meddelelse per telefon med Rolf Sørli i VVS Norplan 23.06.2010.

NS 3031, S. N. (2007). Beregning av bygningers energivtelse: metode og data. Lysaker, Standard Norge.

ICS 900.08.21; 91.120.10

NVE (2009). "Karakterskalaen i Energiattesten ". from <http://www.bygningsenergidirektivet.no/no/Energimerking-Bygg/Om-energimerkesystemet-og-regelverket/Energimerkeskalaen/>.

NVE, N. v.-o. e. (2010). Klimagassutslipp fra fjernvarme: Tiltak og virkemidler- et innspill til Klimakur 2020.

NVE[2] (2009). "Energiattest." Eksempel på Energiattest nedlastet som pdf- fra nettside. Nedlastet 24.06.2010.

Pilkington (2010). "U-verdi beregning foretatt i program nedlastet fra nettside." from <http://www.pilkington.com/europe/norway/norwegian/products/bp/downloads/tools/spectrum/default1.htm>.

ProTeknologi (2010). Personlig meddelelse per telefon med Brynjulf Skjulsvik 27.mai 2010.

RIV (2007). Nardo Skole og Barnehage, Vurdering av lønnsomhet for varmepumpe. VVS NORPLAN ved Rolf Sørli.

Siemens, A. (2008). ENTERPRISE Automatikk FDV Instruks for automatiseringsanlegg for Nardo Skole Trondheim.

Simien (2010). Skjemobilde av resultat Sommersimulering Programversjon 4.034 Undervisningslisens, Programbyggerne.

Spjøtvold, E. (2010). Personlig meddelelse per e-post med rådgiver i Trondheim Kommune Einar Spjøtvold 22.06.2010.

Statsbygg (2010). "Mal for vurdering av Varmepumpe." Retrieved 18.06.2010, from <http://www.statsbygg.no/FilSystem/files/Dokumenter/veiledninger/Varmepumpeveileder/mal.htm>.

Stene, J. (1997). VARMEPUMPER Grunnleggende varmepumpeteknikk.

Stene[2], J. (2010). Personlig meddelelse per e-post

Stene[3], J. (2010). "Personlig meddelelse per e-post 24.06.2010."

Stoltenberg, R. (2008). *Stortingsproposisjon nr. 1 (2008-2009) for budsjettåret 2009, kapittel 4.4-Sektorovergipende miljøvernpolitikk*. K.-o. regionaldepartementet:.

TEK07 (2007). Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk: teknisk forskrift til plan- og bygningsloven av 14. juni 1985 nr. 77. . K.-o. regionaldepartementet, Byggtjeneste Forlag, Oslo, 6.utg., 1 oppl. utgave.

Termografen (2010). Personlig meddelelse per telefon med Johny Hagnes 3.juni 2010, Termografen AS.

TEV (2010). Personlig meddelelse per telefon med Trondheim Energiverk ved Morten Fossum

Toppgaver (2010). "Størrelsesguide av barneklær i forhold til alder lastet ned fra nettbutikk 13.04.2010." from <http://www.toppgaver.no/regler/storrelsesguide.php>.

VVSNorplan (2008). FDV-dokumentasjon Automatikk Siemens AS. Enterprise automatikk FDV Instruks for Automatiseringsanlegg for Nardo Skole.

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Maria Berg Hestad

Våren 2010

Energibruk og innelima i lavenergi skolebygning

Energy use and indoor environment in a low energy school building

Bakgrunn

Bygningssektoren ses på som den sektoren hvor det med rimelige kostnader på relativt kort sikt kan gjøres betydelige reduksjoner i energibruken. Bygningssektoren står for ca 40 % av den totale landbaserte energibruken i Norge, tallene for EU er omtrent tilsvarende. Denne sektoren bidrar derfor vesentlig til globale utslipp av CO₂.

Dette har ført til at regelverket for energibruk i nye bygninger har blitt skjerpet, men samtidig er det også stort fokus på bygninger som tar sikte på vesentlig lavere energibruk enn myndighetskravene tilsier. Det er også innført en ny energimerkeordning hvor de beste klassifiseringene stiller vesentlig strengere krav enn forskriftene.

Samtidig er det viktig at redusert energibruk ikke forringer innelimaet slik at brukere blir utilfredse eller får redusert produktivitet.

Trondheim kommune tok sent høsten 2008 i bruk den nye Nardo skole. Skolen har en utførelse og tekniske løsninger som tilsier en energibruk som er vesentlig lavere enn forskriftskravene, men det er så langt ikke gjennomført en grundig analyse av oppnådde resultater. Kommunen har uttrykt et ønske om en slik gjennomgang.

Mål

Målet med oppgaven er å kartlegge total og formålsdelt energibruk for Nardo skole, slik at de valgte løsninger kan vurderes opp mot krav i teknisk forskrift og ny energimerkeordning. Dessuten skal det undersøkes om de benyttede tekniske og bygningsmessige løsninger bidrar til å gi et tilfredsstillende innelima.

Det skal også gjøres en helhetsvurdering av de valgte løsninger med tanke på anvendelse i skoler generelt, og en sammenligning med andre løsninger ut fra energibruk, miljøeffekter og økonomi.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

Kandidaten skal i samråd med veileder i løpet av 14 dager lage en plan for oppgaven med beskrivelse av detaljerte mål og hvilke avgrensninger som skal gjelde, men noen hovedpunkter i oppgaven kan være:

1. Beskrivelser og bakgrunnsinformasjon
2. Innsamling og bearbeiding av måledata for energibruk
3. Kartlegging/vurdering av inneklima
4. Beregninger/simuleringer for sammenligning med målte verdier for inneklima og energibruk.
5. Vurderinger i forhold til myndighetskrav og energimerkeordning
6. Vurdere de valgte løsningers egnethet generelt, og sammenligne med andre løsninger/tiltak ut fra energibruk, miljø og økonomi.

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

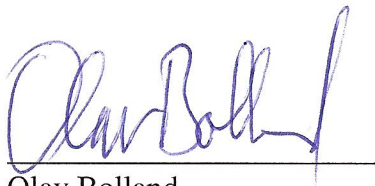
Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

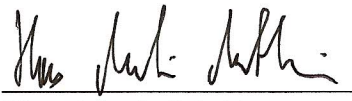
Ett -1 komplett eksemplar av originalbesvarelsen av oppgaven skal innleveres til samme adressat som den ble utlevert fra. Det skal medfølge et konsentrert sammendrag på maksimalt én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter).

Til Instituttet innleveres to - 2 komplette kopier av besvarelsen. Ytterligere kopier til eventuelle medveiledere/oppgavegivere skal avtales med, og eventuelt leveres direkte til de respektive. Til instituttet innleveres også en komplett kopi (inkl. konsentrerte sammendrag) på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende.

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 12. januar 2010



Olav Bolland
Instituttleder



Hans Martin Mathisen
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e)

Vedlegg B

SFP-faktor

Ventilasjonsanlegg		Målt luftmengde		Driftstid			Brukt energi	Effekt	SFP
Navn	Soner	[m ³ /h]	[m ³ /s]	[h/døgn]	[døgn/år]	[h/år]	[kWh/år]	[kW]	[kW/(m ³ /s)]
36.01	Barnehage	8140	2,26	10	245	2450	10503	4,29	1,9
36.02	ADM/Kontorer	4743	1,32	7,5	200	1500	5827	3,88	2,9
36.03	Gymsal/Gard og Amfi	10466	2,91	7	200	1400	8202	5,86	2,0
36.04	1.trinn,SFO, bibl. Heimk.	11089	3,08	10	200	2000	10706	5,35	1,7
36.05	K&H, Pers.Kantine og musikk	8121	2,26	7	200	1400	5885	4,20	1,9
36.06	Undervisn. 2,3 og 4.trinn	12406	3,45	6,5	200	1300	8181	6,29	1,8
36.07	Undervisn. 5,6 og 7.tinn	12205	3,39	6,5	200	1300	7866	6,05	1,8
	Totalt	67169	18,66				57170	35,93	1,9

Tabell 1 Beregning av SFP-faktor

Vedlegg C Graddagskorrigering

Graddagstall													
	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	Septem	Oktober	Novem	Desem	Sum
2009					210	167	69	78	194	408	415	599	
2010	743	634	530	375									
2009/2010	743	634	530	375	210	167	69	78	194	408	415	599	4420
Norm	635	557	532	412	250	148	117	129	234	353	491	583	4441
Fjernvarme andel uten tappevann													
Fjernvarme	27058	12278	4906	4456	4728	4690	5336	4508	4968	8066	6936	22264	110194
FV Tappevann (TV)	3849	3547	3644	4005	728	211	3282	4174	4604	5474	3704	4047	41269
Andel FV til TV	14 %	29 %	74 %	90 %	15 %	4 %	62 %	93 %	93 %	68 %	53 %	18 %	
FV forbruk uten TV	23209	8731	1262	451	4000	4479	2054	334	364	2592	3232	18217	68925
GD-korrigert FV forbruk	27153	9944	1256	411	3360	5039	1213	201	301	2995	2731	18708	68604
GD-korrigert FV forbruk inkl TV	31002	13491	4900	4416	4088	5250	4495	4375	4905	8469	6435	22755	114580
Varmepumpeandel uten tappevann													
Elektrisitet	39626	40189	39120	36368	27566	24288	16753	23004	27013	42743	37226	45079	398975
Varmepumpe forbruk	10959	12818	9559	6196	2384	2009	324	669	1683	6182	9352	11838	73972
VP til TV	567	899	659	1150	987	532	2	180	772	316	557	843	7463
VP produsert	30000	37540	28400	18720	7550	6350	230	1630	5330	27235	25340	31500	219825
VP produsert uten TV	29433	36641	27741	17570	6564	5818	228	1450	4558	26920	24783	30657	212362
Andel av produsert uten tappevann	98 %	98 %	98 %	94 %	87 %	92 %	99 %	89 %	86 %	99 %	98 %	97 %	
Forbruk VP uten TV	10751	12511	9337	5815	2073	1841	321	595	1439	6110	9146	11521	71461
GD-korrigert VP forbruk	12578	14250	9293	5297	1741	2071	190	358	1190	7060	7729	11831	73588
GD-korrigert VP-forbruk inkl tappevann	12785	14557	9515	5678	2052	2239	193	432	1434	7132	7934	12148	76099
Graddagskorrigert elektrisitetforbru	41453	41928	39076	35850	27234	24518	16622	22767	26764	43693	35808	45389	401102
	10751	12511	9337	5815,4	2072,5	1841	321,2	595,12	1439,2	6109,89	9146,4	11521	71461

Vedlegg D

Varmeproduksjon fra elever, barn og personale.

Størrelser	Høyde	Vekt	Areal	Antall elever/lærere	1. 1,3=met=88 W/m2	2. lek met=3 180 W/m2	1.Totalt varme tilskudd	2.Totalt varme tilskudd
	[cm]	[kg]	[m2]		[W]	[W]	[W]	[W]
1.trinn	1,16	25	0,87	55	77	157	4234	8660
2.trinn	1,22	30	0,98	55	86	176	4745	9706
3.trinn	1,28	35	1,08	55	95	195	5246	10731
4.trinn	1,4	39	1,21	55	107	218	5862	11990
5.trinn	1,52	42	1,33	55	117	239	6421	13134
6.trinn	1,56	45	1,39	55	123	251	6738	13781
7.trinn	1,6	48	1,46	55	128	262	7053	14427
Lærer	1,7	75	1,84	28	162		4536	4536
BH	0,9	15	0,59	72	52	105	3711	7591
Assistenter	1,7	75	1,84	16	162		2592	2592
Totalt							51137	97147
Varmetilskudd pr. m2 for A=6010 m2							[W/m2]	[W/m2]
							8,5	16,2
							12,3	

Vedlegg F

Beregning av størrelse og karmandel vinduer.

Navn	Karm [mm]	Bredd e [mm]	Høyd e [mm]	Spross e [mm]	Bredde / åpn. vindu [mm]	lengd e åpn. vindu [mm]	Totalt areal [m2]	Karm Areal [m2]	Areal karm m2	Kar m and e l
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m2]	[mm2]	[m2]	
Skole										
SV1 og SV06	92	2150	2190	62	800	1300	4,71	1329656	1,33	0,28
SV2	92	3190	2190	62	800	1300	6,99	1709868	1,71	0,24
SV4	92	1840	2190	62			4,03	810336	0,81	0,20
SV5	92	1090	2190	62			2,39	625836	0,63	0,26
SV7	92	9225	1490	62			13,75	2828396	2,83	0,21
SV10 og SV10B	92	790	2990	62			2,36	699236	0,70	0,30
SV11	92	2150	2090	62	800	1300	4,49	1305056	1,31	0,29
SV12	92	790	2090	62	1300		1,65	892260	0,89	0,54
SV13	92	1390	2090	62			2,91	681236	0,68	0,23
SV14	92	1240	2090	62			2,59	644336	0,64	0,25
SV15	92	3060	2090	62	800	1200	6,40	1628688	1,63	0,25
SV16	92	2150	1190	62	800		2,56	792300	0,79	0,31
SV20	92	790	1190	62			0,94	330464	0,33	0,35
SV21 og SV22	92	2150	1690	62	800	1200	3,63	1188256	1,19	0,33
SV23	92	1890	1690	62			3,19	730636	0,73	0,23
SV24	92	3060	1690	62	490	1200	5,17	1448448	1,45	0,28
SV25	92	1390	1690	62			2,35	607636	0,61	0,26
SV26	92	2990	2490	62	790	1700	7,45	1824828	1,82	0,25
SV27	92	1990	2490	62	790	1700	4,96	1435856	1,44	0,29
SV28	92	990	2490	62	790	1700	2,47	1017340	1,02	0,41
SV29	92	1950	1890	62	590	1300	3,69	1168016	1,17	0,32
Barnehage										
BV01	92	590	1990	0			1,17	440864	0,44	0,38
BV02	92	590	2390	0			1,41	514464	0,51	0,36
BV03	92	290	2390	0			0,69	459264	0,46	0,66
BV04	92	430	3190	62	1190		1,37	632532	0,63	0,46
BV05	92	1190	1190	0	800		1,42	404064	0,40	0,29
BV06	92	590	2590	0	0		1,53	551264	0,55	0,36
BV09	92	2390	1190	62	800		2,84	836460	0,84	0,29
BV10	92	2390	1690	62	800		4,04	1005460	1,01	0,25
BV11	92	3390	1190	62	800		4,03	1020460	1,02	0,25

BV12	92	4930	3190	62			15,73	183296 8	1,83	0,12
BV13	92	5090	2390	62	797		12,17	201212 8	2,01	0,17
BV13B	92	5090	2390	62	797		12,17	201212 8	2,01	0,17
BV14	92	2590	1890	62	863		4,90	111565 6	1,12	0,23
BV15	92	5090	2590	62			13,18	167760 8	1,68	0,13
BV16	92	3390	2590	62	1695		8,78	121563 6	1,22	0,14
BV17	92	1790	590	62	600		1,06	504860	0,50	0,48
BV18	92	2390	1690	62	800		4,04	100546 0	1,01	0,25
BV19	92	590	590				0,35	183264	0,18	0,53
BV22	92	2390	1190	62	800		2,84	836460	0,84	0,29

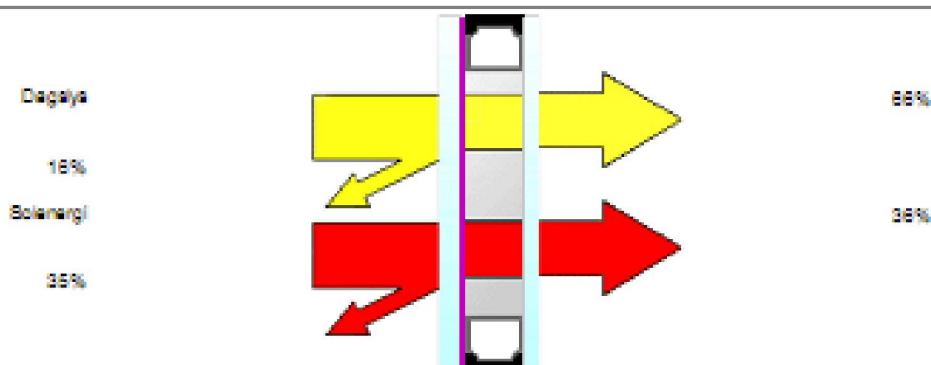
Vedlegg G

Lønnsomhetsberegning

Inputverdier i regneark		
Investering tørrkjøler	1400000	kr
Investering VP og energibrønner	3300000	kr
El. Pris	1,25	Kr
Fjernvarme	1,15	kr
VK 2 %	2 %	
Nominell rente	4 %	
Prisstigning	3 %	
r=realrente	0,97 %	
Levetid VP-anlegg	34	år
Levetid Tørrkjøler	20	
Celler merket med lilla er variabler som kan endres på		
	Varmepumpe	Tørrkjøler
Energi levert		
Varme levert grunnlast	220 000	330 000
varme levert spisslast	110 000	0
Kjøling	10 000	10 000
Totalt levert energi [kWh/år]	340 000	340 000
Brukt energi		
Grunnlast Varme	74 000	330 000
Spisslast varme	110 000	
Kjøling	0	4 000
Total brukt energi [kWh/år]	184 000	334 000
Besparelse energi	150 000	
Investering		
Investering [kr]	3 300 000	1 400 000
Merinvestering for varmpumpeanlegg [kr]	1 900 000	
Annuitetsfaktor $a(n=levetid,r=realrente)$	0,0343	0,0553
Kostnad		
Kostnad energi grunnlast varme [kr/år]	92 500	379 500
Kostnad energi spisslast varme [kr/år]	126 500	0
Kostnad energi til kjøling [kr/år]	0	5 000
Total energikostnad per år [kr/år]	219 000	384 500
VK (Vedlikeholdskostnad; % av investering) [kr/år]	66 000	28 000
Total driftskostnad per år	285 000	412 500
B (Besparelse for varmpumpesystem)[kr/år]	127 500	
	Varmepumpe	Tørrkjøler
Lønnsomhet		
Årskostnad [kr/år]	350 171	489 854
Årskostnad differanse [kr/år]	139 683	
STI (Største tillatte investering) [Kr]	3 717 165	
SE (Spesifikk Energipris) [kr/kWh]	1,03	1,44

Nåverdi [kr]	1 817 165	
IT (Inntjeningsstid) [år]	16	
TB [år]	15	
Minste årlige netto inntjening [kr]	65 171	
Internrente [%]	0,5	

Vedlegg H



Beskrivelse

Posisjon	Produkt	Glassstype	Tykkelse (nominal)	Vekt
			mm	Kg/m ²
Glass 1	Pilkington Suncool 66/33	Vanlig	6	15
Hulrom 1	Argon (90%)		16	
Glass 2	Pilkington Optifast Clear	Vanlig	4	10
Produktkode	6C(66)-16Ar-4		26	25

Ytelser

Daglys				
Transmisjon	LT	66%	Lydreduksjon ca	R _w dB (C _v /C _p)
	UV%	10%		32 (-2; -4)
Refleksjon ut	LR ut	16%	Varmegjennomgang	W/m ² K
Refleksjon inn	LR inn	18%		1.0
Solenergi				
Direkte transmisjon	ST	33%	Ytelsekode	
Refleksjon	SR	35%		
Absorpsjon SA	SA	32%	U-verdi/Lys/Solenergi	
Total transmisjon TBT:	g	36%	1.0 / 66 / 36	
Total skyggefaktor 1		0.41	Forklaring av "No Performance Determined" oppgis når data ikke finnes eller ikke er relevante for tenkt bruk av produktkombinasjonen	
Kortbøyet skyggefaktor 2		0.38		

Pilkington Spectrum gir deg mulighet til å kombinere en rekke forskjellige produkter fra Pilkington og beregne nøkkelverdier som U-verdi, lysttransmisjon og solfaktorer. Programmet inneholder restriksjoner på enkelte kombinasjoner som ikke er å anbefale eller er upraktiske. Selv med disse restriksjonene er det mulig å lage kombinasjoner som kanskje ikke er tilgjengelig fra din leverandør. Vennligst sjekk med din leverandør at den kombinasjonen du har valgt er mulig, at den er tilgjengelig i ønskede størrelser og at den er mulig å levere i tide til ditt prosjekt. Tillegger det også veldig viktig at du forklarer deg om at produktkombinasjonen tilfredstiller lokale, regionale, nasjonale og andre produktspesifikke krav.

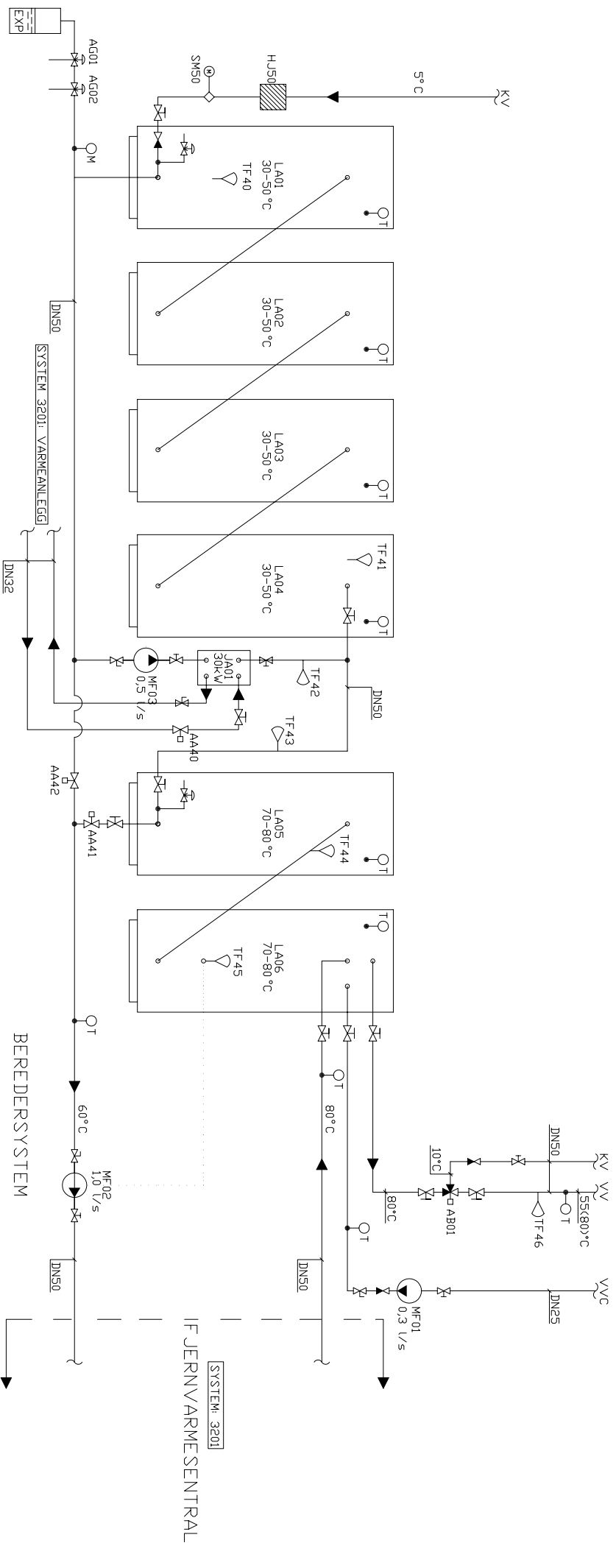
Tekniske dataer beregnet iht. europeisk norm EN 410 og EN 673/12898.

Pilkington Spectrum versjon 3.0.0

13/04/2010

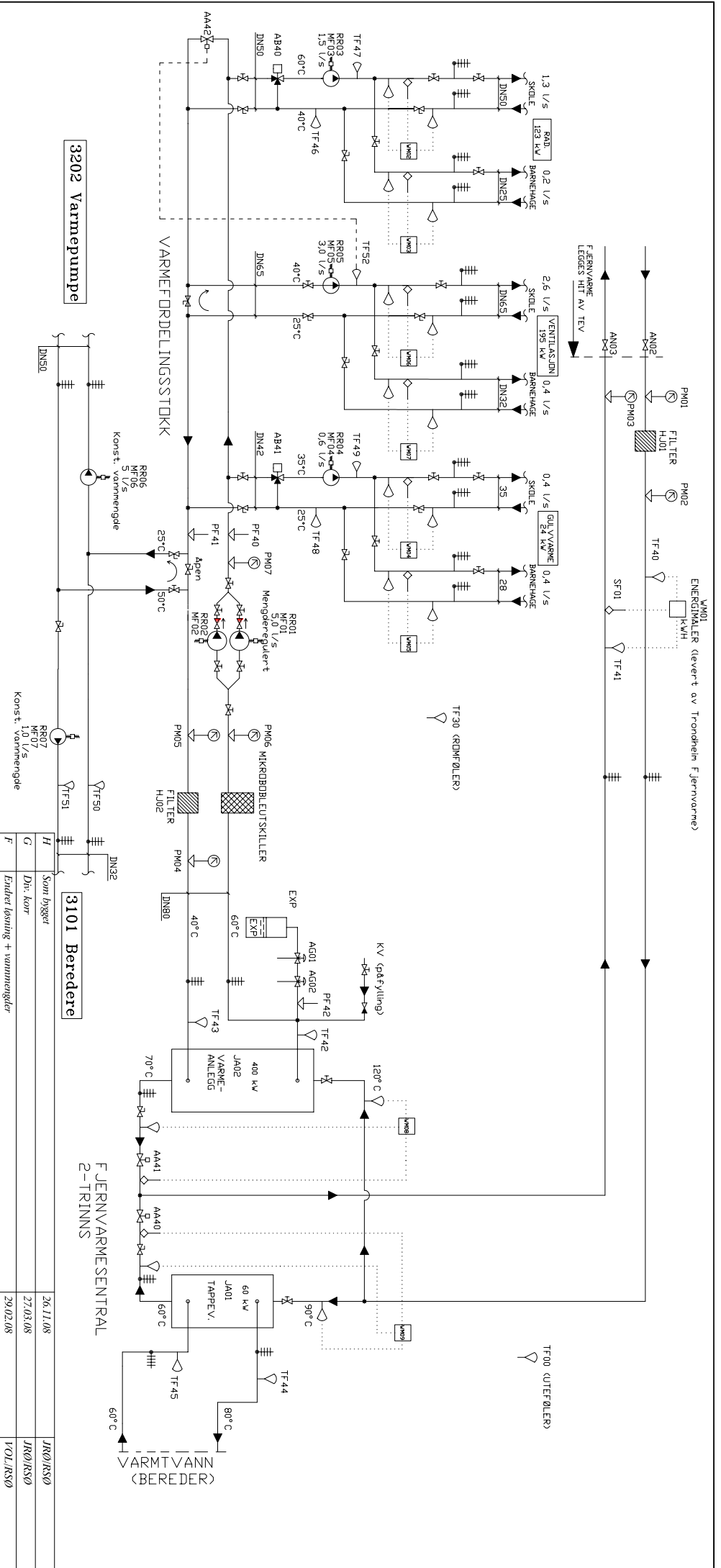
Vedlegg I Systemskisser

1. 30-801 Varmtvannsberedning 3101
2. 30-802 Varmesentral 3201
3. 30-803 Varmepumpe 3202
4. 30-807 Luftbehandling Barnehage 360.01
5. 30-808 Luftbehandling Adm/kontorer 360.02
6. 30-809 Luftbehandling Gymsal/Gard. Og Amfi 360.03
7. 30-810 Luftbehandling Trinn 1, SFO, Bibliotek, Heimkunnskap og Hovedkjøkken 360.04
8. 30-811 Luftbehandling Kunst og Håndverk, personalkantine og musikk 360.05
9. 30-812 Luftbehandling Undervisning 2, 3 og 4.trinn 360.06
10. 30-813 Luftbehandling Undervisning 5,6 og 7.trinn 360.07
11. Datablad Varmepumpe



E	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
F	AB01, AA41/42	09.04.08	JR0/RS0
E	Dvs. korr. merking	27.03.08	JR0/RS0
D	Fysisk beredelse + ny effikt (30 kW)	29.02.08	VOL/RS0
C	Okk. utgår	21.02.08	JR0/RS0
B	Dinn- og utkst	16.01.08	VOL/RS0
A	Vannmengder og dnn.	09.01.08	VOL/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Signtur/Kontroll
TRONDHEIM KOMMUNE		Dato	Signtur
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE		14.11.07	VOL
		Tegningsnivå	Kontroll
		ANBUD	DJD/RS0
		Målestøkk	Saksbehandler
		-	RS0

Fag	VVS	Oppdragsnummer	Tegningsnummer
3101 Varmtvannsbereidning		697	30-801

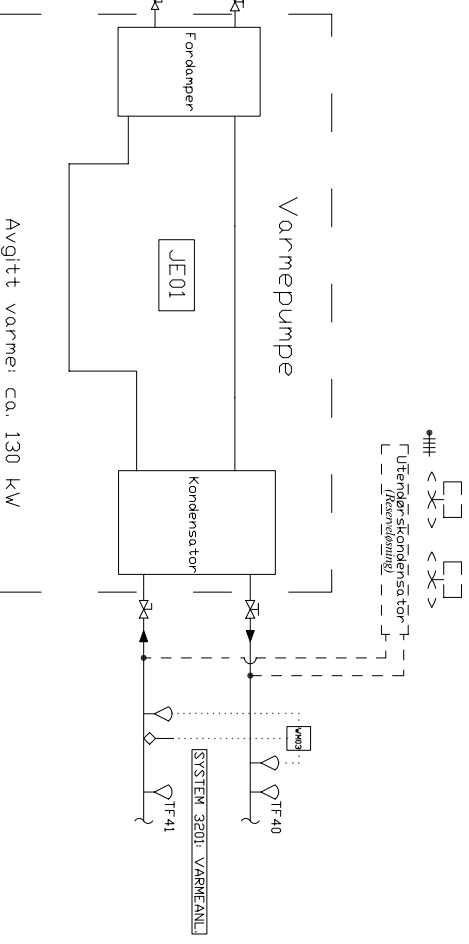
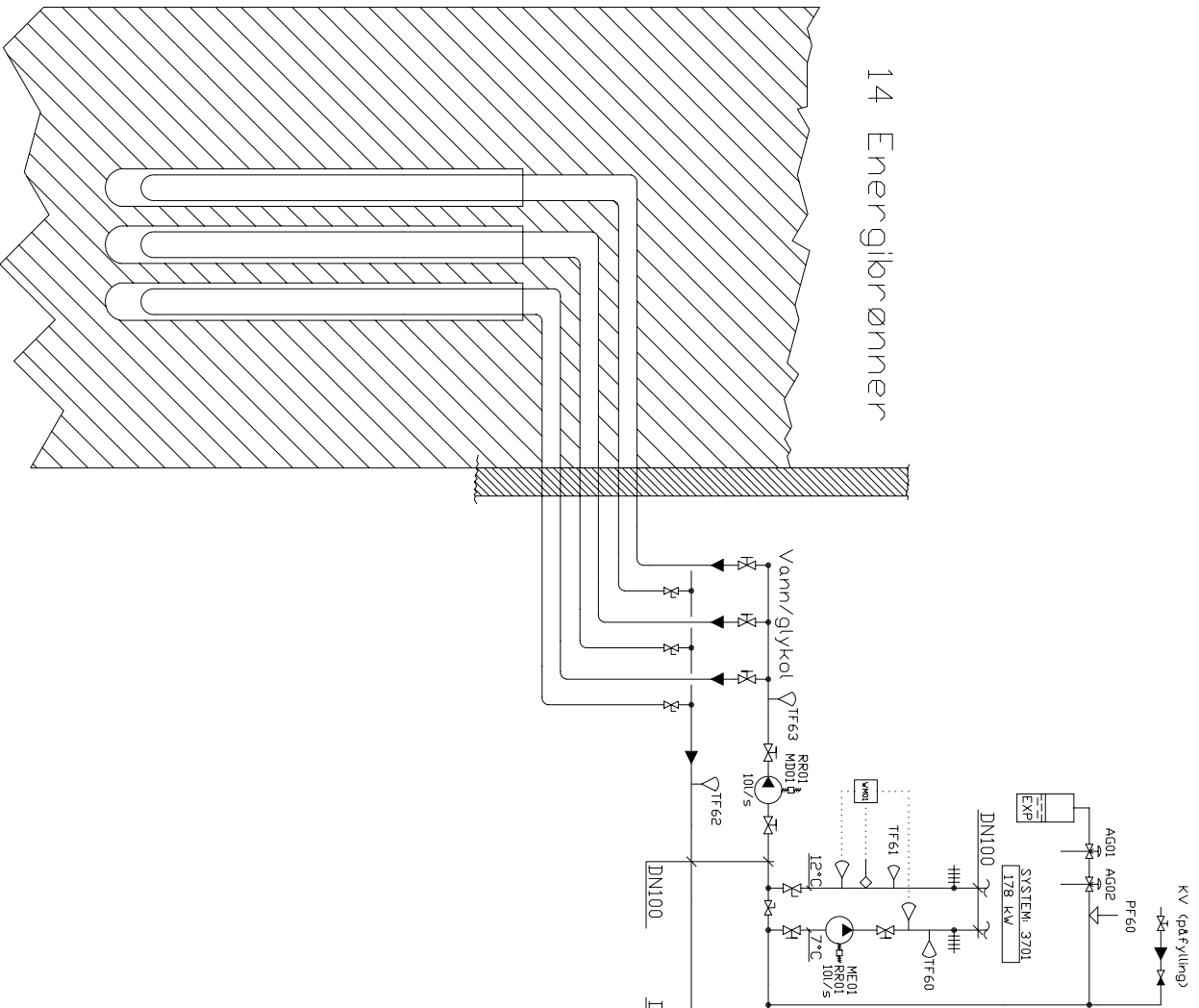


Rev	Gjelder	Dato	Signtur/Kontroll
A	Dnn, temp + div justeringer	30.11.07	JR0/RS0
B	Vannmengder, temp og dnn. + fjernet varmekasser	09.01.08	VL1/RS0
C	Vannmengder, temp og dnn. + div	16.01.08	VL1/RS0
D	Energipulser	17.01.08	JR0/RS0
E	Korr. vannmengde M706	21.02.08	JR0/RS0
F	Endret løsning + vannmengder	29.02.08	VL1/RS0
G	Dnn. korr	27.03.08	JR0/RS0
H	Sonn bygget	26.11.08	JR0/RS0

TRONDHEIM KOMMUNE		Dato	Signtur
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE		14.11.07	
ANBUD		Kontroll	VL1
VVS		Målestokk	Kontroll
3201 - VARMESENTRAL		Saksbehandler	DJD/RS0
Fag			RS0
VVS			

Oppdragsnummer	Tegningsnummer
697	ANBUD
30-802	DJD/RS0
	RS0

14 Energikrønner



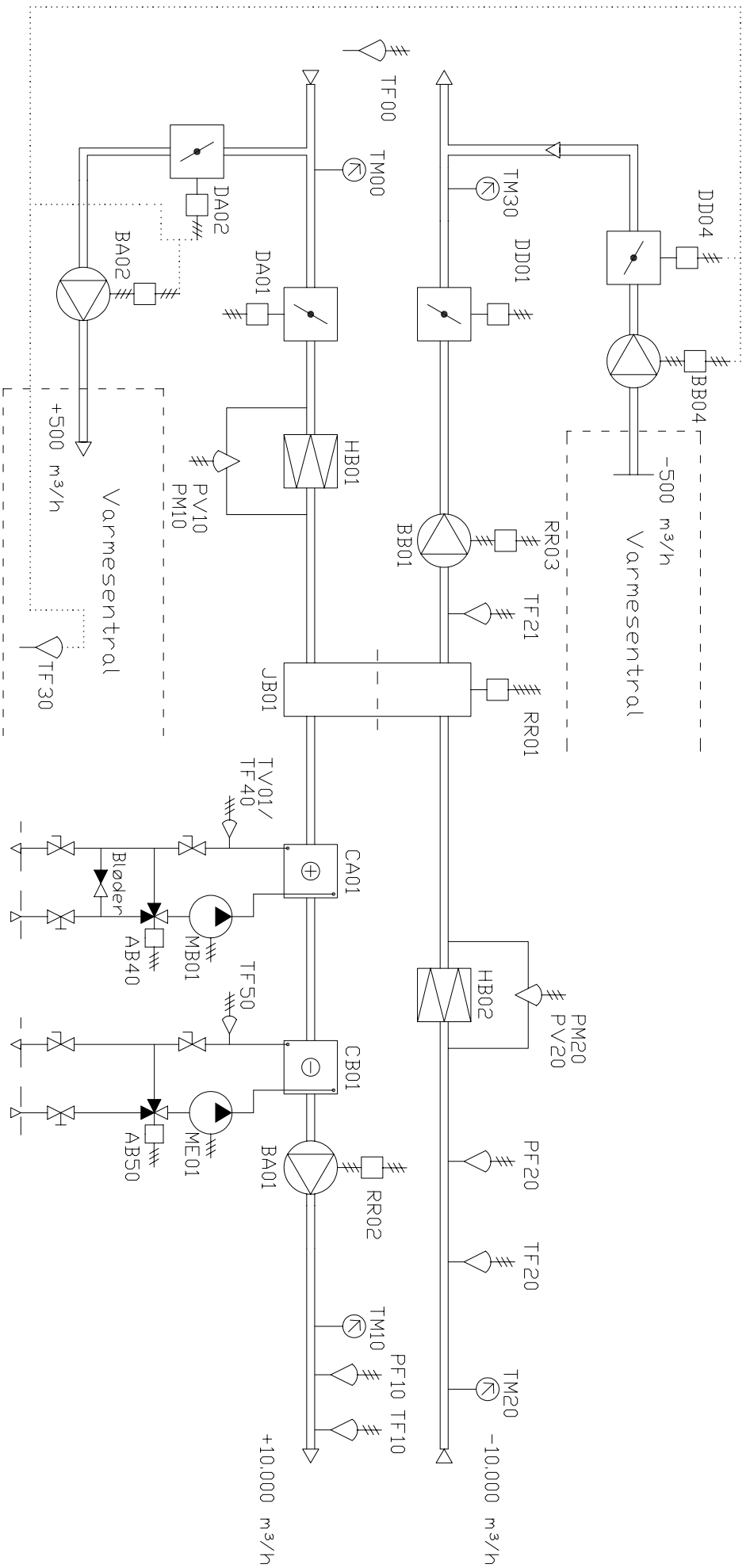
H	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
G	Dir. korr.	27.03.08	JR0/RS0
F	Ans. brønner	29.02.08	V0L/RS0
E	Om.v. utgår	21.02.08	JR0/RS0
D	Energipållere	17.01.08	JR0/RS0
C	Flytta utendørs-kondensator-skens	16.01.08	V0L/RS0
B	Kjølekrans på retur, dnn og TF	10.01.08	V0L/RS0
A	KV påfylling, Eksp. kor og pumpe	21.11.07	V0L/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Sigantur/kontroll

TRONDHEIM KOMMUNE
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE

Dato: 14.11.07
 Tegningsnivå: ANBUD
 Kontroll: OJ0/RS0
 V0L

Fag: VVS
 3202 – VARMEPUMPE

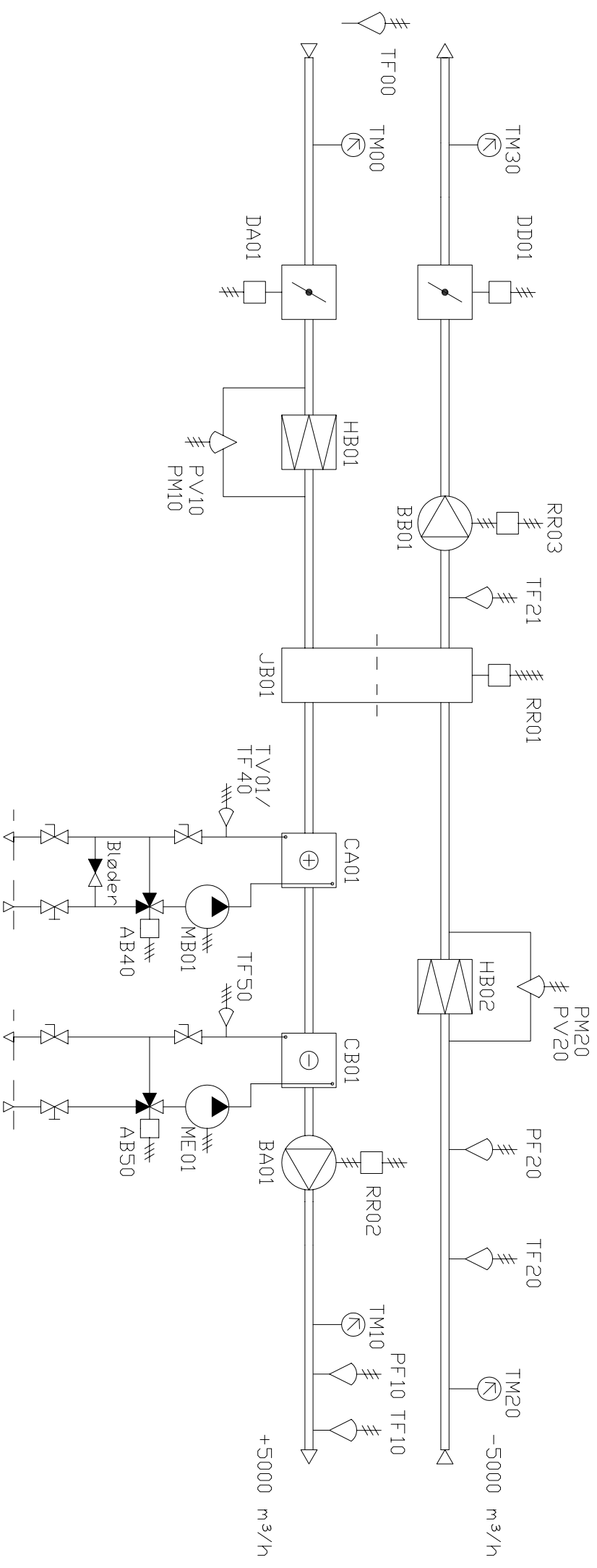
Målestokk: -
 Oppdragsnummer: 697
 Saksbehandler: RSD
 Tegningsnummer: 30-803



F	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
E	PV11 fjernet og PF20	14.04.08	JR0/RS0
D	SIV fjernet	29.02.08	VOL/RS0
C	Ventilasjon varmesentral	17.01.08	JR0/RS0
B	Tiluft og uttrekk varmesentral	10.01.08	VOL/RS0
A	Avtrekk kjøkken	30.11.07	JR0/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Signtur/Kontroll

TRONDHEIM KOMMUNE		Dato	Signtur
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE		14.11.07	
		Tegningsnivå	Kontroll
		ANBUD	RS0
		Målestokk	Saksbehandler
		-	RS0

Fag		Oppdragsnummer		Tegningsnummer	
VVS		-		RS0	
360.01 – LUFTBEHANDLING					
BARNEHAGE		697		30-807	

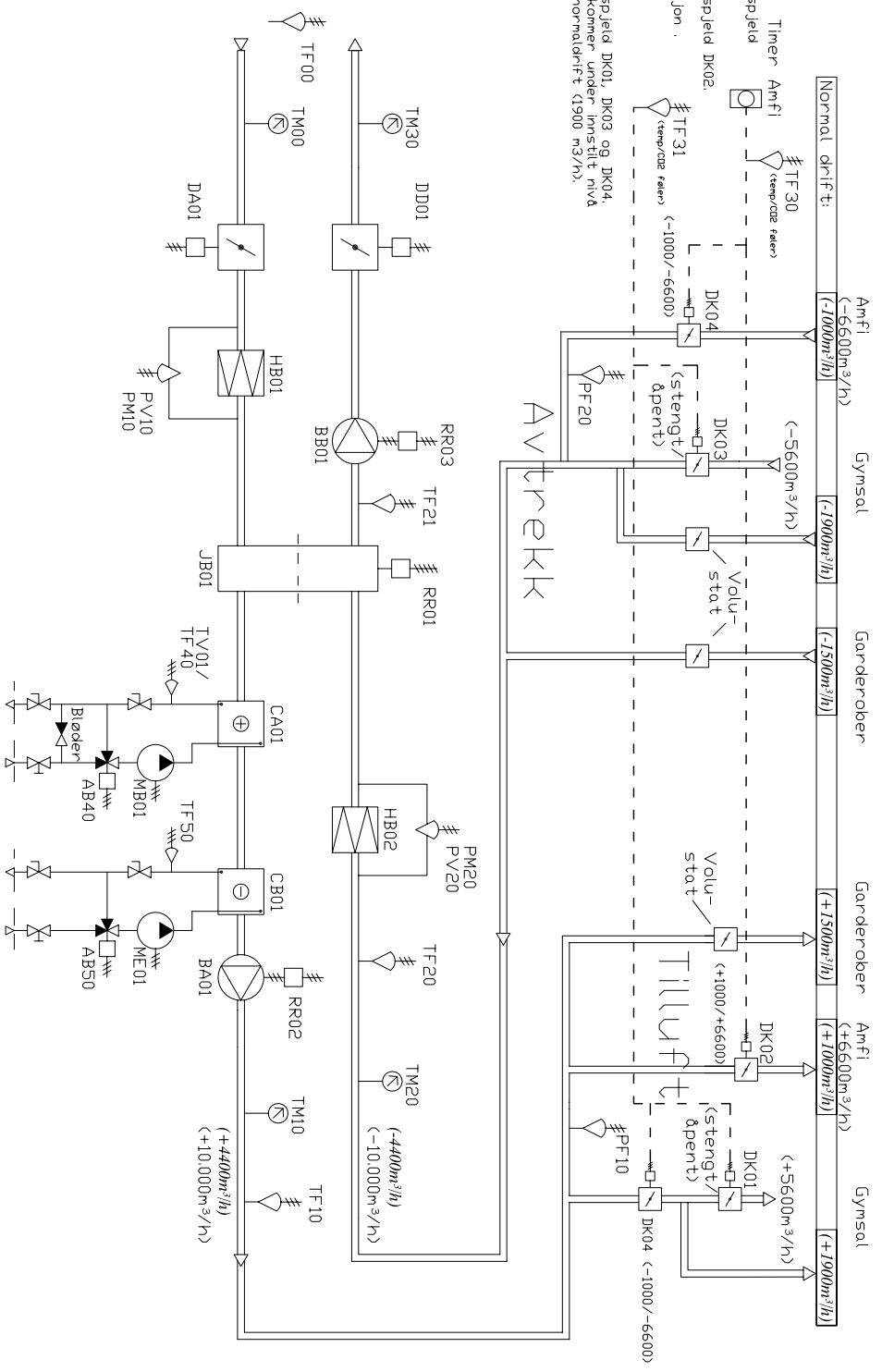


C	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
B	PV11 fjernet og PV20	14.04.08	JR0/RS0
A	SIF fjernet	29.02.08	VOL/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Signatur/Kontroll

TRONDHEIM KOMMUNE		Dato	Signatur
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE		14.11.07	
		Tegningsnivå	Kontroll
		ANBUD	RSØ
		Målestokk	Saksbehandler
		-	RSØ

Fag		Oppdragsnummer	Tegningsnummer
VVS			
360.02 - LUFTBEHANDLING			
ADM/KONTORER		697	30-808

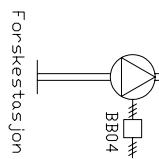
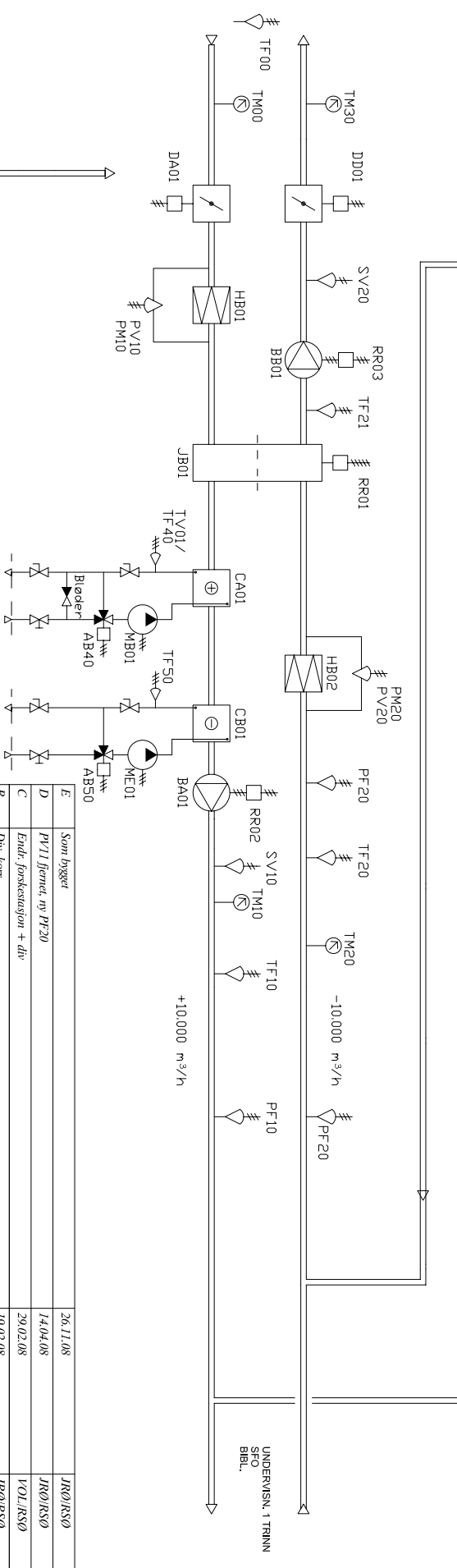
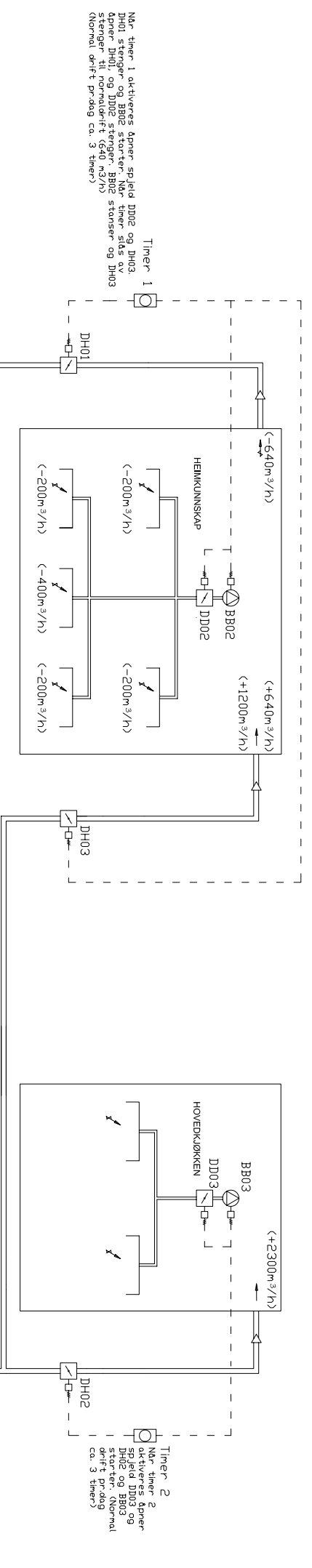
Når innstilt nivå på TF30 overstiges åpner spjeld DK02 og DK04.
 Når TF30 kommer under innstilt nivå lukker spjeld DK02 og DK04.
 Når TF30 overstiges åpner spjeld DK01, DK03 og DK04.
 Når TF30 kommer under innstilt nivå lukker spjeld DK01 og DK03.
 Når TF30 overstiges åpner spjeld DK01, DK03 og DK04.
 Når TF30 kommer under innstilt nivå lukker spjeld DK01 og DK03.
 Når TF30 overstiges åpner spjeld DK01, DK03 og DK04.
 Når TF30 kommer under innstilt nivå lukker spjeld DK01 og DK03.



E	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
D	PV11 fjernet	14.04.08	JR0/RS0
C	Ny styring (CO2temp. føler) + div	03.03.08	VOL/RS0
B	Div. korr.	19.02.08	JR0/RS0
A	Endret løsning	22.01.08	JR0/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Signtur/Kontroll
TRONDHEIM KOMMUNE			
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE			
Fag		Dato	Signtur
VVS		14.11.07	
		Tegningsnivå	Kontroll
		ANBUD	RS0
		Målestokk	Saksbehandler
		-	RS0
Fag		Oppdragsnummer	Tegningsnummer
360.03 - LUFTEBEHANDLING		697	30-809
GYMSAL/GARD OG AMFI			

VVS Norplan AS
 RÅDGIVENDE INGENIØRER MRF

GRANÅSVEIEN 1 - 7048 TRONDHEIM
 TELEFON 73 82 86 60 / TELEFAKS 73 82 86 70



Rev	Gjelder	Dato	Signtur/Kontroll
A	Ny løsning kjøkken	22.01.08	JR0/RS0
B	Div. kor.	19.02.08	JR0/RS0
C	Endr. forskestasjon + div	29.02.08	V01/RS0
D	Prøve bygget	14.04.08	JR0/RS0
E	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0

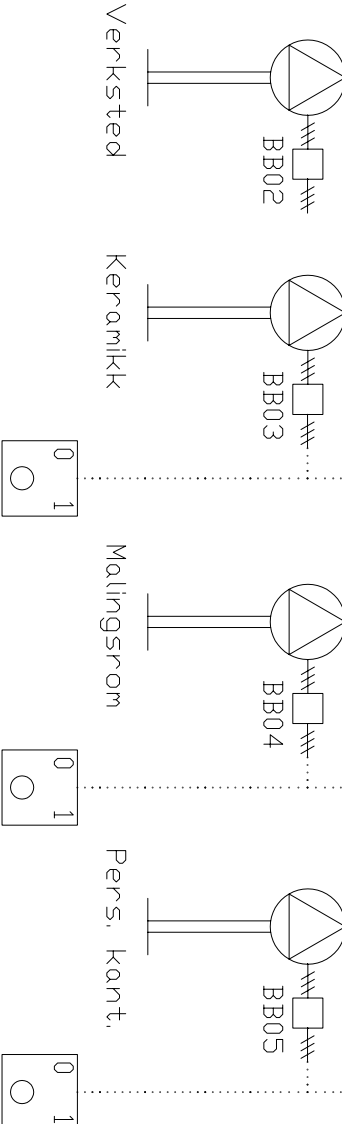
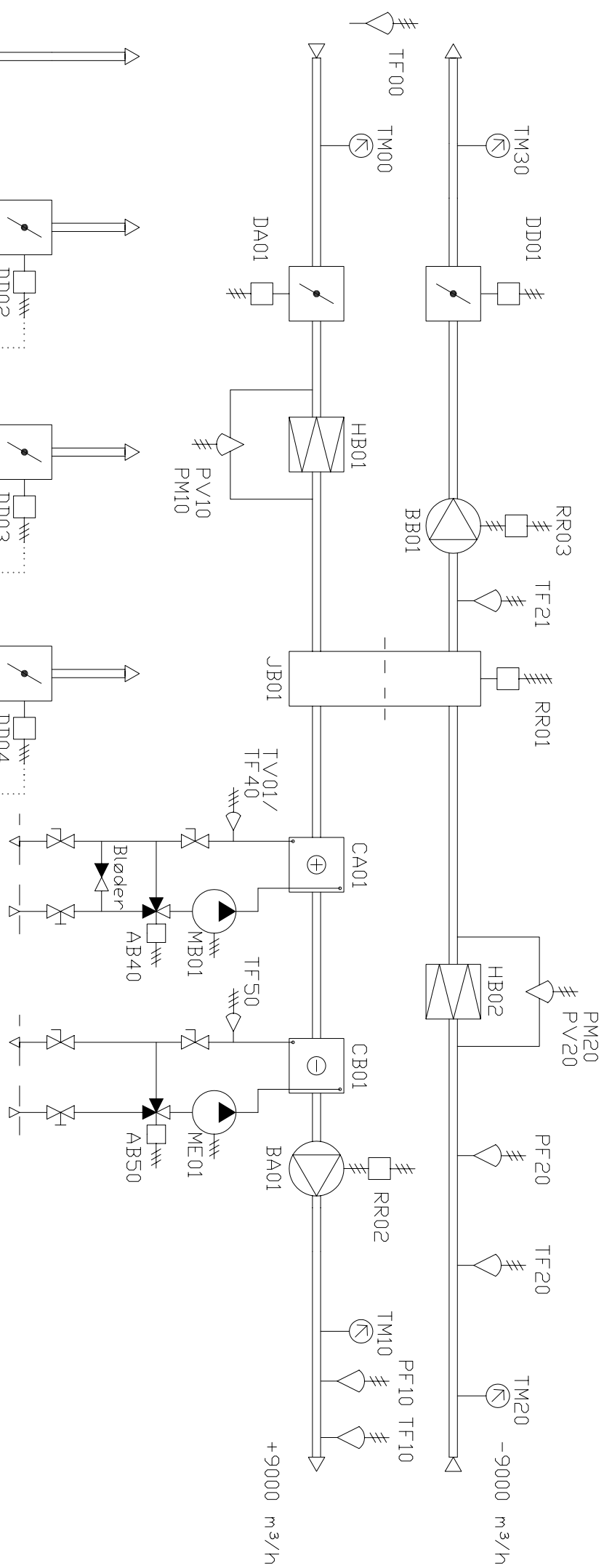
TRONDHEIM KOMMUNE	Dato	Signtur
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE	14.11.07	
	Tegningsnivå	Kontroll
	ANBUD	RS0

Fag	Målestokk	Saksbehandler
VVS	-	RS0

360.04 - LUFTEBEHANDLING	Oppdragsnummer	Tegningsnummer
1.TRINN,SFO,BIBL,HEIMK. OG H.KJ.	697	30-810

Når timer 1 aktiveres åpner spjeld DD02 og DH03.
 DH01 stenger og BB02 starter. Når timer slås av
 åpner DH01 og DD02 stenger. BB02 stanser og DH03
 stenger til normaldrift (640 m³/h)
 (Normal drift prøveg ca. 3 timer)

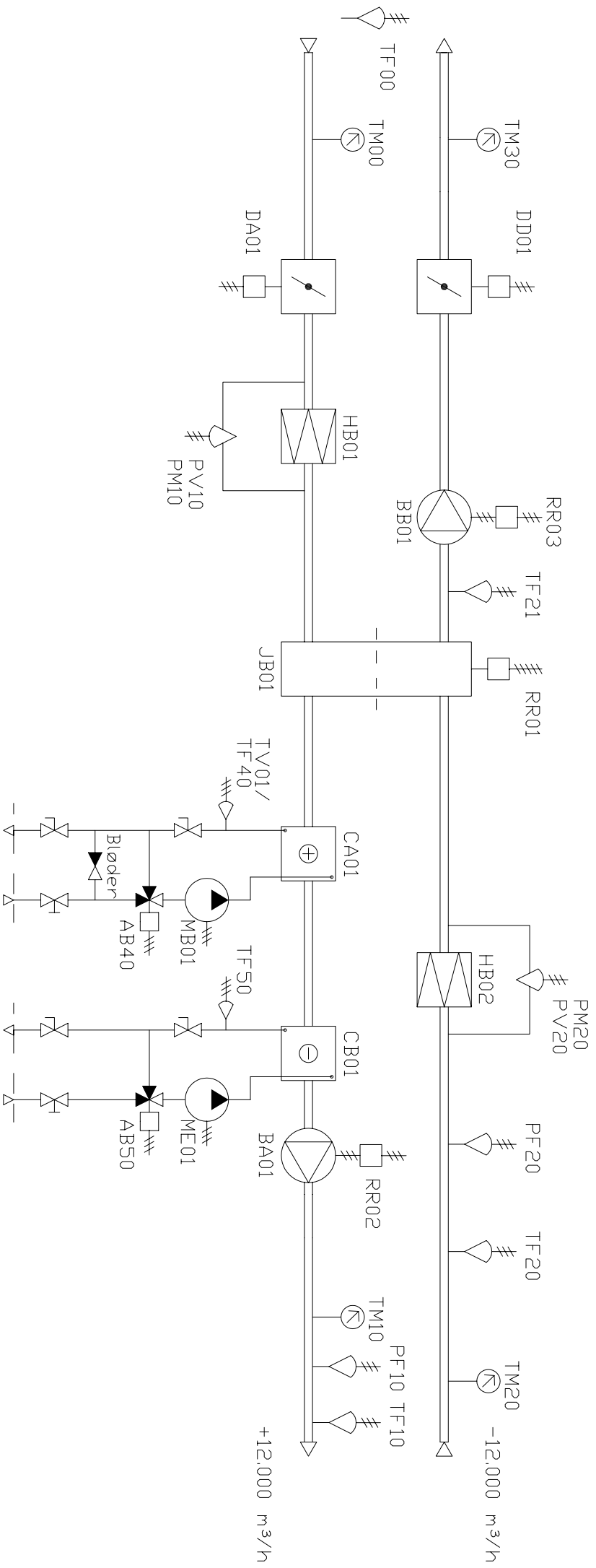
Når timer 2
 aktiveres åpner
 spjeld DD03 og
 DH02 og BB03
 starter. (Normal
 drift 6 prøveg
 ca. 3 timer)



C	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
B	PV11 fjernet og PV20	14.04.08	JR0/RS0
A	Ende separatanlegg + fjernet SV	29.02.08	VOL/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Signatur/Kontroll

TRONDHEIM KOMMUNE			
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE			
Fag	Dato	Signatur	
VVS	14.11.07		VOL
	Tegningsnivå	Kontroll	RSØ
	Målestokk	Saksbehandler	RSØ
			RSØ

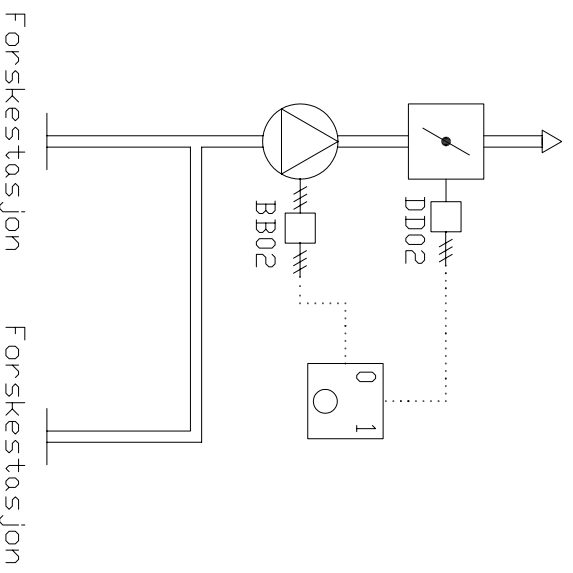
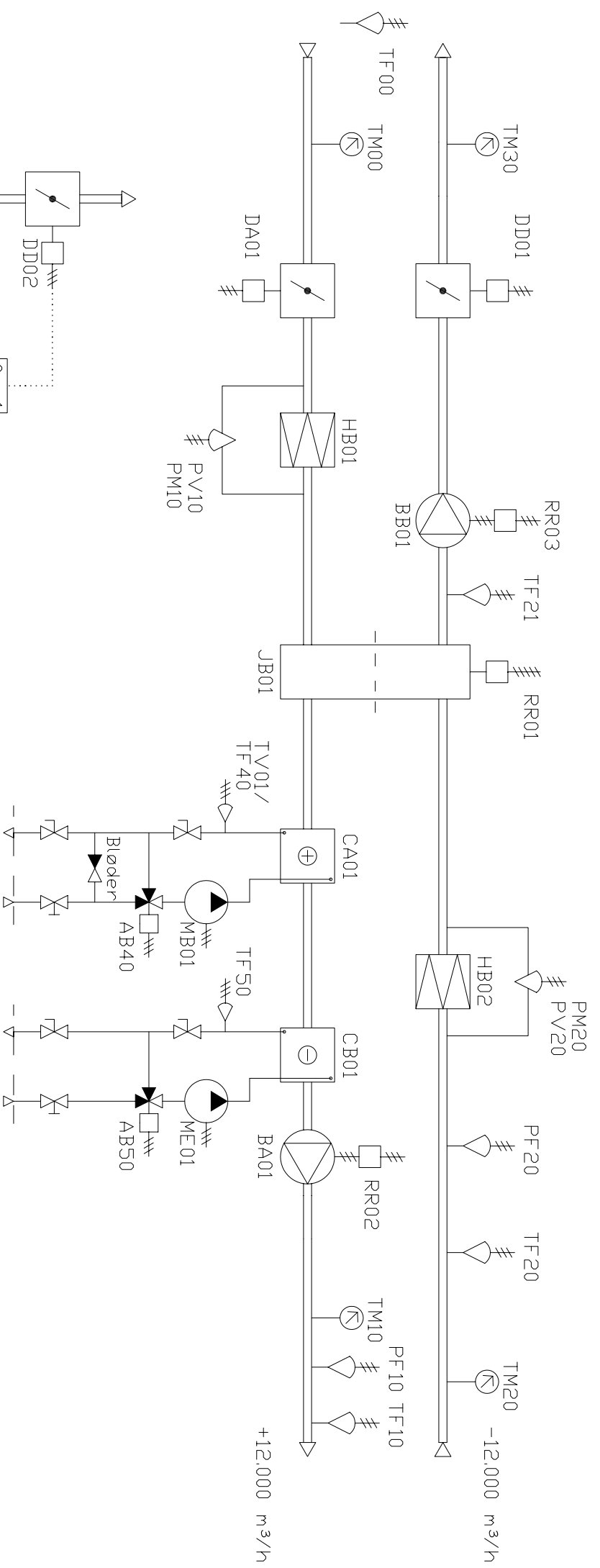
360.05 - LUFTBEHANDLING	Oppdragsnummer	Tegningsnummer
K&H, PERS. KANTINE OG MUSIKK	697	30-811



B	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
A	PV11 fjernet, ny PV20	14.04.08	JR0/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Signatur/Kontroll

TRONDHEIM KOMMUNE		Dato	Signatur
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE		Tegningsnivå	Kontroll
Fag	VVS	Målestøkk	Saksbehandler

360.06 LUFTHANDLING		Oppdragsnummer	Tegningsnummer
UNDERVISN. 2, 3 OG 4 TRINN		697	30-812



D	Som bygget	26.11.08	JR0/RS0
C	PV11 fjernet, ny PV20	14.04.08	JR0/RS0
B	Fjernet SV	29.02.08	V01/RS0
A	Avtrekk forskestasjonene	30.11.07	JR0/RS0
Rev	Gjelder	Dato	Signatur/Kontroll
TRONDHEIM KOMMUNE		Dato	Signatur
NARDO SKOLE OG BARNEHAGE		Tegningsnivå	Kontroll
VVS		Målestøkk	Saksbehandler
360.07 - LUFTBEHANDLING		Oppdragsnummer	Tegningsnummer
UNEDRVISN. 5, 6 OG 7 TRINN		697	30-813
VVS Norplan AS		GRANÅSVEIEN 1 - 7048 TRONDHEIM	
RÅDGIVENDE INGENIØRER MRF		TELEFON 73 82 86 60 / TELEFAKS 73 82 86 70	