

Energibruk i idrettshaller

Ellen Løwer Anfinsen

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Arvid Dalehaug, BAT

Medveileder: Bjørn Åge Berntsen, SIAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



Oppgavens tittel: Energibruk i idrettshaller	Dato: 10. Juni 2014		
	Antall sider (inkl. bilag): 130		
	Masteroppgave	x	Prosjektoppgave
Navn: Ellen Løwer Anfinsen			
Faglærer/veileder: Arvid Dalehaug			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Bjørn Åge Berntsen og Bjørn Aas (SIAT)			

<p>Ekstrakt:</p> <p>Masterprosjektet er basert på energimålinger i idrettshaller, der målet har vært å finne energiforbruket til de ulike komponentene i en idrettshall. Ved hjelp av ulike energimålere, har målinger blitt utført i Rosenborg idrettshall og Rollag idrettshall. Fokuset har vært på energibruken til ventilasjonsanlegget, oppvarming av hallen, samt belysning. Det teoretiske energiforbruket beregnet i SIMIEN har blitt sammenlignet med det faktiske energiforbruket.</p> <p>Energiforbruket i forhold til Rosenborghallens ventilasjonssystem har vært betydelig ulikt det teoretiske forbruket. Et årsforbruk på nærmere det dobbelte av teoretisk forbruk tyder på en mindre energieffektiv driftstilstand. VAV-spjeld som skal sørge for behovsstyrt ventilasjon er ikke i bruk, og viftene har konstant effekt på 15 kW gjennom driftstiden. Det er dog planlagt en justering, der fire driftsnivåer stilles inn etter behov.</p> <p>Rollag idrettshall har også VAV-spjeld, men målingene viser at ventilasjonsanlegget har konstant effekt på 1 kW hele døgnet. Selv om dette ikke er betydelig stort forbruk, er det likevel unødvendig å la viftene gå hele natten, i det lange løp.</p> <p>Sammenligning av hallene viser at Rosenborg har et større spesifikt energiforbruk. Med tanke på at Rosenborghallen, i motsetning til Rollaghallen, har garderobeanlegg, er disse målingene logiske. Om det er nødvendig med store garderobeanlegg, er en annen diskusjonsfaktor, da forbruket av tappevann er meget lite i Rosenborghallen.</p> <p>Muligheter for videre arbeid er store. Blant annet vil tiltak som installering av integrerte energimålere i hver komponent i et teknisk anlegg, bidra til økt oversikt og kontroll over idrettshallens energiforbruk.</p>
--

Stikkord:

1. Energibruk
2. Energimålinger
3. Rosenborg idrettshall
4. Rollag idrettshall

Ellen Løwer Anfinsen

FORORD

Denne masteroppgaven er utarbeidet som en del av det femårige masterprogrammet ved Bygg- og Miljøteknikk ved Institutt for Bygg, Anlegg og Transport på Norges Tekniske og Naturvitenskaplige Universitet, NTNU, våren 2014. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Senter for Idrettsanlegg og Teknologi, SIAT, og bygger videre på prosjektoppgaven *Energibruk i idrettshaller* skrevet høsten 2013.

Jeg vil takke for god hjelp fra samtlige av veilederne mine, Bjørn Aas, Arvid Dalehaug og Bjørn Åge Berntsen. Takk for finansiell støtte til å utføre prosjektet, og generelt meget god veiledning gjennom masteroppgaven. Jeg vil også takke Trondheim kommune og Trondheim bydrift for informasjon og tilrettelegging ved utførelse av energimålingene i Rosenborg idrettshall. Likeså vil jeg takke Rollag idrettsskole for god assistanse med energimålingene i Rollag idrettshall.

Ellen Løwer Anfinssen

*Ellen Løwer Anfinssen
Trondheim
10. juni 2014*



This document was typeset in L^AT_EX.

SAMMENDRAG

Dette masterprosjektet omhandler energiforbruk i idrettshaller. Målet har vært å finne ut hvor mye energi som går til ventilasjonsanlegget, oppvarming av idrettshallen, belysning og diverse annet utstyr. Rosenborg idrettshall i Trondheim, og Rollag idrettshall i Numedal, som begge har spilleflate på størrelse med en håndballbane, og er de to utvalgte hallene for dette prosjektet. Ulike energimålinger har blitt utført i hver av hallene, over en måleperiode på én uke per hall. Det har også blitt utført målinger i form av bruksregistrering og temperatur.

Ved hjelp av energimålere for elektrisitet og vannstrøm, har idrettshallenes totale energiforbruk i løpet av måleperioden blitt målt. Rosenborg idrettshall består av flere garderober med dusjanlegg, i motsetning til Rollag idrettshall. Følgelig er totalforbruket i Rosenborghallen større enn i Rollaghallen. Likevel er det ventilasjonsanlegget i Rosenborghallen som trekker oppmerksomhet i forhold til energiforbruk. Viftene ser ut til å bruke over dobbelt så mye energi som forventet fra energiberegningene i SIMIEN. Årsaken til det høye energiforbruket er antakeligvis på grunn av viftenes konstante hastighet gjennom hele driftstiden. VAV-spjeld som er montert i ventilasjonsanlegget brukes ikke på nåværende tidspunkt, men er planlagt å optimaliseres i løpet av kort tid.

Ventilasjonsanlegget i Rollaghallen er i følge målingene påslått gjennom hele døgnet. Viftene har en konstant effekt på knappe 1 kW, og utgjør dermed ingen stor energipost. Likevel er slike forbruk unødvendig i det lange løp. På grunn av meget få aktive brukere i måleuken, var det tydeligvis ikke nødvendig med mer luftutskiftning. De tekniske anleggene i Rollaghallen er ikke satt opp mot et SD-anlegg på nåværende tidspunkt. Med automatisering og behovsstyring i hallen, bør energiforbruket kunne tilfredsstille budsjettert forbruk på under 100 kWh/m² i løpet av et år.

Viktigheten av måling og logging av idrettshallers spesifikke energiforbruk, har blitt understreket under denne masteroppgaven. For å kunne videreutvikle energiøkonomiseringen i hallanlegg er riktig dimensjonering, og dermed erfaring, viktig.

Muligheter for videre arbeid er store. Blant annet vil tiltak som installering av integrerte energimålere i hver komponent i et teknisk anlegg, bidra til økt oversikt og kontroll over idrettshallens energiforbruk. Vurdering av dimensjonene systemene for tappevann og oppvarming bør ha, bør også betraktes.

ABSTRACT

This master thesis concerns energy consumption in sports halls. The objective of the project has been to determine the energy consumption of the ventilation system, the heating system, the lighting and other energy consuming equipment. Rosenborg sports hall in Trondheim, and Rollag sports hall in Numdal, have been chosen for the project. Both of the sports halls' courts are the size of a handball court. Different energy measurements were carried out in a period of one week. There have also been measured factors of indoor climate, as well as number of active users during the period.

Energy measurements for the two sports halls have been done by using flow meters and energy meters. Unlike Rollag sports hall, Rosenborg sports hall consists of several wardrobes with showers. Consequently, the total energy consumption in Rosenborg was larger than Rollag. Nevertheless, the ventilation system in Rosenborg sports hall, drew the attention in terms of energy consumption. The fans in the ventilation system consumed twice as much energy as expected from the energy calculations in SIMIEN. The reason for this is probably due to the fans' constant activity throughout the operating time. The VAV-dampers installed in the ventilation system are currently not in use. Even though, the dampers are scheduled to be programmed as soon as possible.

The ventilation system in Rollag sports hall is according to the measurements, active throughout the day. The fans have a constant effect of 1 kW , and therefore, do not contribute to a major consumption. Yet, wasting unnecessary energy in the long run, is not to anyone's advantage. Because of the few active users in the measurement period, there was obviously no need for more air exchange. The technical installations in Rollag sports hall are not programmed to a centralized control system. With automation and customized solutions, the actual energy consumption should satisfy the budgeted consumption of less than 100 kWh/m^2 within a year.

The importance of measurement and logging of the sports hall specific energy consumption has been highlighted in this thesis. In order to develop energy conservation solutions in sports halls, experiences as well as correct dimensioning are important factors.

There are several possibilities for further work. One possibility is to install integrated energy meters in every energy consuming component in the technical system. By doing that, this will contribute to a clearer overview, as well as increased control

over the energy consumption in the sports hall. Another possibility is to assess the dimension of the systems for DHW (domestic hot water) and heating.

INNHOOLD

Forord	iii
Sammendrag	v
Abstract	vii
Figurer	xv
Tabeller	xvii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål	1
1.3 Struktur	2
1.4 Begrensninger	2
2 Metode	3
2.1 Kvantitativ og kvalitativ metode	3
2.2 Valg av metode	4
2.3 Litteraturstudium	5
2.3.1 Vurdering av kilder og artikler	5
2.4 Energimålinger og innhenting av data	6
2.4.1 Innhenting av data	6
2.4.2 Energimåling: vannbåren varme	7
2.4.3 Energimåling: elektrisitet	7
2.4.4 Temperatur og relativ fuktighet	8
2.4.5 Bruksregistrering	8
2.4.6 Sammenligning av teoretisk og faktisk forbruk	9
3 Energibruk i idrettshaller	11
3.1 Idrettshaller	11
3.2 Tekniske installasjoner	14
3.2.1 Romoppvarming	15
3.2.2 Ventilasjonsanlegg	18
3.2.3 Varmtvannsforsyning	19
3.2.4 Kjøling	19
3.2.5 Belysning	20

3.2.6	Utstyr som bruker elektrisitet	21
3.3	Konstruksjonsmaterialer	22
3.3.1	Trekonstruksjoner	22
3.3.2	Overtrykkshaller	23
4	Utvalgte idrettshaller	25
4.1	Rosenborg idrettshall	25
4.1.1	Ventilasjonsanlegget	27
4.1.2	Fjernvarmeanlegget	30
4.1.3	Teoretisk forbruk	33
4.1.4	Energiforbruk i 2013	34
4.2	Rollag idrettshall	35
4.2.1	Ventilasjonsanlegget	38
4.2.2	Varmeanlegget	39
4.2.3	Teoretisk forbruk	41
4.2.4	Energiforbruk i 2013	42
5	Energibruksmålinger og resultater	45
5.1	Rosenborg idrettshall	45
5.1.1	Bruksregistrering	45
5.1.2	Relativ fuktighet og temperatur	46
5.1.3	Elektrisk energi	49
5.1.4	Fjernvarme	51
5.1.5	Totalt energiforbruk	54
5.2	Rollag idrettshall	55
5.2.1	Bruksregistrering	56
5.2.2	Relativ fuktighet og temperatur	56
5.2.3	Elektrisk energi	57
5.2.4	Oppvarming	59
5.2.5	Totalt energiforbruk	61
5.3	Sammenligning av hallene	63
6	Diskusjon	65
6.1	Rosenborg idrettshall	65
6.2	Rollag idrettshall	68
6.3	Sammenligning av hallene	69
6.4	Metode og fremgangsmåte	71
7	Konklusjon og videre arbeid	73
	Referanser	75
	A Oppgavetekst	77

B	Plantegninger	81
B.1	Rosenborg idrettshall	81
B.2	Rollag idrettshall	85
C	Bruksmønster i Rosenborg idrettshall	89
D	Bruksregistrering	91
D.1	Rosenborg idrettshall	91
D.2	Rollag idrettshall	92
E	Temperatur og RF	93
E.1	Rosenborg Idrettshall	93
E.2	Rollag idrettshall	97
F	Forbruk av elektrisk energi i Rosenborghallen	99
G	Fjernvarmeforbruk i Rosenborghallen	103
H	Forbruk av elektrisk energi i Rollaghallen	107

FIGURER

3.1	Fjernvarmesystem oppbygd med mengderegulering ved termostatiske radiatorventiler (Novakovic, Hanssen, Thue, Wangensteen & Gjerstad, 2007)	16
3.2	Skissetegning av skole- og idrettsbyggets varmedeponering i grunnen (Aarnes et al., 2010)	17
4.1	Rosenborg idrettshall	26
4.2	Ventilasjonsanlegget i Rosenborghallen (Trondheim Kommune, 2013)	28
4.3	Frekvensomformerer installert for tilluftsviften i ventilasjonsanlegget i Rosenborghallen	29
4.4	Varmeanlegget i Rosenborg idrettshall (Trondheim Kommune, 2013)	32
4.5	Årlig energibudsjett for Rosenborghallen fra SIMIEN	33
4.6	Energiforbruket per uke i Rosenborghallen i 2013 (<i>EOS-loggen ENTRO</i> , 2013)	34
4.7	Spillehallen i Rollaghallen	36
4.8	Trebjelkene i taket i Rollaghallen som spenner over 25 meter	37
4.9	Ventilasjonsanlegget i Rollaghallen	39
4.10	Sentralvarmeanlegget i Rollaghallen	40
4.11	Energibudsjett for Rollaghallen beregnet i SIMIEN	41
4.12	Energiforbruket første uken i oktober 2013 i Rollaghallen (<i>EOS-loggen ESAVE</i> , 2014)	43
5.1	Bruksregistrering av antall aktive brukere av Rosenborghallen i måleperioden	46
5.2	Temperaturrendringer i Rosenborghallen, lørdag 5.april	47
5.3	RF-endringer i Rosenborghallen, lørdag 5.april	48
5.4	Temperatur- og RF-endringer i Trondheim, lørdag 5.april	48
5.5	Ukentlig energibruk for belysning i Rosenborghallen	51
5.6	Energiforbruk per time [kWh/h] ved oppvarming av tappevann i Rosenborghallen i måleperioden	52
5.7	Energiforbruk per time [kWh/h] ved oppvarming av ventilasjonsluf-ten i Rosenborghallen i måleperioden	53
5.8	Energiforbruk per time [kWh/h] ved gulvvarme, radiatorer og strålepaneler i Rosenborghallen i måleperioden	54
5.9	Bruksregistrering av antall aktive brukere av Rollaghallen i måleperioden	56
5.10	Energiforbruk ved belysning i Rollaghallen i måleperioden	58

Figurer

5.11	Energiforbruk ved ventilasjonsaggregatet i Rollaghallen i måleperioden	58
5.12	Energiforbruk ved oppvarming av ventilasjonsluften i Rollaghallen i måleperioden	60
5.13	Energiforbruket for resten av komponentene per time [kWh/h] i Rollaghallen i måleperioden	60
B.1	Plantegning av 2. etasje i Rosenborg idrettshall	82
B.2	Plantegning av 1. etasje i Rosenborg idrettshall	83
B.3	Plantegning av underetasjen i Rosenborg idrettshall	84
B.4	Plantegning av 1. etasje i Rollag idrettshall	86
B.5	Plantegning av 2. etasje i Rollag idrettshall	87
C.1	Halldisponering i Rosenborghallen fra kl 8.00 til 16.00, februar 2014 (Trondheim Kommune, 2013)	89
C.2	Halldisponering i Rosenborghallen fra kl 16.00 til 23.00, februar 2014 (Trondheim Kommune, 2013)	89
D.1	Antall aktive registrerte brukere i Rosenborghallen fra klokken 00-14 i måleperioden	91
D.2	Antall aktive registrerte brukere i Rosenborghallen fra klokken 15-24 i måleperioden	91
D.3	Antall aktive registrerte brukere i Rollaghallen fra klokken 00-14 i måleperioden	92
D.4	Antall aktive registrerte brukere i Rollaghallen fra klokken 15-24 i måleperioden	92
E.1	Logger 1: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen	94
E.2	Logger 2: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen	94
E.3	Logger 3: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen	95
E.4	Logger 4: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen	95
E.5	Logger Ute: RF- og temperaturendringer i Trondheim	96
E.6	Temperaturendringene i Rollaghallen	97
E.7	RF-ændringene i Rollaghallen	97
E.8	Temperaturmålinger for Rollag fra 22.-30. april 2014 (Meteorologisk institutt & NRK, 2014)	98
F.1	Totalt forbruk av elektrisk energi i Rosenborghallen [kWh/h]	100
F.2	Elforbruk ved belysningen i Rosenborghallen [kWh/h]	101
G.1	Fjernvarmens energiforbruk per time [kWh/h] for tappevannsoppvarmingen i Rosenborghallen i måleperioden	104
G.2	Fjernvarmens energiforbruk per time [kWh/h] for ventilasjonsluftsoppvarmingen i Rosenborghallen i måleperioden	105

G.3	Fjernvarmens energiforbruk per time [kWh/h] for gulvvarme, radiatorer og strålepaneler i Rosenborghallen i måleperioden	106
H.1	Energiforbruk per time [kWh/h] for belysningen i Rollaghallen i måleperioden	108
H.2	Energiforbruk per time [kWh/h] for ventilasjonsaggregatet i Rollaghallen i måleperioden	109
H.3	Energiforbruk per time [kWh/h] for oppvarming av ventilasjonsluft i Rollaghallen i måleperioden	110
H.4	Totalt energiforbruk per time [kWh/h] etter fratrekk av målte verdier i Rollaghallen i måleperioden	111

TABELLER

2.1	Kvantitativ og kvalitativ metode (Dalland, 2010)	3
3.1	Personbelastning ved ulike aktiviteter (Haskell, 2011)	12
3.2	TEK 07 energirammer for idrettshaller	13
4.1	Ventilasjonsanleggets driftstider i Rosenborghallen	29
4.2	Sammenligning av teoretisk og faktisk energiforbruk i 2013 i Rosenborghallen	35
4.3	Totalt energiforbruk i Rollaghallen fra august 2013 til januar 2014	42
5.1	Ventilasjonsanleggets elektriske forbruk i Rosenborghallen	50
5.2	Totalt energiforbruk i Rosenborghallen i måleperioden	54
5.3	Totalt graddagskorrigert energiforbruk i Rosenborghallen i måleperioden	55
5.4	Gjennomsnittstemperaturer for RF og temperatur i Rollaghallen	57
5.5	Totalt energiforbruk i Rollaghallen i måleperioden	61
5.6	Totalt energiforbruk i Rollaghallen i måleperioden	62
5.7	Totalt graddagskorrigert energiforbruk i Rosenborghallen og Rollaghallen i måleperiodene	63
5.8	Graddagskorrigert energiforbruk per oppvarmet m^2 i Rosenborghallen og Rollaghallen i måleperiodene	63
6.1	Graddagskorrigert energiforbruk per oppvarmet m^2 i Rosenborghallen og Rollaghallen	70
F.1	Ventilasjonsanleggets energibruk i Rosenborg idrettshall	99

1.1 Bakgrunn

Effektiv energibruk er et uttrykk for optimal utnyttelse av energi. For å oppnå dette er god planlegging og prosjektering er viktig. For optimalisering av energiløsninger kan erfaringstall gjøre god nytte. Energiforbruket i idrettshaller kan variere ut i fra hvilket teknisk utstyr hallen er utstyrt med, og ikke minst bruken av de tekniske løsningene. Aktivitetsnivået i hallen og bruksmønster vil spille inn på det totale energiforbruket. Tiltak for å redusere energiforbruket, miljøpåkjenningene og kostnadene er viktig for bygg generelt. Med stadig økende krav til reduksjon av energibruk er det viktig at nye tekniske løsninger utnyttes i idrettshallene. For å kunne gjennomføre og vurdere bedre tiltak er det viktig at energibruket registreres, dokumenteres og vurderes i hvert enkelt tilfelle. På den måten kan en spille på erfaringer i kommende prosjekter. Siden energibruket er avhengig av flere faktorer og komponenter, er det hensiktsmessig at energibruken i hver komponent måles. Prosjektoppgaven *Energibruk i idrettshaller* skrevet høsten 2013, fremstiller totalt energiforbruk i fire kommunale idrettshaller i Trondheim. Sammenligning og vurdering ble gjort på grunnlag av registrert energiforbruk som kan leses av på hjemmesiden til Trondheim Kraft. Energiforbruket er fordelt på kun fjernvarme og elektrisitet.

1.2 Mål

I denne masteroppgaven er målet å kartlegge energiforbruket i to ulike idrettshaller. Målet er å finne ut hvor mye energi som går til ulike energikrevende komponenter i idrettshallene. Det er altså ønskelig å se hvor stort forbruk som er fra ventilasjonsanlegget, oppvarming av hallen, belysningen og diverse annet utstyr. Det er valgt

1.3. Struktur

å gå videre med Rosenberg idrettshall fra prosjektoppgaven, samt tilføye Rollag idrettshall. Rosenberg idrettshall hadde lavest energiforbruk av de utvalgte hallene i prosjektoppgaven, og er dermed interessant for videre arbeid. Rollag idrettshall er bygget i treelementer, og er en spennende idrettshall å sammenligne energiforbruk med. Det skal brukes ulike energimålere til de forskjellige komponentene for å registrere energiforbruket over en måleperiode satt til én uke for hver hall.

1.3 Struktur

Rapporten er delt inn i syv kapitler. I Kapittel 2 fremstilles gjennomføringsmetodene benyttet i dette masterprosjektet. Deretter vil en oversikt over påvirkningsfaktorer i idrettshaller med tanke på energi, legges frem i Kapittel 3. Tekniske installasjoner i idrettshaller, samt konstruksjonsløsninger og nyere forskning vil også presenteres i sistnevnte kapittel. Videre introduseres de to utvalgte hallene i Kapittel 4. Deres oppbygging, bruksnivå og tekniske installasjoner blir presentert. Kapittel 5 består av resultatene for målingene. Her vil også spesielle tilfeller i måleprosessen legges frem. I etterfølge av resultatene vil det i Kapittel 6 fremlegges diskusjon av utfallet for hallene, og sammenligning av de utvalgte hallene. Tilslutt vil konklusjonen og mulig videre arbeid bli presentert i Kapittel 7.

1.4 Begrensninger

Masterprosjektet er begrenset til tørre, rene idrettshaller på størrelse med en håndballbane. Varmetap og andre bygningsmessige hensyn er ikke tatt med i vurderingene. Det er heller ikke lagt vekt på kostnader i forhold til energibruk i denne masteroppgaven.

KAPITTEL 2

METODE

I dette kapitlet vil redegjørelse for valg av metode for denne masteroppgaven fremkomme. Ettersom hovedmålet med dette prosjektet er å sammenligne og fremstille idrettshallenes spesifikke energibruk, har flere metoder blitt tatt i bruk.

2.1 Kvantitativ og kvalitativ metode

Det er flere metoder å behandle informasjon på. Dalland (2010) beskriver de to mulighetene kvantitativ og kvalitativ metode. Kvantitative metoder går ut på å tallfeste og analysere ved å legge vekt på målbare resultater. Det er ofte få opplysninger om mange undersøkelsesenheter der presisjon er nødvendig og av stor relevans. Mulighet for å etterprøve metodene er viktig. Kvalitative metoder tar for seg viktig tekstlig informasjon. Det er ofte mange opplysninger om få undersøkelsesenheter der relevans er svært viktig. Nærmere forklaring og forskjeller på metodene er fremstilt i Tabell 2.1.

Tabell 2.1: Kvantitativ og kvalitativ metode (Dalland, 2010)

Kvantitativ metode	Kvalitativ metode
Presisjon	Relevans
Tallbasert	Tekstlig
Gjennomsnittlig	Særegent
Forklaring	Forståelse
Jeg-det forhold	Jeg-du forhold

2.2 Valg av metode

For å finne best mulig egnet metode for å svare på problemstillingene, er det viktig å få et klart bilde av hva målet med oppgaven er. Metodevalget bør være basert på tilgjengelighet samt relevans. En kombinasjon av metoder kan være med på å få et bedre og grundigere vurderingsgrunnlag. Ved å bruke kvalitativ informasjon til å beskrive det kvantitative kan en oppnå en større forståelse av problemet og løsningen. Ved valg av metode er det også viktig å finne den mest realistiske metoden i forhold til tidsmessige krav, og ikke minst det økonomiske aspektet. For denne masteroppgaven på 30 studiepoeng er både tid og økonomi begrenset, og metodene bør forholde seg til dette.

Denne masteroppgaven har som hovedmål å sammenligne to utvalgte idrettshaller og deres faktiske energibruk fordelt på ulike komponenter. Første mål var å samle inn nok informasjon om energikrevende systemer i idrettshaller, og andre faktorer som påvirker energibruken. I den sammenheng ble litteratursøk brukt som metode. Litteratursøk er nødvendig for å finne relevante forskningsartikler og bøker.

Andre del av masterprosjektet gikk ut på å vurdere energibruken i de utvalgte hallene. Siden begge hallene er kommunale haller, var informasjonsinnhenting fra de aktuelle kommunene nødvendig. For å kunne vurdere energibruk i ulike komponenter i hallene ble ulike energimålere brukt. Annen type måleutstyr for å kunne gi en helhetlig vurdering var også av betydning. Da måleresultatene var lagt fram, var også hallenes prosjekterte energiforbruk en viktig sammenligningsparameter. Dermed ble også energiberegningsprogrammer benyttet.

Dermed falt metodevalget på henholdsvis **litteratursøk**, **energimålinger**, **innhenting av data fra Trondheim og Rollag kommune**, og **energiberegningsprogrammer**.

2.3 Litteraturstudium

Den første fasen av prosjektoppgaven ble brukt til å søke etter relevant informasjon om energiforsyning og løsninger for idrettshaller. Både fagbøker, forskningsartikler, standarder, forskrifter og tidligere gjennomførte masteroppgaver er benyttet for å innhente nok informasjon. Søkemotorer på internett ble benyttet regelmessig, der følgende ga best resultater;

- **BIBSYS** - BIBSYS er NTNU universitetsbiblioteks beholdningsdatabase. Dette er en felleskatalog for flere universiteter og høyskoler i Norge, og gir oversikt over bibliotekenes beholdning av diverse bøker, artikler og lignende. BIBSYS Ask brukes til å søke etter dokumenter for å finne ut hvor de befinner seg og hva som finnes i elektronisk og i papirformat ved bibliotekene. Her kan det både finnes bøker, tidsskrifter, konferanser, masteroppgaver, aviser, CDer og lignende. BIBSYS kan derimot ikke benyttes hvis det søkes etter enkeltartikler. I disse tilfellene ble andre bibliografiske databaser tatt i bruk.
- **Google Scholar** - Google Scholar er Google sin database for vitenskaplige artikler. Her vil et søk i databasen lete gjennom hele teksten i alle type artikler, bøker og lignende. Google Scholar dekker større deler enn det andre databaser gjør, som for eksempel Scopus. Ulempen med denne søkemotoren er at søkemulighetene er begrenset og at treffene ikke alltid er like godt kvalitetssikret.
- **Elsevier** - Elsevier er et forlag for vitenskaplige og medisinske artikler. De publiserer 250 000 artikler hvert år i 2000 journaler (*Elsevier*, 2013), og i forbindelse med energi publiserer de over 30 høyt respekterte journaler.

2.3.1 Vurdering av kilder og artikler

Et litteratursøk kan resultere i svært mange treff på søkeordene som er benyttet. Det er viktig å sortere ut hvilke kilder som er av relevans for oppgavens mål. I tillegg er det viktig å finne pålitelige kilder. Ved å bruke de overnevnte søkemotorene er man sikret relativt pålitelige resultater. I dette tilfellet der energibruk står i fokus, var kilder fra nyere tid av høy relevans. Energibruk og krav har forandret seg

2.4. Energimålinger og innhenting av data

gjennom årene, og dermed er nyere forskningsartikler mer relatert til kravet om mer energieffektive løsninger.

Ved funn av relevante artikler kan man finne ut av om kilden er av primær eller sekundær orden. Primærkilden er altså den opprinnelige kilden. Ved å benytte seg av informasjon i en sekundærkilde er det meget viktig å oppsøke primærkilden for eksakt informasjon og bekreftelse.

2.4 Energimålinger og innhenting av data

I prosjektoppgaven ble hallenes energibruk hentet ut fra Trondheim Krafts nettsider (*EOS-loggen ENTRO*, 2013). Her er det totale energibruket registrert, kun separert på fjernvarme og elektrisitet. For denne masteroppgaven har forbruket for enkelte komponenter i hallanlegget blitt målt. Metodene for de forskjellige målingene presenteres nedenfor.

2.4.1 Innhenting av data

For innhenting av informasjon om de utvalgte idrettshallene har både Trondheim kommune og Rollag kommune vært meget gode kilder da begge hallene er kommunale. I forhold til Rosenborg idrettshall har Trondheim kommune tilgang på vesentlig informasjon om energibruket og driften av idrettshallen. Sentrale driftsstyringsanlegg, heretter kalt SD-anlegg, er installert i Rosenborghallen og har gjort det lettere å hente ut informasjon om driftstider, oppbygging av oppvarmingssystemet og ventilasjonssystemet. Med tanke på energiforbruket i Rosenborghallen er dette registrert på Trondheim Kraft sine hjemmesider og fungerer som et fakturagrunnlag for Trondheim kommune. Her har det totale energiforbruket som er fordelt på fjernvarmeforbruk og elforbruk, blitt hentet ut.

Rollaghallens totale energiforbruk ble hentet ut fra kundesidene til energioppfølgingselskapet kalt *Esave*. Energibruken blir automatisk hentet opp på denne siden fra Rollag Elverk som Rollaghallen er koblet opp mot. Annen informasjon om hallene ble forespurt av forskjellige personer knyttet til Rollaghallen.

2.4.2 Energimåling: vannbåren varme

Både Rollag og Rosenborg idrettshall benytter vannbåren varme til oppvarming av ventilasjonsluften, tappevann, radiatorer og eventuelt annen romoppvarming. For å måle energibruket i disse komponentene ble det benyttet en mengdemåler som monteres på utsiden av det aktuelle røret. Instrumentet *Portaflow 220* ble brukt til dette formålet. Måleren bruker ultralyd til å registrere vannmengden i røret, og ved hjelp av denne teknikken vil instrumentet være kompatibel med ulike rørmaterialer og -størrelser. Portaflows to transdusere som festes til vannrøret sammenligner tiden det tar for å transmittere et ultralydsignal i hver retning (Portaflow, 2014). Ved å sette opp måleren med riktig rørdiameter, material og væsketype, regner instrumentet ut vannhastigheten og således vannmengden i volum. En USB-logger av merket *Easy-Log* ble koblet til mengdemålerinstrumentet via en 4-20 mA utgang. Loggeren registrerte hvor mange liter vann som passerte detektorene hvert minutt. For å kunne regne ut nøyaktig energibruk var det nødvendig å måle temperaturdifferansen på tur- og returvannet i systemet. En temperaturmåler fra produsenten *HOBOWare* ble montert for hver shuntgruppe som ble målt. For å beregne energibruken ble Formel 2.1 brukt;

$$E = \frac{m \cdot \Delta T \cdot c}{3600} [kWh] \quad (2.1)$$

C står for vannets varmekapasitet og er på omtrent $4,184 \text{ kJ/kgK}$. Mengdemåleren logger altså antall liter vann som passerte detektorene i minuttet som en prosentandel av maks vannmengde, og dermed ble det loggede tallet multiplisert med maksimal vannmengde for å finne faktisk vannmengde. Som vist i Formel 2.1 blir dette multiplisert med ΔT . Tallene har blitt summert opp for å finne verdien per time, og tilslutt har summen blitt dividert med 3600 sekunder. Effekten av den vannbårene varmen er dermed funnet, og tilsvarer energibruken per time.

2.4.3 Energimåling: elektrisitet

For å se på elforbruket som går til belysning og ventilasjonsanlegget ble hver av kursene målt med et wattmeter. Siden begge hallene er utstyrt med et 3-fase anlegg var det nødvendig med utstyr som støttet dette. Produktet *WattNode* er en

spennings- og strømmåler som genererer pulser proporsjonalt med effekten og støtter en 3-fase Deltakobling av 480 V. Måleren ble først bestilt i modellen som tåler 240 V ved en feil, før måleren på 480 V ble bestilt i ettertid. Instrumentet kom i en pakke som inneholdt strømtransformatorer og spenningsledninger. Strømtransformatorer på 250 A ble klippet rundt linjespenningslederne til den aktuelle kursen med de respektive linjespenningsinngangene. Instrumentet er kompatibelt med pulsinngangsloggere, og en logger fra *HOBOWare* ble benyttet. Loggeren ble stilt inn slik at én puls tilsvarte 1 Wh. Loggeren registrerer antall pulser per minutt. Med i brukermanualen for instrumentet følger en tabell med skaleringsfaktorer med benevnelse WHpP, som står for *Watt-timer per puls* (Continental Control Systems, 2011). Med strømtransformatorer på 250 A og instrumenter som støtter 240 V og 480 V, ga dette skaleringsfaktorer på henholdsvis 6,250 WHpP og 14,427 WHpP. For å beregne energibruken ble Formel 2.2 benyttet;

$$E = WHpP \cdot p \quad (2.2)$$

Variabelen p angir antall pulser hver time. Pulsene som registreres hvert minutt multipliseres med skaleringsfaktoren, før resultatene blir summert opp for å få energibruken per time.

2.4.4 Temperatur og relativ fuktighet

For å kunne vurdere funksjonaliteten på ventilasjonsanlegget var temperaturen og den relative fuktigheten i idrettshallen nødvendig å måle. Fire USB-målere av typen *RHT10* ble satt ut i hallene i to forskjellige høyder. To av målerne målte temperatur og relativ fuktighet i omtrent en halvmeter over gulvet, mens de to andre målte tilsvarende ved to til tre meter over gulvet. Samtidig ble en temperatur og RF måler satt utendørs for å måle temperatur og RF i uteluften. Hensikten var for å se om RF og temperatur i hallen ble påvirket av uteverdiene.

2.4.5 Bruksregistrering

For å vurdere energibruken i hallene, ble også antall aktive brukere av hallene registrert. Dette ble gjort ved å sette opp ip-kameraer som tok bilde hver halvtime.

Ip-kameraene er fra merket *Foscam*. Tidsintervallet ble sett på som optimalt da en får med tilstrekkelig med aktivitetsendringer samt utbytting av grupper. Det ble konkludert med at et mindre intervall ville ført til unødvendig mye arbeid med å telle opp og skille ut personer så de ikke blir talt flere ganger. I løpet av skolens brukstimer ville også en halvtime være nok til å registrere en klasse på omtrent 45 minutter. Ved opptelling av antall brukere i løpet av en time, ble det passet på at personer ikke ble talt flere ganger.

Det var nødvendig med ett kamera i hver delhall som var adskilt med skillevegger. Dermed ble det satt opp fire kameraer i Rosenborghallen, og tre kameraer i Rollagshallen. Ip-kameraene var avhengig av en router som kunne gi dem en ip-adresse for å kunne lagre bildene. Dermed ble også en trådløs router satt opp i hallene. Kameraene behøvde strømtilførsel for å ta bilder. Skjøteledninger tilegnet kameraene ble brukt for å kunne sette kameraene høyt nok opp på veggene.

På grunn av personvernloven ble det hengt opp et skilt om bildetaking ved inngangen til hallene. Forklaring om bruk av bildene og kontaktinformasjon ved spørsmål ble skrevet på skiltet.

2.4.6 Sammenligning av teoretisk og faktisk forbruk

For å sammenligne det faktiske energibruket med de teoretiske verdiene til Rosenborg idrettshall, er programmet SIMIEN brukt. For Rosenborghallen er det SWECO som er rådgivende ingeniør for varme, ventilasjon og sanitær, og har dermed laget SIMIEN-filen. Forbruket for 2013 ble brukt i sammenligningen. For Rollag idrettshall har en bygning med tilsvarende konstruksjonsoppbygging blitt brukt, også i programmet SIMIEN. Nødvendig parametere har blitt byttet ut til fordel for Rollagshallens verdier der dette er kjent. Siden Rollagshallen stod ferdig til åpningen i august 2013, har kun månedene fra august til januar blitt sammenlignet med halve årsforbruket fra SIMIEN.

ENERGIBRUK I IDRETTSHALLER

Dette kapitlet omhandler bakgrunnsmateriale for energibruk i idrettshaller. Faktorer som påvirker energibruken, samt komponenter som forbruker energi blir belyst.

3.1 Idrettshaller

Idrettshaller kan ikke sammenlignes med for eksempel boligbygninger eller næringsbygg i forhold til energibruk. Aktivitetsnivået er svært variabelt, og dermed er varme- og ventilasjonsbehovet avhengig av hvilken aktivitet en skal tilfredsstille. Energiforbruket i et idrettsanlegg påvirkes av flere faktorer,

- Bruksvaner
- Besøksstall
- Bruksmønster
- Åpningstider
- Hallens utforming
- Hallens konstruksjon og materialer
- Størrelse
- Oppvarmingssystemer og styringsmuligheter

I tillegg til hallens indre påvirkninger som opplistet ovenfor, er ytre påvirkninger med på å bestemme energibruken til hallen. Vind, temperatur og soltilskudd er viktige faktorer. Den geografiske beliggenheten til det aktuelle bygget har dermed mye å si. Lavere utetemperaturer og lite soltilskudd kan øke energibehovet. I tillegg er romplasseringen i idrettshallen viktig. Noen idrettshaller kan bestå av flere typer

3.1. Idrettshaller

bruksrom som aktivitetshall, garderober, kantine, kontorer og styrkerom. Ønsket temperatur i en spillehall i forhold til en garderobe kan avvike med eksempelvis $5\text{ }^\circ\text{C}$. Dermed er kartlegging og planlegging i forhold til energibruk viktig.

Idrettshaller seg imellom er også varierende i både aktivitetsnivå og operasjonstid. En idrettshall som blir brukt både av skolen på dagtid og senere til idrettslag på kvelden har følgelig et større energibruk enn en idrettshall kun brukt til et formål i en begrenset tid på dagen. Personbelastning har altså mye å si for energibruken. I en idrettshall der aktivitetsnivået (met) er over gjennomsnittet, vil energiavgivningen per person også være høyere enn i andre bygg. Tabell 3.1 viser met-verdiene som er hentet fra The International Life Sciences Institute (Haskell, 2011). Met er forkortelse for metabolsk ekvivalent og angir forbrenningen i forhold til hviletilstand hos et menneske. 1 met tilsvarer 58 W/m^2 kroppsoverflate, der en gjennomsnittsperson vanligvis består av $1,8\text{ m}^2$ kroppsoverflate. Varmeavgivelsen til omgivelsene kan skje på flere måter som stråling, konveksjon, varmeledning, fordunsting og diffusjon.

Tabell 3.1: Personbelastning ved ulike aktiviteter (Haskell, 2011)

	Met	W/m^2	$W/person$
Sittende	1	58	104,4
Støvsuge	3,3	191,4	344,5
Badminton	5,5	319	574,2
Basketball	6,5	377	678,6
Danse	7,8	452,4	814,3
Innebandy	8	464	835,2
Håndball	8	464	835,2

Energibehovet er også avhengig av hvor stort varmetapet fra bygningen er. Dette innebærer transmisjon, ventilasjon og infiltrasjonstap. I følge TEK07 (Statens Bygningstekniske Etat, 2007) skal det totale energibruket for en idrettshall ikke overstige 185 kWh/m^2 . Det vil si at hallene som er bygget etter denne forskriften må følge disse restriksjonene. Den nyere forskriften TEK10 (Statens Bygningstekniske

Etat, 2010) har strengere krav til idrettshallene enn den foregående, da TEK10-kravet er $170 \text{ kWh}/\text{m}^2$. Nylig ble en flerbrukshall i Oslo signert for bygging med passivhusstandard (bygg.no, 2013), men per dags dato er det fortsatt TEK10 som skal følges for idrettshaller. I TEK07 er idrettshallers spesifikke energikrav til de ulike komponentene fremstilt. Tabell 3.2 viser kravene i TEK07, der energibruket er per kvadratmeter oppvarmet areal.

Tabell 3.2: TEK 07 energirammer for idrettshaller

	Romoppvarming	Oppvarming av ventilasjonsluft	Vannoppvarming	Vifter og pumper	Belysning	Teknisk utstyr	Rømkjøling	Kjølebatterier	Totalt
Energibruk [kWh/m^2]	48	40	50	23	21	3	0	0	185

TEK-forskriftenes krav er fremstilt etter Oslo-klimaet. For å sammenligne energiforbruk mot TEK-forskriftene, er det dermed nødvendig å graddagskorrigere forbruket som påvirkes av uteklimaet, slik som romoppvarming. Graddagstallene blir presentert av Enova for hvert år. For å sammenligne en idrettshall i Trondheim med TEK-forskriftene må man vite graddagstallet for Oslo det aktuelle året, samt graddagstallet i Trondheim i samme periode. Formelen for graddagskorrigert energiforbruk blir følgende;

$$E_{GDK} = E_{maalt} \cdot \frac{GDT_{Oslo}}{GDT_{Trondheim}} \quad (3.1)$$

Her er E_{GDK} det graddagskorrigerede energiforbruket, mens E_{maalt} er det målte energiforbruket som er avhengig av uteklimaet. GDT_{Oslo} og $GDT_{Trondheim}$ tilsvarer graddagstallet for det aktuelle året for henholdsvis Oslo og Trondheim.

Videre i dette kapittelet blir idrettshallers tekniske installasjoner og konstruksjonsmaterialer belyst.

3.2 Tekniske installasjoner

I en moderne bygning er de tekniske installasjonene meget viktige. Uavhengig av hvor mye energi en bruker i idrettshallene må en finne riktig teknisk løsning for det aktuelle bygget. I dagens situasjon med høye energipriser bør man i større prosjekter satse sterkt på enøktiltak som energifleksibilitet, varmegjenvinning og automatisk regulering. NS3031 viser metoder for beregning av energiytelse, energitap og energibehov for bygninger (Standard Norge, 2011). Tillegg A i standarden fremstiller i tabellform energibehov, varmetilskudd, standard driftstider, luftmengder og kuldebroverdier for ulike bygg, der idrettsbygg er en av dem. En fellesnevner for alle idrettshaller er at energi brukes til følgende prosesser:

- oppvarming
- ventilasjon
- varmtvannsberedning
- kjøling
- belysning
- elektriske apparater

Planlegging og bygging av fleridrettshaller er en brukerveiledning skrevet i samarbeid av Norges Håndballforbund, Norges Basketballforbund og Norges Bandyforbund (2011) og fungerer som en prosessbeskrivelse for treningshaller. Beskrivelsen sier at det skal velges robuste og logiske løsninger for de tekniske systemene slik at man får en energieffektiv drift av hallen. Det anbefales sentral driftskontroll i idrettshaller, slik at styring av de tekniske anleggene kan gjøres eksternt. Opplæring av driftspersonell er viktig i forhold til vedlikehold, inneklima og ikke minst riktig styring av energikrevende systemer. Å vite hvordan systemene fungerer optimalt gir god nytte til de eksisterende tekniske anleggene, og er med på å holde energiforbruket under kontroll.

3.2.1 Romoppvarming

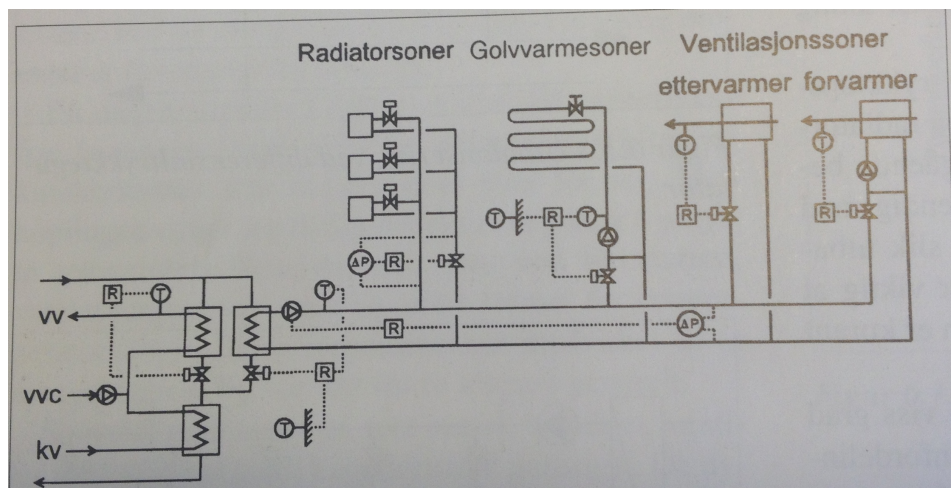
Kultur- og kirkedepartementet (2003) sin veileder "Miljøriktige idrettsbygg" viser til en energistatistikk der gjennomsnittlig kjøpt energi for en idrettshall i 2001 var 238 kWh/m^2 oppvarmet areal. Med god energiplanlegging og tekniske tiltak vil kostnadene kunne reduseres med 30-40 % i følge Kultur- og kirkedepartementet (2003). Ved å benytte solvarme kan en redusere oppvarmingsbehovet i fyringsseksjonen. Vindskjerming i forhold til nærliggende bygninger og trær kan også hjelpe for å redusere oppvarmingsbehovet. Veilederen sier at det er viktig å se på livssyklus-kostnader og ikke bare investeringskostnadene ved vurdering og valg av varmesystem.

Vannbårne varmesystem er mye brukt i idrettshaller, og krever tekniske anlegg for distribusjon av varme. Systemet består av varmegenerator, varmedistribusjonsnett og varmeavgivere. Vannet strømmer gjennom distribusjonsnettet ved hjelp av sirkulasjonspumper, og regulering av mengde kan gjøres ved hjelp av blant annet termostatiske radiatorventiler. Slike systemer er fleksible og kan levere varme til både tappevann, strålevarmepaneler, gulvvarme, radiatorer og ventilasjonsluften. Figur 3.1 viser en skjematisk tegning av et vannbårent fjernvarmesystem med mengde-regulering, og er hentet fra boken *Enøk i Bygninger* (Novakovic et al., 2007).

Oppvarming av en idrettshall stiller ulike krav til fleksibilitet og temperaturer. Brukerveiledningen skrevet av Norges Håndballforbund et al. (2011), foreslår vannbåren varme til oppvarming av idrettshaller. I forhold til selve spillehallen er strålevarmepaneler i taket et egnet løsning. Garderobes anbefales gulvvarme for å holde temperaturen på optimalt nivå på 20°C . Dusjrommene i garderobene er anbefalt temperatur på 22°C . Øvrige rom anbefales en løsning med radiatorer som skal holde temperaturen på 20°C i driftstiden, men kan synke til 16°C ellers.

Vannbårne varmeanlegg har en dyrere investeringskostnad enn oppvarming ved direkte elektrisitet, men det blir stadig forsket på nye løsninger for vannbåren varme. Masteroppgaven skrevet av Smedegård (2012), består av beregninger i forhold til vannbåren varme i store kontorbygg. I følge Smedegårds beregninger kan anleggskostnadene reduseres med omlag 60 % gjennom å utføre ulike tiltak. Noen av tiltakene er behovsvurdering og tilpassing av brukernes behov og installasjon av

3.2. Tekniske installasjoner



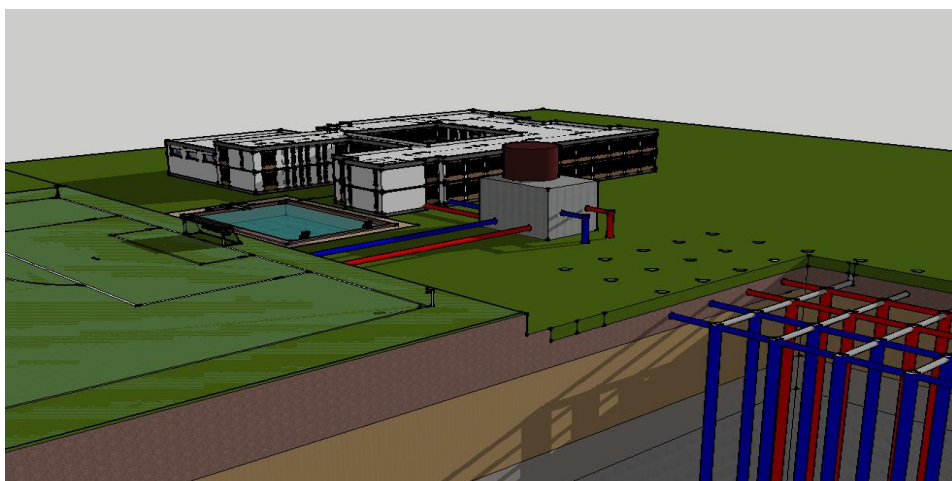
Figur 3.1: Fjernvarmesystem oppbygd med mengderegulering ved termostatiske radiatorventiler (Novakovic et al., 2007)

lavtemperaturanlegg i kombinasjon med varmepumpe. Dette er med på å redusere anleggskostnadene. En annen viktig faktor i reduksjon av kostnader og energibruk er valg av varmeavgiver. Smedegård har sett på effekten av å benytte gulvvarme på et avgrenset areal i et kontorbygg med moderne byggestandard. Denne typen løsning for idrettshaller er svært sjelden. Derimot har Hoved idrettshall i Holtålen kommune installert denne typen varmeløsning. Jens Erik Trøen ved Holtålen kommune (2013) kan fortelle at det ikke har blitt gjort noen energiforbruksmålinger enda, men det forpliktet å rapportere forbruket til Enova. I løpet av våren 2014 skal loggføring av energibruk være i orden. Det var Rambøll og Enova som var rådgivere da valget av gulvvarme ble besluttet. Det er installert flere energimålere for overvåkning av energibruken i hallen. Dermed vil det være lett å finne frem til hvilke komponenter som forbraker mest energi. Resultater fra målerne vil være interessant for videre forskning.

Solenergi er en fremragende fornybar energikilde. Det er flere måter å utnytte solenergien på, for eksempel solstråling gjennom vinduer for å varme opp rommene i en bygning. En kan også operere med solvarmepanel og solcellepanel. De termiske solfangerne varmer opp vann ved solenergi, mens solcellepanel omdanner solenergien til elektrisk strøm. Flintbanen i Tønsberg benytter seg av løsningen med termiske

solfangere på kunstgressbanen (Kvaal, 2007). Konseptet går ut på at vannet i rørene, som er lagt under kunstgressbanen, blir varmet opp av solen på sommeren, for så å benyttes til oppvarming av kunstgressbanen om vinteren. Vannet i systemet er grunnvann fra 125 meter nede i jorden, og blir pumpet opp og sendt i et rørsystem under banen. Det varme vannet blir pumpet ned i berggrunnen for å brukes på kalde dager til oppvarming av kunstgressbanen. Å bruke denne teknikken for oppvarming av en idrettshall ville vært interessant.

Eit-oppgaven *Kunstgressbaner som solfanger i samvirke med skole- og idrettsbygg* tar for seg dette temaet (Aarnes et al., 2010). Solenergien vil i dette tilfellet fanges opp av vannet som sirkulerer i rørene under kunstgressbanen. Derfra vil varmen fraktes ned til det geotermiske lageret der varmen lagres sammen med overskuddsvarme fra den aktuelle bygningen. Når oppvarmingsbehovet oppstår vil varmen pumpes fra lageret gjennom en varmepumpesentral og øke temperaturen i bygningen. Systemet vil igjen føre det kalde vannet ned i berggrunnen slik at vannet på nytt kan varmes opp. I denne EiT-oppgaven ble det konkludert med at kunstgressbanen kan ta opp 4 % av solinnstrålingen, som vil si 371 MWh solenergi i løpet av et år. Hvor vidt dette er fysisk mulig gjenstår å se. Figur 3.2 viser skissetegningen av skole- og idrettsbyggets varmedeponering i grunnen.



Figur 3.2: Skissetegning av skole- og idrettsbyggets varmedeponering i grunnen (Aarnes et al., 2010)

3.2.2 Ventilasjonsanlegg

Ventilasjonsanlegg består av flere energikrevende komponenter. Hovedforbrukerne av energi er tillufts- og avtrekksvifte, samt oppvarming av ventilasjonsluften. Med en varmegjenvinner i systemet vil også denne forbruke energi.

Kultur- og kirke departementet (2003) sin veileder for miljøriktige idrettshaller, forteller om tiltak som at varmegjenvinneren bør ha en virkningsgrad på over 70 %. På den måten blir ikke ferdig oppvarmet avtrekksluft sendt direkte ut, men overfører varmeenergi til tilluftstemperaturen. Behovsstyrt ventilasjon er viktig i forhold til idrettshallers ulike rom, som for eksempel forskjellig luftutskiftningsbehov for garderobes, kontor/resepsjon og spillehallen. Styringsmuligheter fra et SD-anlegg, er viktig for å utnytte ventilasjonsanlegget optimalt. I tilfeller der utetemperaturen er relativt høy kan ventilasjonen alene være god nok oppvarmingskilde for spillehallen.

Brukerveiledningen *Planlegging og bygging av fleridrettshaller* anbefaler at ventilasjonsanlegget bør ha balansert ventilasjon med varmegjenvinner, der luftmengden kan reduseres til minimum utenfor driftstiden. I selve spillehallen bør ventilasjonsanlegget styres etter behov med VAV, Variable Air Volume. I garderobes og øvrige rom bør ventilasjonsluftmengden være konstant i brukstiden. (Norges Håndballforbund et al., 2011)

En måte å vurdere viftenes energieffektivitet i ventilasjonsanlegget, er ved faktoren SFP, *Specific Fan Power*. I følge veiledningen fra Kultur- og kirke departementet (2003), bør ikke SFP overstige 1,5, men hvis ventilasjonsanlegg er installert med VAV-spjeld, økes grensen med 1,0 ved maksimal luftmengde. Formel 3.2 viser beregning av SFP.

$$SFP = \frac{\Sigma P}{\dot{V}} \quad (3.2)$$

ΣP står for samlet vifteeffekt i ventilasjonsanlegget, mens \dot{V} er luftmengden ved m^3/sek .

3.2.3 Varmtvannsforsyning

Varmtvannsforbruket i en idrettshall kommer helt an på størrelsen på garderobe-anlegget, og om bygningen i det hele tatt har dusjanlegg. Etter 1973 ble prisene på vann og energi høyere, og dermed ble det nødvendig med sparetiltak (Novakovic et al., 2007). Nyere idrettshaller er normalt utstyrt med tidsinnstilte sparedusjer for å sørge for unødvendig forbruk av varmtvann. En varmegjenvinner er en viktig installasjon for å utnytte varmen fra spillvannet i anlegget.

Dusj i idrettsanlegg er en tverrfaglig EiT-oppgave skrevet av masterstudenter ved NTNU våren 2014 (Undebakke et al., 2014). Oppgaven tar utgangspunkt i garderobe-anlegg i gymsaler og svømmehaller. Etter spørreundersøkelser ved flere ungdomsskoler i landet viste det seg at omtrent 37 % av deltakerne ikke dusjer etter gymtimen. Jenteandelen som ikke dusjer tilsvarende omtrent 55 %, der over 25 % av de som ikke dusjer sier de egentlig har behov for det. Undersøkelsens resultater viser at andelen av de som ville dusjet øker betydelig fra åpen løsning til skillevegger eller lukket løsning. Hele 97 % sier de ville dusjet om det var lukket løsning, i motsetning til 72 % ved åpen løsning. Lærere ved de utvalgte skolene merker en stadig økende trend ved å ikke dusje etter gymtimen, og mye av grunnen kan være økt bruk av mobiltelefoner med kamerafunksjoner, samt økende fokus på kropp.

Det er ikke bare forbruket av tappevann i dusjanleggene som forbruker energi. Vann til rengjøring av hall er en viktig parameter, og dette bør være lett tilgjengelig i hallene. Kjøkken og kantineløsninger øker også forbruket av varmt tappevann.

3.2.4 Kjøling

For et idrettsbygg er det ønskelig å unngå energibruk i forbindelse med kjøling. For å unngå kjøling er det viktig med tiltak som skjermer bygningen for stort solvarmetilskudd (Kultur- og kirke departementet, 2003). Dette kan for eksempel være ved å unngå bruk av store glassflater, og bruke skyggeløsninger ved store solutsatte fasader. I Kultur- og kirke departementet (2003) sin veileder foreslås det å benytte seg av kjøling med uteluft hvis kjøling likevel er nødvendig. Det vil også være et nyttig tiltak å benytte pumper med lavt energibruk i kjøleanlegget. Unødvendig varmetilførsel fra belysning bør også unngås.

3.2. Tekniske installasjoner

Artikkelen for Ingeniørnytt av Stokvik og Enova (2013) beskriver tiltak for å spare kostnadene ved kjøling. Følgende tiltak ble presentert;

- Planlegge nybygg riktig
- Plassering av bygget – unngå store glassarealer på solutsatte flater
- Persienner
- Bruke teknisk utstyr og lyskilder som avgir minst mulig varme
- Styringsautomatikk på tekniske anlegg
- Unngå konflikt mellom oppvarming og kjøling
- Bruke SIMIEN til å beregne kjølebehov og energibudsjett
- Benytte vannbårne kjølebatterier i ventilasjonsanlegget
- Lokale kjølebaffler
- Solavskjerming

Selv om kjøling helst burde unngås er det krav i TEK10 (Statens Bygningstekniske Etat, 2010) til inneklimate og maksimalt tillatt innetemperatur. Høyeste grensen for temperatur er 26 °C. Unntak fra denne regelen vil være på varme sommerdager der utetemperaturen overskrider dimensjonerende sommertemperatur utendørs. Grensen er på 50 timer på et normalår, altså at maksimal tillatt innetemperatur på 26 °C kan kun overstiges i 50 timer ved utetemperatur som overskrider dimensjonerende temperatur.

3.2.5 Belysning

Belysning er sammen med ventilasjonsaggregatet, den installasjonen som forbruker mest elektrisk energi i et idrettsanlegg. I følge prosessbeskrivelsen *Planlegging og bygging av fleridrettshaller* (Norges Håndballforbund et al., 2011) bør en idrettshall tilfredsstillende de ulike idrettens belysningskrav. Belysningen trenger energi fra direkte elektrisitet. I forhold til energibruk er det viktig at belysningen ikke blir brukt som en oppvarmingskilde i rommene. Primærenergi bør brukes der dette er den eneste løsningen. Oppvarming kan altså utføres ved hjelp av sekundærkilder

som vannbårent varmesystem. Normal effekt for belysning i en idrettshall er mellom 10-20 W/m^2 (Kultur- og kirkedepartementet, 2003).

I en idrettshall der mange ulike personer benytter hallfasilitetene, kan belysningen gjerne bli stående påslått unødvendig lenge. Ofte tenker en ikke på å slå av et lys i et rom der en ikke selv har ansvar, og dermed kan belysningen bli stående påslått over lengre perioder. Automatisk lysstyring vil være med på å optimalisere energiforbruket i forhold til belysning. Bevegelsensensorer sørger for at lyset i det aktuelle rommet slår seg på ved en registrert bevegelse, og slår seg av etter bevegelsene har stoppet. Dette kan føre til et mindre forbruk av elektrisk energi vedrørende belysning i idrettshaller.

I fellesområder som ganger og foajeer, vil det være mest hensiktsmessig å utnytte naturlig lys om dagen ved å sette disse plassene til arealer med vinduer. Belysning på kvelden bør begrenses til kun det nødvendige som er beskrevet i arbeidsmiljøloven (Novakovic et al., 2007). Belysningssystemer som er knyttet opp mot et SD-anlegg kan gi større oversikt over energibruken. Overstyring fra SD-anlegget kan sørge for at eksempelvis belysning ikke står på i løpet av natten, da det ikke er nødvendig med lys. Andre ganger, der det ikke kreves betydelig mye lys, kan forskjellige lysnivåer sørge for å redusere energiforbruket.

3.2.6 Utstyr som bruker elektrisitet

Utstyr som er avhengig av elektrisitet for å fungere, er med på å påvirke det totale energiforbruket i en hall. Utstyr som motorbaserte basketballkurver eller lokk til turngroper og lignende, er typiske momenter i en idrettshall. Andre komponenter som kompressorer, høytaleranlegg, datamaskiner vil også gi et høyere forbruk. Ofte er idrettshaller bestående av kantine eller kjøkken, som øker energiforbruket i form av kjøleskap, oppvaskmaskin og lignende. Noe av dette utstyret forbruker energi uavhengig av tidspunkt eller besøkstallet, og gir et energiforbruk på natten også. For andre apparater vil installasjon av styringsautomatikk være optimalt. Varmetilskudd fra ulike apparater er ikke ønskelig, da energibruk til kjøling helst vil unngås.

3.3 Konstruksjonsmaterialer

Konstruksjonsløsningen til en bygning kan påvirke energiforbruket. I dette kapitlet vil materialer som tre og plastduk bekjentgjøres.

3.3.1 Trekonstruksjoner

I bygg- og anleggsbransjen er miljøfokuset stadig økende. I miljøfokuset ligger blant annet materialvalg, effektiv byggeprosess og redusering av energibruk både i gjennomføringsfasen og driftsfasen. En annen faktor er også trivsel og helse ved godt innneklima i bygningen. En annen bekymringsfaktor er klimagassutslippene i forbindelse bygg. I følge forskningssenteret ZEB (NTNU & SINTEF, 2014) har bygg i Norge et energiforbruk som tilsvarer 36 % av det totale energibruket i landet. Mesteparten av dette forbruket dekkes av elektrisitet på grunn av god tilgang på rimelig vannkraft. Forskningssenteret sier også at for fremtidens bygninger vil over halvparten av energibruken i bygnings levetid omhandle produksjon av bygningsmaterialene. Valg av byggematerialer, og hvordan de produseres og transporteres bør vurderes nøye i prosjekteringsfasen. Planlegging og bevisstgjøring av konsekvenser kan redusere energibruken samt klimautslippet ved blant annet fremstilling av materialer. Trematerialer er en fornybar, og ikke minst en lokal ressurs, som gir relativt lave produksjonsutslipp. Transportlengden kan reduseres ved å benytte seg av lokalt treverk, og dermed vil også energi og klimagassutslipp reduseres.

Bruk av tre til bygging kan økes betraktelig hvis næringen satser på innovasjon og produksjon. Regjeringen jobber mot bredere kunnskap og utvikling i forhold til de skogbaserte verdikjedene (Regjeringen Stoltenberg II, 2013). Prosjektet er kalt SKOG22 og skal utarbeide en langsiktig strategi for forskning og innovasjon på området, og for å øke konkurransevnen. Dette kan bidra til nye tekniske løsninger som kan konkurrere med allerede mye brukte systemer med stål og betong. De sistnevnte løsningene blir oftere benyttet da en har mer erfaring med disse systemene. Med mer forskning og testing av trebaserte systemer kan en øke sjansen for valg av nettopp denne typen løsning ved prosjektering av et nytt bygg.

For at trebaserte bygninger skal bygges er det viktig at løsningene ivaretar egenskaper som arkitektur, styrke og stivhet, lyd og brannegenskaper, og ikke minst

kostnadseffektiv produksjon. Det begynner å bli flere produsenter som satser på trebaserte produkter. Blant annet er massivtre et trebasert produkt som oppfyller nødvendige krav. Bruk av massivtre er ikke bare miljøvennlig, men kan sørge for færre ekstraelementer til avstivning da produktet tåler meget store spenn. Massivtre er oppbygd av flere sjikt med lameller. Festingen av treelementene kan skje ved lim som også skal være av biologiske nedbrytbare materialer. Elementene kan brukes som blant annet gulv, tak og vegger

Massivtre kan som nevnt erstatte flere sjikt. Produktet kan fungere som isolasjon, selv om mange bygninger krever enda et lag med isolasjon for å innfri kravene om U-verdi og varmetap etter Standard Norge (2011).

3.3.2 Overtrykkshaller

Overtrykkshaller, eller plashaller, er konstruksjoner der et innvendig overtrykk er nødvendig for å sikre bæreevnen. Konstruksjonens fundament beregnes kun for oppløft da trykket er gitt av ventilasjonsanlegget fungerer som selve bærekonstruksjonen. Hallens fasade består av en sammenhengende plastduk. Overtrykkshaller kan settes opp på meget kort tid, som fører til mindre kostnader og energibruk i byggeprosessen. Dette er en av de store fordelene med plashaller. Som et eksempel ble en overtrykkshall i Trondheim, Leangen plashall, satt opp på rekordtid i 2011. Det tok omtrentlig tre måneder fra byggestart til plashallen var klar til bruk (Mette Marie Aase ved Trondheim Kommune, 2013).

Som sagt krever overtrykkshaller et konstant overtrykk gitt av ventilasjonsanlegget. Dette fører til et meget høyt energiforbruk. Viftene i ventilasjonsanlegget må være i konstant hastighet gjennom hele døgnet. Leangen overtrykkshall har et ventilasjonsanlegg bestående av to vifter som går døgkontinuerlig. Hver av viftene bruker 11 kW. Dette tilsvarer et årlig energiforbruk på;

$$E = 2 \cdot 11kW \cdot 24h \cdot 365dager = 192.720kWh \quad (3.3)$$

Med et flateareal på 2650 m² gir dette et forbruk på 73 kWh/m². Til sammenligning er kravene i TEK 07 (Statens Bygningstekniske Etat, 2007) for vifter i posten *vifter og pumper* 23 kWh/m².

UTVALGTE IDRETTSHALLER

I dette kapittelet er Rosenborg og Rollag idrettshall presentert.

4.1 Rosenborg idrettshall

Den gamle Rosenborghallen ble bygd i 1968 og ble vurdert rehabilitert i 2007. I stedet ble hallen revet i 2008 til fordel for en ny idrettshall som stod klar 1. januar 2010. Hallen ligger rett ved siden av Rosenborg ungdomsskole som benytter hallen på dagtid i ukedagene. Fra klokken 16.00 til 23.00 kan idretten reservere hallen. Hallen er bygd etter målene for en håndballbane, men hallens oppmerkingen, samt utstyr, ligger til rette for andre idretter i tillegg. Basketball, innebandy, turn og volleyball er noen eksempler på idretter som regelmessig bruker hallen. Vedlegg C viser et eksempel på bruksmønsteret i hallen første uken i februar 2014.

Hallen er et rektangulært bygg med stålbearersystem og gitterdragere, og består av tre etasjer. Kledningen er av hvit tegl, og taket er av stålplater. Det totale arealet er $2849 m^2$, der $2724 m^2$ utgjør oppvarmet areal. Selve spilleflaten er på $1030 m^2$, og ligger i andreetasje i bygget. Bygningen består av forskjellige rom;

- 1 håndballhall
- 6 garderober
- 4 dommer/personalgarderober
- 1 legekantor
- 4 apparatrom/lager
- styrkerom
- tribune

4.1. Rosenborg idrettshall

Romfordelingen for byggets tre etasjer er vist i Vedlegg B.1. Hovedinngangen befinner seg i underetasjen der også garderobene på tilsammen 325 m^2 , samt resepsjon, møterom og kjøkken ligger. I hallens øvre etasjer ligger spillehallen, lager, tribune og legekontor. Hallens to nedre etasjer har egne renholdsrom for enklere og bedre utførelse av rengjøringen. Figur 4.1 viser Rosenborg idrettshall med utsikt til tribunen.



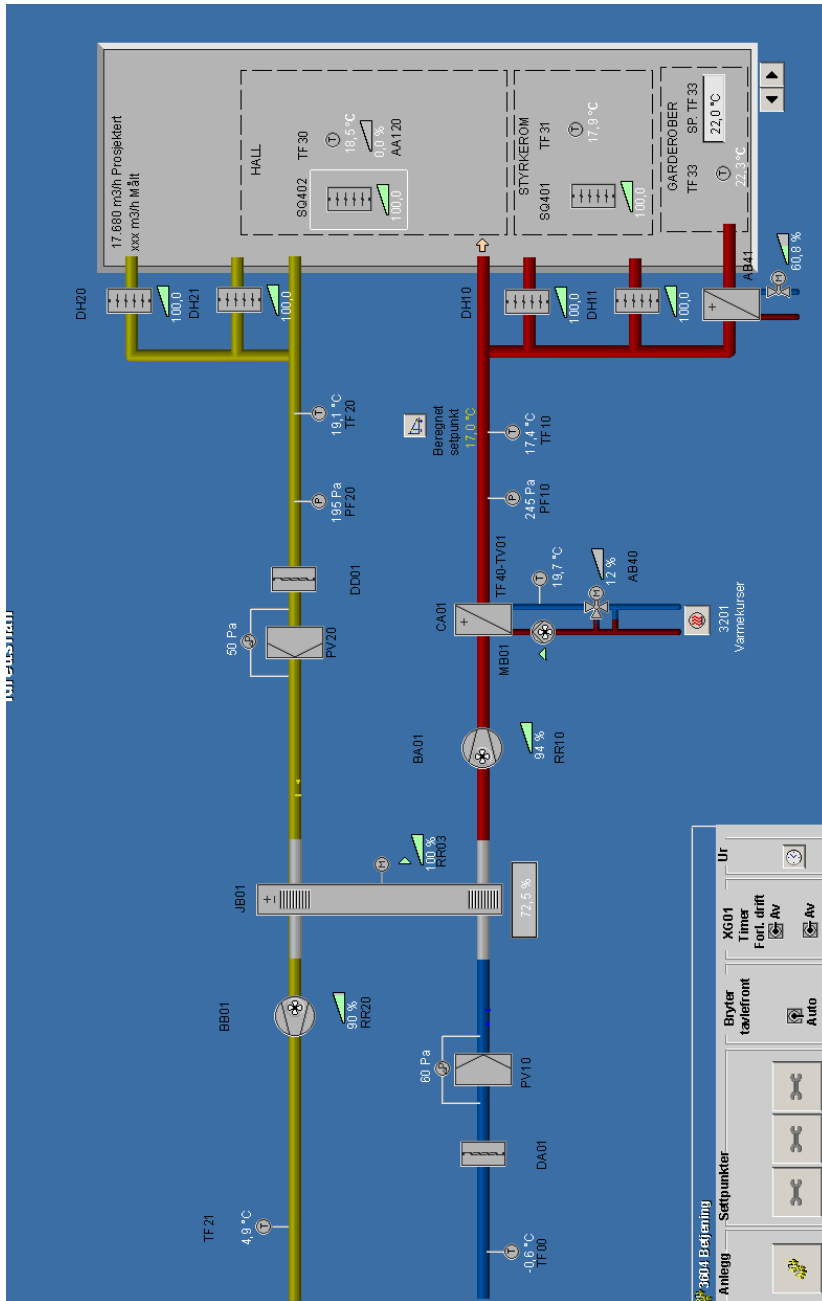
Figur 4.1: Rosenborg idrettshall

Rosenborg idrettshalls tekniske installasjoner er koblet opp mot et SD-anlegg styrt av Trondheim Kommune. SD-anlegget er fra produsenten SIEMENS og kontrollerer blant annet ventilasjonsanlegget og varmeanlegget. Hvis det skulle være nødvendig kan SD-anlegget overstyres fra hallen. SIEMENS kan foreta logginger på enkelte av komponentene hvis ønskelig, men dette gjøres ikke på nåværende tidspunkt.

4.1.1 Ventilasjonsanlegget

Rosenborgs ventilasjonsanlegg er installert med et VAV-spjeld som sørger for behovsstyrt ventilasjon, altså variabel luftmengde. Friskluft trekkes inn i systemet der filteret sørger for å filtrere ut uønskede gjenstander og sende ren luft videre. Luften treffer så en roterende varmegjenvinner med virkningsgrad på 72,5 %. Om luften som sendes inn i de forskjellige rommene trenger ytterligere oppvarming vil varmebatteriet sørge for dette. Varme batteriet er en del av sentralvarmesystemet i hallen. Ventilasjonsluftens tilluftstemperatur reguleres etter romtemperaturen i det aktuelle rommet. For selve spillehallen er ønsket temperatur 16 °C. En temperaturmåler ved avtrekksluftens inngang i ventilasjonssystemet sørger for avtrekkskompansert tilluftstemperatur. For styrkerommet og garderobene er ønsket temperatur henholdsvis 18 °C og 22 °C. Figur 4.2 viser ventilasjonsanleggets oppsett, og er et øyeblikksbilde fra 7. november 2013, mellom klokken 9.00 og 10.00. Av Figur 4.2 ser man at den reelle øyeblikkstemperaturen i spillehallen er 18,5 °C. Dette er 2,5 °C mer enn optimal temperatur. Dette kan skyldes en pågående aktivitetstime i hallen på det tidspunktet skjermbildet ble tatt.

4.1. Rosenborg idrettshall



Figur 4.2: Ventilasjonsanlegget i Rosenborghallen (Trondheim Kommune, 2013)

Figur 4.2 viser tilluftsviften og avtrekksviften med benevnelsene *RR10* og *RR20*. Disse er installert med en frekvensomformer. En frekvensomformer installeres for å kunne gi en vekselspenningsmotor som er koblet til et fast elektrisk nett mulighet til å variere turtall og spenning. Rosenborgs ventilasjonsanlegg er installert med et VAV-spjeld, der frekvensomformerer sørger for variabel luftmengde. Frekvensomformerer for tilluftsviften vises i Figur 4.3. På frekvensomformerer kan man lese av både utgangsspenning, utgangsstrøm og frekvens.



Figur 4.3: Frekvensomformerer installert for tilluftsviften i ventilasjonsanlegget i Rosenborghallen

Ventilasjonsanlegget i Rosenborg idrettshall er tidsstyrt slik at anlegget ikke vil bruke unødvendig strøm i løpet av natten. Driftstidene for ventilasjonsanlegget er oppført i Tabell 4.1 og viser hvilket klokkeslett anlegget blir slått på og av.

Tabell 4.1: Ventilasjonsanleggets driftstider i Rosenborghallen

	Anlegget slåes på	Anlegget slåes av	Driftstimer
Mandag	kl 6.30	kl 23.00	16,5
Tirsdag	kl 6.30	kl 23.00	16,5
Onsdag	kl 6.30	kl 23.00	16,5
Torsdag	kl 6.30	kl 23.00	16,5
Fredag	kl 6.30	kl 23.00	16,5
Lørdag	kl 8.00	kl 22.00	14
Søndag	kl 8.00	kl 22.00	14
Totalt antall driftstimer			110,5

I Figur 4.2 ser vi at den prosjekterte avtrekksluftmengden er $17\,680\text{ m}^3/h$. En

4.1. Rosenborg idrettshall

kan dermed finne et omtrentlig forventet varmetap gjennom ventilasjonsanlegget. Utetemperaturen ved det daværende tidspunkt var $-0,6\text{ }^\circ\text{C}$, mens innelufta hadde som sagt en temperatur på $18,6\text{ }^\circ\text{C}$. Ved å bruke luftas varmekapasitet på $0,35\text{ Wh/m}^3\text{K}$, varmevekslerens virkningsgrad på $72,5\%$ og temperaturdifferansen på $19,2\text{ }^\circ\text{C}$ finner vi varmetapet ved ligning 4.1.

$$Q_{vent} = (1-\eta) \cdot \dot{V} \cdot c \cdot \Delta\theta = (1-0,725) \cdot 17680 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 0,35 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \cdot 19,2\text{K} = 32,7\text{kW} \quad (4.1)$$

Med et ukentlig antall driftstimer på $110,5$ timer gir dette et energitap fra ventilasjonsanlegget på

$$E_{vent} = 32,7\text{kW} \cdot 110,5\text{h} = 3.613\text{kWh/uke} \quad (4.2)$$

En måte å vurdere viftenes energieffektivitet i ventilasjonsanlegget, er ved faktoren SFP, *Specific Fan Power*. Prosjektert luftmengde for ventilasjonsanlegget er $17.680\text{ m}^3/\text{h}$, og i følge veilederen fra Kultur- og kirke departementet (2003) bør ikke SFP overstige $1,5$. Siden Rosenborgs ventilasjonsanlegg er installert med VAV-spjeld, økes grensen med $1,0$ ved maksimal luftmengde. Ut i fra formelen for SFP (4.5) bør viftene i ventilasjonsanlegget ha en samlet effekt på;

$$P = 2,5 \cdot \frac{17.680\text{m}^3/\text{h}}{3600\text{s}} = 12,3\text{kW} \quad (4.3)$$

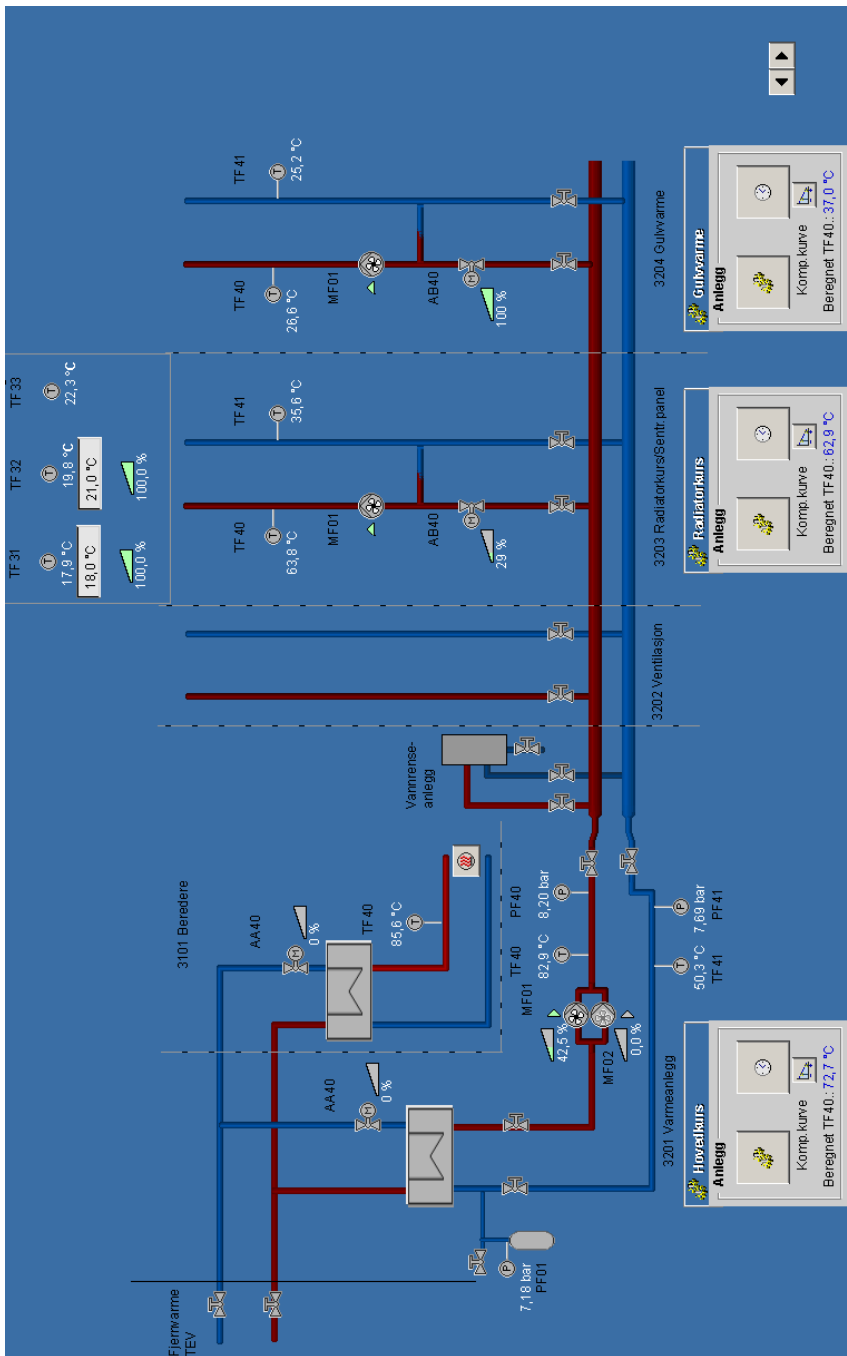
4.1.2 Fjernvarmeanlegget

Som oppvarmingskilde benytter Rosenborg idrettshall fjernvarme som er tilgjengelig i Trondheim Kommune. Et skjermbilde av fjernvarmeanleggets oppbygning hentet fra SD-anlegget er vist i Figur 4.4, og er et øyeblikksbilde fra 7. november 2013, mellom klokken 9.00 og 10.00. Fjernvarmeanlegget består av to separate kretser fra samme fjernvarmesentral der en krets fungerer som varmtvannsbereder, og den andre gir varme til ventilasjonsanlegget, radiatorer og gulvvarme. Shuntgruppen for radiatorene gir også varme til strålevarmepanelene i taket selve spillehallen. Gulvvarme brukes utelukkende i garderobene. Distribusjonsnettets er installert med to parallelle sirkulasjonspumper for at fjernvarmeanlegget skal fungere som normalt

selv om den ene pumpen slutter å fungere. På den måten kreves det ikke at anlegget er avslått for å kunne reparere pumpen. Energimåleren for fjernvarmeanlegget er montert foran de to separate kretsene, og måler dermed totalt forbruk for hele bygget.

Varmeanlegget brukes som nevnt til blant annet strålevarme fra taket i spillehallen. Der oppvarming av ventilasjonsluften ikke er tilstrekkelig, vil altså strålevarmen settes på. Dette er innregulert i SD-anlegget ved temperaturfølere. Varmeanlegget, som også brukes til gulvvarme i garderobene og radiatorer ellers i bygget, stilles inn på to nivået kalt *økonomi* og *komfort*. På hverdager står komfortnivået på fra klokken 5.00 til 16.00, ellers i døgnet og i helgen vil anlegget stå på økonomi. Det har ikke vært mulig å fått tak i temperaturverdiene for tilstanden *økonomi*, men det antas å være et par grader under komforttemperatur.

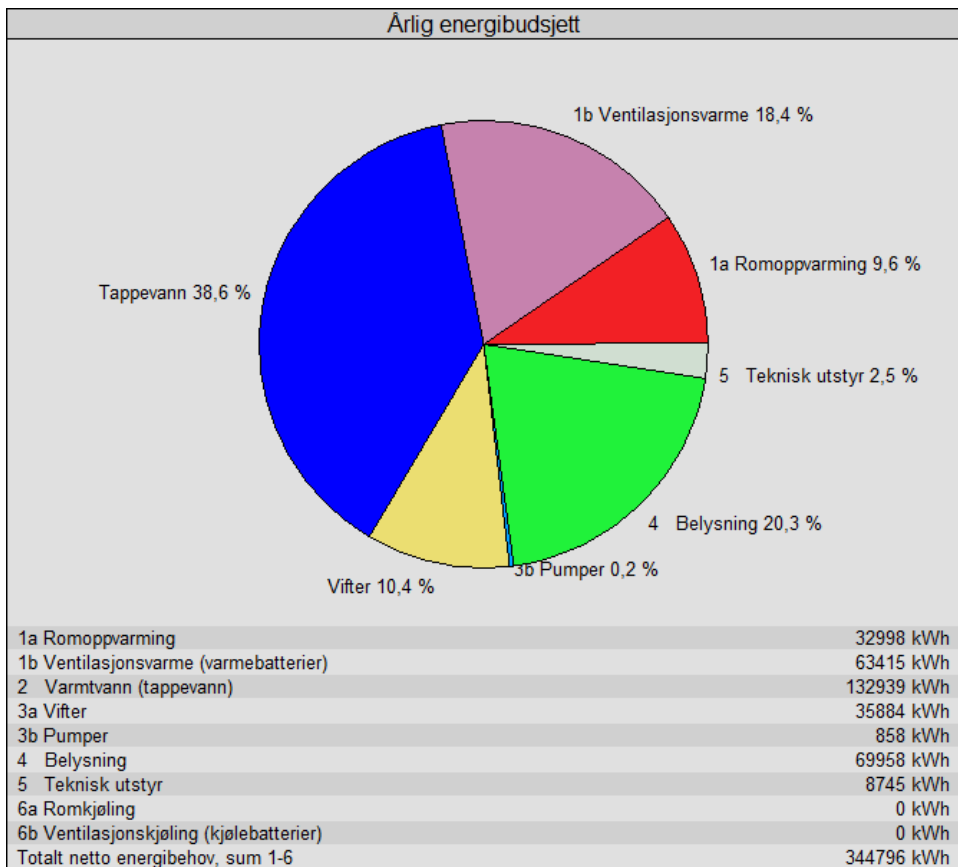
4.1. Rosenberg idrettshall



Figur 4.4: Varmeanlegget i Rosenberg idrettshall (Trondheim Kommune, 2013)

4.1.3 Teoretisk forbruk

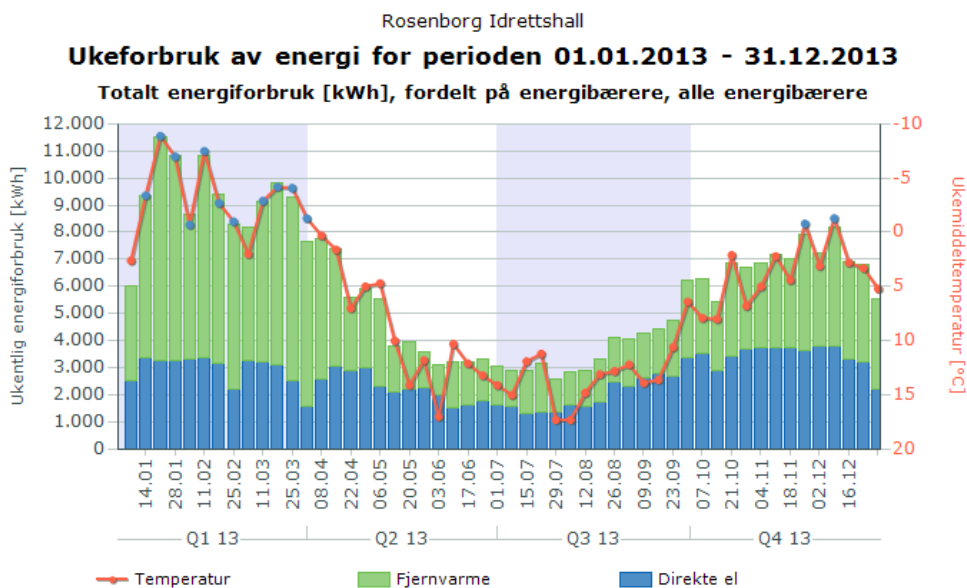
Programmet SIMIEN beregner energiforbruket etter teoretiske verdier fra NS3031. For Rosenborg idrettshall var SWECO rådivende ingeniør på VVS, og har gjennomført en energiberegning for hallen. Beregningen er tatt ut i fra klimadata for Trondheim, slik at forbruket stemmer med den geografiske plasseringen til Rosenborghallen. Figur 4.5 viser energifordelingen i Rosenborghallen, hentet fra årssimuleringsresultatet i SIMIEN. Resultatene viser at det er prosjektert med et forbruk på 344.796 kWh i løpet av et år.



Figur 4.5: Årlig energibudsjett for Rosenborghallen fra SIMIEN

4.1.4 Energiforbruk i 2013

Trondheim Kraft har registrert energiforbruket til deres kunder på energioppfølgingsnettsiden *entro.no*. Nettsiden er kalt Energiguiden Pluss, og har blant annet Rosenborg idrettshalls energiforbruk fra og med hallens oppstart i 2010. Det totale forbruket i hallen er fordelt på kun fjernvarme og elforbruk. For å sammenligne det teoretiske forbruket fra SIMIEN med det faktiske forbruket, er 2013 valgt som representativt år. Totalt energiforbruk for 2013 var 317.024 kWh. Figur 4.6 viser energiforbruket per uke i Rosenborghallen i 2013 (*EOS-loggen ENTRO*, 2013). Den røde grafen i figuren viser ukemiddeltemperaturen for uteluften i Trondheim.



Figur 4.6: Energiforbruket per uke i Rosenborghallen i 2013 (*EOS-loggen ENTRO*, 2013)

Totalt fjernvarmeforbruk for 2013 er 177.724 kWh, mens elkraft er 139.293 kWh. For sammenligning med beregnet teoretisk forbruk, samles postene fra Figur 4.5 til fjernvarme og elkraft. Resultatet fra sammenslåingen av postene i Figur 4.5 og sammenligning av forbruk fremstilles i Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Sammenligning av teoretisk og faktisk energiforbruk i 2013 i Rosenborg-hallen

	Teoretisk forbruk	Faktisk forbruk	Differanse
Elkraft	115.445 <i>kWh</i>	139.293 <i>kWh</i>	+23.848 <i>kWh</i>
Fjernvarme	229.352 <i>kWh</i>	177.724 <i>kWh</i>	-51.628 <i>kWh</i>
Totalt	344.796 <i>kWh</i>	317.024 <i>kWh</i>	-27.772 <i>kWh</i>

Verdiene i siste kolonne viser resultatet der det teoretiske forbruket trekkes fra det faktiske forbruket. Resultatet viser at Rosenborg idrettshall har et høyere energiforbruk med tanke på elkraft. Det totale forbruket ligger dog nesten 28.000 *kWh* under det teoretiske forbruket, som fører til at fjernvarmeforbruket ligger under antatt forbruk. Siden *EOS-loggen ENTRO* (2013) ikke har fordelt energipostene ytterligere, kan ikke dette undersøkes med tanke på hvilken energipost som har størst differanse fra teoretisk forbruk.

For å sammenligne forbruket med kravene fra TEK07 må man graddagskorrigere forbruket. I Kapittel 3 er metoden vist. Siden det ikke er kjent hvor mye av forbruket som er klimaavhengig fra resultatene, antas det at prosentandelen vist i Figur 4.5 er relativt pålitelig. Ventilasjonsvarmen og romoppvarmingen utgjør 28 %, og dermed må tilsvarende graddagkorrigeres i totalforbruket. Dermed blir det korrigerede forbruket;

$$E_k = (0,28 \cdot 317.024 \text{ kWh} \cdot \frac{3.814}{4.093}) + 0,72 \cdot 317.024 = 310.973 \text{ kWh} \quad (4.4)$$

Per oppvarmet flateareal tilsvarende dette 114 *kWh/m²*. Sammenlignet med TEK07 tilsvarende forbruket for 2013 kun 62 % av kravet som er 185 *kWh/m²*.

4.2 Rollag idrettshall

Rollag idrettshall ligger i Rollag kommune i Numedal, og er en del av Buskerud fylke. Idrettshallen ble bygget i forbindelse med Rollag idrettsskole, og stod klar i august 2013. I tillegg til idrettsskolen kan diverse idrettslag fra Veggli og Rollag

4.2. Rollag idrettshall

benytte seg av hallfasilitetene. Hallen er i likhet med Rosenborghallen, bygd etter målene for en håndballbane, men opptil flere idretter har både tilstrekkelig oppmerking og utstyr for å utføre aktivitetene optimalt. Figur 4.7 viser spillehallen.



Figur 4.7: Spillehallen i Rollaghallen

Rollaghallen er inspirert av bygget *Snekkeriet* i Trøndelag. I tillegg er også byggingen av Bankgata idrettshall. Hallen er bygd i massivtre og limtre på et fundament av betong. Bærekonstruksjonen er i limtre og rammekonstruksjonen er bygget i tre ledd tilsvarende et låvebygg. Massivtreelementene består av en 70 mm plate som er satt sammen av tre lag krysslagte panelbord. Platene er på 5 x 2,4 m, og settes sammen med bindingsverkkonstruksjoner med 20 cm isolasjon i tillegg til vindsperre og dampbrems. Kledningen innvendig er sprøytet malt. Hallen består av to etasjer, der hovedinngangen ligger i andreetasjen. Det var planlagt et tak fra hovedinngangen til garderobeanlegget i nabobygget, men dette er per dags dato ikke bygget. Taket i hallen vises i Figur 4.8.



Figur 4.8: Trebjelkene i taket i Rollagshallen som spenner over 25 meter

Idrettshallens totale areal er på 1675 m^2 , der spilleflaten utgjør 1067 m^2 . Totalt oppvarmet areal er på 1480 m^2 . Toalettene utgjør tilsammen 30 m^2 . Plantegningene for Rollagshallen er vedlagt i Vedlegg B.2 . De ulike rommene i hallen er som følger;

- 1 håndballhall
- 3 toaletter
- 1 kontor
- 6 apparatrom/lager
- hoppegrop
- tribune
- prosjektert klatrevegg

Rollaghallen var budsjettert med omlag 15,4 millioner kroner som gjør den til en av Norges billigste haller. Siden hallen ikke har garderobeanlegg, må brukere av hallen benytte seg av skolens garderobeanlegg. Den lave byggekostnaden er mye på grunn av at garderobeanlegg ikke ble inkludert i bygget. Det ble antatt at garderobene sjelden blir benyttet av brukere generelt i idrettshaller, og at heller folk drar hjem for å dusje etter endt treningsøkt. De lave produksjonskostnadene er også et resultat av minimalt med byggeutstyr. Det ble antatt at utstyr som bukker, spikerpistol, kappsag, kran og lignende, vil koste omlag 100.000 NOK i investeringer. Rollaghallen er energimerket til klasse A, som gjør hallens energibruk på grense til passivhusstandard. (Lotherington, 2013)

4.2.1 Ventilasjonsanlegget

Ventilasjonsanlegget i Rollaghallen består av en roterende varmegjenvinner, filter, avtrekks- og tilluftsvifte, VAV-spjeld og vannbårent varmebatteri. Et ventilasjonsaggregat gir strøm til de komponentene som trenger elektrisk energi for å fungere. Aggregatet er sikret på 15 kW. Ventilasjonsanleggets viftehastighet er konstant så lenge ikke behovet endres. Brukere av hallen kan justere hastigheten med et tidsur hvis det er behov for større mengde luftutskiftning. Informasjon om driftstider for ventilasjonsanlegget var ikke mulig å få tak i fra driftsansvarlig i Rollaghallen. Driftsansvarlig antok at ventilasjonsanlegget var i drift fra klokken 7-23, men dette er ikke bekreftet. Oppbygging av ventilasjonsanlegget er vist i Figur 4.9.

Prosjektert luftmengde for ventilasjonsanlegget er $12.500 \text{ m}^3/h$, og i følge Kultur- og kirke departementet (2003) bør ikke SFP overstige 1,5. Siden Rollag ventilasjonsanlegg er installert med VAV-spjeld, økes grensen med 1,0 ved maksimal luftmengde. Ut i fra formelen for SFP (4.5) kan viftene i ventilasjonsanlegget ha en samlet effekt på;

$$P = 2,5 \cdot \frac{12.500 \text{ m}^3/h}{3600 \text{ s}} = 8,7 \text{ kW} \quad (4.5)$$

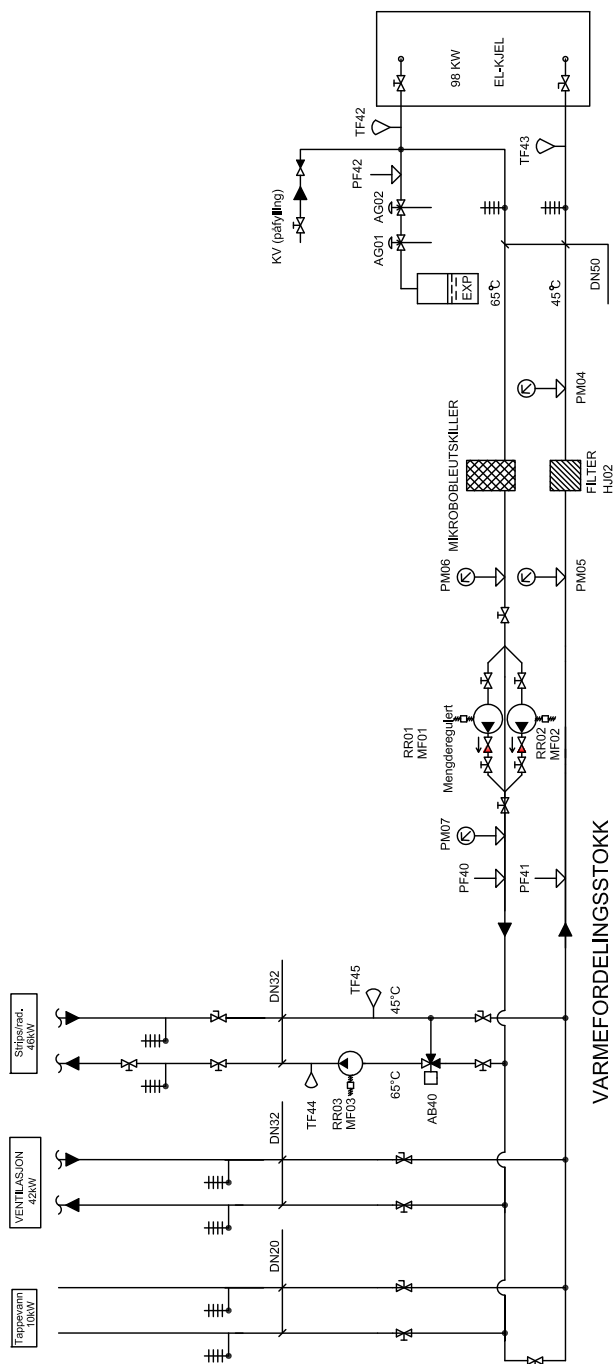


Figur 4.9: Ventilasjonsanlegget i Rollaghallen

4.2.2 Varmeanlegget

Rollag idrettshall har installert et vannbårent varmeanlegg for oppvarming av ventilasjonsluften, tappevann, strålingsvarme fra taket i hallen og radiatorer. Varmeanlegget blir oppvarmet av en elektrokjele med en effekt på 98 kW. Elektrokjelen er av typen elementkjel, som vil si at den er bygd etter samme prinsipp som en varmtvannsbereider og betraktes som et gjennomstrømningsapparat. Kjelen fungerer ved at vann pumpes inn i bunnen av kjelen og går ut igjen øverst i kjelen etter vannet er oppvarmet. Kjelens varmeelement er plassert i en elementpakke og består av tre bøyde rør. Sentralvarmeanleggets oppbygning er vist i Figur 4.10. Figuren er noe misvisende da det er ventilasjonsoppvarming og radiatorer som er på samme kurs. Det er en egen kurs for strålevarme i taket.

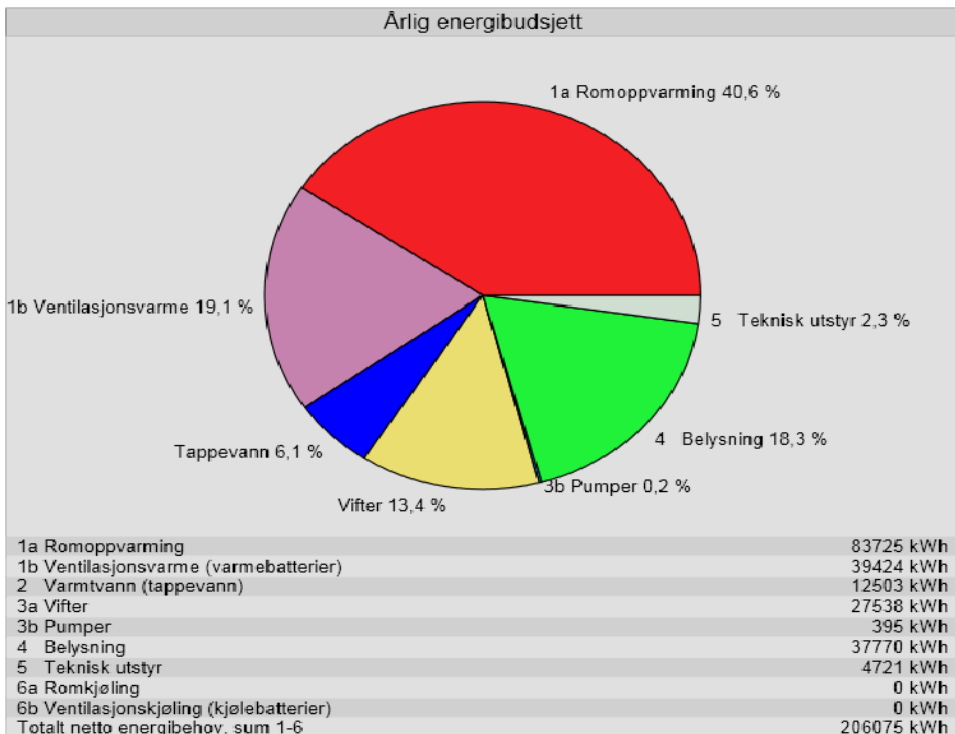
4.2. Rollag idrettshall



Figur 4.10: Sentralvarmeanlegget i Rollagshallen

4.2.3 Teoretisk forbruk

I Rollagshallens prosjekteringsfase ble det anslått et årlig energibruk på under 100 kWh/m^2 for driften av hallen. Energibudsjettet ble anslått til 86,4 kWh/m^2 . Med et oppvarmet areal på 1480 m^2 , tilsvarer dette 127.867 kWh per år. Energiforbruket beregnes med programmet SIMIEN. Det har ikke vært mulig å få tak i SIMIEN-filer for Rollag idrettshall, og heller ikke nok opplysninger om hallen til å lage en ny SIMIEN-beregning. Som nevnt tidligere i kapittelet er Rollag idrettshall oppbygd etter samme prinsipper som idrettshallen i Bodø, Bankgata idrettshall, som nå bygges. Teoretisk beregning av energiforbruket i Rollag idrettshall utføres dermed på grunnlag av SIMIEN-filen for Bankgata idrettshall. Figur 4.11 viser resultatet av beregningene gjort i SIMIEN.



Figur 4.11: Energibudsjett for Rollagshallen beregnet i SIMIEN

Nødvendige parametere for energibruksberegningen er byttet ut for at forbruket

4.2. Rollag idrettshall

skal bli tilnærmet lik Rollags forbruk. Parametere som energiforsyning, oppvarmet areal, klimasted og driftstider er dermed forandret til Rollaghallens verdier. Det er brukt klimadata fra Lyngdal i Numedal, da stedet allerede lå inne i databasen. Lyngdal ligger omtrent 20 minutter med bil fra Rollag, og antas som tilstrekkelig nøyaktig. Figur 4.11 viser energibudsjettet per år for Rollag idrettshall. Etter SIMIEN resultatet kan man anslå et energibehov på 206.075 kWh årlig.

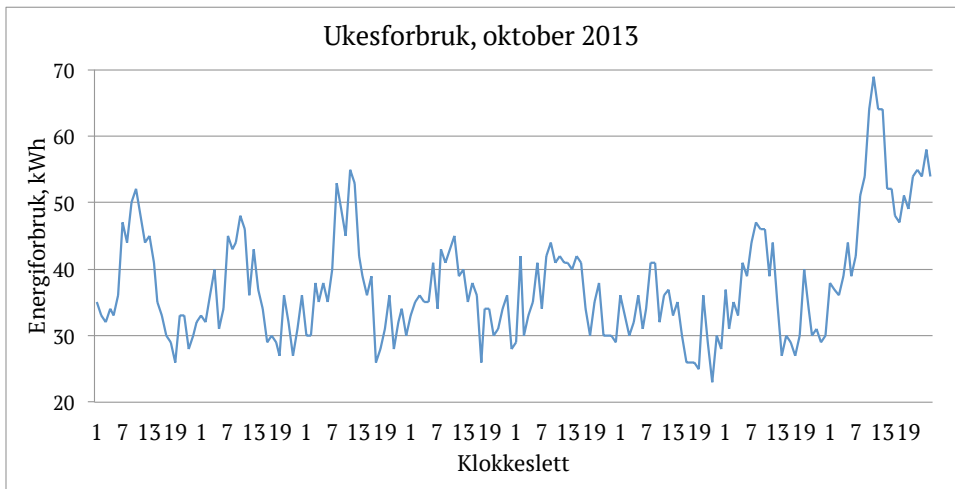
4.2.4 Energiforbruk i 2013

Siden Rollaghallen ble tatt i bruk i august 2013, er det ikke hensiktsmessig å se på årsforbruket i 2013. Forbruket fra 2013 inkluderer energiforbruket i byggetiden, da som fører til et betydelig høyere forbruk enn normalt driftsforbruk. Månedsforkonsumet for august 2013 til januar 2014, er det eneste forbruket som er registrert etter åpningen av hallen, på Esave (*EOS-loggen ESAVE*, 2014). Forbruket er fremstilt i Tabell 4.3.

Tabell 4.3: Totalt energiforbruk i Rollaghallen fra august 2013 til januar 2014

	Energiforbruk [kWh]
August	24.033
September	30.552
Oktober	69.791
November	84.694
Desember	40.767
Januar	64.005
Totalt	313.842

Reelle tall fra det aktuelle halvåret viser til et energiforbruk på 313.842 kWh . Med et teoretisk årsforbruk på 206.075 kWh virker dette meget høyt. Forbruket for en vilkårlig uke i løpet av de seks første månedene i drift vises i Figur 4.12. Grafen viser timesforbruket fra 30. september til 7. oktober 2013.



Figur 4.12: Energiforbruket første uken i oktober 2013 i Rollaghallen (*EOS-loggen ESAVE*, 2014)

Grafen viser et energibruk på mellom 20 og 70 kWh/h . Selv fra klokken 00-7 på natten er forbruket omkring 30 kWh/h . Innregulering av de tekniske systemene i oppstartsfasen kan ha noe med det høye energiforbruket.

ENERGIBRUKSMÅLINGER OG RESULTATER

Energiforbruket i de utvalgte hallene, fordelt på blant annet oppvarming av ventilasjonsluft, belysning og ventilasjonsaggregat, er målt. Tilleggsmålinger som gir større vurderingsgrunnlag er også utført, som blant annet bruksregistrering og temperaturmålinger. Kapittel 2 forklarer metoden for målingene og om måleapparatene. Dette kapitlet legger frem resultatene for målingene utført i Rosenborg idrettshall og Rollag idrettshall.

5.1 Rosenborg idrettshall

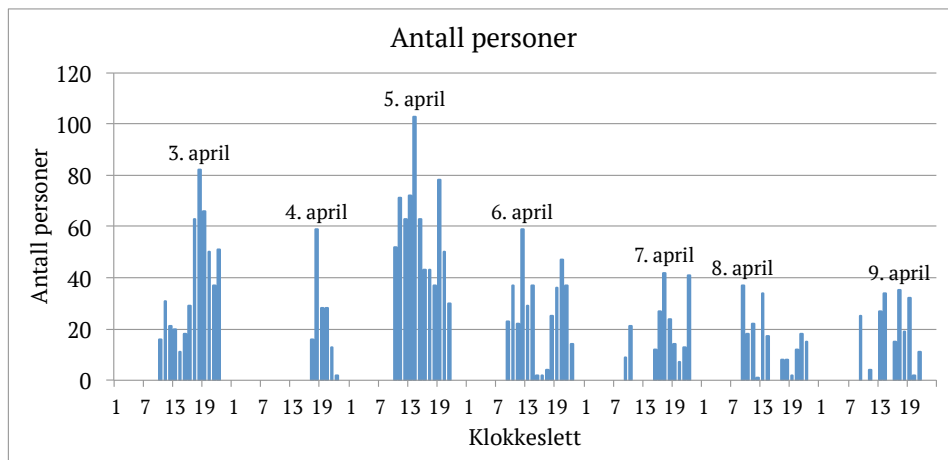
Energi- og bruksmålinger for Rosenborg idrettshall ble utført i perioden 13. mars til 10. april og er presentert i dette kapitlet. Hovedsakelig fungerer uken fra 3. april til 10. april som sammenligningsgrunnlag og brukes videre i oppgaven. Kun forbruket for varmtvannsberederen vil bli analysert for perioden 27. mars til 3. april ettersom det oppstod lagringsproblemer med loggeren etter denne dato.

5.1.1 Bruksregistrering

Ettersom Rosenborg idrettshall er montert med tre skillevegger var det nødvendig med fire webkameraer for å registrere antall brukere i hallen. Som nevnt i Kapittel 2, er webkameraene stilt inn for å ta ett bilde hver halvtime. Resultatet viser at dette ikke er tilfellet for alle kameraene. Vaktmesteren i hallen kan fortelle om flere situasjoner der han var nødt til å sette i stikkkontakten til kameraene da elevene på ungdomsskolen fiklet med kameraene. Likevel er resultatene relativt pålitelige da ingen av kameraene var koblet ut samtidig og skilleveggene ikke var nede på de aktuelle tidspunktene. Figur 5.1 viser et stolpediagram for antall aktive brukere

5.1. Rosenborg idrettshall

av hallen i måleperioden. Det er lagt vekt på personer i aktivitet i hallen, da det er disse personene som påvirker ventilasjonsbehovet. Resultatet er delt inn i timeskategorier, slik at hver stolpe tilsvarer antall brukere i løpet av den aktuelle timen.



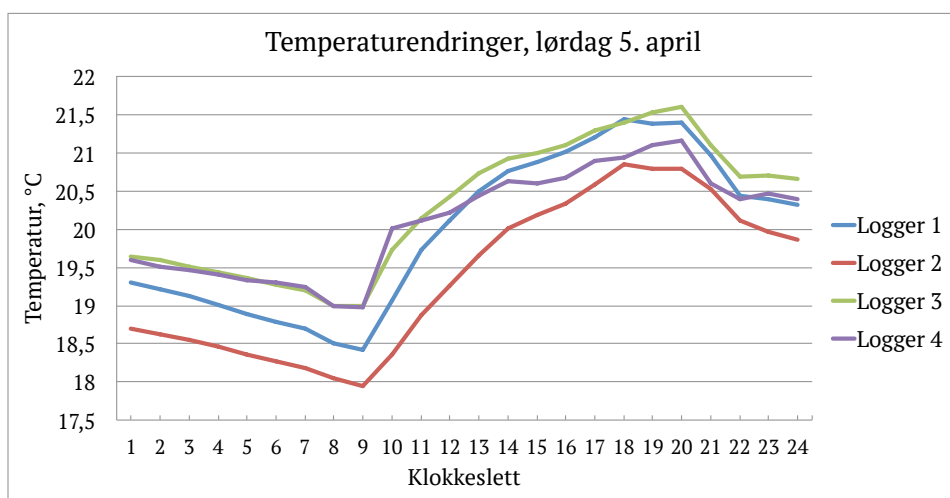
Figur 5.1: Bruksregistrering av antall aktive brukere av Rosenborghallen i måleperioden

Bildene fra helgen 5. april og 6. april viser en innebandyturnering. Ukedagene er brukt av skolen til gymtimer som inneholder forskjellige aktiviteter, men ved flere anledninger er ikke hallen i bruk på dagtid. Etter klokken 16.00 har forskjellige idretter trening i hallen. Bildene viser lag fra basketball, turngrupper, innebandy, volleyball, fotball og håndball. Fullstendig oversikt over antall brukere finnes i tabellform i Vedlegg D.1.

5.1.2 Relativ fuktighet og temperatur

Fire USB-loggere ble satt opp i to forskjellige høyder i Rosenborghallen for å sjekke forskjellen på RF og temperatur i ulike høyder. To av målerne i forskjellige høyder ble satt på motsatt side av de andre for å sjekke forholdene på ulike steder i hallen. Flere av målerne ble flyttet på i løpet av måleperioden. Det er i likhet med webkameraene antatt at dette er gjort av elever ved Rosenborg ungdomsskole. Da målerne ble hentet ned 10. april stod tre av målerne i cirka to meters høyde over

gulvet, mens en av målerne fortsatt var plassert omtrent en halv meter over gulvet. Resultatene for hele måleperioden er fremstilt som grafer fra programmet RHT10 og ligger i Vedlegg E.1. Resultatene viser en jevn temperatur inne i hallen, og varierer fra 17 °C til 21 °C. Som en ser fra bruksregistreringen i Kapittel 5.1.1, er helgen 5. og 6. april dagene med flest antall brukere, med størst antall på lørdag 5. april. Dermed vil det være interessant å se på RF og temperatur for denne dagen. Figur 5.2 viser temperaturendringene i løpet av døgnet 5. april.

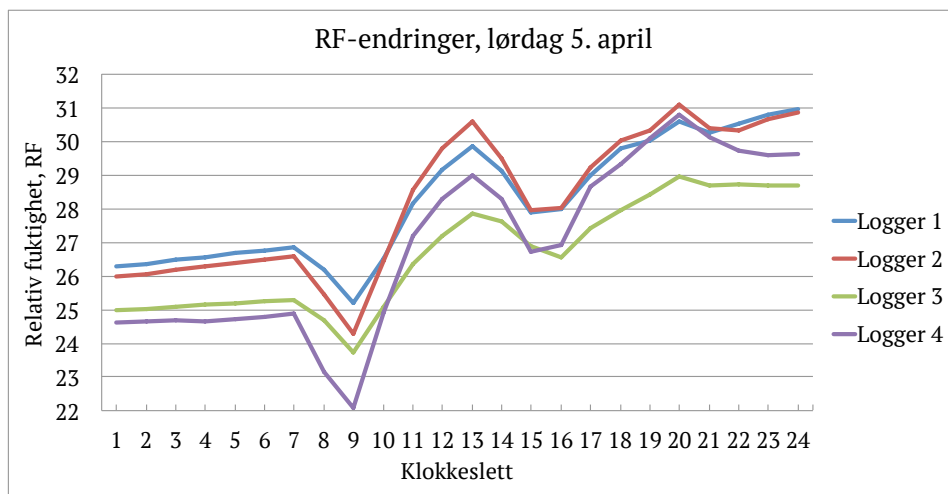


Figur 5.2: Temperaturendringer i Rosenborghallen, lørdag 5.april

Logger 2 er loggeren som var festet en halv meter over gulvet, og som ble værende på samme plass gjennom hele måleperioden. Figur 5.2 viser at nettopp denne loggeren ligger under de andre loggerne med tanke på temperatur, gjennom hele dagen. Dette kan stemme med faktumet at varm luft stiger, selv om resultatene kun viser en forskjell på omtrent 0,5 °C. *Logger 3* er loggeren som var festet høyest oppe på vegg, og ble værende på samme sted gjennom hele måleperioden. Denne måleren har jevnt over høyest temperatur sammenlignet med de andre målerne. Den relative fuktigheten i Rosenborghallen lørdag 5. april er fremstilt i Figur 5.3.

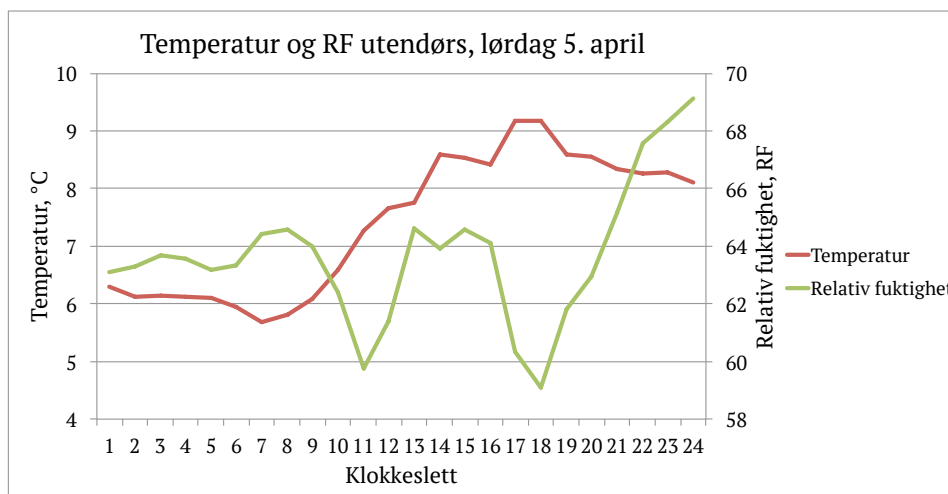
Som sammenligningsgrunnlag ble RF og temperatur utendørs i Trondheim målt i den aktuelle måleperioden. Måleren ble satt opp i Trondheim sentrum, rettet ut mot en bakgård. Det er antatt at temperaturer og RF i Trondheim er tilnærmet lik. RF- og temperaturendringene lørdag 5.april er fremstilt i Figur 5.4. *yr.no* viser en

5.1. Rosenborg idrettshall



Figur 5.3: RF-ændringer i Rosenborghallen, lørdag 5. april

middeltemperatur på $5,3^{\circ}\text{C}$, som er noe under resultatene fra måleren i Trondheim sentrum Meteorologisk institutt og NRK (2014). Dette viser at antakelsene ikke var fullstendig riktig. Dog er målingene bestemt til å være relativt pålitelig, men som innebærer en feilkilde.



Figur 5.4: Temperatur- og RF-ændringer i Trondheim, lørdag 5. april

5.1.3 Elektrisk energi

Forbruket av elektrisk energi i Rosenborg idrettshall innebærer først og fremst belysning og komponenter i ventilasjonsanlegget. I tillegg vil pumper, utstyr koblet til stikkontakter og lignende bruke elektrisk energi. Anlegget i Rosenborghallen er på 400 V. Energimålerne for elektrisk strøm som først ble bestilt tålte kun spenning på 240 V og kunne dermed ikke brukes under måleperioden. Måler av samme merket som tåler 480 V, ble bestilt så fort problemet var en realitet, men måleren kom ikke frem i tide.

Det er som tidligere nevnt ønskelig å måle energibruken i forbindelse med ventilasjonsanlegget og belysningen. Førstnevnte krever elektrisk strøm for hovedsaklig vifter og varmegjenvinner, og er som forklart i Kapittel 4.1, frekvensstyrt via en frekvensomformer. På nåværende tidspunkt er ikke dette i bruk og fører til at komponentene har konstant hastighet, og dermed har lik effekt gjennom hele driftstiden. Etterhvert skal spillehallen styres av bevegelsesdetektorer og operere i fire forskjellige driftstilstander. Muligheten for å loggføre effekten på viftene er ikke tilgjengelig for dette produktet fra SIEMENS. Dermed ble frekvensomformerens innebygde skjerm, som viser utgangsstrøm og -spenning, samt frekvens, brukt til avlesning og beregning av effekt. Formelen for effekt for trefasestrøm (5.1) er da nødvendig;

$$P = U \cdot I \cdot \sqrt{3} \cdot \cos(\phi) \quad (5.1)$$

Formel 5.1 refererer til en faseforskyvning ϕ , der $\cos(\phi)$ tilsvarer effekten av viften. Ettersom ventilasjonsanlegget er relativt nytt settes vifteeffekten lik 0,85. Faktoren $\sqrt{3}$ betegner anleggets trefasestrøm. Ved avlesning av frekvensomformerens vekslet verdiene på strøm og spenning raskt, men uten store differanser. Dermed brukes middelveidien av avlesningene som beregningsgrunnlag. Avleste verdier for strøm, spenning og frekvens fremstilles i Tabell 5.1. Resultatet av Formel 5.1 er fremstilt i siste kolonne i følgende Tabell 5.1.

Beregningene viser at ventilasjonsanleggets vifter og varmegjenvinner bruker 15 kW totalt. Ved en luftmengde på $17.680 \text{ m}^3/\text{h}$ fører dette til SFP på;

$$SFP = \frac{15 \text{ kW}}{\frac{17.680 \text{ m}^3/\text{h}}{3.600 \text{ s}}} = 3 \quad (5.2)$$

5.1. Rosenborg idrettshall

Tabell 5.1: Ventilasjonsanleggets elektriske forbruk i Rosenborghallen

	Frekvens	Utgangsstrøm I	Utgangsspenning U_o	Effekt P
Tilluftsvifte	56,84 Hz	11,42 A	478,5 V	8.045 W
Avtrekksvifte	53,72 Hz	10,43 A	449 V	6.895 W
Varmeveksler	7,5 Hz	0,35 A	38 V	20 W
Totalt				14,96 kW

SFP er dermed høyere enn anbefalt verdi på 2,5. I denne oppgaven vil energibruken vurderes og dermed brukes Formel 5.3.

$$E = P \cdot h \quad (5.3)$$

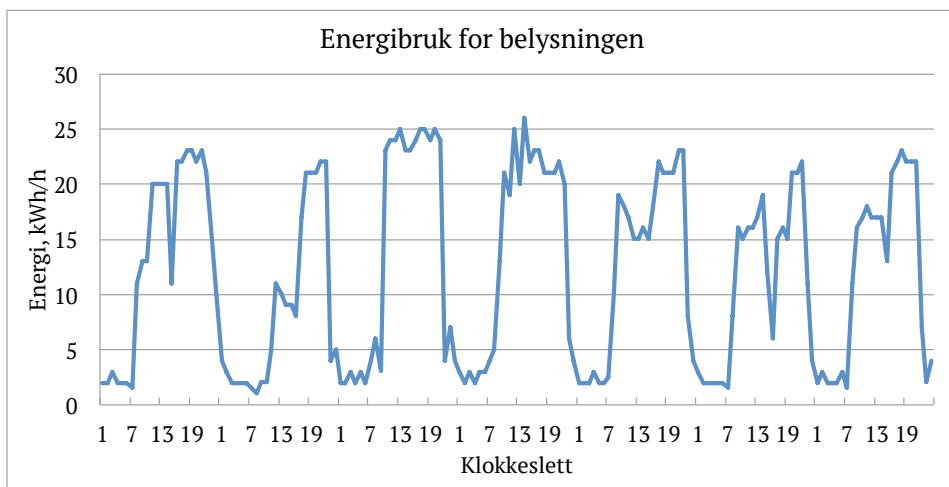
Variabelen h står for antall timer ventilasjonsanlegget er i bruk. I den forbindelse er driftstidene som er lagt frem i kapittel 4.1 nødvendige. Tabell 4.1 sier at ventilasjonsanlegget er i bruk 16,5 timer fra mandag til fredag, og 14 timer på lørdag og søndag. Dette tilsvarer 110,5 timer i løpet av en uke. Energiforbruket til ventilasjonsanlegget i løpet av en uke er dermed;

$$E = 14,96kW \cdot 110,5h = 1.653kWh \quad (5.4)$$

Tabell F.1 i Vedlegg F viser dagsforbruket til ventilasjonsanlegget i Rosenborghallen i måleperioden. I løpet av et år, med 44 ordinære uker (Standard Norge, 2011), fører dette til et årsforbruk på 72.732 kWh.

På grunn av manglende målerutstyr for elektrisk energi var heller ikke belysningen mulig å måle. Rosenborg idrettshall bruker derimot hovedsakelig elektrisk energi til drift av ventilasjonsanlegget samt belysning. Energien brukt på belysning kan dermed beregnes ut fra det totale elektriske energiforbruket som er registrert på Entro sine nettsider for Trondheim Kraft (*EOS-loggen ENTRO*, 2013). Det totale energiforbruket av elektrisitet er fremstilt som timesforbruk i tabellformat i Figur F.1 i Vedlegg F. Energibruket knyttet til ventilasjonsanlegget trekkes fra det totale forbruket for å finne hvor mye energi som går til hovedsakelig belysning. Energiforbruket øremerket belysning er også inkludert forbruket som går til pumper, pcer, kjøleskap og andre komponenter som bruker energi. Heretter vil dette betegnes som

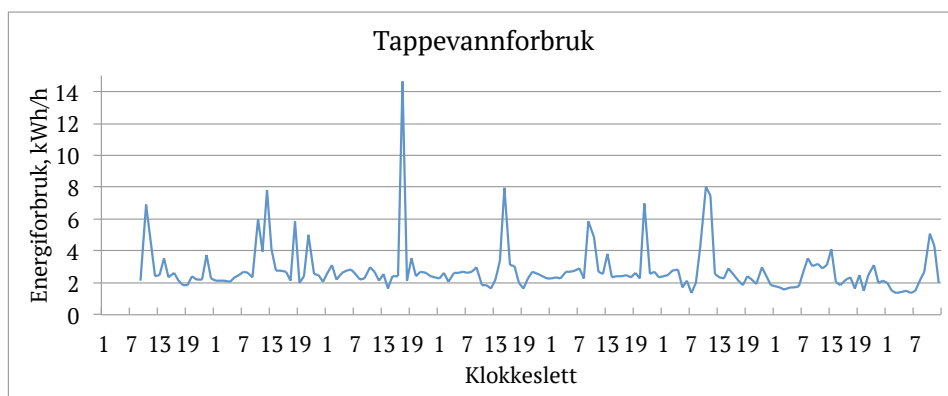
kun belysning for enkelhetens skyld. Figur 5.5 viser forbruket for belysningen fra 3. april til 10. april.



5.1. Rosenborg idrettshall

Selve måleperioden ble definert til 3. april til 10. april i etterkant, da ikke alt av måleutstyr kom frem i tide. Det er antatt at varmtvannsforbruket er tilnærmet lik for hver ordinære uke. Energibruket for tappevannet blir dermed tatt fra uken før den faktiske måleperioden, altså 27. mars til 3. april.

Mengdemåleren logger den prosentvise vannmengden av en bestemt maksimal vannmengde. På tidspunktet da måleren ble montert viste instrumentet vannmengde lik 17 liter i minuttet. Det er antatt at ved sparedusj vil vannmengden være ca 10 liter hvert minutt, og i et garderobeanlegg kan en anta at omlag 10 personer dusjer samtidig etter en gymtime og lignende. Med en sikkerhetsmargin ble maks antall liter vann per minutt satt til 110 liter. Resultatene for målingene er fremstilt i Figur 5.6. Grafen viser energibruken per time i måleperioden.

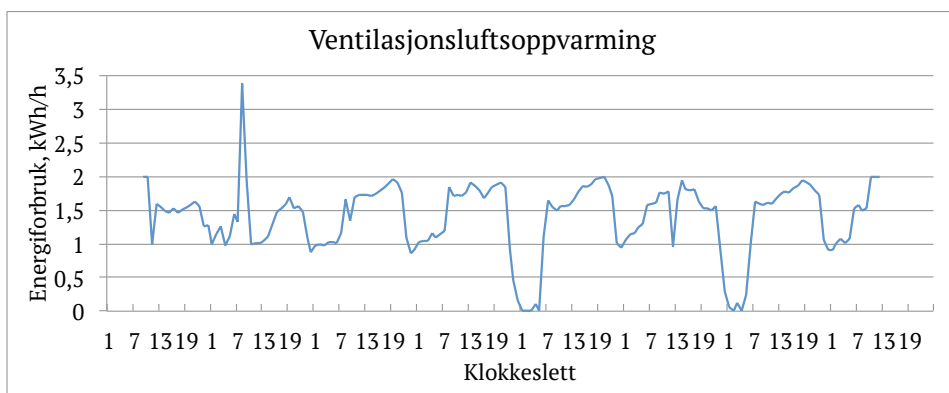


Figur 5.6: Energiforbruk per time [kWh/h] ved oppvarming av tappevann i Rosenborghallen i måleperioden

Figur G.1 i Vedlegg G viser energiforbruket i tabellform for Rosenborghallen i måleperioden. Det er antatt at tappevannet er tilnærmet lik hele året. I følge NS3031 er et normalt år i en idrettshall 44 uker (Standard Norge, 2011). Samlet ukentlig energiforbruk for tappevannsoppvarming i følge målingene er 482 kWh. Dette fører til et årlig forbruk på 21.208 kWh.

Det ble også målt forbruk for oppvarming av ventilasjonsluften. Det er antatt at ventilasjonsluften er den eneste oppvarmingsfunksjonen i selve spillehallen i denne perioden. Figur 5.7 viser forbruket ved oppvarming av ventilasjonsluften i måleperioden. Målingene er gjort hvert minutt, og summert opp til timesforbruk. Times-

forbruket vises i følgende figur;

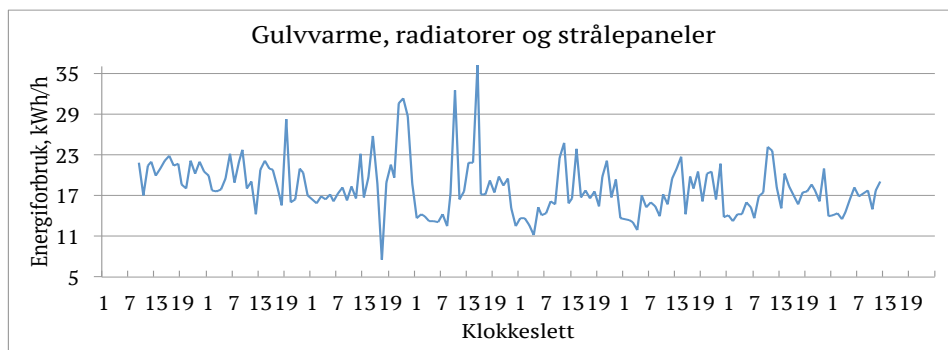


Figur 5.7: Energiforbruk per time [kWh/h] ved oppvarming av ventilasjonsluften i Rosenborghallen i måleperioden

Med et totalt forbruk på 482 kWh i løpet av måleuken, utgjør dette 6,4 % av totalt forbruk. Figur G.2 i Vedlegg G viser forbruket for oppvarming av ventilasjonsluft i tabellform. Som nevnt tidligere i kapittelet, er det totale energiforbruket av fjernvarme registrert på Trondheim Krafts kundeside (*EOS-loggen ENTRO*, 2013). Dermed kan man finne det resterende fjernvarmeforbruket i hallen i måleperioden. Figur 5.8 viser resten av timesforbruket til fjernvarmen. Dette forbruket er samlet forbruk for gulvvarme i garderobene, radiatorer og strålevarmepanelene i taket i spillehallen. Det er antatt at strålevarmepanelene ikke er i bruk i måleperioden. Dermed vil forbruket gjenspeile energien fra gulvvarmen og radiatorer.

Figur G.3 Vedlegg G viser forbruket i tabellform. Det totale forbruket under måleuken viser 3.115 kWh. Dette er hovedsakelig forbruket for oppvarming av garderobes og toaletter i form av gulvvarme og radiatorer. Med et areal på 325 m², over driftstid på 168 timer i løpet av uken, gir dette en gjennomsnittlig effekt på 57 W/m².

5.1. Rosenborg idrettshall



Figur 5.8: Energiforbruk per time [kWh/h] ved gulvvarme, radiatorer og strålepaneler i Rosenborghallen i måleperioden

5.1.5 Totalt energiforbruk

Det totale forbruket i Rosenborg idrettshall i måleperioden fremstilles her.

Tabell 5.2: Totalt energiforbruk i Rosenborghallen i måleperioden

	Totalt energiforbruk	% av totalforbruk
Ventilasjonsaggregat	1.653 kWh	21,9 %
Ventilasjonsluftsoppvarming	241 kWh	3,2 %
Belysning	2.040 kWh	27 %
Tappevannsoppvarming	482 kWh	6,4 %
Gulvvarme og radiatorer	3.115 kWh	41,4 %
Totalt energiforbruk	7.531 kWh	

Ventilasjonsaggregatet og ventilasjonsluftsoppvarmingen forbruker henholdsvis 1.653 kWh og 241 kWh. Dette gjør at ventilasjonsanlegget til sammen forbruker 1894 kWh i løpet av uken. Det er antatt at samleposten for gulvvarme, radiatorer og strålepanel hovedsakelig utgjør forbruket for gulvvarme og radiatorer. Det finnes radiatorer i forskjellige rom i hallen, men hovedsakelig befinner disse seg på toalettene i garderobene. Arealet for garderobene og toalettene utgjør 325 m². Fjernvarme-

forbruket for gulvvarme og radiatorer tilsvarer dermed $9,6 \text{ kWh}/m^2$.

Ved graddagskorrigering til Oslo klima er det kun oppvarming av ventilasjonsluften som påvirkes, ettersom det antas at strålepanelene i taket i hallen ikke er i bruk. Oppvarming ved bruk av gulvvarme og radiatorer regnes som upåvirket av klimaet. Graddagstallene for Trondheim og Oslo i 2013 er som nevnt i Kapittel 4, er henholdsvis 4.093 og 3.814. Energiforbruket korrigert til Oslo klimaet er fremstilt i Formel 5.5.

$$E_k = (241 \text{ kWh} \cdot \frac{3.814}{4.093}) + (7.531 \text{ kWh} - 241 \text{ kWh}) = 7.514 \text{ kWh} \quad (5.5)$$

Resultatet av korrigeringen viser at energiforbruket i Rosenborghallen er relativt likt etter korrigeringen. Det korrigerte energiforbruket er fremstilt i Tabell 5.3.

Tabell 5.3: Totalt graddagskorrigert energiforbruk i Rosenborghallen i måleperioden

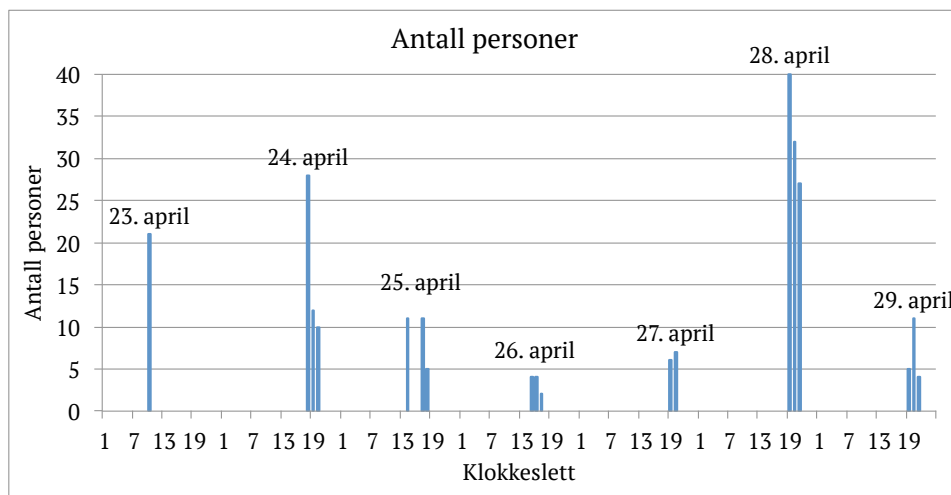
	Totalt energiforbruk	% av totalforbruk
Ventilasjonsaggregat	1.653 kWh	22 %
Ventilasjonsluftsoppvarming	225 kWh	3 %
Belysning	2.040 kWh	27,1 %
Tappevannsoppvarming	482 kWh	6,4 %
Gulvvarme og radiatorer	3.115 kWh	41,5 %
Totalt energiforbruk	7.514 kWh	

5.2 Rollag idrettshall

Energi- og bruksmålingene i Rollaghallen ble gjennomført i perioden 22.april til 30.april. Første måledag var dagen etter første påskedag, og dermed hadde det ikke vært noen i hallen på over en uke. Første skoledag for elevene ved Rollag idrettsskole var onsdag 23. april. Dermed vil målingene fra 23. til 30. april være mest hensiktsmessig å se på. Dette kapittelet viser resultatene fra målingene.

5.2.1 Bruksregistrering

Som beskrevet i Kapittel 2, ble webkameraer satt opp for å ta ett bilde hver halvtime for å registrere antall brukere av hallen. Rollaghallen er montert med to skillevegger, og dermed ble tre webkameraer satt opp. Figur 5.9 er et stolpediagram som viser antall aktive brukere som ble registrert i Rollaghallen. Opptelling av personer ble begrenset til personer som er i aktivitet. Resultatet er delt inn i timeskategorier, slik at hver stolpe tilsvarende antall brukere i løpet av den aktuelle timen. Av bildene



Figur 5.9: Bruksregistrering av antall aktive brukere av Rollaghallen i måleperioden

ser man ulike idretter bruke hallen. Av de registrerte personene var flest aktive i idretter som turn og dans. Noe badminton og fotball ble også registrert. Vedlegg D.2 viser en tabellfremstilling av bruksregistreringen i hallen.

5.2.2 Relativ fuktighet og temperatur

De fire USB-loggerne, som måler relativ fuktighet og temperatur, ble satt ut i to forskjellige høyder på to steder i hallen for å måle forskjellen. To av målerne ble satt omtrent en halv meter over gulvet, mens de to andre ble festet i samme høyde som gulvet på tribunen som ligger i etasjen over gulvnivå i spillehallen. Da loggerne ble tatt ned igjen etter måleperioden viste det seg at målerne kun hadde logget

i 50 minutter fra de ble satt opp. Det må ha vært da loggerne ble stilt inn med programmet RHT10 at antall måleverdier ble satt i en standard innstilling som er 50 målepunkter. Resultatene fra loggerne er fremstilt i Vedlegg E.2. Resultatene er kun til orientering da dette ikke nyttig i forhold til vurdering av inneklimate i forhold til bruken av ventilasjonsanlegget. Tabell 5.4 viser gjennomsnittstemperaturene og RF fra de 50 målingstidspunktene fra Rollaghallen. Dette er målt dagen etter påskeferien, og dermed har ventilasjonsanlegget og varmeanlegget vært slått av en hel uke i forkant. Måleren som har stått ute viser en gjennomsnittstemperatur på

Tabell 5.4: Gjennomsnittstemperaturer for RF og temperatur i Rollaghallen

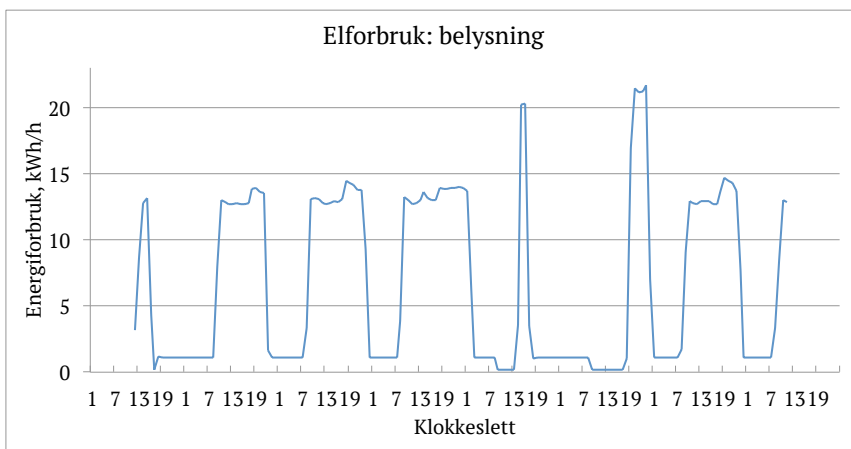
	RF [%]	Temperatur [°C]
Målerne plassert 0,5 meter over gulvet	37,5	17,2
Målerne plassert 2-3 meter over gulvet	35,9	17,7
Måleren plassert utendørs	42	18,4

18,4 °C, som kan bekreftes ved yr.no sine målinger for 22. april (Meteorologisk institutt & NRK, 2014). Figur E.8 i Vedlegg E.2 viser temperaturene for Rollag i måleperioden.

5.2.3 Elektrisk energi

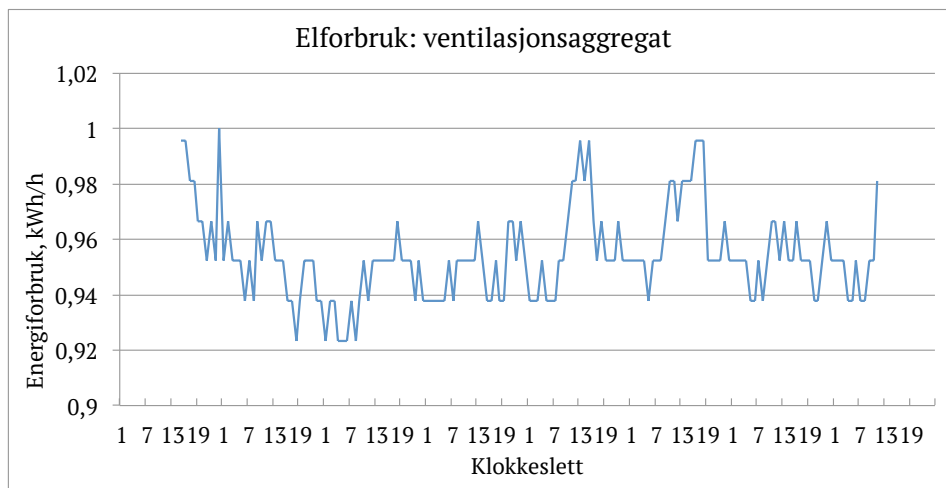
Det elektriske anlegget i Rollaghallen fordeler seg på to spenningsnivåer. Anlegget som innebærer belysning, stikkutganger, pumper og lignende er sikret på 230 V. Dermed ble den elektriske måleren for 240 V brukt for å måle energibruken til belysningen i hallen. For å montere utstyret i sikringsskapet måtte en elektriker med montørsertifikat gjøre jobben. Resultatene for målingene gjennom måleuken er vist i Figur 5.10. Grafen viser energibruken per time gjennom hele måleperioden.

5.2. Rollag idrettshall



Figur 5.10: Energiforbruk ved belysning i Rollaghallen i måleperioden

Timesforbruket i tabellform er fremstilt i Figur H.1 i Vedlegg H. Ventilasjonsaggregatet er sikret i anlegget på 400 V. Det ble målt energibruk for hele ventilasjonsaggregatet som gir elektrisk strøm til hovedsakelig vifter og varmegjenvinner i ventilasjonsanlegget. Figur 5.11 fremstiller energibruken per time i måleperioden. Figur H.2 i Vedlegg H fremstiller forbruket i tabellform.



Figur 5.11: Energiforbruk ved ventilasjonsaggregatet i Rollaghallen i måleperioden

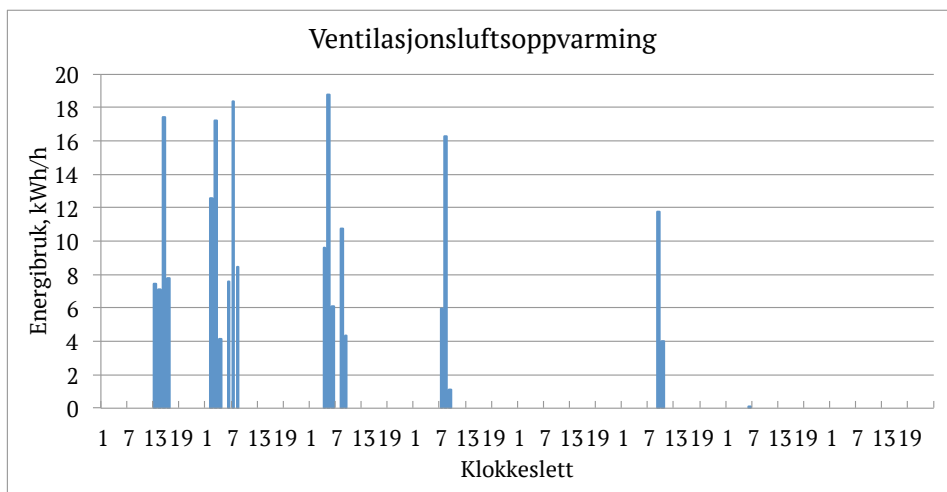
Resultatene viser at ventilasjonsanleggets vifter og varmegjenvinner bruker kun 1 kW totalt. Maksimal luftmengde i ventilasjonsanlegget til Rollag idrettshall er 12.500 m³/h. Det er antatt at denne luftmengden ikke forekommer ved kun 1 kW effekt totalt for viftene. Dermed antas luftmengden å være, ved SFP lik 2,5 som anbefalt;

$$\text{Luftmengde} = \frac{1kW}{2,5} \cdot 3600s = 1.440m^3/h \quad (5.6)$$

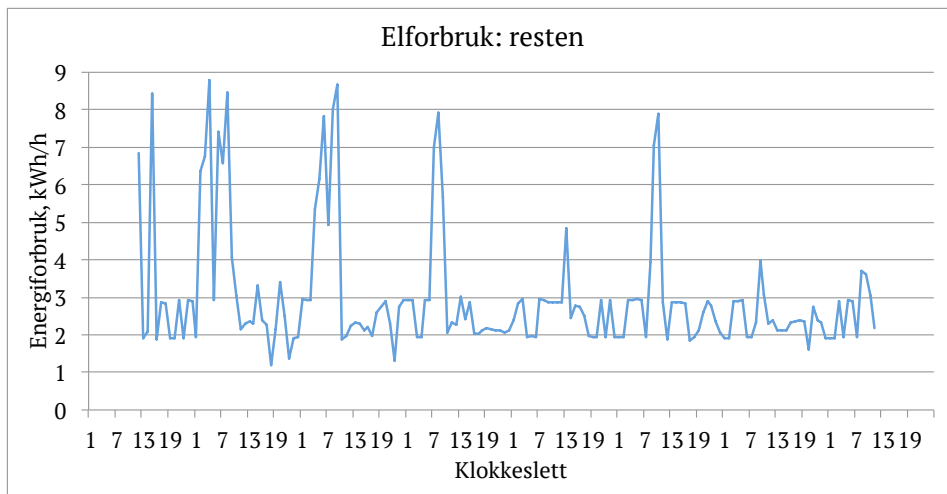
5.2.4 Oppvarming

Rollag idrettshall bruker sentralvarmeanlegget til oppvarming av tappevann, ventilasjonsluft, radiatorer på toalettene og strålevarme i taket i spillehallen. Sentralvarmeanlegget er installert med elektrokjel som omsetter elektrisk energi for å varme opp vannet i systemet. Elektrokjelens effekt er 98 kW som fordeles på de overnevnte kretsene. I måleperioden var temperaturen utendørs i Rollag høyere enn normalt. Dermed ble ikke strålepanelene i taket i hallen brukt til oppvarming. Det ble derfor besluttet å kun måle forbruket til oppvarming av ventilasjonsluften. Resultatene er fremstilt i Figur 5.12. Grafen viser energibruken per time gjennom hele måleperioden.

Figur H.3 i Vedlegg H viser forbruket for oppvarming av ventilasjonsluft i tabellform. Rollag Elektrisitetsverk har oversikt over totalt energiforbruk i Rollagshallen, og presenterer forbruket på nettsidene Esave (*EOS-loggen ESAVE*, 2014). Forbruket for idrettshallen har ikke blitt lagt ut siden januar 2014, men forbruket for den aktuelle måleperioden ble sendt via e-post. Med det totale forbruket, og måleverdiene for de ulike komponentene, kan resten av forbruket beregnes. Dette forbruket tilsier oppvarming av radiatorer, pumper, stikkuttak, hoppegrop, motoriserte inngangsdører og lignende. Resultatet av beregningen er vist i Figur 5.13. Grafen viser energiforbruket per time i måleperioden. Figur H.4 i Vedlegg H fremstiller forbruket i tabellform.



Figur 5.12: Energiforbruk ved oppvarming av ventilasjonsluften i Rollaghallen i måleperioden



Figur 5.13: Energiforbruket for resten av komponentene per time [kWh/h] i Rollaghallen i måleperioden

5.2.5 Totalt energiforbruk

Det totale forbruket i Rollag idrettshall i måleperioden fremstilles her.

Tabell 5.5: Totalt energiforbruk i Rollaghallen i måleperioden

	Totalt energiforbruk	% av totalforbruk
Ventilasjonsaggregat	160 <i>kWh</i>	8,1 %
Ventilasjonsluftsoppvarming	197 <i>kWh</i>	10 %
Belysning	1114 <i>kWh</i>	56,5 %
Resten av forbruket	500 <i>kWh</i>	25,4 %
Totalt energiforbruk	1.971 <i>kWh</i>	

Tabellen viser at forbruket for ventilasjonsaggregatet summert med ventilasjonsluftsoppvarmingen gjør at ventilasjonsanlegget tilsammen forbraker 357 *kWh*. Posten for resten av forbruket er på 500 *kWh*, og tilsvarer forbruket for blant annet elektrisk utstyr eller oppvarming av vannet i radiatorene på toalettene. Ved grad-dagskorrigering til Oslo klima er det kun oppvarming av ventilasjonsluften som påvirkes, ettersom det antas at strålepanelene i taket i hallen ikke er i bruk. Oppvarming ved bruk av radiatorene regnes som upåvirket av klimaet. Graddagstallene for Rollag og Oslo i 2013 er som nevnt i Kapittel 4, er henholdsvis 4.626 og 3.814. Energiforbruket korrigert til Oslo klima er fremstilt i Formel 5.7.

$$E_k = (197kWh \cdot \frac{3.814}{4.626}) + (1.971kWh - 197kWh) = 1.936kWh \quad (5.7)$$

Det korrigerte energiforbruket for hver komponent fremstilles i Tabell 5.6.

5.2. Rollag idrettshall

Tabell 5.6: Totalt energiforbruk i Rollaghallen i måleperioden

	Totalt energiforbruk	% av totalforbruk
Ventilasjonsaggregat	160 <i>kWh</i>	8,3 %
Ventilasjonsluftsoppvarming	162 <i>kWh</i>	8,4 %
Belysning	1114 <i>kWh</i>	57,5 %
Resten av forbruket	500 <i>kWh</i>	25,8 %
Totalt energiforbruk	1.936 <i>kWh</i>	

5.3 Sammenligning av hallene

I Kapittel 5.1.5 og 5.2.5, ble det graddagskorrigerede energiforbruket som var korrigert mot Oslo, presentert. Til sammenligning vil resultatet fra begge hallene fremstilles i Tabell 5.7. Graddagstallene er hentet fra Enova, og representerer graddagstallene fra 2013. Dette gjør resultatene noe feilberegnet.

Tabell 5.7: Totalt graddagskorrigeret energiforbruk i Rosenborghallen og Rollaghallen i måleperiodene

	Totalt energiforbruk [kWh]	
	Rosenborg idrettshall	Rollag idrettshall
Ventilasjonsaggregat	1653	160
Ventilasjonsluftsoppvarming	225	162
Belysning	2040	1114
Tappevannsoppvarming	482	-
Gulvvarme, radiatorer, ol.	3115	500
Totalt energiforbruk	7.514	1.936

For å sammenligne forbruket i hallene mot hverandre, er det hensiktsmessig å se på forbruket per oppvarmet areal. Resultatet vises i Tabell 5.8.

Tabell 5.8: Graddagskorrigeret energiforbruk per oppvarmet m^2 i Rosenborghallen og Rollaghallen i måleperiodene

	Totalt energiforbruk [Wh/m^2]	
	Rosenborg idrettshall	Rollag idrettshall
Ventilasjonsaggregat	607	108
Ventilasjonsluftsoppvarming	83	110
Belysning	749	753
Tappevannsoppvarming	177	-
Gulvvarme, radiatorer, ol.	1144	338
Totalt energiforbruk	2.765	1.881

I Kapittel 5 ble resultatene fra målingsprosessen i de to utvalgte hallene presentert. Dette kapittelet inneholder diskusjon og sammenligning av forbruket for hver av hallene.

6.1 Rosenborg idrettshall

Kapittel 4.1.4 viser til forbruket Rosenborg idrettshall hadde i 2013, og etter grad-dagskorrigering ble forbruket sammenlignet med rammene fra TEK07. På bakgrunn av dette, SIMIEN beregningene og det målte forbruket, vil Rosenborg idrettshall diskuteres i dette kapittelet.

Ventilasjonsanlegget

Elforbruket i Rosenborghallen var i 2013 omtrent 24.000 *kWh* høyere enn beregnet forbruk i SIMIEN. SIMIEN beregningene tar høyde for det installerte VAV-spjeldet som skal sørge for behovsstyrt ventilasjon. Siden viftene viser seg å ha konstant effekt gjennom hele driftstiden kan dette være grunnen til det noe høyere elforbruket. I SIMIEN er det beregnet at viftene skal forbruke omtrent 10,4 % av det totale forbruket. I måleperioden var energiforbruket for viftene 1.653 *kWh* av det totale forbruket på 7.531 *kWh*, som utgjør 21,9 % av total energiforbruk. Dette er over dobbelt så mye som det prosjekterte forbruket. Dette er dog en meget konservativ forklaring, da prosentvis forbruk kan variere ved store forskjeller av andre forbrukskomponenter.

Ved å anta at ventilasjonsanlegget forbruker like mye energi i hver ordinære uke, tilsvarer dette et årsforbruk på 72.732 *kWh*. I motsetning til beregnet forbruk som er på 35.884 *kWh*, tilsvarer det faktiske forbruket hele dobbelt så mye som beregnet. Ved å ikke benytte seg av funksjonalitetene som er installert, her et VAV-spjeld, følger dette med seg et betydelig større forbruk.

Installasjon av VAV-spjeld, som skal sørge for energiøkonomisering i hallen, gir økte investeringskostnader. Når ikke utstyret blir benyttet optimalt er mye av poenget med installasjonen borte. Trondheim Bydrift skal etterhvert sørge for bevegelsesdetektorer som skal føre til behovsstyrt ventilasjon. Viftene skal kjøres på fire forskjellige driftstilstander i ventilasjonsanlegget. Dette vil forhåpentligvis sørge for et redusert energiforbruk med tanke på ventilasjonsanlegget.

Ved temperatur og RF-målingene, viser det seg at det ikke er store temperaturforskjeller gjennom driftstiden. På tidspunktene med flest brukere viste temperaturmålerne høyest 22°C . RF-verdiene varierte mellom 22 % og 40 %. Det kan altså se ut som at ventilasjonsanlegget gjør en tilfredsstillende jobb med tanke på innklimaet, og ønsket temperatur. Om det er nødvendig med ventilasjonsanleggets energibruk, er et annet tema. Det kan tyde på at hallens RF og temperatur ikke hadde blitt betydelig forverret ved en lavere hastighet på luftsutskiftningen.

Belysning

Ettersom belysningen i hallen ikke er målt, er ikke det beregnede energiforbruket til belysningen helt uten feil. Under denne posten ligger også resten av utstyr i hallen som forbruker elektrisk energi. Ved sammenligning mot det teoretiske forbruket, der belysningen ligger på 20,3 % av det totale forbruket, er ikke beregningene for belysningen med omtrent 27 % av forbruket veldig feil. Gjennomsnittlig effekt i driftstiden ligger på $6,8 \text{ W/m}^2$, som ligger innenfor anbefalte verdier på 20 W/m^2 .

Varmtvannsforbruk

Forbruket av tappevann virker meget lite. Forbruket ligger mellom 2 kW og høyest 15 kW . Det kan se ut som systemet sirkulerer tappevann for cirka 2 kW konstant, da forbruket på natten ligger rundt denne verdien. Energitalp til systemet er en mulig årsak. Videre kan teorien og undersøkelsene fra EiT oppgaven forklart i Kapittel 3.2.3 stemme, da det ikke ser ut til å være betydelig stort dusjvannforbruk. Det kan virke som at elever ved Rosenborg ungdomsskole, og øvrige brukere av hallen, ikke benytter seg av dusjanleggene etter treningsøkten. Likevel er det registrert noen forbrukstopper i forbindelse med helgen, da eldre ungdommer og voksne brukte hallen i forbindelse med en innebandycup. Det kan tyde på at det er en sammenheng mellom brukere av hallen som er eldre enn ungdomsskolealder, og bruk av dusjanlegg. Fra de teoretiske energiberegningene, anslår SIMIEN et tappe-

vannsforbruk på 38,6 % av totalforbruket. Resultatene fra Kapittel 5.1.4 tilsvarer et forbruk på 21.208 kWh , etter antakelser om likt forbruk over 44 ordinære uker i året. Sammenlignet med det totale forbruket for 2013, utgjør tappevannsforbruket omtrent 7 %. Dette bør vurderes i forhold til prosjektering av størrelse på varmtvannsbereder til kommende idrettshaller. Det taes forbehold om at målingene er utført riktig, og loggingen viser faktiske verdier.

Oppvarming

Det viser seg at oppvarmingen av spillehallen foregår ved ventilasjonsluftsoppvarmingen i måleperioden. Likevel utgjør luftoppvarmingen kun 3 % av det totale forbruket i måleuken. Sammenlignet med det teoretiske forbruket fra SIMIEN som sier at 18,4 % skal gå til nettopp oppvarming av ventilasjonsluft. De relativt høye utetemperaturene i Trondheim i måleuken, i tillegg til varmegjenvinnerens bidrag, fører til det lave forbruket til luftoppvarming.

I forhold til det resterende fjernvarmeforbruket antas dette å hovedsakelig gå til radiatorer og gulvvarme i garderobene. I følge SIMIEN beregningene antas dette forbruket å være 9,6 % av det totale forbruket. Med et forbruk på 3.115 kWh i måleperioden, utgjør dette nesten 40 % av totalt energiforbruk i perioden. Dette kan tyde på meget høyt forbruk for gulvvarme og radiatorer. Den gjennomsnittlige effekten i løpet av måleuken ligger på $57 W/m^2$, der effekten er per oppvarmet garderobeareal. For gulvvarme ligger dette generelt på 20-30 W/m^2 , og dermed virker forbruket for radiator og gulvvarme noe stort, spesielt utenfor driftstiden. Det ville vært interessant å måle temperaturen i garderobene for å vite om forbruket er høyere enn nødvendig. Grafen i Figur 5.8 viser et relativt høyt forbruk selv på natten. Nattsinking av gulvvarme og radiatorer burde vært lagt inn i SD-anlegget i Rosenborghallen hvis dette ikke er tilfellet. Figur 5.8 viser relativt jevnt forbruk gjennom hele måleperioden. Med mindre målingene fra tappevannsoppvarmingen og ventilasjonsluftsoppvarmingen er feil, har denne energiforbruksposten et klart forbedringspotensiale.

6.2 Rollag idrettshall

Kapittel 4.2.4 viser til forbruket Rollag idrettshall hadde i fra august 2013 til januar 2014, På bakgrunn av dette, SIMIEN beregningene og det målte forbruket, vil Rollag idrettshall diskuteres i dette kapittelet.

Elforbruket i Rollaghallen fra oppstart i august, er betydelig høyere enn beregnet. Dette kan forklares ved oppstartsproblemer, samt forbruk i forbindelse med innkjøring og innregulering av systemene. Det som er interessant er å sammenligne forbruket i hallen med det prosentvise forbruket til hver komponent i den teoretiske beregningen fra SIMIEN. Dette er heller ikke en optimalt pålitelig kilde, da beregningene er basert på en lignende idrettshall. Likevel gir dette en pekepinn på hvor det målte forbruket ligger hen. Rollag idrettshalls tekniske utstyr har enda ikke blitt satt opp mot et SD-anlegg.

Ventilasjonsanlegget

Ventilasjonsanlegget har som presentert i Kapittel 5.2, en samlet vifteeffekt på knappe 1 kW gjennomgående hele døgnet. Dette tyder på at ventilasjonsanlegget ikke følger de antatte driftstiden som ble nevnt til klokken 7-23. Forbruket er ikke betydelig stort, men resultatet viser dermed en driftssituasjon som ikke er heldig. Med et moderne VAV- system integrert i ventilasjonsanlegget, bør opplæring og bruk av funksjonene fremtre.

Samlet forbruk av ventilasjonsaggregatet for måleuken er 160 kWh , som tilsvarer 8,1 % av totalt forbruk. I følge beregningene i SIMIEN skal denne forbruksposten bruke 13,4 % av totalt forbruk. Det lave forbruket kan skyldes svært få brukere av hallen i måleuken, slik at det ikke var nødvendig med større ventilasjonsforbruk. Om resultatet viser det som tilsvarer forbruk utenfor driftstiden, kan dette virke troverdig. Figur 5.11 viser at forbruket varierer mellom 0,92 kW og 1 kW . Variasjonene kan være på grunn av støy ved energimåleren.

Oppvarming

Strålevarmen var som sagt altså ikke i bruk i måleperioden. Figur 5.12 viser forbruket ved oppvarming av ventilasjonsluften. Det viser seg at det kun er få tilfeller der oppvarming av ventilasjonsluft er nødvendig. Dette kan igjen begrunnes med utetemperaturene i måleperioden. Oppvarmingen av ventilasjonsluften virker til å

ha skjedd tidlig på morgenen i de fleste tilfellene, da uteluften som kommer inn med den konstant kjørende ventilasjonsanlegget gjerne er kaldere. Det er beregnet at oppvarming av ventilasjonsluften skal tilsvare 18,4 % av totalt forbruk. Igjen har utetemperaturen i løpet av måleuken stor påvirkning, da kanskje uteluftens temperatur er tilstrekkelig nok, i tillegg til varmegjenvinneren.

Belysning

Figur 5.10 viser en naturlig energiforbruksgraf. Belysningen på natten viser fra 1 til 2 kW, som mest sannsynlig kommer fra nødlys, og muligens målerstøy. I sammenligning med webkamerabildene fra hallen, samsvarer grafen med når lyset ble slått av og på. Den gjennomsnittlige effekten per oppvarmet flateareal i driftstiden er 10 kW, eller $6,7 \text{ W/m}^2$. Dette ligger godt under de anbefalte verdiene for idrettshaller, som ligger på 20 W/m^2 .

Resten av elforbruket i Rollaghallen kan betegnes som radiatorforbruk, samt utstyr som den motorstyrte hoppegropan. De bevegelsesstyrte inngangsdørene fører også til et noe større forbruk.

6.3 Sammenligning av hallene

I Kapittel 5.3 ble det graddagskorrigerede energiforbruket til hallene sammenlignet. Totalforbruket i løpet av måleuken viser at Rosenborg idrettshall forbruker 5.578 kWh mer enn Rollag idrettshall. Siden det oppvarmede arealet i Rosenborghallen er Tabell 5.8 viser forbruket per oppvarmet areal. Dette er med sammenlignbart da hallene er av forskjellige størrelse. I tillegg har Rosenborg idrettshall garderobeanlegg som følgelig kan gjøre energibruken større. Tabell 5.8 er gjengitt for enkelhetens skyld i Tabell 6.1.

Energiforbruket ved belysningen i hallene er relativt likt. Siden posten for belysning i Rosenborghallen også inkluderer flere elektriske komponenters forbruk, er forskjellen fra Rollag noe større. Det viser seg at forbruket ved belysningen per m^2 i Rollaghallene i løpet av måleuken er noe større enn i Rosenborghallen. Siden målingene kun er gjort over én uke, er det ikke en betydelig faktor. Med driftstider på 110,5 og 112 timer i uken på henholdsvis Rosenborghallen og Rollaghallen, gir dette en gjennomsnittlig effekt på $6,8 \text{ W/m}^2$ og $6,7 \text{ W/m}^2$. Dette ligger for begge

6.3. Sammenligning av hallene

Tabell 6.1: Graddagskorrigert energiforbruk per oppvarmet m^2 i Rosenborghallen og Rollaghallen

	Totalt energiforbruk [Wh/m^2]	
	Rosenborg idrettshall	Rollag idrettshall
Ventilasjonsaggregat	607	108
Ventilasjonsluftsoppvarming	83	110
Belysning	749	753
Gulvvarme, radiatorer og strålevarme	1144	338
Totalt energiforbruk	2765	1881

hallene godt innenfor anbefalingene på under $20 W/m^2$.

I forhold til ventilasjonsoppvarming har også Rollag noe større forbruk per m^2 . Ventilasjonsaggregatet i Rosenborghallen viser seg å bruke omtrent seks ganger så mye energi enn Rollaghallens ventilasjonsaggregat. Det virker som det lave besøks-tallet i Rollaghallen førte til at ventilasjonsanlegget kjørte på minste gir, og dermed var forbruket lite. Igjen er viftene i Rosenborghallen som går på konstant hastighet et avgjørende faktum.

Det er tydelig at Rollag idrettshall har spart mye energi ved å ikke bygge et garderobeanlegg i hallen. Likevel er ikke tappevannsforbruket den avgjørende faktoren for Rosenborghallen. Den største forskjellen på hallene er tydelig Rosenborghallens oppvarming av garderobene ved radiatorer og gulvvarme. Ettersom den gjennomsnittlige effekten for denne forbruksposten ligger på $57 W/m^2$, er det ingen tvil om hva som utgjør den store forskjellen på idrettshallene.

Forskjellen på hallen er på totalt $884 W/m^2$, der Rosenborg følgelig har det største forbruket. Dette virker logisk med tanke på garderobeanlegget og den høye effekten på ventilasjonsviftene.

6.4 Metode og fremgangsmåte

Valg av metode betraktes som god. Måleinstrumentene og metodene er brukervennlige og lett å håndtere. Montering og drifting kunne gjøres uten involvering av mange utenforstående. Kun ved montering av elmåleren var det påkrevd med elektriker i forhold til HMS-krav. Selv med en del uforutsette hendelser i forhold til logging, oppsett og tekniske vanskeligheter, gikk måleprosessen ypperlig.

Tidsmessig var ikke måleperioden egnet. Høye utetemperaturer både i Rollag og Trondheim gjorde at energibruken ikke var representativt. Grunnet sen bestilling og levering av utstyr ble prosessen forsinket. I forhold til Rollag idrettshall, der elektrokjelen ble skrudd på for at det kunne måles i hallen, kunne målingen fordelsmessig blitt utført i en vintermåned. Det var også svært få brukere av hallen i måleperioden på grunn av fine klimatiske forhold utendørs, i form av høy temperatur og oppholdsvær. Måleprosessen burde vært startet i januar for å få representative resultater.

En bedre løsning på oppgaven ville vært å bestille nødvendig utstyr under prosjektoppgaven, slik at alt var klart til bruk ved oppstarten av masteroppgaven. På den måten hadde muligheten for måling av flere haller vært større, slik at også sammenligning hallene i mellom hadde vært en del av oppgaven.

KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

I dette masterprosjektet har energiforbruk i ulike komponenter i idrettshaller blitt målt. Ved logging, registrering og sammenligning av forbruk, har vurdering av hallene vært enklere.

I Rosenborghallen, der energiforbruket i 2013 lå trygt under kravene i TEK07, og likeså med TEK10, ser man tydelig at elkraftforbruket er større enn planlagt. Uten registrering av forbruket for de enkelte komponentene er det ikke mulig å forbedre situasjonen. Med synliggjøring av forbruk kan driftssituasjonen endres slik at ikke unødvendig energi brukes. Over fire år etter hallen ble tatt i bruk, er funksjonene i hallen enda ikke utnyttet optimalt med tanke på ventilasjonsanlegget. Til tross for at det planlegges bruk av de installerte VAV-spjeldene, kunne dette fordelsmessig blitt gjort tidligere.

I Rollaghallen var ikke energiforbruket det første halve året av driftsperioden representativt i forhold til beregningsgrunnlaget. Ettersom innregulering av systemet, der en prøver seg fram for å finne beste løsning, kan ta tid, kan en bruke relativt mye mer energi enn normalt. Resultatene viser et ventilasjonsanlegg som står på konstant. Selv om det ikke er snakk om et betydelig stort forbruk, er dette fortsatt en unødvendig energibrukspost. Med automatisering og behovsstyring i hallen, bør energiforbruket kunne tilfredsstille budsjettet forbruk på under 100 kWh/m^2 i løpet av et år. I Rollaghallen, likt som Rosenborghallen, ser man fordelene med energioppfølging i form av enkeltmålinger av de ulike komponentene som forbruker energi.

Bevisstgjøring av energiforbruket i idrettshaller kan føre til et optimalisert energiforbruk. Dette kan igjen hjelpe nye haller som planlegges, da erfaringstall er viktig i prosjekteringen. Overdimensjonerte installasjoner, er med på å øke forbruket. Dette kan unngås ved loggføring av de enkelte komponenters forbruk. Om selve installasjonen i det hele tatt er nødvendig bør også vurderes. I Rollaghallen ble det ikke

bygget garderobeanlegg da brukerne kan benytte seg av garderobene i nabobygget. Etter målingene i Rosenborghallen hvor tappevannsforbruket er minimalt, er dette noe en må ta med seg videre ved prosjektering av nye idrettshaller.

Ved å installere flere energimålere med logging i idrettshallene, kan en øke oversikten over energiforbruket. Det bør vurderes å investere i enkeltmålere ved de ulike komponentene i eksisterende idrettshaller. Likeså bør energimålere være med i prosjektering og planlegging av nye haller. På den måten er hvert enkelt komponent med et energiforbruk overvåket fra første stund. Det vil i tillegg være lettere å registrere hvor et eventuelt stort forbruk kommer fra. Dermed kan en endre eksisterende praksis med en gang en oppdager ugunstige forhold. Dette kan føre til et mindre energiforbruk over tid. Det er ikke beregnet livsløpskostnader med tanke på dette, men en engangsinvestering i energimålere bør vurderes sterkt.

Videre arbeid på dette området kan føres i flere retninger. Forslag til videre arbeid er som følger;

- Kontrollmåling av allerede målte komponenter i Rosenborghallen og Rollagshallen på et mer gunstig tidspunkt
- Energimålinger i flere tilsvarende haller for å sammenligne energiforbruket
- Om mulig, prøveprosjekt med installering av integrerte energimålere i nye idrettshaller som skal bygges
- Kontrollere tappevannsforbruket i flere tilsvarende idrettshaller for å sjekke om dette er et gjennomgående tilfelle

REFERANSER

- Aarnes, K.A., Austbø, B., Hallberg, E., Haugvaldstad, C., Håland, G. & Warland, E. (2010, mai). *Kunstgressbane som solfanger i samvirke med skole- og idrettsbygg*. Ekspertes i team, NTNU.
- bygg.no. (2013, november). *Bygg.no*. Hentet 30. november 2013 fra <http://www.bygg.no/article/116012>
- Continental Control Systems. (2011, November). Wattnode pulse installation and operation manual [programvarehåndbok].
- Dalland, O. (2010). *Metode og oppgaveskriving for studenter* (4. utg.). Gyldendal.
- Elsevier. (2013, Desember). Webside. Hentet 1. Desember 2013 fra <http://www.elsevier.com>
- Eos-loggen entro. (2013, November). Hentet 10. mai 2014 fra <http://www.web-eos.no>
- Eos-loggen esave. (2014, April). Hentet 10. mai 2014 fra <http://www.esave.no>
- Haskell, D.B. (2011). *Compendium of physical activities* (Teknisk rapport). The International Life Sciences Institute.
- Jens Erik Trøen ved Holtålen kommune. (2013, november). *Vannbåren gulvvarme i Hovet idrettshall*. mail.
- Kultur- og kirkedepartementet. (2003, mai). *Mijøriktige idrettsbygg*.
- Kvaal, B. (2007). *Varmebank - sommervarme blir vinterkilde*. Ingeniørnytt.
- Lotherington, P.B. (2013, Mars). *Rollagshallen bygges i massivtre*. artikkel. Hentet 20. mai 2014 fra <http://byggmesteren.as/2013/03/01/rollagshallen-bygges-i-massivtre/>
- Meteorologisk institutt & NRK. (2014, Mai). *Yr*. Hentet 31. mai 2014 fra www.yr.no
- Mette Marie Aase ved Trondheim Kommune. (2013, November). *Mette Marie Aase ved Trondheim Kommune*. Muntlig. Trondheim Kommune.
- Norges Håndballforbund, Norges Basketballforbund & Norges Bandyforbund. (2011, November). Planlegging og bygging av fleridrettshaller [programvarehåndbok].

- Novakovic, V., Hanssen, S.O., Thue, J.V., Wangensteen, I. & Gjerstad, F.O. (2007). *Enøk i bygninger* (vol. 3). Gyldendal.
- NTNU & SINTEF. (2014, Mai). *Zero emission buildings*. Hentet 20. mai, 2014 fra www.zeb.no
- Portaflow. (2014, Mars). Portaflow [programvarehåndbok].
- Regjeringen Stoltenberg II. (2013, September). *Skog22*.
- Smedegård, O. (2012). *Analyse av forenkla vassborne varmedistribusjonssystem for større bygninger*. Upublisert masteroppgave, Norges teknisk- og naturvitenskapelige universitet.
- Standard Norge. (2011, January). *Ns3031: Beregning av bygningers energiytelse*. Standard.
- Statens Bygningstekniske Etat. (2007). *Teknisk forskrift til plan og bygningsloven*.
- Statens Bygningstekniske Etat. (2010). *Teknisk forskrift til plan og bygningsloven*.
- Stokvik, S.A. & Enova. (2013, juli). *Slik reduserer du kjølebehovet i yrkesbygg*. Ingeniørnytt.
- Trondheim Kommune. (2013, November). *SD-anlegg Trondheim Kommune*. SD-anlegg.
- Undebakke, V., Brun-Lie, C., Kveli, E., Pettersen, M.H., Fjeld, Ø.M., Staver, T.T. & Berdal, T.B. (2014, mai). *Dusj i idrettsanlegg*. Ekspert i team, NTNU.

KAPITTEL **A**
OPPGAVETEKST

I dette vedlegget følger oppgaveteksten for denne masteroppgaven.

MASTEROPPGAVE

(TBA4905 Bygnings- og materialteknikk, masteroppgave)

VÅREN 2014

for

Ellen Løwer Anfinen

Energibruk i idrettshaller

Energy consumption in Sports Halls

BAKGRUNN

Energiforbruket i idrettshaller kan variere ut i fra hvilket teknisk utstyr hallen er utstyrt med, og ikke minst bruken av de tekniske løsningene. Aktivitetsnivået i hallen og bruksmønster vil spille inn på det totale energiforbruket. Tiltak for å redusere energiforbruket, miljøpåkjenningene og kostnadene er viktig for bygg generelt. Med stadig økende krav til reduksjon av energibruk er det viktig at nye tekniske løsninger utnyttes i idrettshallene. For å kunne gjennomføre tiltak og vurdere bedre tiltak er det viktig at energibruket registreres, dokumenteres og vurderes i hvert enkelt tilfelle. Siden energibruket er avhengig av flere faktorer og komponenter er det hensiktsmessig at energibruket i hver komponent måles. Prosjektoppgaven *Energibruk i Idrettshaller* skrevet høsten 2013, fremstiller totalt energiforbruk i fire kommunale idrettshaller i Trondheim. Sammenligning og vurdering ble gjort på grunnlag av registrert energiforbruk som kan leses av på hjemmesiden til Trondheim Kraft. Energiforbruket er fordelt på kun fjernvarme og elektrisitet.

OPPGAVE

I denne masteroppgaven skal en se på energiforbruket som går til ulike energikrevende komponenter i idrettshaller. Det er ønskelig å se hvor mye energi som går til ventilasjonsanlegget, oppvarming av hallen, belysning og diverse annet utstyr. Det er valgt å gå videre med Rosenborg idrettshall fra prosjektoppgaven, samt tilføye Rollag idrettshall. Det skal brukes ulike energimålere til de forskjellige komponentene for å registrere energiforbruket over en måleperiode satt til én uke for hver hall.

GENERELT

Opgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendigheten i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- hovedteksten
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg I.

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel for internasjonal publisering. Besvarelsen inneholder da de samme punktene som beskrevet over, men der hovedteksten omfatter en vitenskapelig artikkel og en prosessrapport.

Instituttets råd og retningslinjer for rapportskriving ved prosjektarbeid og masteroppgave befinner seg på <http://www.ntnu.no/bat/studier/oppgaver>.

Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>. Alle studenter som skal gjennomføre laboratoriearbeid i forbindelse med prosjekt- og masteroppgave skal gjennomføre et web-basert TRAINOR HMS-kurs. Påmelding på kurset skjer til sonja.hammer@ntnu.no

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Oppstart og innleveringsfrist:

Oppstart: 14. Januar 2014

Innleveringsfrist: 10. Juni 2014

Faglærer ved instituttet: Arvid Dalehaug**Andre veiledere:** Bjørn Åge Berntsen og Bjørn Aas, SIAT

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 14.01.2014, (revidert: 05.06.2014)

Underskrift



Faglærer

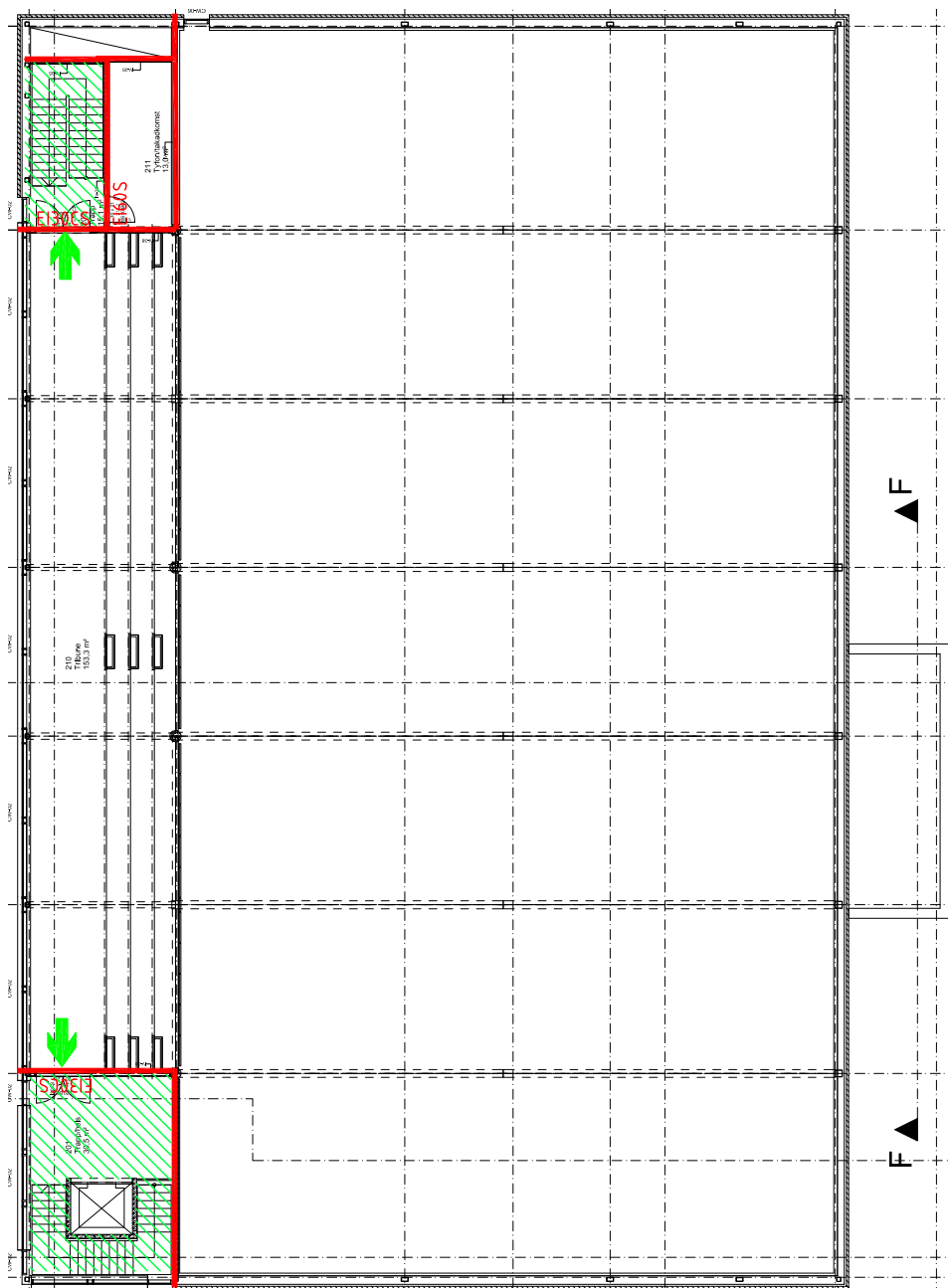
KAPITTEL B

PLANTEGNINGER

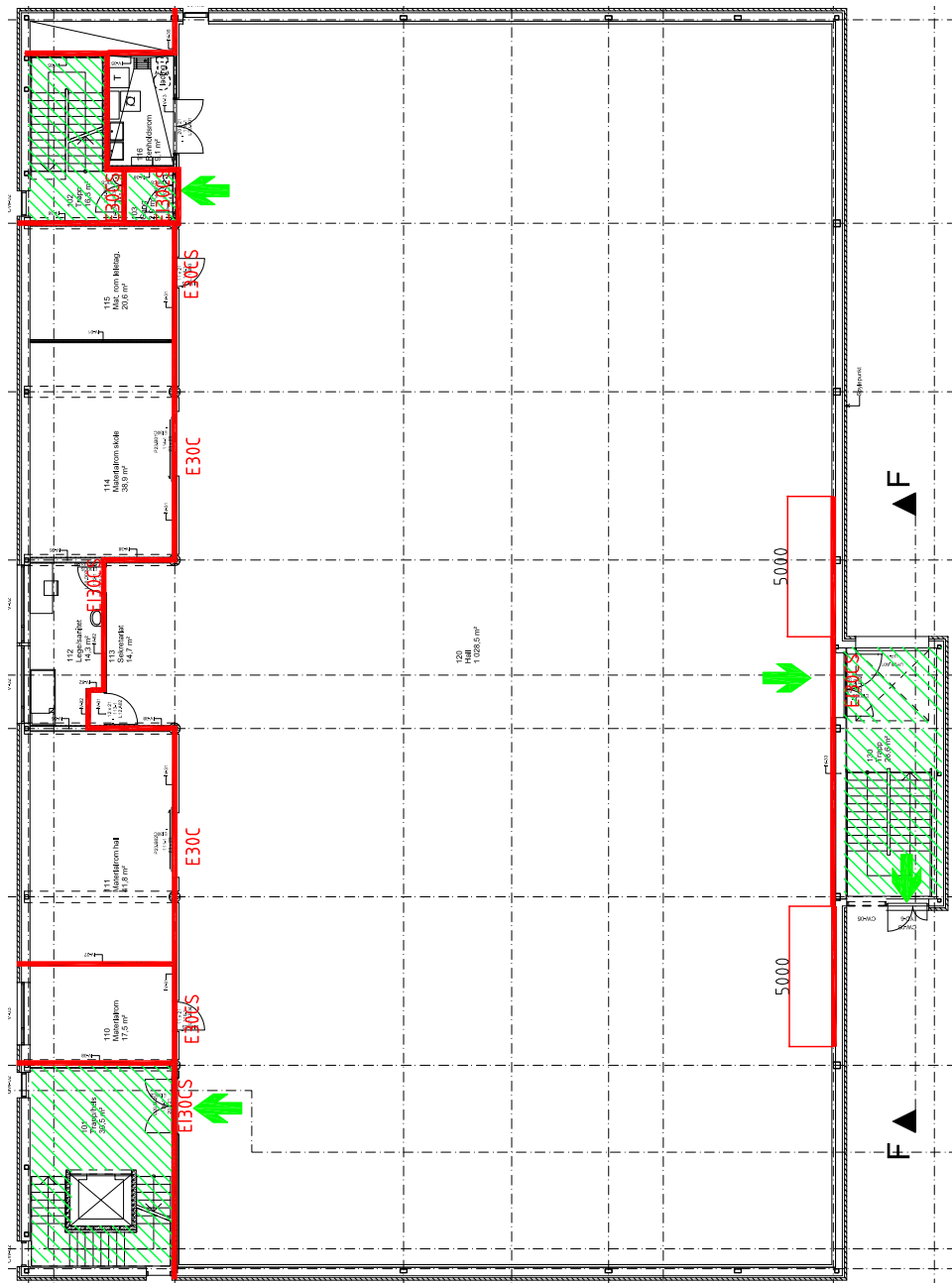
B.1 Rosenberg idrettshall

Figur B.1, B.2 og B.3 viser plantegningene til Rosenberg idrettshall.

B.1. Rosenberg idrettshall

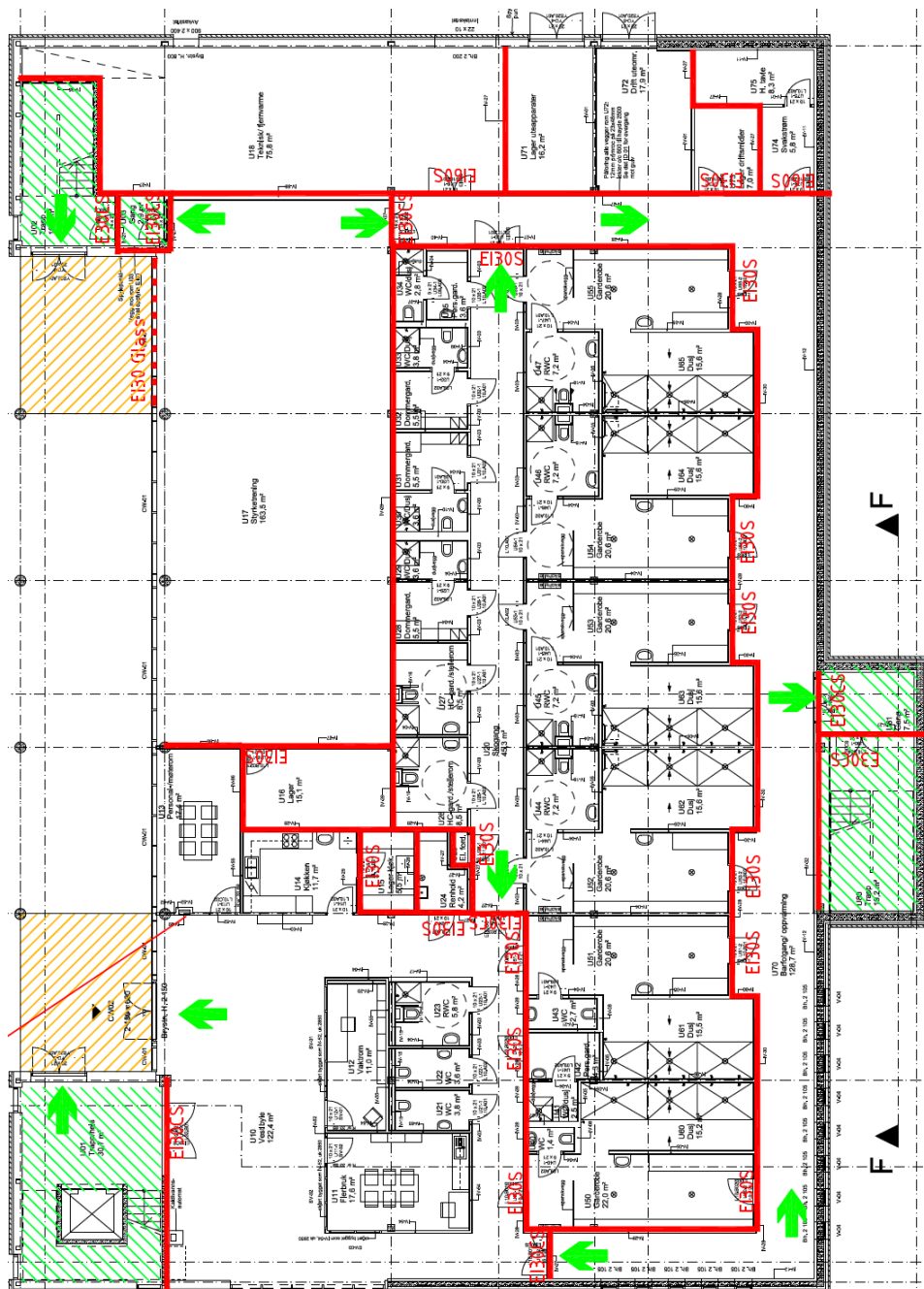


Figur B.1: Plantegning av 2. etasje i Rosenberg idrettshall



Figur B.2: Plantegning av 1. etasje i Rosenborg idrettshall

B.1. Rosenberg idrettshall

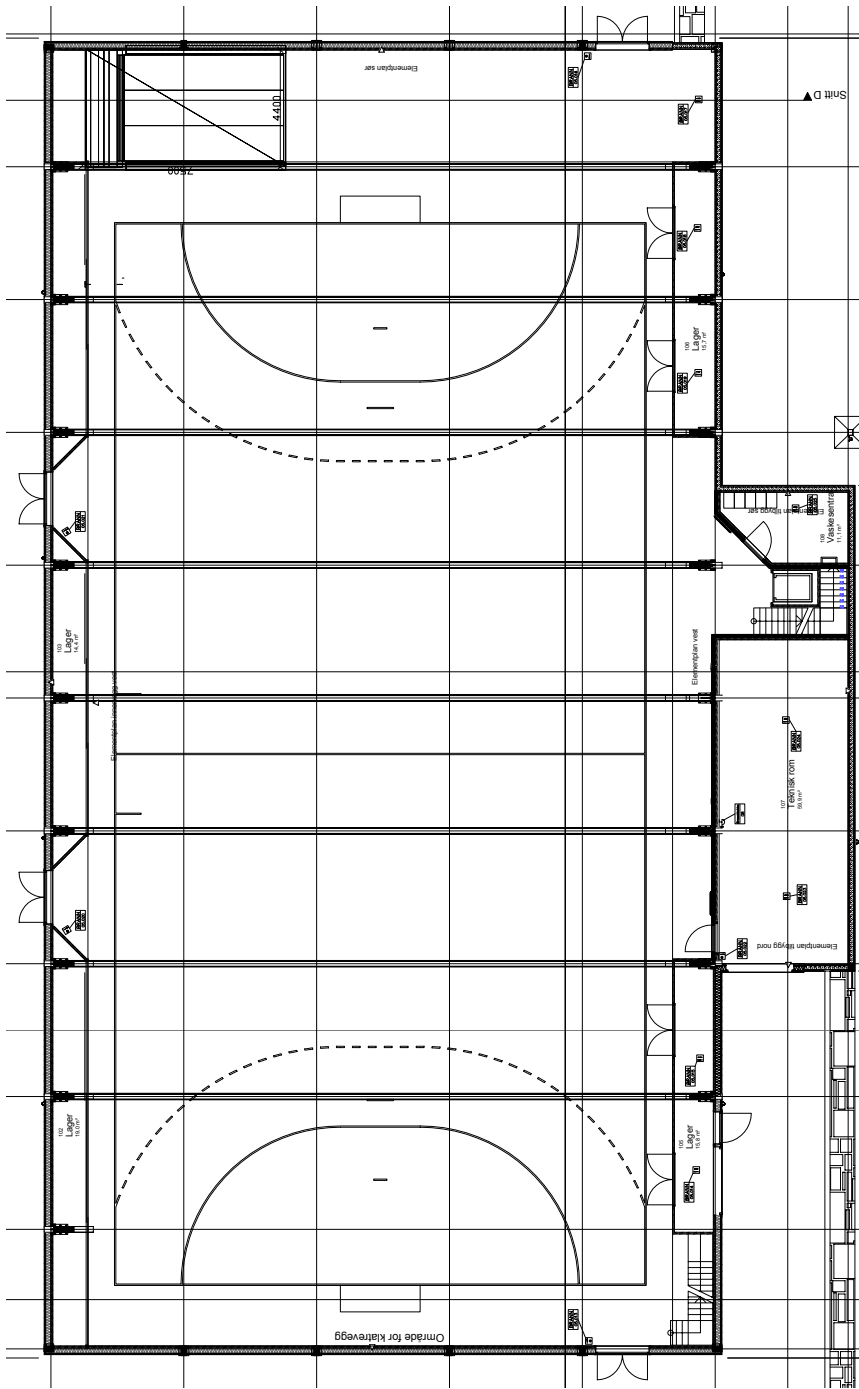


Figur B.3: Plantegning av underetasjen i Rosenberg idrettshall

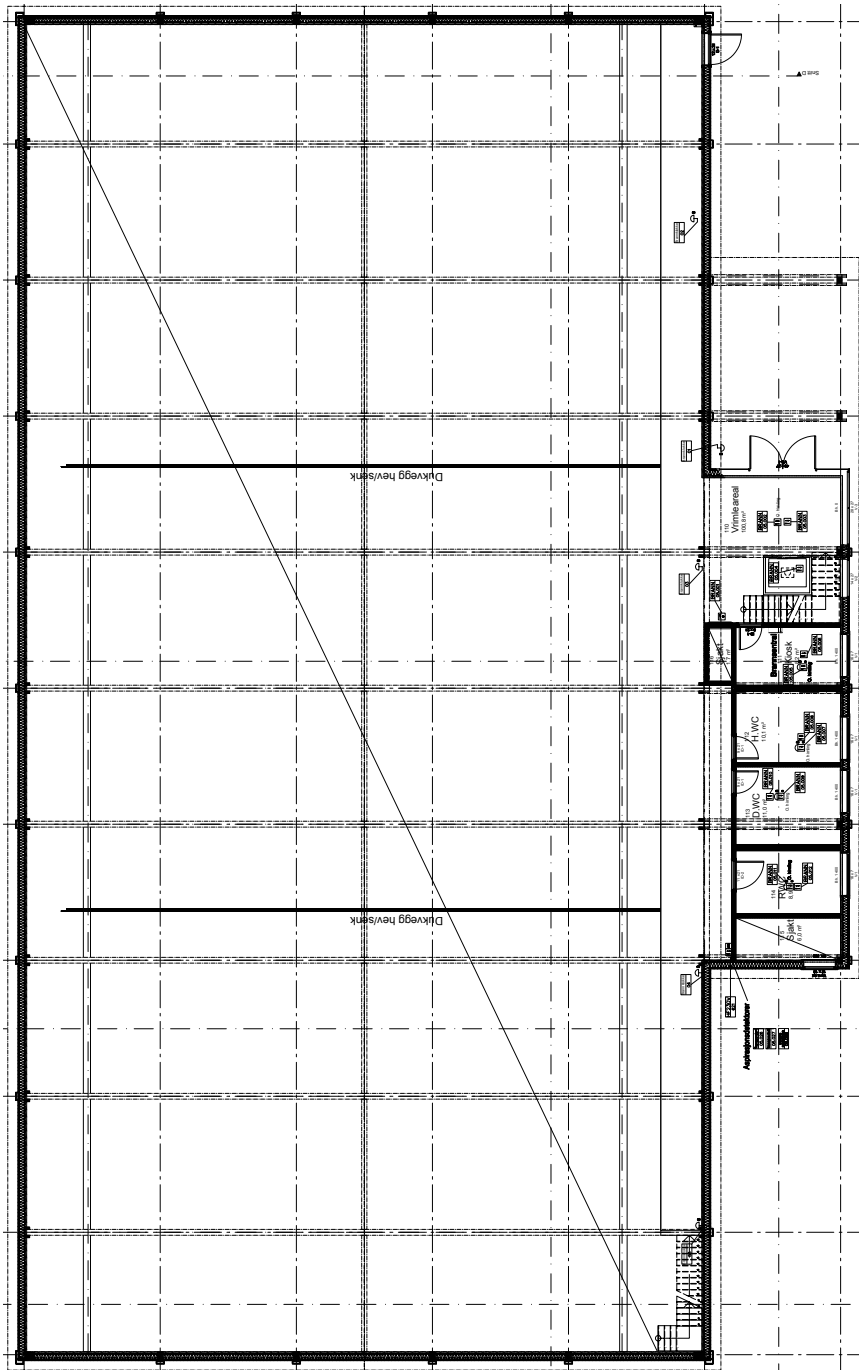
B.2 Rollag idrettshall

Figur B.4 og B.5 viser plantegningene for Rollag idrettshall.

B.2. Rollag idrettshall



Figur B.4: Plantegning av 1. etasje i Rollag idrettshall



Figur B.5: Plantegning av 2. etasje i Rollag idrettshall

BRUKSMØNSTER I ROSENBERG IDRETTSHALL

Figur C.1 og Figur C.2 viser bruksmønsteret i Rosenborghallen, og er hentet fra bestillingssidene til Trondheim Kommune (2013).

Rosenborghallen	8		9		10		11		12		13		14		15	
Ukesvisning	00	30	00	30	00	30	00	30	00	30	00	30	00	30	00	30
Man 03/02-2014	Reservert skole															
Tir 04/02-2014	Reservert skole															
Ons 05/02-2014	Reservert skole															
Tor 06/02-2014	Reservert skole															
Fre 07/02-2014	Reservert skole															
Lør 08/02-2014	Ute		Minirunde, Bandy													
Søn 09/02-2014	Ute		Minirunde, Bandy													

Figur C.1: Halldisponering i Rosenborghallen fra kl 8.00 til 16.00, februar 2014 (Trondheim Kommune, 2013)

16		17		18		19		20		21		22			
00	30	00	30	00	30	00	30	00	30	00	30	00	30		
nhf rmn Rammet				Volley 2/3				Basket ram				nhf rmn Rammet			
Innebandy rammetid															
nhf rmn Rammetid										Volleyball ram					
Gym og turn rammetid										nhf rmn Rammetid					
nhf rmn Rammet				Basket rammetid								Ute			
						Stengt						Ute			
1. divisjon kvinner						nhf rmn Rammetid						Ute			

Figur C.2: Halldisponering i Rosenborghallen fra kl 16.00 til 23.00, februar 2014 (Trondheim Kommune, 2013)

BRUKSREGISTRERING

D.1 Rosenberg idrettshall

Figur D.1 og D.2 viser antall registrerte aktive brukere i løpet av en time i hele måleperioden i Rosenborghallen.

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
03.04.14							lys på			16	31	21	20	11
04.04.14														
05.04.14									lys på	52	71	63	72	103
06.04.14								lys på	23	37	22	59	29	37
07.04.14								lys på	9	21				
08.04.14								lys på	37	18	22	1	34	17
09.04.14								lys på	25		4		27	34

Figur D.1: Antall aktive registrerte brukere i Rosenborghallen fra klokken 00-14 i måleperioden

Klokkeslett	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM
03.04.14	18	29	63	82	66	50	37	51	lys av		495
04.04.14		lys på	16	59	28	28	13	2	lys av		146
05.04.14	63	43	43	37	78	50	30	lys av			705
06.04.14	2	2	4	25	36	47	37	14	lys av		374
07.04.14	12	27	42	24	14	7	13	41	lys av		210
08.04.14			8	8	2	12	18	15	lys av		192
09.04.14		15	35	19	32	2	11	lys av			204

Figur D.2: Antall aktive registrerte brukere i Rosenborghallen fra klokken 15-24 i måleperioden

D.2 Rollag idrettshall

Figur D.3 og D.4 viser antall registrerte aktive brukere i løpet av en time i hele måleperioden i Rollaghallen.

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
23.04.14								lys på		21				
24.04.14								lys på						
25.04.14								lys på						11
26.04.14	lys av													lys på
27.04.14														
28.04.14								lys på						
29.04.14									lys på					

Figur D.3: Antall aktive registrerte brukere i Rollaghallen fra klokken 00-14 i måleperioden

Klokkeslett	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM
23.04.14								lys av			21
24.04.14				28	12	10			lys av		50
25.04.14			11	5							27
26.04.14	4	4	2	lys av							10
27.04.14				lys på	6	7				lys av	13
28.04.14					40	32	27		lys av		99
29.04.14					5	11	4		lys av		20

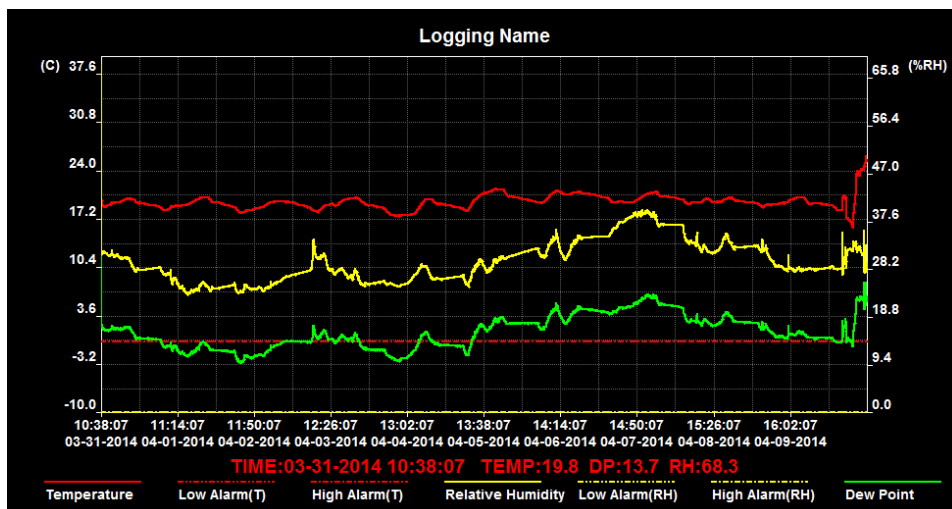
Figur D.4: Antall aktive registrerte brukere i Rollaghallen fra klokken 15-24 i måleperioden

KAPITTEL E

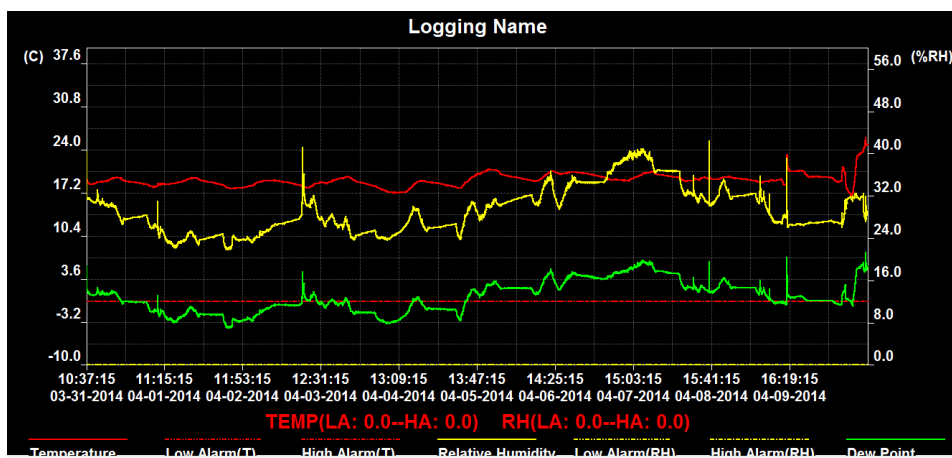
TEMPERATUR OG RF

E.1 Rosenberg Idrettshall

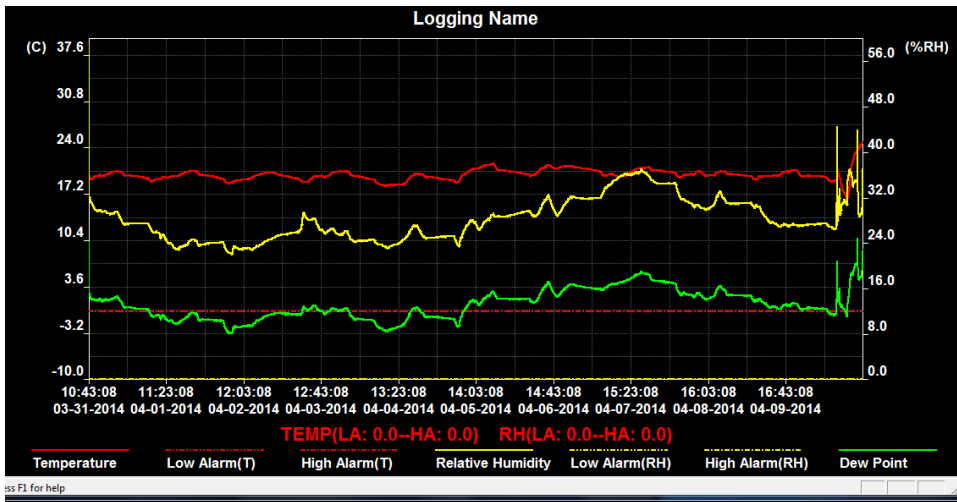
Vedlegget fremstiller resultatene fra måleren for relativ fuktighet og temperatur i Rosenborghallen. Resultatene er hentet fra programmet RHT10 som lagde grafene på bakgrunn av måleverdiene fra Rosenborghallen. Grafene i Figur E.1-E.4 viser målinger for perioden 31. mars til 10. april. Etter at loggerene ble tatt ned fra Rosenborghallen lå de i en ryggsekk, slik at målingene for siste del av perioden vist i grafen, 10. april kan sees bort i fra. Grafen i Figur E.5 viser resultatene for temperatur og RF i Trondheim, nærmere bestemt Kalvskinnet. Det antas at temperaturen og RF i Trondheim sentrum er tilnærmet lik, slik at disse resultatene er egnet for vurdering av Rosenborghallen. Loggeren ble satt utendørs 5. april, og tatt inn igjen 12. april. Tidspunktet for når utelloggeren ble satt ut vises tydelig på grafen da RF øker og temperaturen minker.



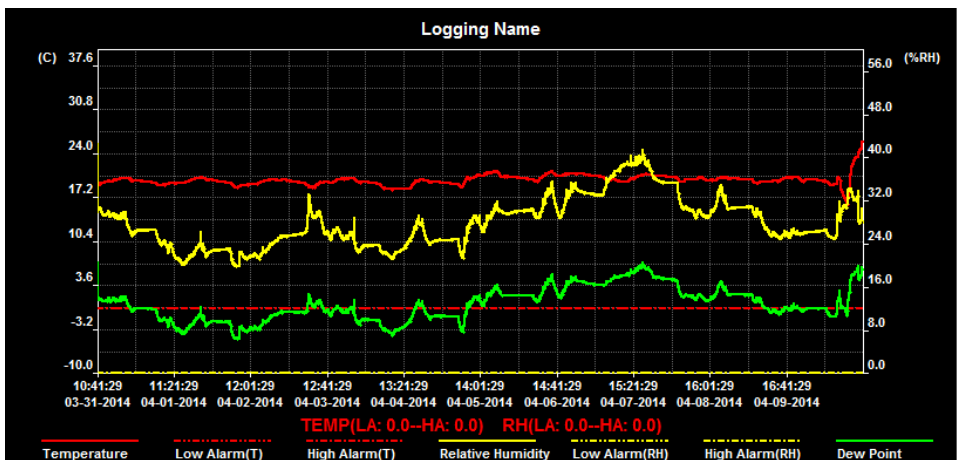
Figur E.1: Logger 1: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen



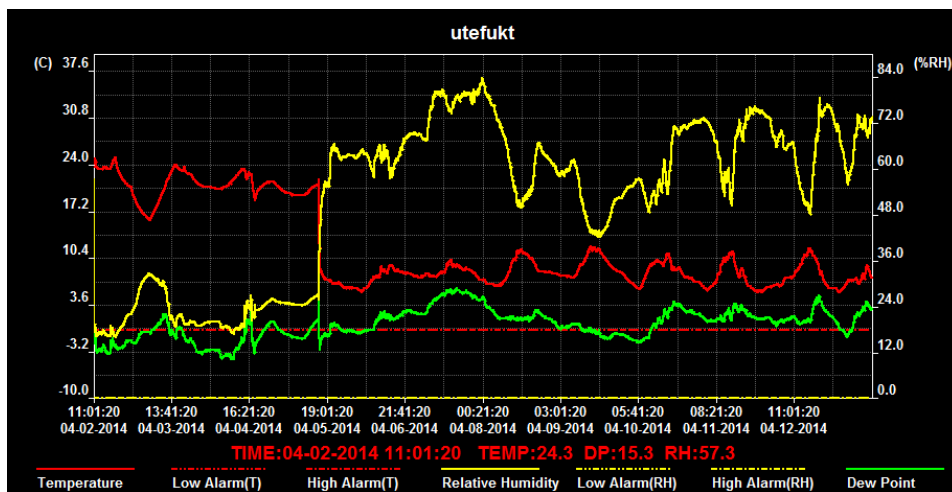
Figur E.2: Logger 2: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen



Figur E.3: Logger 3: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen



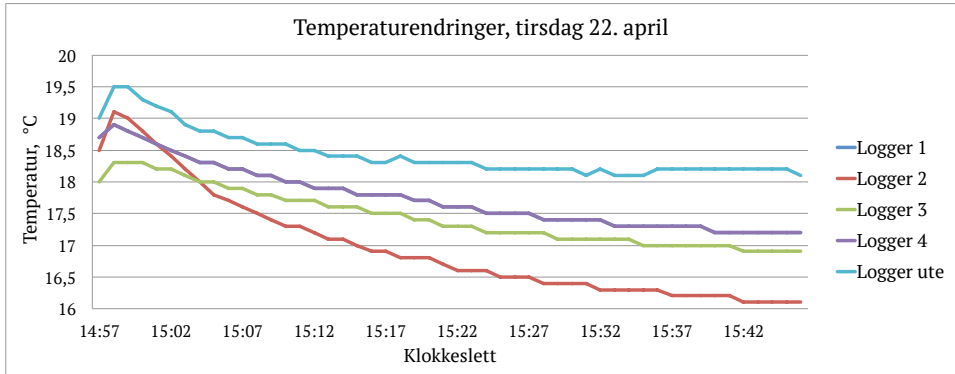
Figur E.4: Logger 4: RF- og temperaturendringer i Rosenborghallen



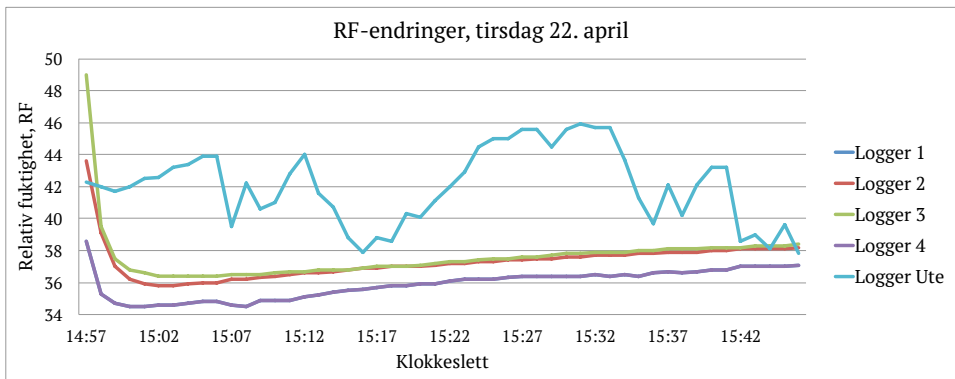
Figur E.5: Logger Ute: RF- og temperaturendringer i Trondheim

E.2 Rollag idrettshall

Dette vedlegget viser måleresultatene fremstilt som grafer fra de 50 minuttene loggeren målte. Dette var fra klokken 14.57 til 15.47. Figurene E.6 og E.7 viser henholdsvis temperaturendringer og RF-enderinger i måleperioden.



Figur E.6: Temperaturendringene i Rollagshallen



Figur E.7: RF-enderingene i Rollagshallen

Værdata for måleperioden i Figur E.8 er hentet fra nettsidene til YR (Meteorologisk institutt & NRK, 2014). Figuren viser middeltemperaturen samt normaltemperaturen for Rollag for det aktuelle tidsintervallet.

Temperatur, °C				
Dato	Maks	Min	Middel	Normal
30.04.14	12,1°	-0,8°	4,5	5,7
29.04.14	14,5°	2,3°	5,5	5,5
28.04.14	19,0°	2,8°	11,2	5,3
27.04.14	20,1°	3,8°	11,5	5,1
26.04.14	19,2°	3,1°	10,8	4,9
25.04.14	16,4°	3,4°	8,9	4,7
24.04.14	12,4°	-1,5°	6,4	4,5
23.04.14	15,2°	4,6°	8,9	4,3
22.04.14	18,4°	2,5°	11,1	4,1

Ukemiddel temp: 8,8 °C
Normal ukemiddel temp 4,9 °C

Figur E.8: Temperaturmålinger for Rollag fra 22.-30. april 2014 (Meteorologisk institutt & NRK, 2014)

FORBRUK AV ELEKTRISK ENERGI I ROSENBORGHALLEN

Dette vedlegget består av resultatene fra beregningene av elkraftforbruk i Rosenborghallen. Figur F.1 og F.2 er tabeller fra regneprogrammet *Excel*, og viser forbruket i Rosenborghallen den aktuelle måleuken. Forbruket er fremstilt som kWh/h . Tabell F.1 viser energiforbruket til ventilasjonsanlegget i måleperioden. Forbruket er beregnet ut fra avlesninger på frekvensomformerne tilkoblet hver av komponentene i ventilasjonsanlegget.

Tabell F.1: Ventilasjonsanleggets energibruk i Rosenborg idrettshall

	Effekt P	Driftstimer h	Energi E
Torsdag 3.april	14,96 kW	16,5	246,84 kWh
Fredag 4. april	14,96 kW	16,5	246,84 kWh
Lørdag 5. april	14,96 kW	14	209,44 kWh
Søndag 6. april	14,96 kW	14	209,44 kWh
Mandag 7. april	14,96 kW	16,5	246,84 kWh
Tirsdag 8. april	14,96 kW	16,5	246,84 kWh
Onsdag 9. april	14,96 kW	16,5	246,84 kWh
Totalt energiforbruk			1653 kWh

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Sum
03.04.2014 to												35	35	35	26	37	37	38	38	37	38	36	30	10	432
04.04.2014 fr	4	3	2	2	2	2	9	16	17	17	20	26	25	24	24	23	32	36	36	36	37	37	19	5	454
05.04.2014 lø	2	2	3	2	3	2	4	6	18	38	39	39	40	38	38	39	40	40	39	40	39	19	7	4	541
06.04.2014 sø	3	2	3	2	3	3	4	5	28	36	34	40	35	41	37	38	38	36	36	36	37	35	6	4	542
07.04.2014 ma	2	2	2	3	2	2	10	25	34	33	32	30	30	31	30	33	37	36	36	36	38	38	23	4	549
08.04.2014 ti	3	2	2	2	2	2	9	23	31	30	31	31	32	34	27	21	30	31	30	36	36	37	26	4	512
09.04.2014 on	2	3	2	2	2	3	9	26	31	32	33	32	32	32	28	36	37	38	37	37	37	22	17	4	534
10.04.2014 to	3	2	3	2	2	3	9	17	28	30	30														129
Totalt forbruk																									3 693

Figur F.1: Totalt forbruk av elektrisk energi i Rosenborghallen [kWh/h]

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Sum	
03.04.2014 to												20	20	20	11	22	22	23	23	22	23	21	15	10		252
04.04.2014 fr	4	3	2	2	2	2	2	1	2	2	5	11	10	9	9	8	17	21	21	21	22	22	4	5		207
05.04.2014 lø	2	2	3	2	3	2	4	6	3	23	24	24	25	23	23	24	25	25	24	25	24	4	4	7		332
06.04.2014 sø	3	2	3	2	3	3	4	5	13	21	19	25	20	26	22	23	23	21	21	21	22	20	6	4		333
07.04.2014 ma	2	2	2	3	2	2	3	10	19	18	17	15	15	16	15	18	22	21	21	21	23	23	8	4		302
08.04.2014 ti	3	2	2	2	2	2	2	8	16	15	16	16	17	19	12	6	15	16	15	21	21	22	11	4		265
09.04.2014 on	2	3	2	2	2	3	2	11	16	17	18	17	17	17	13	21	22	23	22	22	22	7	2	4		287
10.04.2014 to	3	2	3	2	2	3	2	2	13	15	15															62
Totalt forbruk																										2 040

Figur F.2: Elforbruk ved belysningen i Rosenborghallen [kWh/h]

FJERNVARMEOFORBRUK I ROSENBORGHALLEN

Dette vedlegget består av resultatene fra målingene av fjernvarmeforbruk i Rosenborghallen. Figur G.1, G.2 og G.3 er tabeller fra regneprogrammet *Excel*, og viser fjernvarmeforbruket i Rosenborghallen den aktuelle måleuken. Forbruket er fremstilt som *kWh/h*.

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM	
27.03.14 to									2	7	5	2	2	4	2	3	2	2	2	2	2	2	2	4	2	46
28.03.14 fr	2	2	2	2	2	2	3	3	2	6	4	8	4	3	3	3	2	6	2	2	5	3	3	2	2	76
29.03.14 lø	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	2	2	2	15	2	4	2	3	3	2	2	2	73
30.03.14 sø	2	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	8	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	64
31.03.14 ma	2	2	2	3	3	3	3	2	6	5	3	3	4	2	2	2	2	2	3	2	7	3	3	2	2	72
01.04.14 ti	2	2	3	3	2	2	1	2	4	8	7	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	68
02.04.14 on	2	2	2	2	2	2	3	4	3	3	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	57
03.04.14 to	2	2	1	1	1	1	2	2	3	5	4	2													27	
																										482

Figur G.1: Fjernvarmens energiforbruk per time [kWh/h] for tappevannsoppvarmingen i Rosenborghallen i måleperioden

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM	
03.04.14 to									2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	24
04.04.14 fr	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	33
05.04.14 lø	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	35
06.04.14 sø	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	0	34
07.04.14 ma	0	0	0	0	0	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	31
08.04.14 ti	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	0	35
09.04.14 on	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	31
10.04.14 to	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	17
																										241

Figur G.2: Fjernvarmens energiforbruk per time [kWh/h] for ventilasjonsluftsoppvarmingen i Rosenborghallen i måleperioden

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM	
03.04.14 to									22	17	21	22	20	21	22	23	21	22	19	18	22	20	22	20		333
04.04.14 fr	20	18	18	20	23	19	22	24	18	19	14	21	22	21	21	18	16	28	16	16	21	20	17			469
05.04.14 lø	16	16	17	16	17	16	17	18	16	18	17	23	17	20	26	19	8	19	21	20	31	31	29	19		466
06.04.14 sø	14	14	14	13	13	13	14	12	17	32	16	18	22	22	36	17	17	19	17	20	18	20	15	13		428
07.04.14 ma	14	14	13	11	15	14	14	16	16	23	25	16	17	24	17	18	17	18	15	20	22	17	19	14		406
08.04.14 ti	14	13	13	12	17	15	16	15	14	17	16	20	21	23	14	20	18	21	16	20	21	16	22	14		407
09.04.14 on	14	13	14	14	16	15	14	17	17	24	24	18	15	20	18	17	16	17	18	19	18	16	21	14		410
10.04.14 to	14	14	14	15	16	18	17	17	18	15	18	19														195
																										3115

Figur G.3: Fjernvarmens energiforbrug per time [kWh/h] for gulvvarme, radiatorer og strålepaneler i Rosenborghallen i måleperioden

KAPITTEL H

FORBRUK AV ELEKTRISK ENERGI I ROLLAGHALLEN

Dette vedlegget består av resultatene fra målingene av forbruk av elektrisk energi i Rollaghallen. Figur H.1, H.2, H.3 og H.4 er tabeller fra regneprogrammet *Excel*, og viser forbruket i Rollaghallen den aktuelle måleuken. Forbruket er fremstilt som *kWh/h*.

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM	
22.04.14											3	9	13	13	4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	50
23.04.14	1	1	1	1	1	1	1	1	8	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	2	1	1	1	178
24.04.14	1	1	1	1	1	1	1	3	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	14	14	14	14	9	1	1	209
25.04.14	1	1	1	1	1	1	1	4	13	13	13	13	14	13	13	13	14	14	14	14	14	14	14	14	14	227
26.04.14	14	6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	4	20	20	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	83
27.04.14	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	17	21	21	21	22	7	121	
28.04.14	1	1	1	1	1	1	1	2	9	13	13	13	13	13	13	13	14	14	15	14	14	14	8	1	201	
29.04.14	1	1	1	1	1	1	1	3	8	13	13														46	
Totalt																										1114

Figur H.1: Energiforbruk per time [kWh/h] for belysningen i Rollaghallen i måleperioden

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM
22.04.14															1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,97	0,95	0,97	0,95	1,00	9,76
23.04.14	0,95	0,97	0,95	0,95	0,95	0,94	0,95	0,94	0,97	0,95	0,97	0,97	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,92	0,94	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	22,78
24.04.14	0,92	0,94	0,94	0,92	0,92	0,92	0,94	0,92	0,94	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,97	0,95	0,95	0,95	0,94	0,95	0,94	22,62
25.04.14	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,97	0,95	0,94	0,94	0,95	0,94	0,94	0,94	0,97	0,97	0,95	0,97	22,77
26.04.14	0,94	0,94	0,94	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,97	0,98	0,98	1,00	0,98	1,00	0,97	0,95	0,97	0,95	0,95	0,95	0,95	0,97	0,95	23,00
27.04.14	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,95	0,95	0,95	0,97	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	0,95	0,97	23,16
28.04.14	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,95	0,94	0,95	0,97	0,97	0,95	0,97	0,95	0,95	0,97	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95	0,97	22,85
29.04.14	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,95	0,94	0,94	0,95	0,95	0,98	0,98	0,98	0,98											13,39
Totalt																									160,32

Figur H.2: Energiforbruk per time [kWh/h] for ventilasjonsaggregatet i Rollaghallen i måleperioden

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM	
22.04.14													7,46	7,12	17,42	7,78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39,78
23.04.14	0	12,57	17,20	4,16	0	7,56	18,37	8,47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68,34
24.04.14	0	0	0	9,59	18,79	6,13	0	10,73	4,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49,59
25.04.14	0	0	0	0	0	0	5,96	16,27	1,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23,36
26.04.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27.04.14	0	0	0	0	0	0	0	0	11,79	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,77
28.04.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29.04.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totalt																										196,84

Figur H.3: Energiforbruk per time [kWh/h] for oppvarming av ventilasjonsluft i Rollagshallen i måleperioden

Klokkeslett	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	SUM	
22.04.14											6,8	1,9	2,1	8,4	1,9	2,8	2,9	2,8	1,9	1,9	2,9	1,9	2,9	2,9	2,9	41,3
23.04.14	1,9	6,4	6,7	8,8	2,9	7,4	6,6	8,5	4,1	3,0	2,2	2,3	2,4	2,3	3,3	2,4	2,3	1,2	2,1	3,4	2,5	1,4	1,9	1,9	1,9	87,9
24.04.14	3,0	2,9	2,9	5,4	6,2	7,8	4,9	8,0	8,7	1,9	2	2,3	2,3	2,3	2,1	2,2	2	2,6	2,7	2,9	2,3	1,3	2,7	2,9	2,9	84,3
25.04.14	2,9	2,9	1,9	1,9	2,9	2,9	7	7,9	5,7	2,1	2,3	2,3	3	2,4	2,9	2	2	2,1	2,2	2,2	2,1	2,1	2	2,1	2,1	70
26.04.14	2,4	2,8	2,9	1,9	2,0	1,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	4,8	2,5	2,8	2,8	2,5	2	1,9	1,9	2,9	1,9	2,9	1,9	1,9	62,3
27.04.14	1,9	1,9	2,9	2,9	2,9	2,9	1,9	3,9	7,1	7,9	2,9	1,9	2,9	2,9	2,9	2,8	1,8	1,9	2,1	2,6	2,9	2,8	2,3	2,1	2,1	71,1
28.04.14	1,9	1,9	2,9	2,9	2,9	1,9	1,9	2,3	4	3,1	2,3	2,4	2,1	2,1	2,1	2,3	2,4	2,4	2,4	1,6	2,7	2,4	2,3	1,9	1,9	57,3
29.04.14	1,9	1,9	2,9	1,9	2,9	2,9	1,9	3,7	3,6	3	2,2														29	
Totalt																									503,2	

Figur H.4: Totalt energiforbruk per time [kWh/h] etter fratrekk av målte verdier i Rollagshallen i måleperioden
