



**HØGSKOLEN
I SØR-TRØNDELAG**

Oppvarming av tribuneseter i ishall

En tverrfaglig bacheloroppgave mellom konstruksjonsteknikk og VVS

Heating of stand seats in ice hall

A multidisiplinary bachelor thesis between mechanical engineering and HVAC

Marius Normann

Kristian Rønning

Lars Marius Strande

Bachelor i ingeniørfag - Maskiningeniør

Program for maskinteknikk og logistikk

Avdeling for teknologi

Høgskolen i Sør-Trøndelag, 2015

Prosjektnummer: MAL-K-2015-16

Innlevert: Mai 2015

Veileder: Ola Ruch, Høgskolen i Sør-Trøndelag

Oppdragsgiver: Bjørn Aas, Senter for idrettsanlegg og teknologi, NTNU



**HØGSKOLEN
I SØR –
TRØNDELAG**

AVDELING FOR TEKNOLOGI

**Program for maskinteknikk og
logistikk**

7004 Trondheim

**RAPPORT
BACHELOROPPGAVEN**

Tittel:

Oppvarming av tribuneseter i ishall

Heating of stand seats in ice hall

Prosjektnummer:

MAL-K-2015-16

Forfattere:

Marius Normann, Kristian Rønning, Lars Marius Strande

Oppdragsgiver eksternt:

Bjørn Aas

Senter for Idrettsanlegg og teknologi, NTNU

Dato levert:

26. mai 2015

Antall del-
rapporter:

0

Totalt antall
sider:

112

Veileder internt:

Ola Ruch, Høgskolen i Sør-Trøndelag

Rapporten er ÅPEN

Kort sammendrag:

Tribuneområdet på Leangen ishall holder 14 °C. Slike temperaturer gir en lav termisk komfort for publikum. Oppvarmingen av publikumsarenaen utføres i dag gjennom temperering av ventilasjonsluft, noe som gjør det problematisk å opprettholde en god kvalitet på isflaten. Vi foreslår to alternativer for å redusere dette problemet, et varmesete og en radiatorløsning. Begge alternativene vil tilføre varmen lokalt hos tilskuerne. Disse kan også ha en positiv innvirkning på energiforbruket.

Stikkord fra prosjektet:

Ishall, oppvarming, rehabilitering, produktutvikling, FoU

Forord

Denne rapporten er en bacheloroppgave skrevet våren 2015 ved avdelingen for Maskin og Logistikk ved Høgskolen i Sør-Trøndelag (HiST). Bacheloroppgaven utgjør 20 studiepoeng og tilsvarer 500 timer arbeid per kandidat.

Rapporten bygger videre på masteroppgaven «Energieffektiv oppvarming av ishaller» skrevet av Daniel Bergsagel ved Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) våren 2014. Masteroppgaven omhandler dagens oppvarmingsløsninger i ishaller og anbefaler videre arbeid med alternative metoder.

Denne rapporten tar for seg konsepter presentert i masteroppgaven. Det vil bli utført analyse og forsøk med to av konseptene ved Leangen ishall, resultatene vil bli presentert sammen med anbefalinger for videre arbeid.

Vi vil rette en stor takk til vår veileder, Ola Ruch ved Høgskolen i Sør-Trøndelag for gode tips og råd gjennom prosessen. Takk rettes også til Tore Kristian Eliassen ved HiST som har bistått med grundig innføring i bruk av måleutstyr fra VVS-laboratoriet.

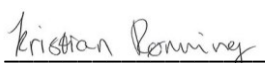
Vår oppdragsgiver Bjørn Aas ved Senter for Idrettsanlegg og Teknologi (SIAT), NTNU, har bidratt med opplysninger og skaffet til veie det vi måtte trenge. Han har også vært til stor hjelp med å opprette god kontakt med driftspersonalet. Dette er vi svært takknemlige for og vi vil takke for alle møtene vi har blitt invitert til samt faglig bistand.

Til slutt vil vi også takke Leangen Arena og driftspersonale ved Frank Erik Ålberg for deres tålmodighet og behjelpelighet under målinger og tester i ishallen.

Trondheim 26. mai 2015



Marius Normann



Kristian Rønning



Lars Marius Strande

Bakgrunn og målsetting

Oppgaven ble presentert av Bjørn Aas ved SIAT, NTNU, 12.9.14 på HiST. Etter sondering av forskjellige muligheter kom vi tilbake til denne oppgaven. Vi hadde et møte med Bjørn Aas før vi bestemte oss for et samarbeid. Vår oppgave er et forsknings- og utviklingsprosjekt (FoU), og er med det knyttet en viss usikkerhet om hvorvidt målene er mulig å oppnå eller ikke. Et FoU prosjekt kan også ha en dynamisk målsetting (Rolstadås, Asbjørn 2014).

Ishaller er kompliserte bygg som setter høye krav til varme-, ventilasjon- og kjølesystem, og det finnes lite kunnskap om hvordan disse byggene bør bygges. Ishaller er svært energikrevende og er dyre i drift.

Naturlig nok er isen det viktigste i en ishall og bygget er bygd opp rundt dette elementet. Senere kommer publikumsområdet inn og det blir da satt inn oppvarming av forskjellige slag for å øke komforten til publikum. Det er nå to ulike termiske soner i hallen, men det er ikke tatt høyde for påvirkningen de har på hverandre.

På bakgrunn av anbefalinger i «Energieffektiv oppvarming av ishaller» skal vi undersøke to alternative oppvarmingskonsepter for tilskuerområdet basert på bruk av konduksjons- og konveksjonsvarme. Konseptene skal gi en bedret termisk komfort for tilskuerne, og være kompatibel med dagens løsning. Vi må kartlegge og innhente nødvendige data og målinger fra dagens system på Leangen ishall.

Målet med denne oppgaven er å finne et konsept som tilfredsstiller publikums krav til termisk komfort i høyere grad enn dagens løsning samtidig som den reduserer driftskostnader.

Sammendrag

En ishockeyhall har store utfordringer når det kommer til oppvarming av publikumsområdet. Tilskuerne har et foretrukket termisk klima, og utøverne har et annet. I tillegg er det viktig at isen holder en god kvalitet. I mange ishockeyhaller rundt omkring i Norge løses dette med å varme opp hele volumet i hallen med oppvarmet ventilasjonsluft. Når mange av hallene også er dårlig termisk isolert skaper dette en konflikt, både økonomisk og med hensyn til termisk komfort blandt tilskuerne.

I denne oppgaven har vi sett på alternative løsninger for å sikre et godt termisk klima for publikum uten unødvendig spillvarme til omgivelsene. Vi har utviklet to separate alternativer: ribberørradiator basert på konveksjon og varmeseter basert på termisk konduksjon. Ribberørradiatorer er kjent fra kirken og kan bruke overskuddsvarme fra isproduksjon. Den plasseres under setet for å varme opp luften som da vil stige opp. Varmesetet er et vanlig tribunesete med elektrisk varmelement. Vi har bygd prototyper som er testet ut i Leangen ishall over en periode på fire måneder.

Vi har konkludert med at varmesetene vi har utviklet har et stort potensiale for å kunne erstatte en vesentlig del av oppvarmingen gjennom ventilasjonen, og vil kunne redusere energibruken i ishallen. 25 m² solceller på taket kan dekke all energien setene trenger. Vi har også sett at dette kan være et godt alternativ for flere typer idrettsanlegg hvor temperaturen kan være lav, for eksempel fotballarenaer, bandybaner og tribuner rundt hoppbakker. I tillegg har vi funnet at i en romtemperatur på 11 °C vil det være nok med 20 W/tilskuer. Dette er langt lavere enn dagens situasjon hvor det ikke er urimelig å anta opp mot 200 W/tilskuer, avhengig av antall tilskuere på tribunen.

Prototypen av setet med innebygd varme har individuell styring slik at hver tilskuer kan bestemme sin egen termiske komfort. Dette sikrer også at setene ikke gir fra seg unødvendig spillvarme når det ikke brukes. Det andre konseptet, ribberørradiator, har ikke denne muligheten og vil nødvendigvis ikke være like effektiv, men kan til gjengjeld anvende overskuddsvarme fra isproduksjonen.

Abstract

An ice hockey rink unsurprisingly faces a number of challenges regarding heating of the rink. The audience has a particular set of preferences regarding thermal comfort and the athletes have another. In addition, the ice needs to hold solid quality. Many ice rinks in Norway solve this problem by heating the air through the ventilation unit, thus keeping the room volume heated. These ice rinks also have low insulation grade that causes conflicts economically and with regard to thermal comfort.

In this thesis, we have investigated alternative solutions to ensure a good thermal climate for the audience without causing unnecessary waste of heat to the local environment. We have developed two separate alternatives, one based on convection and one based on thermal conductivity. Respectively a heating radiator and a heated seat. The heating radiator is commonly used in churches and it can utilize the heat generated by the ice production. The radiator will be placed under the seats and hot air will rise. The heated seat is a normal stand seat fitted with a low power output heating pad. We have constructed prototypes that were placed in Leagen Ice Rink for testing over the course of four months.

We have concluded that the heated seats we developed have a big potential for replacing the majority of the heating provided by the ventilation unit, consequently reducing the energy consumption in the ice rink. With as few as 25 m² solar panels the energy consumption could be met. Hence, this could be a good alternative for other types of sports facilities, such as football stadiums and bandy halls. In addition, we found that in a thermal climate with 11 °C, 20 W is sufficient for each spectator. This is lower than today's situation where the number is closer to 200 W per spectator, depending on the number of spectators.

The heated seat prototype allows individual adjustment so every spectator has the ability to control his or her own thermal comfort. This will ensure that the seats do not spill unnecessary heat to the surrounding ice. The convector solution will not be as effective; however, it could utilize heat generated by the ice production process.

Innhold

Forord	I
Bakgrunn og målsetting.....	II
Sammendrag	III
Abstract	IV
Innhold	V
Figurliste	VIII
Tabelliste	X
Ord og begreper	XI
Symboliste	XIII
1 Innledning.....	1
1.1 Problemdefinering.....	1
2 Teori.....	3
2.1 Termisk komfort	3
2.1.1 Parametere som påvirker vår komfort.....	5
2.1.2 Empirisk forskning på termisk komfort	5
2.1.3 ASHRAE Standard 55	6
2.2 Ventilasjonsanlegg.....	7
2.2.1 Målinger av flow	8
2.3 Termisk energi	9
2.3.1 Stråling.....	10
2.3.2 Konduksjon	10
2.3.3 Konveksjon	11
2.4 Økonomi	12
3 Energibruk i ishaller	13
3.1 Spesielle utfordringer og hensyn.....	15
3.2 Termisk komfort anvendt på Leangen	16
4 Metode	17
4.1 Konseptutvikling	17
4.2 Metode for litteratursøk	18
4.3 Simulering.....	19
4.4 Feltforsøk og feltarbeid	19
5 Konseptutvikling.....	20
5.1 Kravspesifikasjon	20

5.2	Konseptscreening	20
5.3	Konsept nummer 1	22
5.3.1	Produktutvikling	22
	<i>Tilleggsdimensjonen</i>	26
5.3.2	Simulering.....	26
5.3.3	Termisk komfort og virkningsgrad.....	27
5.3.4	Prototype.....	30
5.3.5	Energi.....	32
5.4	Konsept nummer 2	32
5.4.1	Produktutvikling	33
5.4.2	Simulering.....	34
5.4.3	Teknisk beskrivelse	37
5.4.4	Termisk komfort	38
5.4.5	Energi.....	38
5.5	Tilleggskonsepter.....	38
5.5.1	Takets utforming	39
5.5.2	Snudd ventilasjon	40
5.5.3	Oppdelte klimasoner	40
5.5.4	Solenergi.....	40
6	Feltforsøk.....	42
6.1	Resultat.....	44
7	Instrumentering.....	46
7.1	Anvendt utstyr.....	46
8	Matematisk modulering av ishall	50
9	Økonomiske betraktninger på Leangen	51
10	Gruppeprosess	56
11	Diskusjon og analyse	58
11.1	Gjennomgang av konsept nummer 1	58
11.2	Gjennomgang av konsept nummer 2	61
11.3	Sammenligning	62
11.4	Evaluering	63
12	Konklusjon	64
13	Forslag til videre arbeid	65
14	Kildehenvisning.....	66

Appendiks A – Artikkel	i
Appendiks B – Kalibrering av anvendt utstyr	iii
Kalibrering	iii
Temperaturlogger (HIOKI 8430)	iii
Vannmengdemåler (TA CBI2-logger)	iv
Temperaturlogger (Onset ux120-014m)	iv
Micronics portaflo 220	iv
Appendiks C – Fjernvarmepris	vii
Appendiks D – Kvalitetshus	ix
Appendiks E – Produktspesifikasjon	xi
Appendiks F – Systemtegninger av VVS-anlegget	xiii
Appendiks G – Reflector produktblad	xiv
Appendiks H – Sikker jobbanalyse	xv
Appendiks I – Utregning av ny temperatur i Leangen ishall	xviii
Appendiks J – Vanns densitet som funksjon av temperatur	xix
Appendiks K – Gantt diagram	xx
Appendiks L – Avvik	xxii

Figurliste

Figur 1: Viser forventet energibruk per m ² isflate (Andersen, O. & Rangul, F. 2015).	2
Figur 2: Forventet prosentvis utilfredsstilte (PPD) som funksjon av PMV	4
Figur 3: Optimal operativ temperatur for forskjellige metabolismer og beklædninger. Dette vil tilsvare en PMV mellom -0,5 og 0,5	4
Figur 4: Resultatene fra artikkelen: Ol, H. et al. <i>Effects of heated seats in vehicles on thermal comfort during the initial warm-up period.</i>	6
Figur 5: Et diagram som forholdet mellom vannmengde, trykkdifferanse og K _v . Alle ventilprodusenter har sitt eget diagram.	9
Figur 6: EOS-logg for Leangen ishall	13
Figur 7: Effekten som ble målt på varmebatteriet til ventilasjonsaggregat (360.02) over en periode på 120 timer.	14
Figur 8: Tur- og returtemperatur over varmebatteriet på ventilasjonsaggregat (360.02) over samme 120 timers periode.	15
Figur 9: Nettbasert verktøy for visualisering av optimal termisk komfort i Leangen ishall.	16
Figur 10: Fra kravspesifikasjon til ferdig løsning	18
Figur 11: Simulering av varmesete med en effekt på 90 W/m ² . Nodene viser noen utvalgte temperaturer på bak- og fremside.	27
Figur 12: Resultatet fra artikkelen utgitt av Brooks og Parsons (1999) som undersøkte den termiske komforten i biler. Her vises kontrollsetene opp mot varmesetene de brukte i testen.	29
Figur 13: Exploded view av prototypene vi bygde. Bestående av et sete, varmeelement og isolasjon.	30
Figur 14: Diskré bryter for å slå setet av og på	31
Figur 15: Prototype	31
Figur 16: Viser prosessdelen av ribberørsløsningen	33
Figur 17: Simulering av ribberørsløsningen med påsatte temperaturer	36
Figur 18: Simulering av hvordan luftstrømmene påvirkes av ribberørradiatoren	36
Figur 19: Utsnitt av det tekniske systemskjema for VVS-anlegget på Leangen.	37
Figur 20: Prinsippskisse av hvordan termisk stråling vil bre seg i et volum (Nye Jordal Amfi Oslo, konseptutredning prosess 2015)	39
Figur 21: Dagens takløsning mot en parabolisk løsning	39
Figur 22: Pleksiglass som fysisk barriere.	40
Figur 23: Fremgangsmetoden for testen. Testen ble utført over fire intervaller på 15 minutter.	42
Figur 24: Bilde fra feltforsøket. Foto: Marius Normann	43
Figur 25: Figuren viser en forenklet fordeling av setene.	43

Figur 26: Sprangresponskurve som viser målt temperatur som funksjon av tiden $T(t)$. Setene ble påskrudd etter 6 minutter.....	44
Figur 27: Samlet poenggivning etter feltforsøket vi hadde på Leangen.	45
Figur 28: Termoelement.....	46
Figur 29: HIOKI 8430.....	46
Figur 30: Micronics Portaflow 220. Hentet fra www.metesco.nl	47
Figur 31: Temperaturlogger fra HOBO. Hentet fra www.onsetcomp.com	47
Figur 32: Fluke 51 II	48
Figur 33: Globetermometer. Hentet fra www.swema.com	48
Figur 34: TA-CBI2	49
Figur 35 To-trinns effektregulator.....	59
Figur 36: Alternativ festemåte	61
Figur 37: Del 1 av sertifiseringen av kalibrering på Micronics flowmeter. Unøyaktigheten er $\pm 0,2\%$...v	
Figur 38: Del 2 av sertifiseringen av kalibreringen av Micronics flowmeter datert til 14. februar 2014 vi	
Figur 39: Kvalitetshus for varmesete.....	ix
Figur 40: Kvalitetshus for ribberørradiator.....	x
Figur 41: Systemskjema for varmesentral på Leangen Idrettspark.....	xiii
Figur 42: Utdrag av reflector produktblad	xiv
Figur 43: Densiteten til vann gitt av temperatur.....	xix
Figur 44: Gantt-skjema, ID 1-64.....	xx
Figur 45: Gantt-skjema, ID 65-83.....	xxi

Tabelliste

Tabell 1: Konseptscreening	21
Tabell 2: Egenskaper til isolasjon.....	24
Tabell 3: Egenskaper til plasttyper	24
Tabell 4: Termisk konduktivitet for materialer brukt i simulering	27
Tabell 5: Forutsetninger til forsøk utført av Brooks, J. E. & Parsons, K.C utgitt i Ergonomics (1999) ...	28
Tabell 6: Energiforbruk, varmesete	32
Tabell 7: Energioversikt, radiator	38
Tabell 8: Behov for solcellepanel avhengig av antall varmeseter	41
Tabell 9: Investeringskostnad, varmesete.....	52
Tabell 10: Investeringskostnad, ribberørsradiator.....	52
Tabell 11: Sammenligning av konseptene.....	62
Tabell 12: Kalibreringstabell.	iii
Tabell 13: Dagens situasjon og 30 % redusert varmebatteri forbruk.	vii
Tabell 14: 50 og 70 % redusert varmebatteri forbruk.....	viii

Ord og begreper

Flow	Flyt av væske over et punkt [m^3/s] eller [m^3/h]
Tur- og retur	Flyten inn og ut av et batteri eller et begrenset volum.
VVS	Varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk
HVAC	Heating, ventilation, and air conditioning
Leangen Arena	Hockeyhallen på Leangen
Leangen ungdomshall	Ishockey treningshallen på Leangen, denne hallen har per dagsdato ingen publikumsfasiliteter. Denne hallen er mye kaldere en arenaen.
Energibruk	Energi som brukes, og betales for til leverandør. Strøm og fjernvarme.
Clo	Bekledningens evne til å isolere termisk. Flere lag med isolerende klær øker den termiske isolasjonen, og menneske har en større terskel for å oppleve et lavt nivå av termisk komfort. 1 Clo tilsvarer $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$. Clo er kort for Clothing.
Metabolisme	Forbrenning av næringsstoffer som brukes til å drive kroppen og muskler. Metabolisme regnes som W/m^2 og et høyere aktivitetsnivå gir økt effekt. 1 M er definert som 58 W/m^2 . Betegnes M, for metabolisme.
CBE Thermal Comfort Tool	Verktøy utviklet på University of California, Berkeley. Verktøyet viser den termiske komforten med hensyn på ASHRAE Standard 55 <i>Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy</i>
SD-anlegg	Sentral driftskontrollanlegg som brukes til å drifte ventiler, shunter og motorer. I et stort anlegg som Leangen er det nødvendig for optimal drift og oversikt over anlegget.
Iterering	Gjenta, fornye, iterere

Multibody part	En del satt sammen av flere deler i SolidWorks.
CFD	Computitonal fluid dynamic, brukes til komplekse utregninger og simuleringer.
E-modul	Elastisitetsmodul for et materiale. Beskriver materialets motstandsevne mot elastisk deformasjon
PMV	Predicted Mean Vote. Forutsagt gjennomsnitt stemme.
PPD	Predicted Dislike Percentage. Hvor misfornøyd et menneske vil være etter PMV modellen.
Termisk konduktivitet	Et legemes evne til å lede varme per tykkelse per temperatur. $\frac{W}{mK}$
Relativ fuktighet	Relativfuktighet er hvor mye fuktighet det er i luften delt på den maskimale mengden fuktighet luften kan holde før den er mettet. Metnings punktet til luften er avhengig av temperatur.
Setebak	Kontaktflaten mellom setet og rumpe/lår,
Seterygg	Kontaktflate mellom setet og ryggen
EOS	EOS-loggen er en energi statistik for bygget, levert av entro.no
Lean	Lean manufacturing (slank produksjon) er en produksjonsmetodikk som fokuserer på å unngå sløsing i produksjon, og arbeidskraft. Dette ansees som en kontinueerlig prosess.

Symboliste

Symbol	Forklaring	Enhet
U	Samlet U-verdi	$\frac{W}{m^2 K}$
ΔT	Differanse temperatur	$^{\circ}C$
ρ	Densitet	$\frac{kg}{m^3}$
α	Varmeovergangsmotstand	$\frac{W}{m^2 K}$
λ	Materialets varmeledningsevne	$\frac{W}{m K}$
δ	Sjikttykkelse	m
Φ	Overført strålings effekt	W
$\dot{V}$	Væskeflyt	$\frac{m^3}{s}$
ε	Emisjonskonstant	—
σ	Stefan-Boltzmanns konstant	$\frac{W}{m^2 K^4}$
T_o	Temperatur, operativ	$^{\circ}C$
T_{ms}	Temperatur, middelstråle	$^{\circ}C$
T_l	Temperatur, luft	$^{\circ}C$
A	Areal	m^2
C_p	Midlere varmekapasitet, konstant trykk	$\frac{J}{kg K}$
NV	Nåverdi	kr
C_i	Betalingsstrøm i år i	kr
r	Kalkylerente eller diskonteringsats	%
K_v	Kapasitetstall for en reguleringsventil	—
ΔP	Trykktap over reguleringsventil	Pa
$\dot{V}_{emi}$	Nødvendig volumstrøm pga. emisjon	$\frac{m^3}{s}$
$\dot{V}_{per}$	Nødvendig volumstrøm pga. personbelastning	$\frac{m^3}{s}$
$\dot{V}_{behov}$	Volumstrøm som sum av emisjon og personbelastning	$\frac{m^3}{s}$
M	Metabolisme	$\frac{W}{m^2}$

R	Termisk motstand	$\frac{m^2 K}{W}$
C_0	Innvestering i år 0	kr
$\frac{dQ}{d\tau}$	Energi per tid	W
$\frac{dT}{dx}$	Endring i temperatur per lengde	$\frac{K}{m}$
q_{V,CO_2}	Oksygenforbruk	$\frac{l}{s}$
q_{V,O_2}	CO ₂ produksjon	$\frac{l}{s}$
Φ_{total}	Samlet effekt	kW
$\Phi_{konveksjon}$	Konveksjons effekt	kW
$\Phi_{konduksjon}$	Konduksjons effekt	kW
$\Phi_{stråling}$	Strålings effekt	kW

1 Innledning

Denne oppgaven har hatt som mål å utvikle et best mulig konsept for oppvarming av tribuneområdet i Leangen ishall. Oppgaven skrives basert på en tidligere masteravhandling ved NTNU. Tverrfagligheten i gruppen vil bli benyttet til å dekke sentrale områder i oppgaven, som termiske beregninger, simuleringer og produktutvikling.

Grunnleggende informasjon om dagens situasjon og utfordringer i Leangen ishall vil bli presentert, på grunnlag av denne vil flere tilpassede konsepter framlegges. Kravene er satt til å bedre termisk komfort og redusere driftskostnader i ishallen.

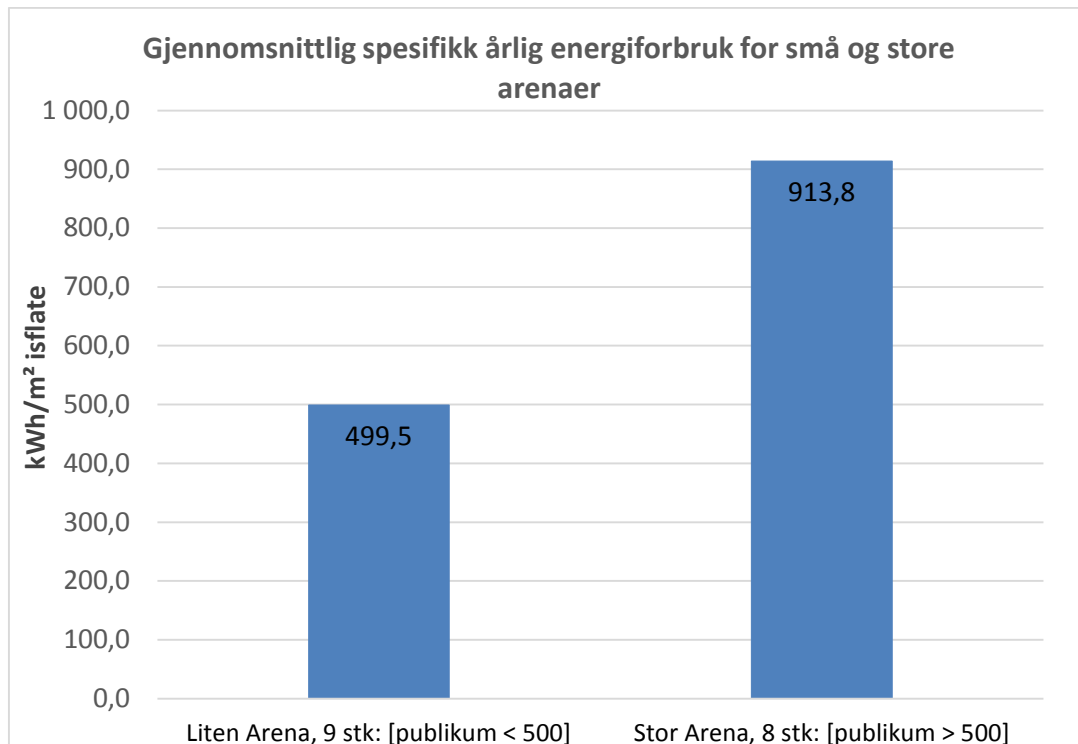
"Det handler om å sitte varmt,
da kan det i grunn være så kaldt det bare vil"

- Rune Gerhardsen, President i Norges Skøyteforbund

Resultater fra forsøk, beregninger og simuleringer blir lagt fram og konseptene vil bli vurdert opp mot hverandre.

1.1 Problemdefinering

Under kamper og forestillinger i ishaller er det et gjennomgående problem at publikumsarenaer oppleves som kalde og ukomfortable. Oppvarming av tribuneområdet på Leangen skjer i dag ved at varmluft blåses ut av ventilasjonsanlegget som er plassert oppunder taket. (Bergsagel, D. 2014). Ved isoverflaten tilstreber man å holde $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ for å opprettholde isens kvalitet (Fra forelesning av Prof. Løset, 15.04.15). Dette skaper nødvendigvis et kaldt inneklima som videre reduserer den termiske komforten hos tilskuerne. Det er vanskelig å forene en kald isflate og et komfortabelt tribuneområde uten at det medfører høye energikostnader (Stopppladd, 2012).



Figur 1: Viser forventet energibruk per m² isflate (Andersen, O. & Rangul, F. 2015).

Leangen Ishall bruker store mengder energi på å opprettholde korrekt temperaturløse mellom is og tribune. Dette er et kjent problem i lignende haller, også internasjonalt. Energiforbruket i en ishall ligger rundt 730 kWh per m² isflate per sesong, tre ganger så mye som i et kontorbygg. (Andersen, O. & Rangul, F. 2015), (Energibruk i kontorbygg, 2013).

Vår problemstilling er å finne en løsning hvor vi skal integrere en lokal varmekilde ved setet slik at varmen går rett fra kilden til publikum, noe som vil medføre et lavt varmetap til omgivelsene.

2 Teori

I dette kapitlet vil det presenteres teori som er sentral for oppgaven. Dette innebærer termisk komfort, ventilasjonsanlegg, termisk energi og økonomi.

2.1 Termisk komfort

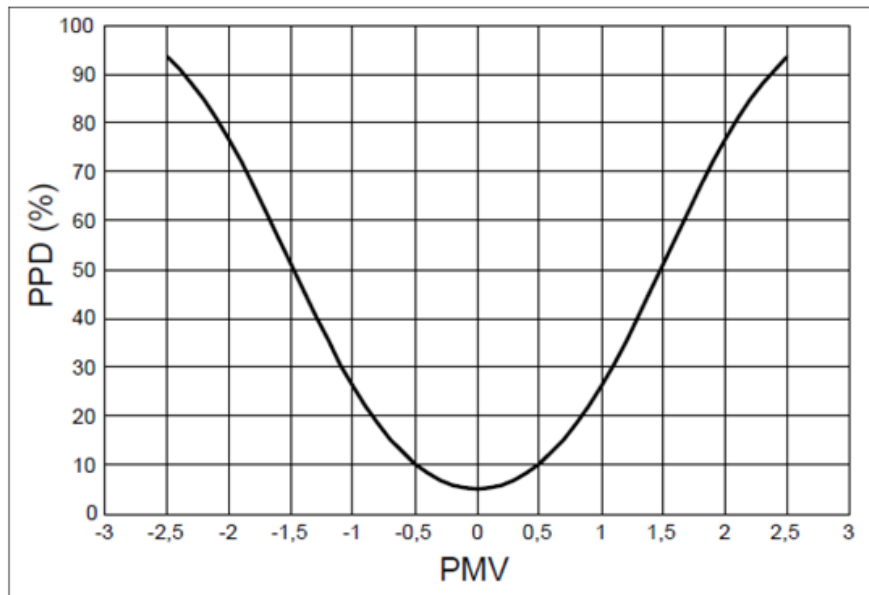
Termisk komfort kan defineres som en tilstand der mennesket er tilfreds med sine termiske omgivelser, eller er termisk nøytral. Det skal heller ikke være noen sjenerende lokal oppvarming eller nedkjøling på kroppen (Hansen, H. 2013). Det er gjort en del god forskning på feltet av Professor Ole Fanger på 70-tallet. Fanger utviklet Predictiv Mean Vote (PMV) og Predicted Procentage Dislike (PPD) metoden, som senere har blitt en del av ISO 7730 (Hansen, H. 2013).

“Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”

-ISO 7730:2005

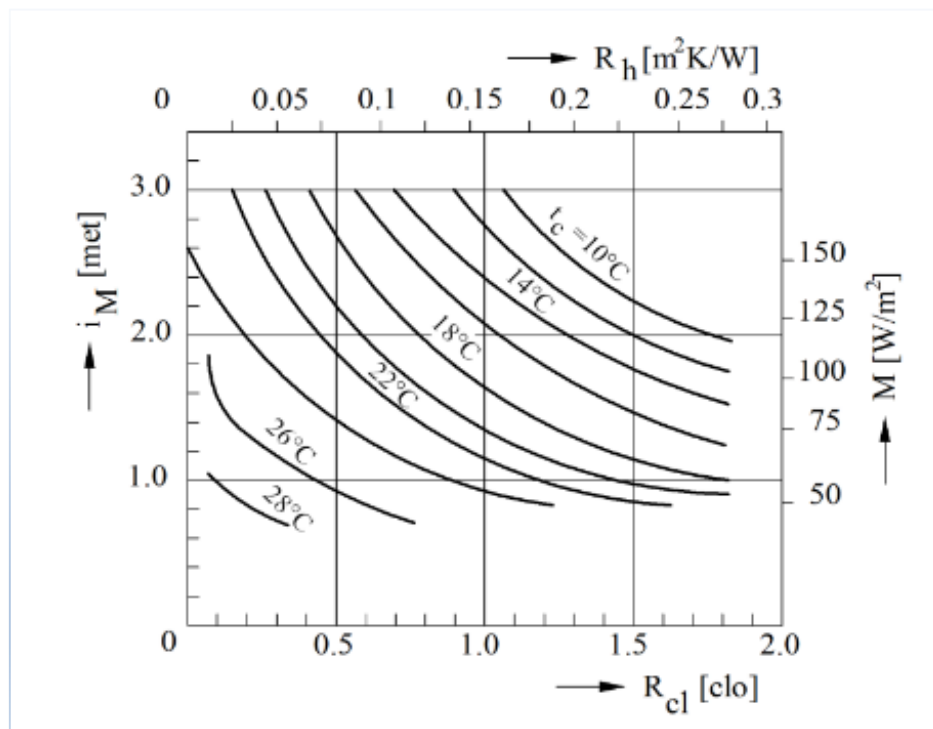
Det brukes en 7 punkts skala, -3 (kaldt) til +3 (hett), for å måle PMV. PMV regnes ut basert på en rekke parametere: metabolismen til personen, isolasjonen til klærne, luft- og middelstråletemperatur, lufthastigheten i rommet og relativ fuktighet. PMV sier noe om hvor på skalaen et menneske havner i en gitt ramme. PPD blir satt som funksjon av PMV i et anvendelig PPD vs. PMV diagram. Dette diagrammet, figur 2, viser hvor stor grad av misnøye det vil være ved en gitt PMV for (Hansen, H. 2013).

$-0,5 < PMV < +0,5$ gir en PPD på $\leq 10 \%$ noe som ansees for å være akseptabelt. Siden mennesker opplever termisk komfort forskjellig, vil ikke PPD gå mot 0 %. (Hansen, H. 2013).



Figur 2: Forventet prosentvis utilfredsstille (PPD) som funksjon av PMV

En annen måte å fremstille et slik diagram på er å putte inn de parameterne for PMV som gir en PPD på $\leq 10\%$, se figur 3. Eksempelvis vil en person som går rolig, iført bukse og genser ha en metabolisme på 2,0 og Clo på 0,8. Med en PPD på $\leq 10\%$ vil behagelig lufttemperatur være på 18°C .



Figur 3: Optimal operativ temperatur for forskjellige metabolismer og beklædninger. Dette vil tilsvare en PMV mellom -0,5 og 0,5

Fangers modell baserer seg på kontrollbare parametere i et rom. Den tar ikke hensyn til trekk, temperaturforskjell i luft eller gulvtemperatur som kan skape lokale ubehag (Hansen, H. 2013). Dette er noe som oppstår i Leangen ishall.

2.1.1 Parametere som påvirker vår komfort

Operativ temperatur kan forenklet defineres som gjennomsnittet av lufttemperatur og middelstråletemperatur (Zijdemans, D. 2012).

$$T_o = \frac{T_l + T_{ms}}{2}$$

Middelstråletemperaturen er definert som «den ensartede temperaturen av tenkte, absolutt sorte omgivelser som gir den samme varmeutvekslingen ved stråling mellom det aktuelle objektet og omgivelser som i de virkelige omgivelser», og måles ved hjelp av et sort globetermometer (Zijdemans, D. 2012).

Hvis middelstråletemperaturen blir mye lavere enn lufttemperaturen vil man kunne oppleve asymmetrisk stråling. Asymmetrisk stråling kan medføre lokalt ubehag. For eksempel oppleves det som ubehagelig når man sitter vendt slik at det stråler kaldt fra et vindu mens rommet er varmt. I en ishall vil det være stråling med lav temperatur fra isen, noe som skaper en slik asymmetri (Hansen, H. 2013).

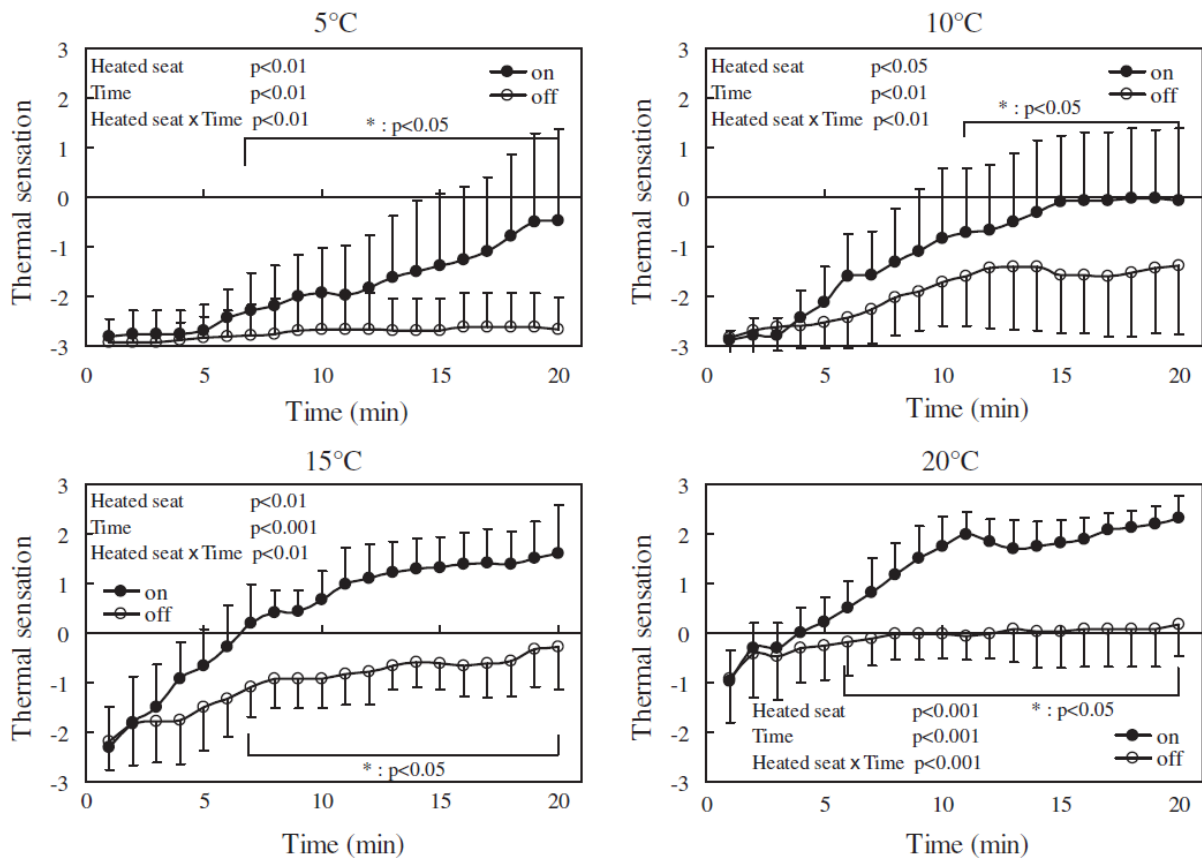
Trekk eller høy lufthastighet påvirker mennesker negativt. Om lufthastigheten overstiger 0,2 m/s vil det fort kunne oppleves som ubehagelig trekk (Hansen, H. 2013). På Leangen er det i enkelte områder målt opp mot 0,4 m/s (Bergasagel, D. 2014).

2.1.2 Empirisk forskning på termisk komfort

I 1999 publiserte J.E. Brooks og K.C. Parsons en ergonomisk undersøkelse om termisk komfort i biler. De har sett på bruken av oppvarmede seter, og hvordan de påvirker kroppen i stasjonære forhold.

Det finnes en studie av H. Oi. & M.I. som ser på instasjonære forhold i bil. De henviser til en rekke eksperimentelle forsøk med temperaturer ned til 5 °C. Studien konkluderer med følgende: et oppvarmet sete vil holde den termiske komforten til en person på et høyere nivå. Da spesielt i område 5-10 °C. Det blir også nevnt at dette ikke hjelper på hendene til deltakerne. Studien viser at oppvarmede seter har en klar positiv effekt. Spesielt interessant

for vår oppgave er grafene ved 5 og 10 °C. Resultatet fra studien er presentert under i figur 4.



Figur 4: Resultatene fra artikkelen: Ol, H. et al. *Effects of heated seats in vehicles on thermal comfort during the initial warm-up period.*

2.1.3 ASHRAE Standard 55

ASHRAE Standard 55 - *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* gir retningslinjer for termisk komfort. På University of California, Berkeley har de utviklet en nettbasert applikasjon basert på denne standarden. Denne gir en meget god grafisk presentasjon av hvilke rammebetingelser som gir god termisk komfort. Samtidig viser den hvor vi havner på PMV og PPD skalaen. Vi har benyttet dette diagrammet for å visualisere problemet. Dessverre er det ikke mulig å legge inn lokal oppvarming av kroppen, og vi må derfor støtte oss på de vitenskapelige artiklene som er skrevet om oppvarming i bil og målingene vi selv har gjort. ASHRAE standard 55 er i stor grad likt det som finnes i NS-EN ISO 7730 som brukes i Norge (Orosa, J. & Oliveria, A. 2012)

2.2 Ventilasjonsanlegg

TEK 10 sier følgende om ventilasjon:

§ 13-1. Generelle krav til ventilasjon

«Bygning skal ha ventilasjon tilpasset rommenes forurensnings- og fuktbelastning slik at tilfredsstillende luftkvalitet sikres. Luftkvalitet i bygning skal være tilfredsstillende med hensyn til lukt og forurensning. Inneluft skal ikke inneholde forurensning i skadelige konsentrasjoner med hensyn til helsefare og irritasjon. Det skal tas hensyn til romtype, innredning, utstyr og forurensningsbelastning fra materialer, prosesser, personer og husdyr.»

$$\dot{V}_{behov} = \dot{V}_{per} + \dot{V}_{emi} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Leangen er ikke bygd etter TEK 10, men kravene til et velfungerende ventilasjonsanlegg er fremdeles relevant.

Når vi ser på personbelastningen i et idrettsbygg må det gjøres noen betraktninger. Det er stor forskjell på friskluftbehovet til en idrettsutøver i bevegelse og en stillestående person. Under vises friskluftbehovet og karbondioksidproduksjon til et menneske hvor M er metabolisme og q er i l/s. Vi kan se at en idrettsutøver med metabolisme på rundt 5 vil ligge på 100 l/s, mens en stillesittende tilskuer vil ligge på 1 M og 17 l/s (Hansen, H. 2013).

$$q_{V,O_2} = 20 \cdot M \quad q_{V,CO_2} = 17 \cdot M$$

Det er to måter å utforme et ventilasjonsanlegg med tanke på hvordan luften tilføres: fortregningsventilasjon og omrøringsventilasjon. De fleste ventilasjonsanlegg i dag er omrøringsventilasjon. Omrøringsventilasjon er, som det fremgår av navnet, innblåsing av luft for å skape mest mulig sirkulasjon i rommet (Hansen, H. 2013).

Fortregningsventilasjon, i motsetning til omrøringsventilasjon, bruker termiske krefter som oppstår når luften treffer noe varmt. Luften vil varmes opp gjennom konveksjon og vil stige. Ved snudd ventilasjon eller installasjon av ribberør vil vi skape en situasjon som ligner mer på fortregningsventilasjon med avtrekk plassert i taket. (Zijdemans, D. 2012).

På Leangen er det installert omrøringsventilasjon i taket som blåser oppvarmet friskluft over publikum. Under setene på de nederste radene er det plassert avtrekk som skal dra den

varme luften ned. Det er vist med røykforsøk at denne løsningen ikke har ønsket effekt og luften kommer ikke i kontakt med publikumet. Mye av varmen blir liggende oppunder taket. (Bergsagel, D. 2013).

Friskluften blir, ved hjelp av en roterende varmegjenvinner, oppvarmet av avtrekksluften fra hallen. For å dekke spisslasten er det montert et varmebatteri etter vekseleren. Varmebatteriet er forsynt med varmtvann fra teknisk rom, hvor overskuddsvarmen fra isproduksjonen brukes til å varme opp vannet. Om ikke overskuddsvarmen fra isproduksjonen er nok, suppleres det med fjernvarme, se appendiks E.

Effekten væsken gir fra seg til varmebatteriet er gitt av (Zijdemans, D. 2012):

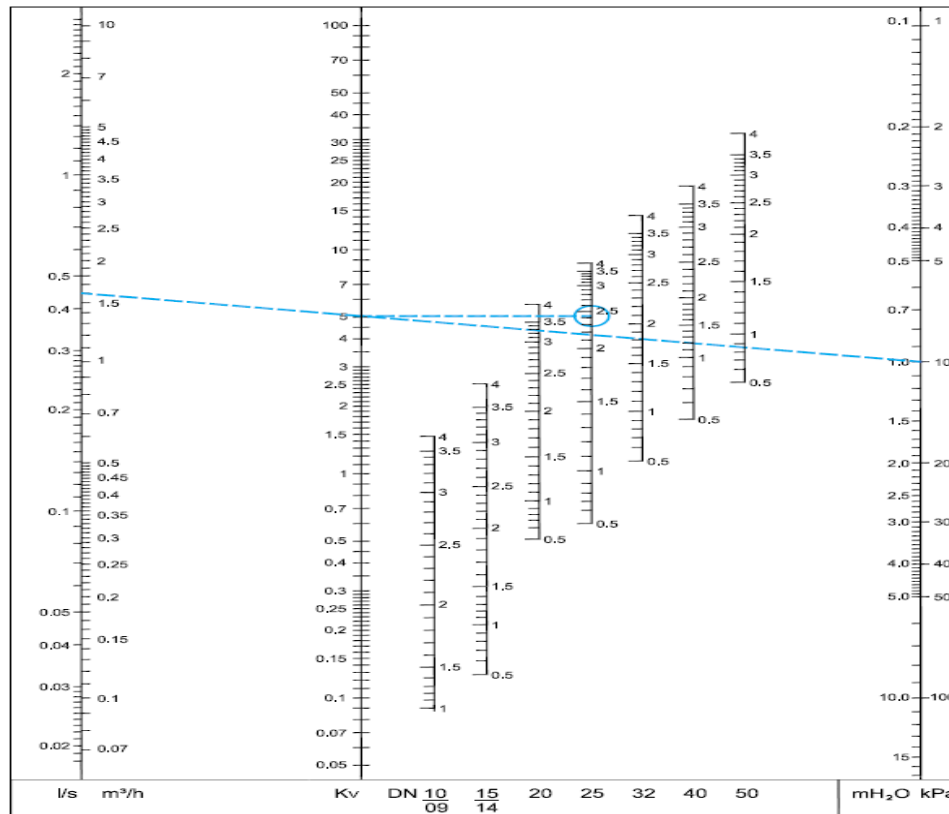
$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \text{ [kW]}$$

C_p og ρ er tilnærmet konstant, og vi sitter igjen med $\dot{V}$ og ΔT som de parameterne vi kan styre, gitt at vi ønsker en fast mengde effekt overført fra væsken til varmebatteriet (Young, H. & Freedman, R. 2012). Når vi manuelt logget effektforbruket på varmebatteriet var det disse to parameterne vi målte.

2.2.1 Målinger av flow

For å måle flowen på varmebatteriet montert på friskluftsaggregatet til ishallen har vi brukt et instrument, TA-CBI2, figur 32. Den bruker $K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$ og rattinnstillingen på ventilen til å regne ut flowen. Hver K_v verdi samsvarer med en rattinnstilling på en gitt størrelse. Figur 5 viser data ventilprodusenten leverer. Flowen kan videre brukes til å regne ut effekten på batteriet.

Diagram



Figur 5: Et diagram som forholder mellom vannmengde, trykklifferanse og K_v . Alle ventilprodusenter har sitt eget diagram.

2.3 Termisk energi

Varme er termisk energi overført fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur. Varme kan overføres på tre måter:

- Stråling
- Termisk konduksjon, også kalt varmeledning.
- Konveksjon

Hvis vi legger sammen bidraget fra konveksjon, konduksjon og varmestrålingen i ishallen vil vi få den totale varmeovergangen (Young, H. & Freedman, R. 2012).

$$\Phi_{total} = \Phi_{konveksjon} + \Phi_{konduksjon} + \Phi_{stråling}$$

Konseptene våre berører alle disse formene for varmeoverføring. Ribberørsovn benytter konveksjon og varmestråling, mens et varmesete i hovedsak benytter termisk konduksjon.

2.3.1 Stråling

Stråling er en varmeoverføring som følger denne fysiske loven:

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_2^4 - T_1^4) \quad [W]$$

Hvor ε er emissiviteten til et legeme og σ er en fysisk konstant, Stefan-Boltzmanns (Young, H. & Freedman, R. 2012). Det som er viktig å legge merke til er at temperaturen er i fjerde potens og har mye å si for overført effekt.

I en ishall er det hovedsakelig to kilder til ståling: taket og lysarmatur. Vi ser ut ifra stråleligningen at takets utforming er viktig for varmeoverføring. Lyset er en meget stor bidragsyter til uønsket varmetilførsel. Dette kan løses med bruk av LED-lys, dessverre er disse fremdeles nokså dyre i innkjøp. LED-lys har mye lavere effektforbruk for samme lysstyrke (Young, H. & Freedman, R. 2012).

I noen ishaller, finnes det strålepanel i taket som utnytter denne formen for varmeoverføring. Da unngår man at luften blir oppvarmet, og kun det strålingen treffer blir oppvarmet. Deretter vil luften bli oppvarmet. Det oppnås en temmelig direkte oppvarming av tilskuerne (Zijdemans, D. 2012)

2.3.2 Konduksjon

Konduksjon eller varmeledning er transport av varmeenergi fra høyere til lavere temperatur i fast stoff. Per definisjon er varmestrømmen regnet som positiv i retningen av fallende temperatur (Hansen, H. 2013).

$$\Phi = \frac{dQ}{d\tau} = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dt}{dx} \quad [W]$$

I denne oppgaven skal vi diskutere mulighetene for oppvarmede seter i ishaller. Disse setene benytter varmeoverføring direkte til tilskuer. I en hall uten oppvarmede seter sier konduksjonsligningen at varmen vil gå fra kroppen til setet. Om setet lett gir fra seg varme til omgivelsene vil du aldri få en behagelig opplevelse når du sitter på det. Varmeoverføringen vi kan oppnå til tilskuer gjennom setene er hovedsakelig bestemt av varmeoverføringskoeffisienten λ , som er materialavhengig.

SolidWorks og andre simuleringsprogram bruker en partiell differensialligning som sin algoritme. Denne ligningen er hentet ut fra simuleringsverktøyet SolidWorks 2015:

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\kappa \nabla T) + Q$$

Dermed kan simuleringsverktøy gi meget detaljerte og nøyaktige modeller.

2.3.3 Konveksjon

Konveksjon er varmeoverføring mellom væsker eller mellom et fast stoff og en væske. Når vi snakker om konveksjon i denne oppgaven er det kun snakk om varmeoverføring fra et fast stoff til luft. Konveksjon er gjerne omtalt som Newtons avkjølingslov og uttrykkes matematisk slik (Zijdemans, D. 2012):

$$\Phi = \frac{dQ}{d\tau} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \quad [W]$$

Konveksjonsberegninger avhenger av mediets (væske, gass) egenskaper, som temperatur, strømnings- og tilstandsprofil. I tillegg spiller også egenskapene til det faste stoffet inn, som geometri, ruhet og temperatur. Dermed kan det være vanskelig å finne et godt overgangstall, α . Det må ofte gjøres forenklinger (Hansen, H. 2013).

Det finnes dog en del versjoner av ligningen som er ferdig «løst» for bestemte termiske rammebetingelser. Her er et eksempel på α for en gitt termisk situasjon som kan oppstå i et rom med vindu og radiator (Hansen, H. 2013):

$$\alpha = 6,2 + 4,2 \cdot V \text{ for } V \leq 5 \frac{m}{s} \text{ og } T = 20^{\circ}C$$

Fri eller tvungen konveksjon gir en betydelig forskjell for hvilket overgangstall man får. Et ventilasjonsanlegg med en vifte er et eksempel på tvungen konveksjon, slik som ventilasjonsanlegget på Leangen. Rundt en radiator vil det oppstå fri konveksjon. Her kommer geometrien til ribbene på radiatoren inn som en stor bidragsyter til å oppnå en ønsket varmeovergang (Hansen, H. 2013).

2.4 Økonomi

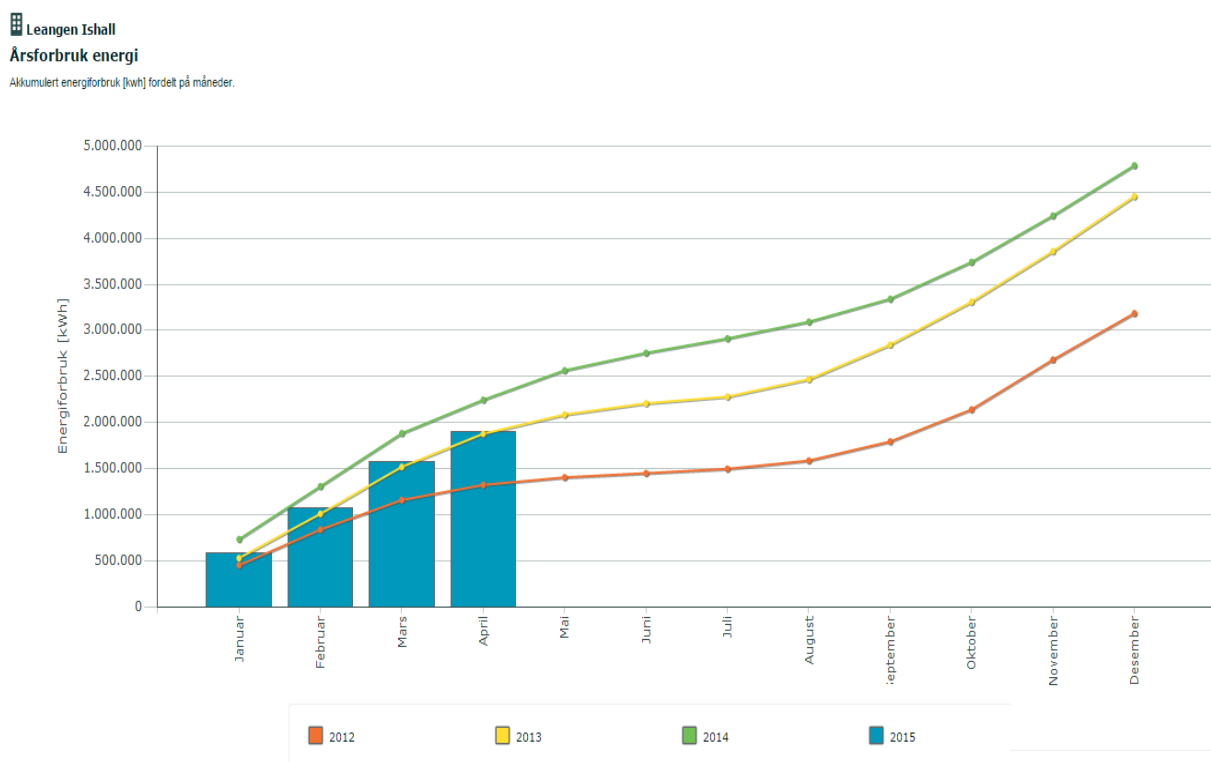
De mest aktuelle økonomiske analysene vi kan gjøre for denne oppgaven er nåverdi og tilbakebetalingstid. Nåverdi er dagens verdi av fremtidige kontantstrømmer, C_i , og tar hensyn til diskonteringsrente og avkastningen. Tilbakebetalingstiden ser kun på investeringskostnad og forventet årlig avkastning (Rolstadås, A., et.al. 2014).

$$Nåverdi = -C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1 + (\frac{r}{100}))^i}$$

$$Tilbakebetalingstid = \frac{\text{investeringskostnad}}{\text{forventet årlig avkastning}}$$

3 Energibruk i ishaller

Energibruken i Leangen var i 2014 nesten 5 000 000 kWh. Denne energien brukes til kjøling av isen, oppvarming av tappevann og lokaler. Ishaller er meget energiintense, noe som motiverer sterkt til å finne gode energiløsninger (Bergsagel, D. 2014)). Det finnes ingen statistikk for energibruk i ishaller, men det er et pågående masterprosjekt ved NTNU som arbeider med å framstille data på dette våren 2015. Gjennom Entro har vi hentet ut energidata som er logget på Leangen. Dette systemet kalles en EOS-logg og viser energistatistikk for bygget. Denne informasjonen omhandler hva som er hentet fra fjernvarme, direkte elektrisitet og elektrisitet til kjølesystemet. Figur 6 viser energibruken for 2012, 2013, 2014 og frem til april i 2015.

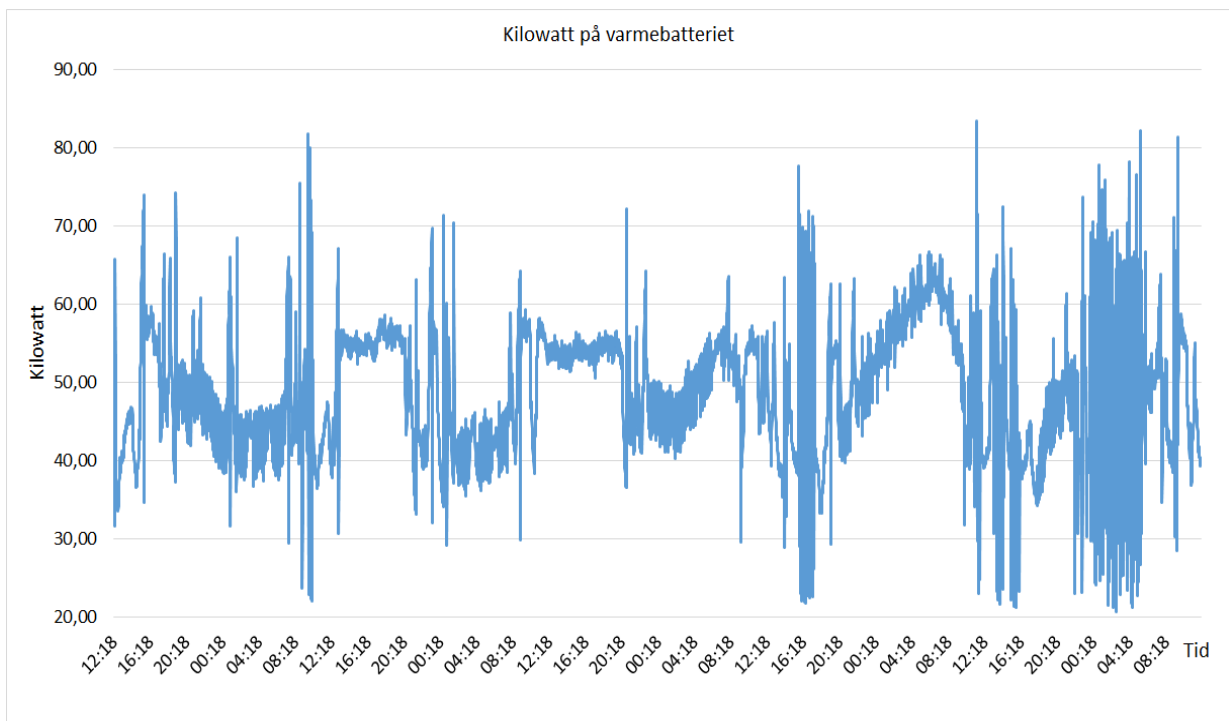


Figur 6: EOS-logg for Leangen ishull

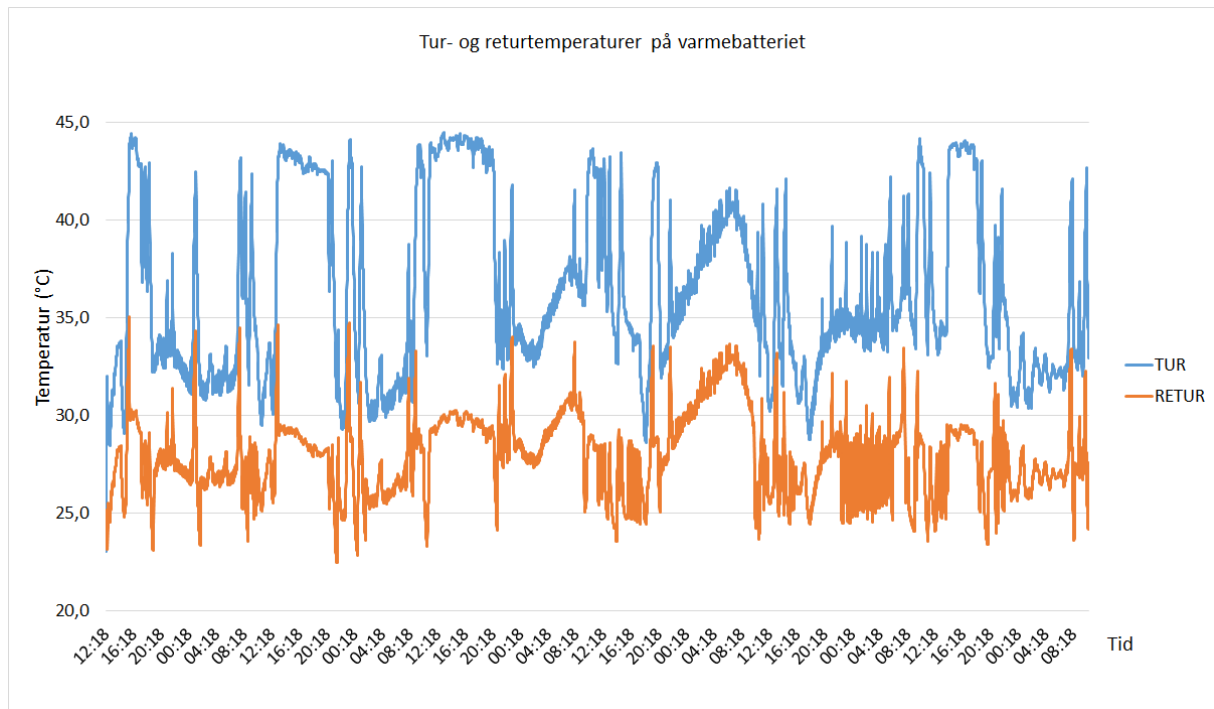
Det ble gjort målinger av effektforbruket på varmebatteriet til ventilasjonsaggregatet for ishallen, systemnummer 360.02. For å komme frem til effektforbruket brukte vi følgende formel:

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \text{ [kW]}$$

Det ble gjort en flowmåling for å finne $\dot{V}$ og en måling for å finne ΔT (Figur 8). Figur 7 viser effektforbruket på varmebatteriet målt over en periode på 120 timer. I denne perioden lå snitteffekten på 48 kW.



Figur 7: Effekten som ble målt på varmebatteriet til ventilasjonsaggregat (360.02) over en periode på 120 timer.



Figur 8: Tur- og returtemperatur over varmebatteriet på ventilasjonsaggregat (360.02) over samme 120 timers periode.

Det vi merker oss fra disse målingene er de kraftige svingningene. Og det er antakelig et innreguleringsproblem som krever en nærmere årsaksforklaring enn det vi vil gjøre.

3.1 Spesielle utfordringer og hensyn

Det stilles strenge krav til inneklima i Norge gjennom forskrift om tekniske krav til byggverk. Dette kan ha bidratt til at nordmenn forventer et behagelig inneklima til tross for et kjølig uteklima. Utfordringen med ishallene blir å ta hensyn til både kulden utenfra og innenfra.

Oppdelingen av klimasonene i ishallen er hovedutfordringen. Man deler hallen inn i to soner. En publikumssone, med et lavere behov for friskluft og et krav til høyere operativ temperatur. Den andre sonen, utøversonen, krever mer friskluft og lavere operativ temperatur. Vi vil i denne oppgaven fokusere på publikumssonen med enkelte vurderinger av hvordan sonene vil påvirke hverandre. Isens temperatur bli naturligvis påvirket av romtemperaturen, og omvendt.

Faktorer som påvirker iskvaliteten:

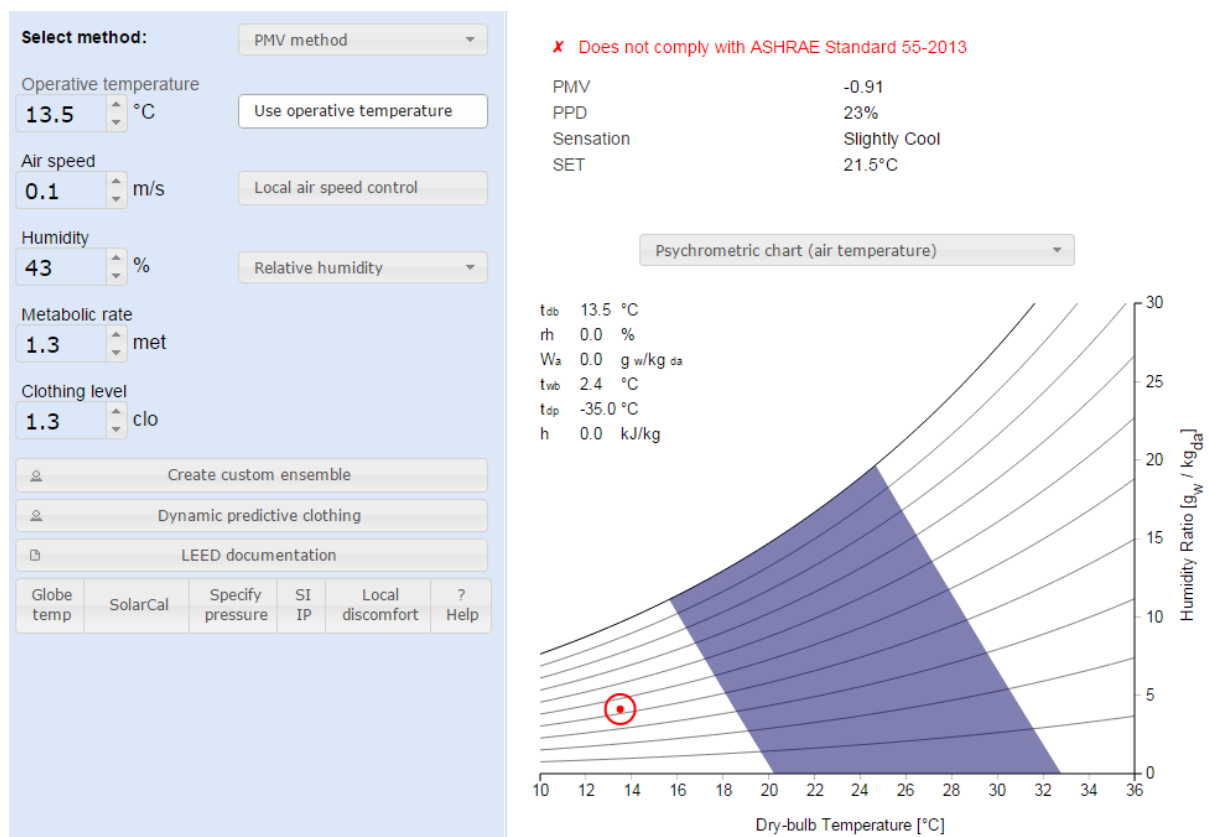
- Isens fasthet
- Isens overflateruhet
- Krystallstruktur i isoverflaten

- Isens temperatur
- Isens temperaturgradient

Ønsket istemperatur for god iskvalitet er mellom -5°C og $-7,5^{\circ}\text{C}$. Det er vanskelig å simulere hvor mye varme isen vil trekke ut av lufta, men det er rimelig å anta at energimengden vil være mindre jo lavere lufttemperaturen i hallen er. (Fra forelesning av Prof. Løset, 15.04.15). Dette vil videre påvirke hvor mye energi som kreves til vedlikehold av isen.

3.2 Termisk komfort anvendt på Leangen

Vi har benyttet et nettbasert verktøy utviklet av University of California, Berkeley for å visualisere dagens situasjon på Leangen. Figur 9 viser hvor langt unna en tilstand av optimal termisk komfort dagens løsning er.



Figur 9: Nettbasert verktøy for visualisering av optimal termisk komfort i Leangen ishall.

I følge ISO 7730 er en Clo på 1,3 (0,2 m²K/w) undertøy, undertrøye, stillongs, bukse, genser, jakke, sokker og sko. Med andre ord, en typisk vinterbekledning.

4 Metode

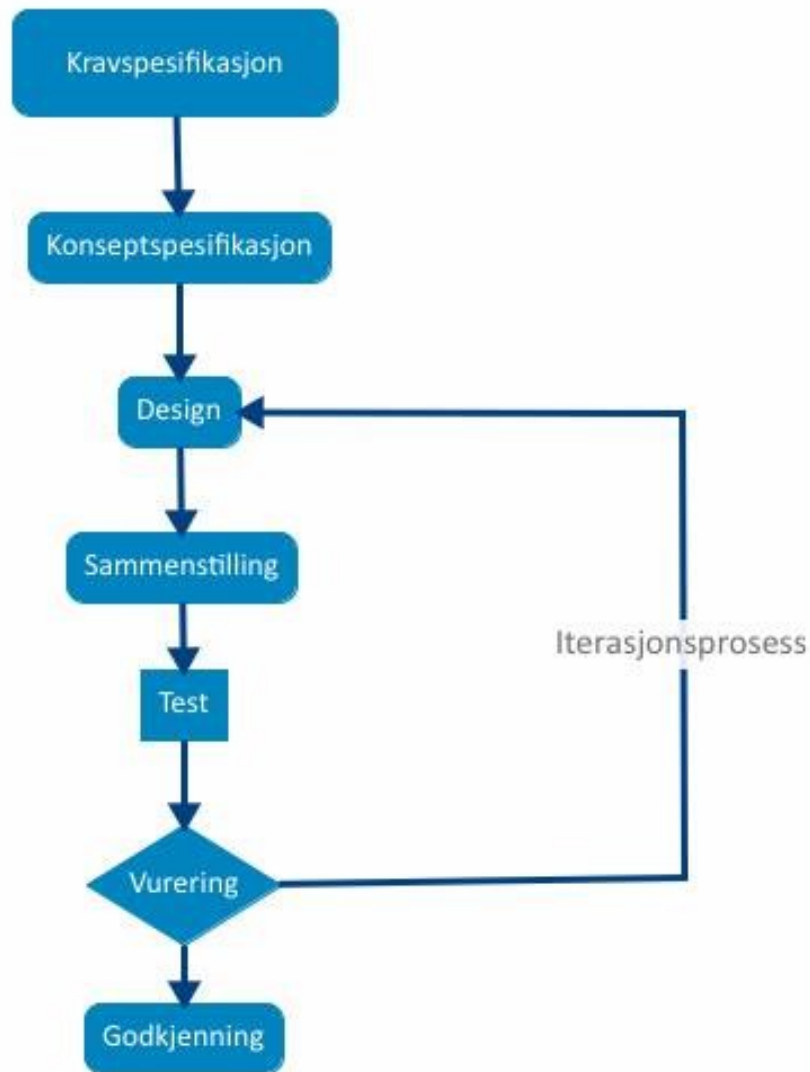
I dette kapitlet presenteres de metoder som er brukt for å komme fram til konseptene vi har valg ut. I tillegg kommer metoder for litteratursøk som er foretatt og hvordan gjennomføringen av feltforsøket ble gjort.

4.1 Konseptutvikling

Proessen fram mot et ferdig konsept består av mange elementer hvor konseptutviklingen står sentralt. Utfordringene i denne delen av oppgaven har vært å sette hensiktsmessige kvantitative krav til konsept og produkt. Måten dette ble gjort på var først og fremst gjennom diskusjon innad i gruppen. Det ble brukt en rekke ulike teknikker for å få dette ned på papiret. (Jakobsen, M. 1997)

Rammene for oppgaven gjorde det nødvendig med en konseptscreening for å eliminere de minst egnede alternativene (Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008).

Neste trinn var å starte iterasjonsprosessen, se figur 10. Forslag til tekniske løsninger ble lagt fram og testet, teoretisk og praktisk. Dette kan sees på som en kontinuerlig repeterende prosess som pågikk helt til produktet nådde de kravene for kvalitet og funksjonalitet som var satt. (Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008)



Figur 10: Fra kravspesifikasjon til ferdig løsning

4.2 Metode for litteratursøk

I denne oppgaven ble det gjort søk på oria.no, som innehar følgende relevante databaser:

- Academic Search Elite
- Scopus
- PubMed
- ScienceDirect
- SpringerLink
- Britannica
- Byggforsk

Søkeordene vi benyttet for å finne relevant litteratur:

- Ice Rink
- Ice Rink Ventilation
- Ice Rink Heating
- Ice Rink Thermal Comfort
- CFD Ice Rink
- Heated seat
- Thermal Comfort
- Skin burn

Vi funnet en del informasjon gjennom søk som ISO 7730, ASHRAE 55, Thermal Comfort og Thermal conductivity på Google Scholar, og ikke minst gjennom samarbeidet i isgruppen ved SIAT, NTNU. I tillegg har vi også benyttet pensumlitteratur.

4.3 Simulering

I denne oppgaven har resultatene blitt produsert på to måter, først gjennom simulering i SolidWorks, så gjennom praktisk testing av prototyper i Leangen ishall. En praktisk test gir gode faktiske data, men er vanskelig å illustrere. Med en simulering er det lett å vise hva som skjer gjennom illustrasjoner som er enkle å forstå, men svarene kan være noe unøyaktig.

4.4 Feltforsøk og feltarbeid

Praktisk testing er viktig for å se hvordan prototypene utfører sin tiltenkte funksjon, samt at brukeren får mulighet til å komme med tilbakemeldinger på brukervennlighet. Dette blir derfor viktig for resten produktutviklingsprosessen. Testpanelet hadde ikke innsikt i de tekniske detaljene slik at tilbakemeldingene ble så objektive som mulig. Før feltforsøket ble det utført en sikker jobbanalyse, se appendiks G

Det ble logget flowdata på retursiden og temperatur inn og ut av varmebatteriet. På denne måten var det mulig å få et godt bilde av energiforbruket som ble presentert under kapittelet energiforbruk og utfordringer knyttet til ishaller.

5 Konseptutvikling

Her vil vi ta for oss konseptutviklingen steg for steg. De generelle kravene som er satt til koseptet kommer først, deretter vil de aktuelle alternativene bli gjennomgått.

5.1 Kravspesifikasjon

Ut ifra problemdefineringen har vi utarbeidet en liste over hvilke krav som stilles til konseptene. Denne listen ble utarbeidet med fokus på økonomisk gevinst og å optimalisere komforten hos publikum. Vi har kommet fram til følgende kravspesifikasjoner:

- Redusere energikostnader
- Øke termisk komfort
- Lokal oppvarming
- Minimal spillvarme til omgivelsene
- Enkelt å drifte
- Bruksvennlig
- Levetid

5.2 Konseptscreening

Formålet med konseptscreeningen var å avgjøre hvilke konsepter det var mest hensiktsmessig å arbeide videre med. Dette ble gjort gjennom å sammenligne hvert konsept opp mot de gitte kravspesifikasjoner. Ved oppstart var det i alt fem alternative løsninger som ble vurdert opp mot det eksisterende konseptet i Leangen ishall. De nye konseptene ble gitt en poengsum basert på hvor godt de nådde de forskjellige kravene. Poengsummen ble viktig i den videre elimineringsprosessen. Dette betyr ikke at det var poengsummen alene som avgjorde hvorvidt et konsept ble eliminert eller tatt med videre. (Ulrich, K. & Eppinger, S. 2008)

Før konseptscreening kunne utføres måtte konseptene gjennomgå slik at en bedømming kunne bli tatt på korrekt grunnlag.

- Varmesete-konseptet vil si å montere et varmeelement med lav effekt på baksiden av setet samt feste isolasjon på varmeelementet slik at varmen ledes ut igjennom framsiden av setet.

- Radiatorkonseptet er inspirert av den klassiske kirkebenken hvor løsningen er å plassere en ovn under benken. I ishallen kan brukes overskuddsvarme fra isproduksjonen som varmekilde.
- Strålepanelkonseptet kan henges opp i taket og benytte samme varmekilde som ribberørradiatorene til å stråle varme ned på publikum.
- Snudd ventilasjon vil i motsetning til dagens løsning sende inn varmluft nede ved gulvet og trekke returluften ut opp ved taket. På denn måten vil den tempererte luften passere tilskuere.
- Gulvvarmekonseptet vil bestå av å legge inn vannbåren varme i gulvet. Også dette konseptet benytter seg av overskuddsvarme.

Tabell 1: Konseptscreening

	Varmesete	Radiator	Strålepanel	Snudd ventilasjon	Gulvvarme
Energieffektiv	++	+	+	+	+
Termisk komfort	++	+	+	+	+
Minimal spillvarme	++	+	+	+	+
Enkel drifting	+	0	0	0	0
Brukervennlig	+	0	0	0	0
Levetid	-	0	0	0	0
Lokal oppvarming	++	+	0	+	+
+	10	4	3	4	4
0	0	3	3	3	3
-	1	0	0	0	0
Scoring	9	7	6	7	7
Rangering	1	2	2	2	2

Tabell 1 viser at varmesete kom best ut av konseptscreeningen. Strålepanel kom dårligst ut. De tre andre konseptene kom ut med samme poengsum, dette kan skyldes tekniske likheter. Teorisøk viste at varme som treffer hodet oppleves som ukomfortabelt (Hansen, H. 2013). Dette gjorde at konseptet stråling ble mindre aktuelt, og til slutt falt bort. Gulvvarme ville satt store krav til ombygging av tribunen da det bør integreres i betongen, og gikk derfor også ut. Det var ikke mulig å få testet snudd ventilasjon da dette ville krevd stor ombygging i

hallen, det ble derfor uaktuelt. Det endelige resultatet etter fullført konseptscreening ble da konsept nummer 1, varmesete og konsept nummer 2, ribberørradiator.

5.3 Konsept nummer 1

Sitteplassene i Leangen ishall består i hovedsak av plastseter. Tanken med konsept nummer 1 er å plassere varmeelementer lokalt i hvert sete. Litteratursøk på individualisert oppvarming under lignende omstendigheter ga ingen funn. Vi antok da at det var lite utprøvd.

5.3.1 Produktutvikling

Her vil en rekke dimensjoner som har er viktige under utviklingen av det aktuelle produktet legges fram. Da det i vår oppgave kun er prototyper som produseres, vil deler av dette kapittelet sees på som grunnlag for videre produksjon.

Funksjonsdimensjonen

Hovedfunksjonen til dette konseptet vil være å varme opp tilskueren gjennom konduksjonsvarme fra varmeelementet plassert inne i setet. Setet vil bli utstyrt med en trykkløst bryter som kutter strømtilførselen dersom setet blir stående tomt, en funksjon som både påvirker sikkerhetsdimensjonen og miljødimensjonen til produktet. Dette resulterer i at tomme seter ikke vil bli unødvendig oppvarmet som reduserer ishallens driftskostnader. En delfunksjon til konseptet vil være å tilfredsstille krav satt til et ordinært sete, som er å støtte opp rundt en sittende tilskuer på en tilstrekkelig og behagelig måte.

Det er verdt å merke seg at dette konseptet vil ha minimale vedlikeholdsbehov da produktet ikke vil bli utsatt for slitasje i særlig stor grad. Det vil være snakk om vedlikehold i form av renhold av og rundt produktet etter montering.

Markedsdimensjonen

Markedet vi vil fokusere på i denne oppgaven er innendørs kunstishaller og da spesielt Leangen ishall. Konseptet har et potensiale utover dette, som fotballstadioner, friidrettsarenaer og lignende. Disse kan være mulig å nå med små endringer i konseptet.

Det fokuseres på å holde en god kommunikasjon med driftspersonalet på Leangen ishall og Trondheim kommune for å innhente den informasjonen som kreves til konseptutviklingen. Kundenes behov vil i liten grad endres avhengig av hvilke type idrettsarena det er snakk om,

det vil derfor være mulig å benytte data hentet fra ishall til utvikling av seter til for eksempel fotballstadion.

Vi vil redegjøre behovene for to interessentgrupper, både de som drifter ishallen og tilskuere. Når man vurderer disse kundegruppene opp mot direkte salg, vil det i første omgang være viktigst å nå eiere og driftspersonalet i hallen. Hos denne gruppen er aspekter som installasjonskostnader, enhetspris, driftskostnader, tilbakebetalingstid, produktlevetid, vedlikehold og besparelser viktig. Det vil i tillegg være av interesse hva sluttbruker mener om produktet, hallen bedriver videresalg av seten i form av billetter. For eieren vil det være viktig å vite om det ligger noe merverdi i konseptet, og om billettprisen kan økes grunnet bedring av termisk komfort og opplevelse.

Produksjonsdimensjonen

Ved framstilling av prototyper fokuseres det mer på funksjonaliteten til produktet enn utfordringer man møter under produksjonen. Før prototypen av varmesetet ble tilvirket var vi i kontakt med flere leverandører. Vi kontaktet seteleverandøren til Leangen ishall, Rantzows, som spesialiserer seg på å levere idrettsutstyr. De kunne gi enhetspriser for setene og teknisk data.

Et lean prosjekt vil i praksis være en kontinuerlig forbedringsprosess av produksjonen. Vi vurderte retningslinjer satt for lean produksjon og bestemte at dette ikke er relevant i dette stadiet (Hågeryd, L. et.al. 1997). Masseproduksjon er ikke en del av denne oppgaven.

Designdimensjonen

Under dette konseptet hvor det er snakk om modifisering av et produkt, er mye av designet allerede gitt. Det er allikevel interessant å revurdere det med tanke på de tekniske endringene som blir gjort.

Designet bestemmes av krav satt fra klubb og hall, i form av farger og symboler på setene med hjemmelagets eller sponsorerens emblem. Derfor må denne delen av designet være tilpasningsdyktig. På Leangen har de ingen krav utover at setene i dag er blå.

Ved konduksjon var det viktig å se på den termiske ledningsevnen et materiale har. Isolasjonen burde ha en så lav ledeevne som mulig for å hindre varmen i å forsvinne ut gjennom baksiden. I tabell 2 er det satt opp noen produkter med termisk konduktivitet som

sier noe om ledningsevnen av varme, og trykkstyrke som sier noe om hvor mye kraft som skal til for å komprimere produktet (Stratocell, Varmecomfort. 2015). Isopor er tatt med som referansepunkt da dette er et materiale mange kjenner til.

Tabell 2: Egenskaper til isolasjon

Egenskaper Materialer	Termisk konduktivitet [W/mK]	Trykkstyrke [KPa]
Stratocell E Foam	0,049	34,3
Reflector 3 mm	0,023	49,0
Reflector 6 mm	0,023	58,8
Isopor	0,035	80,0

På setets framside er det ønskelig å ha en så høy ledeevne som mulig på for å lede varmen ut til kroppen. Styrken til materialet er i tillegg viktig for at produktet skal være robust og tåle engasjerte ishockeytilskuere. E-modul representerer stivheten til materialet. Det ble undersøkt av hva som produseres av seter og hvilke materialer som blir brukt. Se tabell 3. Setene hentet fra Leangen Ishall er laget av polypropylen. High density polyetylen og ABS er hentet fra alternative produkter på internett. (Profesional Plastics. 2015)

Tabell 3: Egenskaper til plasttyper

Egenskaper Materialer	Termisk konduktivitet [W/mK]	E-modul [GPa]
Polypropylen	0,100-0,220	1,5-2,0
High Density Polyetylen	0,420-0,510	0,8
ABS	0,170	2,3

Bruksdimensjon

Denne dimensjonen har mye til felles med funksjonsdimensjonen. Produktets brukergrensesnitt baseres på hvilke funksjoner som skal utføres og hvordan forbrukerens forståelse er av produktet.

Setet vil ha en bryter på siden, der tilskueren kan slå av og på varmen etter eget ønske. I tillegg vil det være plassert en trykkfølsom sensor i setebaken som kutter strømmen til varmeelementet når tilskuer reiser seg.

Sikkerhetsdimensjon

Varmesetet består av to elementer som her må vurderes, hvor det elektriske er viktigst. Vi valgte en spenning på 12 V, dette medfører liten fare for kortslutning (NEK: 400. 2010). Setet er produsert i et strømisolerende materiale, noe som reduserer faren for at tilskueren får støt. Element to, temperaturen, settes slik at det ikke er mulig å brenne seg på setet. I bruksdimensjonen er det lagt til rette for at brukeren har mulighet slå av varmen. Førstegrads forbrenning oppstår når bar hud er utsatt for 44 °C over lengre tid (Lee, S. & Lu, Y. 2013). Under en test ble setet med 90 W varmematting målt til 33 °C, under 44 °C. Testen ble utført med en person på setet.

Selve varmeelementet og det elektriske er beskyttet mellom isolasjonen og plastsetet bestående av ikke-ledende polymermateriale. Ved riktig isolasjon av kabler og bruk av lav spenning er det liten sjanse for kortslutning når setet kommer i kontakt med væske. En IP-grad på 54 være tilstrekkelig, det vil si at produktet skal være støvbeskyttet og tåle kraftig dusj eller regn fra alle kanter uten å ta skade. (NEK 400:2010. 2015)

Miljødimensjonen

Når noe produseres påvirker man miljøet i større eller mindre grad. Konseptene presentert i denne oppgaven går hovedsakelig ut på å spare energi og miljø, og er tenkt å være et miljøvennlig produkt.

Ved produksjon av konseptet varmesete bør man gå gjennom materialene brukt til å ferdigstille setet og hvor disse kommer fra. De fleste seter som egner seg for konseptet er av plast og det er da ønskelig å bruke resirkulert plast. Varmematten som skal brukes er laget av filt med innlagt motstandstråd. Isolasjonen som benyttes er av resirkulerbart materiale.

Varmematten skal ha en spenning på 12 V og må transformeres ned fra nettspenningen på 230 V. Ved å kjøpe kvalitetssikrede og riktig dimensjonerte transformatorer kan man koble til flere seter og øke levetiden. Lang levetid stiller også krav til et godt lim, bortsett fra dette stilles det lite krav til verktøy under sammenstilling.

Tilleggsdimensjonen

Produktet sammen med en rekke tilleggsegenskaper skal gi et godt helhetsinntrykk. Tilleggsdimensjonen omhandler faktorer utover det fysiske produktet som påvirker kundens oppfatning.

Til tross for bruk av kjente komponenter, er kombinasjonen og bruksområdet nytt. Per dags dato er det ingen kjente idrettsarenaer i Norge som benytter seg av dette oppvarmingskonseptet. Her er det mulig å være først ute.

5.3.2 Simulering

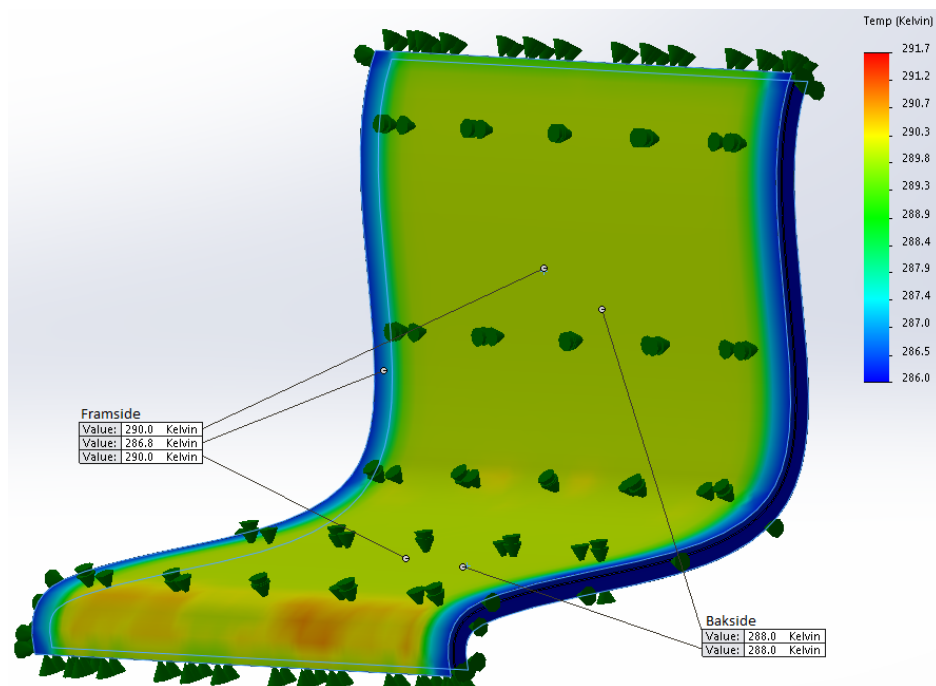
For å få et bilde på hvordan løsnignen vil fungere er det brukt simuleringsprogrammet SolidWorks.

Spesifikasjon

Varmesetet består av en multibody part i SolidWorks: et plastsete, en varmemefolie og en isolasjonsplate. Selve setet er av 4 mm polypropylenplast, tatt fra et faktisk sete fra Leangen ishall. Dette setet har en termisk konduktivitet på 0,2 W/mK. Varmefolien er satt som polypropylen med varmeelementer som yter 90 W/m². Total effekt på et sete er da 21,7 W. Isolasjonen er 10 mm tykk med en termisk konduktivitet på 0,030 W/mK. Varmeovergangskoeffisienten er hentet fra Newtons avkjølingslov og er gjeldene for alle eksponerte flater, den er satt til 4,13 W/m²K. Simuleringen kjøres i «steady state», dette betyr at prosessen bli kjørt til den er i likevekt, omgivelsene kan ikke absorbere mer varme fra stolen.

Resultat

I simuleringen oppnådde varmesetet en temperatur på 17,1 °C på framsiden og baksiden nådde 14,7 °C. Resultatet fremgår i figur 11. Temperaturen er oppgitt i Kelvin.



Figur 11: Simulering av varmesete med en effekt på 90 W/m². Nodene viser noen utvalgte temperaturer på bak- og framside.

5.3.3 Termisk komfort og virkningsgrad

Ved sammenligning av U-verdier kan vi estimere en virkningsgrad på stolene. Denne beregningen er forenklet og ment som en tilnærming på hvor varmen vil bevege seg. Det er andre faktorer som kommer inn i bildet, isolasjonsevnen til en tilskuer, ΔT mellom over- og undersiden, varmeledningsevnen fra polypropylen til luft og isolasjon til luft.

$$U = \frac{1}{\frac{\delta_{iso}}{\lambda_{iso}} + \frac{\delta_{sete}}{\lambda_{sete}}} \quad U = \frac{1}{R}$$

Tykkelsen på isolasjonen varierer mellom 10 - 20 mm og tykkelsen på plastsetene er 4 mm. Termisk konduktivitet i tabell 4 er hentet fra University Physics (Young, H. & Freedman, R. 2012).

Tabell 4: Termisk konduktivitet for materialer brukt i simulering

Materiale	Termisk konduktivitet [W/mK]
Polypropylen	0,10 – 0,22
PE Foam	0,05 – 0,04

$$U = \frac{1}{\frac{0,01 \text{ m}}{0,049 \text{ W/mK}} + \frac{0,004 \text{ m}}{0,42 \text{ W/mK}}}$$

Dermed kan vi se at R-verdien til sete er 0,001 m²K/W, og isolasjonen er 0,2 m²K/W. Vi kan estimere at ca. 90 % av varmen blir ledet gjennom sete. Dette forutsetter at varmen kun ledes ved konduksjon og ingen konveksjon. Allikevel gir dette en god indikasjon på hvor varmen vil bevege seg.

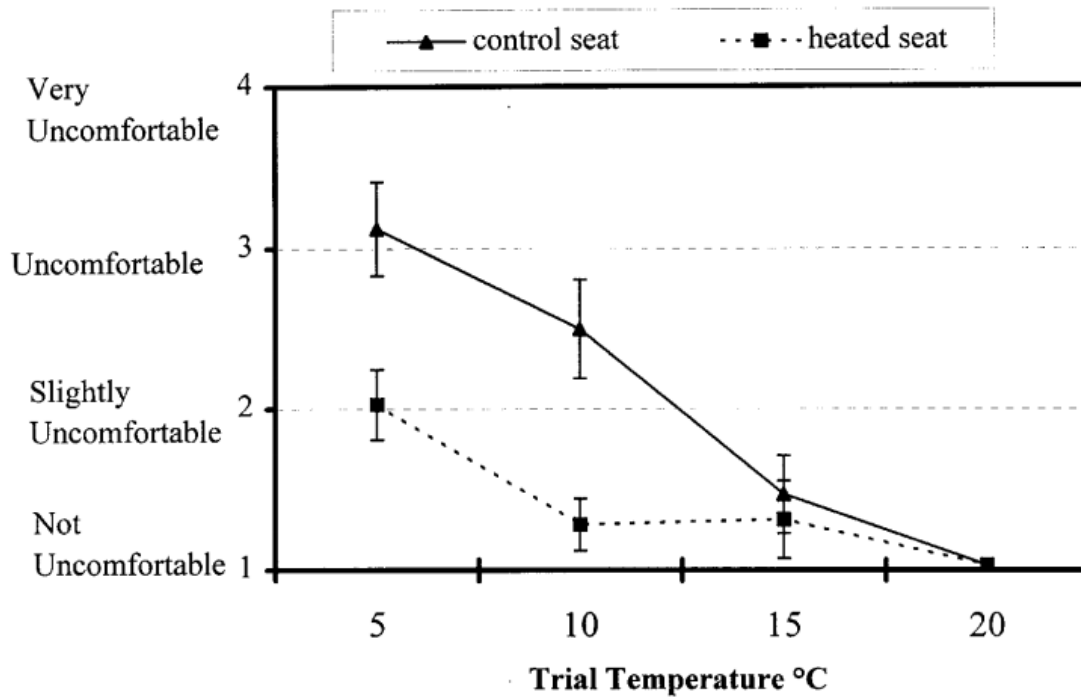
En studie gjort på termisk komfort blant bilister som bruker varmeseter viser gode resultater (Brooks, J. E. & Parsons, K.C. 1999). Denne testen kan benyttes i våre studier da det kan trekkes klare sammenligninger mellom en kjølig bil og en kald hall. Forutsetningene for testen blir presentert i tabell 5. Denne tabellen er rekonstruert for å passe vårt format.

Tabell 5: Forutsetninger til forsøk utført av Brooks, J. E. & Parsons, K.C utgitt i *Ergonomics* (1999)

Test	Luft temperatur t _i [°C]	Gjennomsnittlig strålingstemperatur t _{rs} [°C]	Luft hastighet V [m/s]	Relativfuktighet φ [%]
1	5	5	<0,2	40
2	10	10	<0,2	40
3	15	15	<0,2	40
4	20	5	<0,2	40

For oss er test 1,2 og 3 av interesse, hvor test 2 er mest aktuell. Til sammenligning ligger temperaturen i ishaller ofte ned mot 10 °C, den relative fuktigheten på Leangen ble målt til 43 % av Ola Lie Andersen og Frank Kristian Rangul i forbindelse med deres bacheloroppgave, «Analyse av energibruk i ishaller», våren 2015. Lufthastigheten på Leangen holder seg under 0,2 m/s på alle rader utenom den øverste, hvor den er målt til 0,4 m/s (Bergsagel, D. 2014).

Brooks og Parsons bruker i figur 12 en skala fra 1-4 hvor 4 er *Very Uncomfortable* og 1 er *Not Uncomfortable*. Med de oppvarmede setene når de en termisk komfort som ligger nærmere *Not Uncomfortable* enn *Slightly Uncomfortable*. Dette gir en god indikasjon på hvordan våre varmeseter vil påvirke tilskuerne både på Leangen og andre steder hvor det er kaldt klima (Brooks, J. & Parsons, K. 1999).



Figur 12: Resultatet fra artikkelen utgitt av Brooks og Parsons (1999) som undersøkte den termiske komforten i biler. Her vises kontrollsetene opp mot varmesetene de brukte i testen.

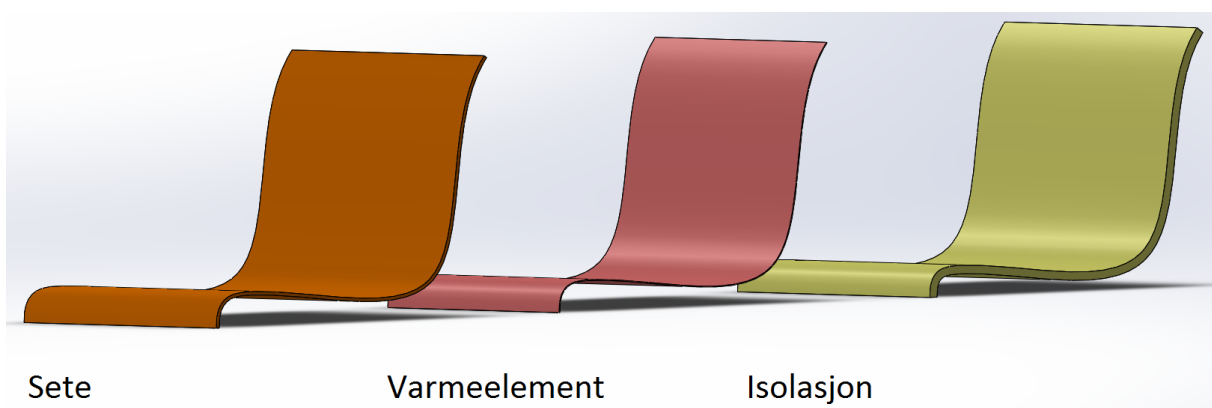
Brooks og Persons konklusjon er meget relevant og støtter opp under våre antagelser om termisk komfort og varmeseter (Brooks, J. & Parsons, K. 1999).

- (1) *Heated seats can effectively improve occupant comfort during the initial warm-up period when the air temperature is lower than 15 °C.*
- (2) *Optimal thermal sensation in contact with the seat is higher when air temperature is lower, at around "neutral" at 20 °C and between "slightly warm" and "warm" at lower than 10 °C.*
- (3) *The heated seat will keep participants in the overall thermal comfort region between 'not uncomfortable' and 'slightly uncomfortable' in temperatures ranging down to slightly above 5 °C. In comparison, participants in the control seat will become 'slightly uncomfortable' between 10 and 15 °C and will be between 'uncomfortable' and 'very uncomfortable' at 5 °C.*

Alt i alt kan vi lese ut fra konklusjonen til Brooks og Persons at varmeseter har et stor påvirkning på termisk komfort.

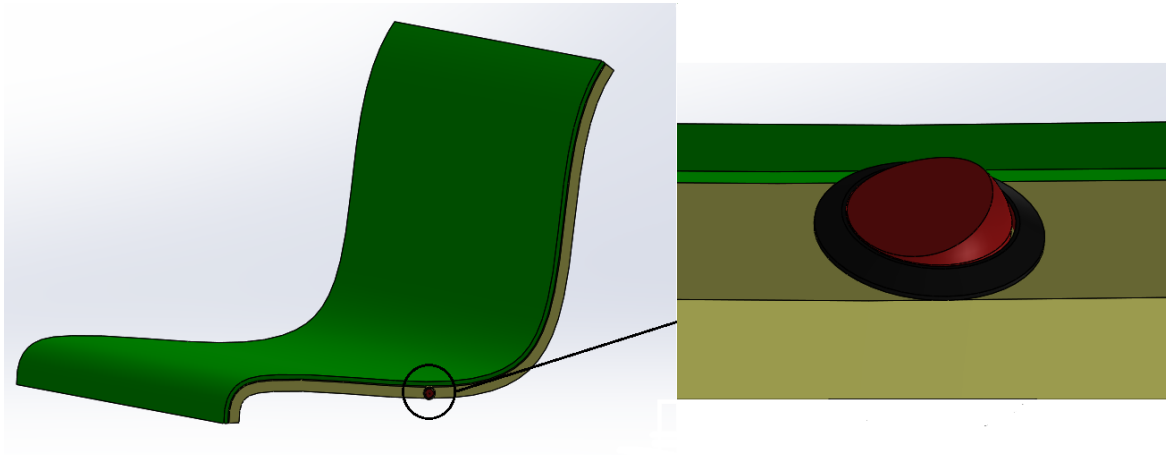
5.3.4 Prototype

Det ble produsert syv prototyper, hvor alle ble testet i Leangen ishall. Disse var utviklet basert på erfaringer fra produktutviklingen og simuleringen. De syv prototypene ble produsert av forskjellige bestanddeler, da det var interessant å se hvordan dette påvirket resultatet. Ved å bruke kombinasjoner av forskjellig effekttetthet, 90W/m^2 og 60W/m^2 , isolasjonstykkelse og isolasjonstype ble det mulig å finne den beste kombinasjonen av de valgte materialene. Setene varierer også mellom heldekkende og halvdekkene varmeelement. Et heldekkende varmeelement dekker både setebak og seteygg. Et halvdekkende dekker kun setebak.



Figur 13: Exploded view av prototypene vi bygde. Bestående av et sete, varmeelement og isolasjon.

Figur 13 viser sammenstillingen av et varmesetet med heldekkende varmeelement. Fire mm tykt sete av polypropylenplast, en mm tykt varmeelement og ti mm tykk isolasjon. Tre av prototypene var utstyrt med 90W/m^2 varmeelement og fire med 60W/m^2 , begge med en spenning på 230 V. Isolasjonen varierer fra 3 til 12 mm. Ved sammenstilling ble det vurdert flere festemåter, valget endte på tape da det ga en mulighet til forandring og lettere feilsøking om noe skulle skje.



Figur 14: Diskré bryter for å slå setet av og på

På alle prototyper er det montert en bryter som slår av og på varmeelementet, se figur 14 og 15. Dette er en vital funksjon som gir setet individuell styring slik at det kun er på når det brukes.



Figur 15: Prototype

5.3.5 Energi

Totalt energiforbruk baserer seg på hvordan setet er satt sammen og hvor mange seter som brukes. Det må også tas høyde for hvor mange timer setene brukes. I samtale med driftspersonalet på Leangen kommer det frem at det sjeldent er mer enn 200 tilskuere på stevner. Vi anslår at hver stol brukes en time per dag, dette sannsynligvis mer enn normalt på Leangen. Sesongen varer i 7 måneder og det er som regel stevner hver uke. Det er satt opp en oversikt over seteantall og forbruket i tabell 6. 90 W/m² tilsvare 20 W per sete.

Tabell 6: Energiforbruk, varmesete

Antall seter	Watt / sete [W]	Effekt [W]	Tid / måned [h]	Energi / måned [kWh]	Energi / sesong [kWh]
100	20	2 000	30	60	420
200	20	4 000		120	840
500	20	10 000		300	2 100
1 000	20	20 000		600	4 200

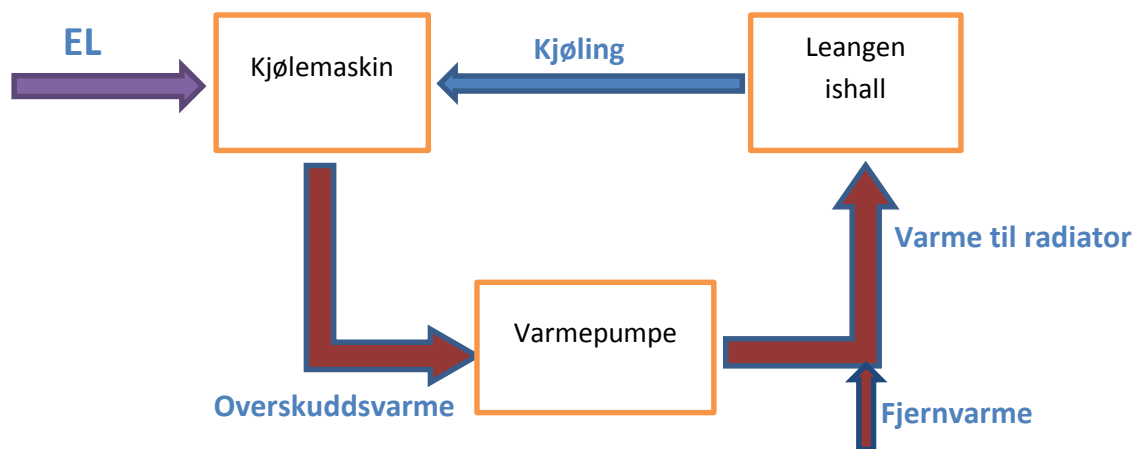
5.4 Konsept nummer 2

Det finnes flere typer radiatorer og konvektorer, ribberørradiator har høyest W/m. Leverandører av ribberørradiatorer kan fortelle oss at virkningsgraden på ribberør er høyere enn en tradisjonell radiator. For enkelthetens skyld valgte vi elektriske ribberør til feltforsøket.

Ved bruk av radiatorer kan vi bruke overskuddsvarmen fra vedlikeholdskjøling av isen. Dette er samme prinsipp som brukes på ventilasjonen i dag hvor overskuddsvarmen fra isproduksjonen går til en varmeveksler og brukes til varmebatteriet som sitter montert i aggregatet.

For best utnyttelse av radiatorene vil det bli brukt ribberørsovnner som har en større evne til å overføre varmen fra radiatoren til omgivelsesluften. Varm luft vil stige fra ribberørsovnner opp mot publikum og de vil oppleve en høyere lufttemperatur.

I figur 16 vises energiflyten til kjølemaskinen på Leangen ishall. Overskuddsvarmen fra isproduksjonen benyttes til å varme opp vann som kan brukes av radiatorene.



Figur 16: Viser prosessdelen av ribberørsløsningen

5.4.1 Produktutvikling

Her vil vi ta for oss de dimensjonene som er aktuelle for utvikling av dette konseptet.

Funksjonsdimensjonen

Hovedfunksjon til dette konseptet vil være å gi tilskueren en høyere termisk komfort ved hjelp av ribberørradiatorer. Plassert under seteradene vil radiatoren overføre varme til luften som vil stige opp og nå publikumet i varm luft. Det vil i tillegg være en strålingsvarme som treffer bein og sete slik at de blir varmet opp. Det skal være mulig å stenge av hver enkelte rad slik at man sparer energi når det ikke er fullsatt sal. Plasseringen av radiatorene vil spille en stor rolle. De bør plasseres slik at det er vanskelig for publikum å nå de, alternativt må det monteres beskyttelse.

Markedsdimensjonen

Det som blir presentert i denne oppgaven spiller på overskuddsvarme fra isproduksjon og derfor er det foreløpig kun ishaller som er aktuelt marked. Mange kirker har som kjent allerede implementert dette, men da som regel med elektrisk varme.

Designdimensjonen

Det finnes radiatorer av forskjellige slag og utseende. Her er det fokusert på funksjonalitet og ytelse. Plasseringen vil være under seteradene og vil være lite synlig, derfor er designet nedprioritert.

Bruksdimensjonen

Her vil ikke brukeren være i direkte kontakt med produktet. Driftoperatører vil, etterhvert som seteradene fylles opp, bestemme hvilke rader som får varme eller ikke. Dette er viktig for å spare energi. En bruker vil merke liten forandring i forhold til dagens løsning, bortsett fra bedre termisk komfort som følge av direkte varme.

Sikkerhetsdimensjonen

Radiatorer er brukt i mange hus og bygninger og er et velkjent produkt. Etter vurdering av radiatoren kommer man fram til to elementer som det må fokuseres på. Det første, temperatur, er det viktigste da radiatorer vil holde rundt 60 °C og det er nok til å kunne gi ubehag og brannskade ved kontakt over lengre tid (Lee, S. & Lu, Y. 2013). Det finnes standard beskyttelser som kan benyttes.

Element to, vann, har en lav risiko, men må likevel tenkes på. Ved uheldig opplegg av rør, kan det tenkes at noen tramper og ødelegger tilførselsrør med varmt vann. Om dette skulle skje vil varmt vann strømme ut av røret og skoldingsskade på tilskuere er sannsynlig. Derfor må det planlegges godt hvordan røropplegget utføres.

Miljødimensjonen

Ved bruk av konseptet ribberørsradiator er det lite behov for produksjon da de fleste elementer allerede er ferdig tilgjengelige. Uavhengig av dette er det lurt å se på miljøpåvirkningen fra elementene som benyttes. Rør og radiatorer bør være produsert av resirkulert materiale. Radiatorer har lang levetid da de består av stål og vannet som strømmer gjennom er oksygenfritt og vil ikke oppstå korrosjon i radiatoren. Gjenvinning av overskuddsvarme er positivt for miljøet.

5.4.2 Simulering

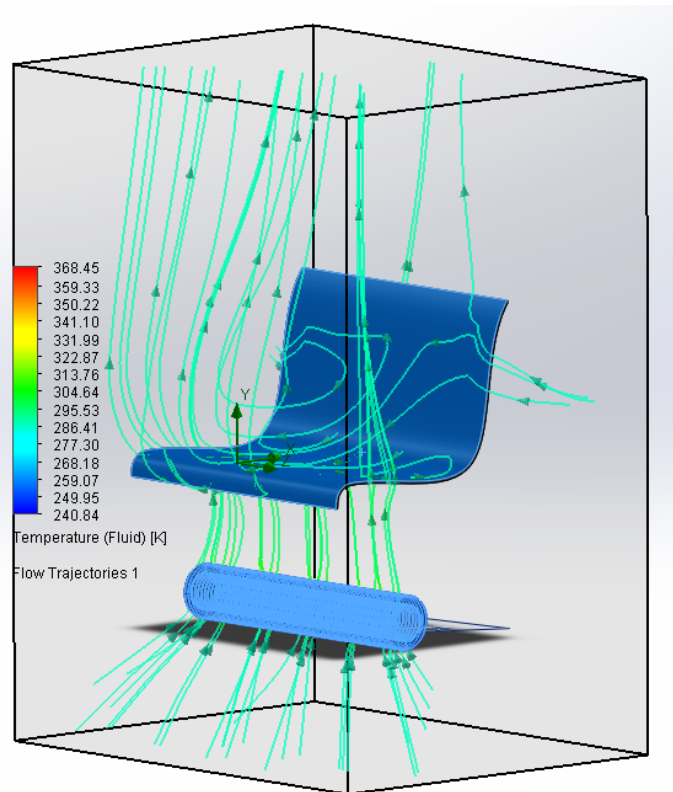
Ribberrørsradiatorer plassert under setene vil avgi konveksjonsvarme til publikum. SolidWorks brukes til å utføre en flow simulation for å få et bilde på hvordan løsningen vil fungere.

Spesifikasjon

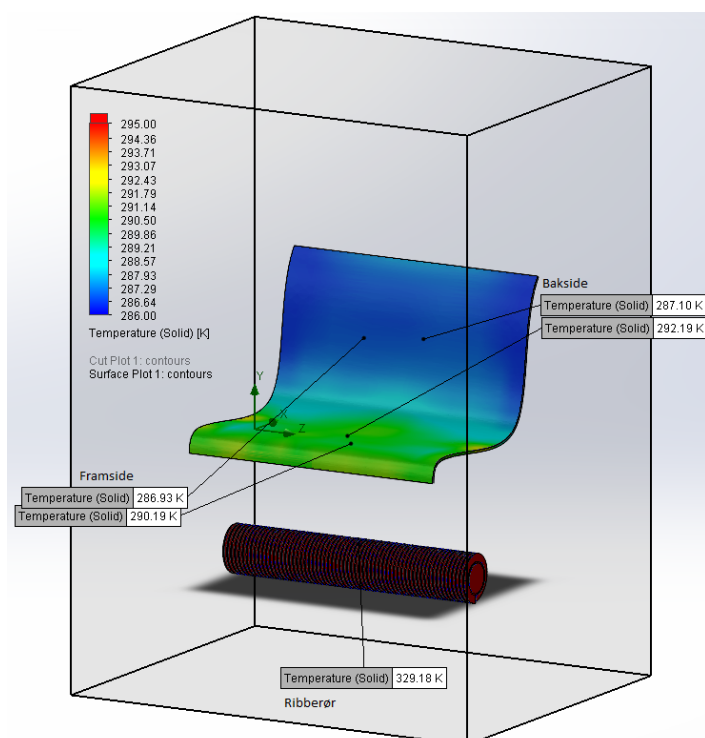
Setet med ribberør er også satt som en multibody part i SolidWorks: 4 mm tykk polypropylensete uten isolasjon og ribberørradiator. Ribberørradiatoren er satt til å ha en elektrisk effekt på 150 W, dette tilsvarer en overflatetemperatur mellom 50 og 60 °C (Oppgitt av Lyngson). Det er også denne effekten som ble brukt under forsøket. Radiatoren avgir varme gjennom stråling og konveksjon. Modulering av ribberørradiatoren er en tilnærming til de som ble brukt under forsøket. Modellen er konstruert som et stålrør med 2 mm tykkelse på satt 2 mm tykke og 15 mm høye ribber. Det ble satt grensebetingelser for å redusere volumet rundt setet, hvor ribberørradiatoren er plassert 250 mm under setebaken. Her ble det kjørt en flowsimulering som er nødvendig under konveksjonsstudier. I Leangen ishall er setene monter på to planker, disse er fjernet for å forenkle simuleringen.

Resultat

Luften rundt radiatoren ble varmet opp, steg og traff midt på setets underside. Derifra sprer luften seg til alle kanter og videre opp. Setebaken oppnådde en temperatur på 17,9 °C, ryggen på setet hadde et temperaturspenn fra 13,0 til 14,9 °C. Dette kommer av at luften avgir varme til setebaken før den stiger opp til ryggen. Det som er viktig å merke seg er at en god del av varmen vil fortsette opp i rommet etter å ha passert setet. Dette illustreres godt i figur 17 og 18. Temperaturen i figurene er oppgitt i Kelvin.



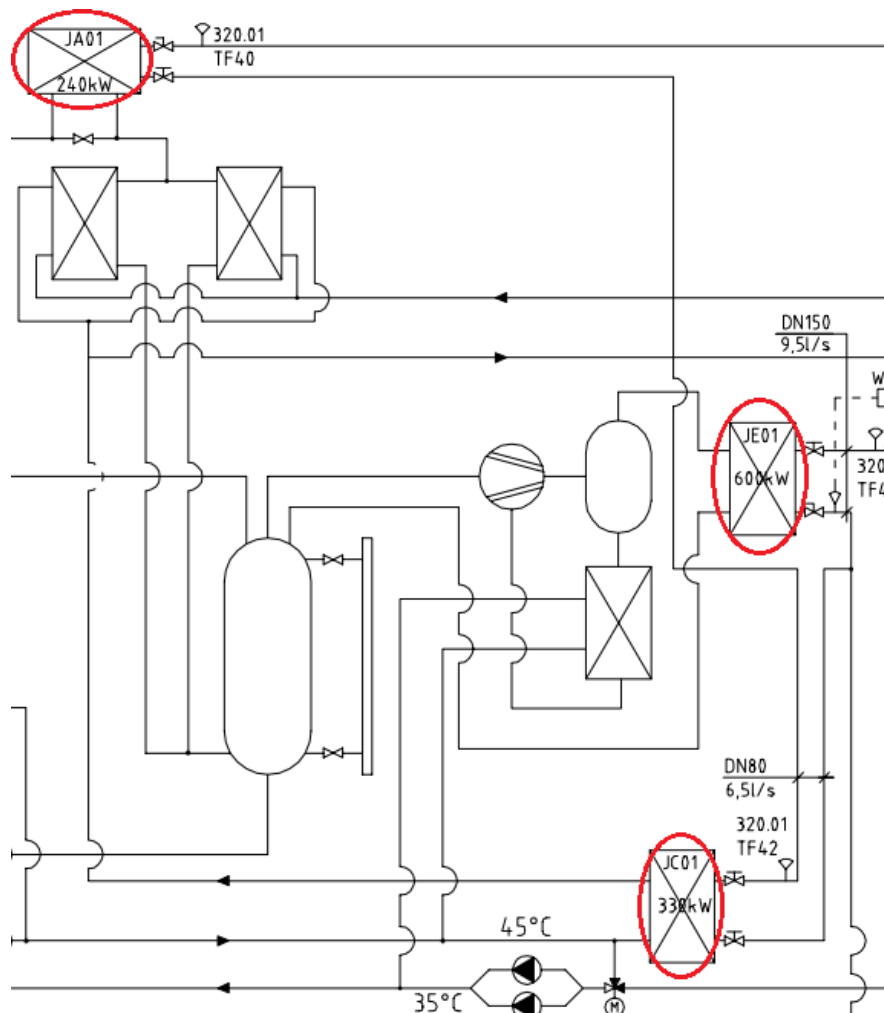
Figur 17: Simulering av ribberørsløsningen med påsatte temperaturer



Figur 18: Simulering av hvordan luftstrømmene påvirkes av ribberørradiatoren

5.4.3 Teknisk beskrivelse

Overskuddsvarme fra isproduksjonen hentes ut ved hjelp av en gjenvinnings-glykol-kjøler, hvor varme fra oljekjølere og glykolkjølt kondensator gjenvinnes (JC01), Varmepumpe (JE01) og et underkjølingsvarmeveksler (JA01) (Asplan Viak 12.05.2015). I følge systemskjema utlevert fra Siemens kan det leveres ut hele 1170 kW. Denne varmen veksles så igjen mot samlestokken på teknisk rom hvor varmen blir fordelt på ventilasjonsaggregat, beredersentralen og treningshallen. Ved installasjon av ribberør må det kobles til samlestokken og bruke varme fra isproduksjonen. Denne installasjonen er antas å være dyr. I tillegg kommer det diverse ventiler og styringsenheter. Rørføringene må legges på en slik måte at det ikke oppstår luftlommer som hindrer flowen i anlegget.



Figur 19: Utsnitt av det tekniske systemskjema for VVS-anlegget på Leangen.

Figur 19 viser utsnittet fra systemskjema for VVS-anlegget på Leangen. De tre aktuelle varmevekslerene er markert med rødt.

5.4.4 Termisk komfort

Den termiske komforten med ribberør oppnås gjennom en kombinasjon av økt lufttemperatur og en liten øking av temperatur på selve sete, samt noe stråling på baksiden av bein. Det viser seg at det er meget vanskelig å anvende dette i Fangers modell for å avgjøre grad av termisk komfort.

I et forsøk på å gjøre et estimat ble Solidworks Flow Simulation brukt til å vise lufttemperatur samt den nye temperaturen på sete. Lufttemperaturen har vi så lagt inn i CBE Thermal Comfort Tool og fått ut en PPD på 49 % og PMV på -1,47. Dette alene vil ikke ta hensyn til temperaturen på sete, og PPD vil antagelig havne litt høyere, men hvor mye er vanskelig å si noe om.

5.4.5 Energi

Under forsøket ble det brukt elektriske ribberørsovner på 150 W for å simulere radiatorer.

Eksempel på 200 tilskuere og måling av flowdata sier at dagens løsning bruker opp mot 300 W/tilskuer. Sammenligner man dette med radiatorkonseptet og tall fra tabell 7, kommer man seg unna med 150 W/tilskuer. Dette vil tilsvare halvparten av energiforbruket. Med stengeventil på hver rad kan man bestemme hvor mange rader som varmes opp, dette for tilfeller hvor det er færre enn 200 tilskuere.

Tabell 7: Energioversikt, radiator

Antall seter	Watt/sete [W]	Effekt [kW]	Tid / måned [h]	Energi / måned [kWh]	Energi / sesong [kWh]
100	150	15	30	450	3 150
200	150	30		900	6 300
500	150	75		2 250	15 750
1 000	150	150		4 500	31 500

I tabell 7 ser man et anslag for hvor mye energi det vil gå med til dette konseptet.

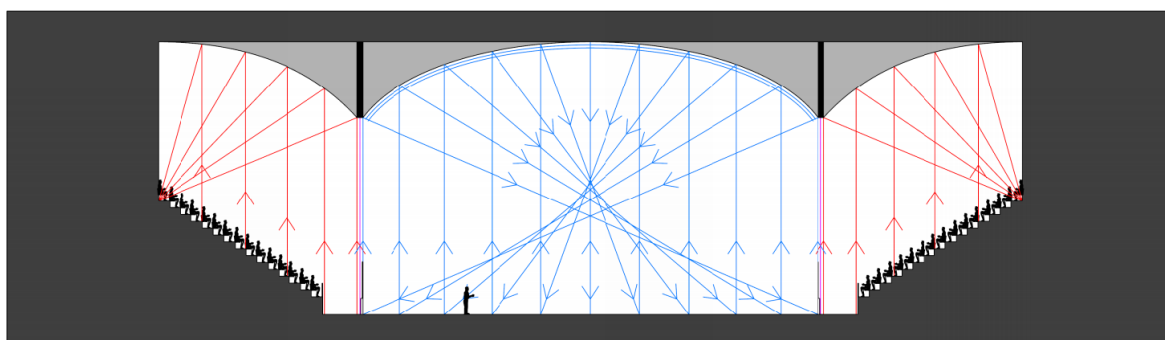
5.5 Tilleggskonsepter

Sammen med de konseptene som har blitt presentert tidligere finnes det andre endringer som kan redusere utfordringene i hallen. Disse konseptene har dukket opp under veis. Vi vil kun ta for oss prinsippene og vil ikke gå i dybden på disse.

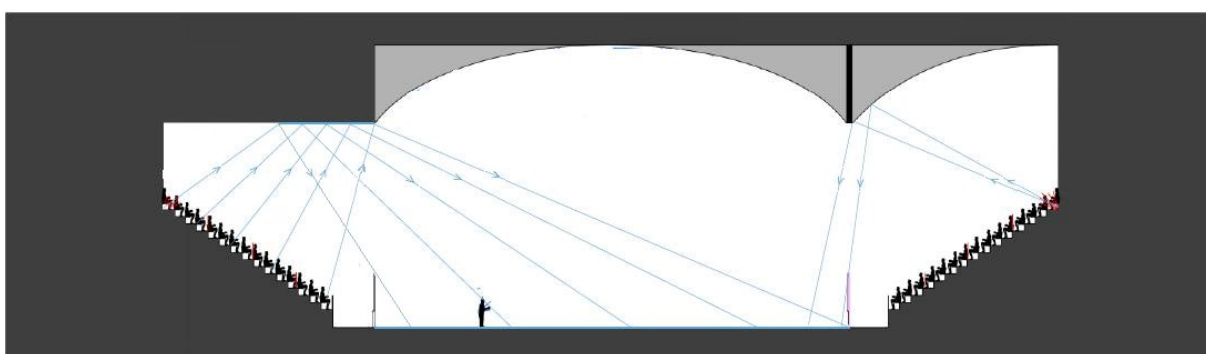
5.5.1 Takets utforming

I Leangen ishall har taket over isen en kurve, der kurven slutter går det over til å være flatt hele veien inn til veggen, dette vises på venstre side av figur 21. Et objekt stråler fra seg varme ut til alle kanter. Ved enkelte vinkler vil varmestråling fra publikum treffe det flate taket og reflekteres ned til isen. Taket over isen fungerer som en parabol slik at mesteparten av strålingen fra isen reflekteres tilbake til isen. Dette er utprøvd i flere ishaller (Bergsagel, D. 2014).

For å redusere stråling fra publikum kan man lage en halvparabol over publikumssonen slik at varmen reflekteres tilbake til publikum. Dette vil spare isen og gjøre det mer komfortabelt for publikumet. Det er også da viktig at taket trekkes i et reflekterende materiale.



Figur 20: Prinsippskisse av hvordan termisk stråling vil bre seg i et volum (Nye Jordal Amfi Oslo, konseptutredning prosess 2015).



Figur 21: Dagens takløsning mot en parabolisk løsning.

Figur 20 er det forsøkt på å vise hvordan en parabolisk takutforming vil hindre at strålingen fra publikum når isen. Figur 21 illustrerer to forskjeller, på venstre side hvordan publikum påvirker istemperaturen og høyre side hvor brorparten av strålingen returnerer til publikum.

5.5.2 Snudd ventilasjon

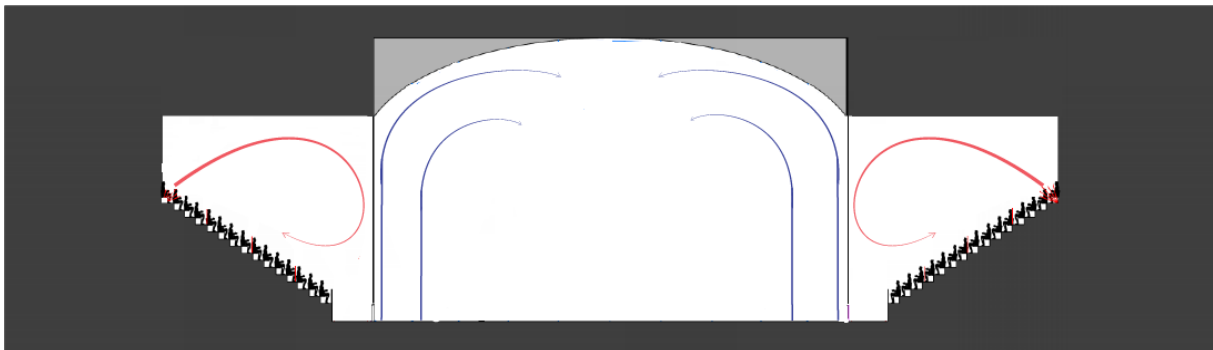
Dette konseptet ble avslått i konseptscreeningen, men vi ser at det kan supplere våre konsepter.

Ved å benytte et trykkammer under publikum kan lufttilførsel og lufthastighet lett kontrolleres. Det er viktig at tilførselen av friskluft ved publikum har en lav hastighet slik at det ikke blir trekk. Konseptet er likt det du finner i et større auditorium (Steensaas, L. 1999).

Hvor vidt dette lar seg gjennomføre som et rehabiliterings prosjekt er vanskelig å avgjøre. Det vil først og fremst være aktuelt for nye prosjekter hvor man kan ta hensyn til utforming av kanalnett.

5.5.3 Oppdelte klimasoner

En måte å øke tilskuernes termiske komfort på kan være å fysisk separere de to sonene fra hverandre, tilskuersone og utøversone. Dette vil gjøre det enklere å tilpasse klima etter behov. I Leangen ishall benyttes det i dag pleksiglass av akryl, disse er 240 cm høye på kortsidene og 180 cm på langsiden. Ideen er å forlenge disse så de går fra vantet opp til taket, se figur 22. Dette vil fjerne nærheten og følelsen tilskuerne har av å være til stede under en kamp, i tillegg vil det påvirke sikten på grunn av refleksjon og risiko for kondens.



Figur 22: Pleksiglass som fysisk barriere.

5.5.4 Solenergi

Det er ofte store ubrukte flateareal i forbindelse med idrettshaller. Det er snakk om takflater, og vegger vendt mot sør. Solceller i Trondheim har en optimal helningsvinkel på 44° for å kunne utnytte mest mulig av solinnstrålingen (Zijdemans, D. 2012). Tabell 8 viser en oversikt over hvor mange kvadratmeter solcellepanel det kreves for å dekke strømforbruket

opptil 1 000 varmeseter. Pris per produsert kWh er regnet ut i fra pakkepris hentet fra sparelys.no og antall soltimer hentet fra meteorologisk institutt.

Tabell 8: Behov for solcellepanel avhengig av antall varmeseter

Antall seter	Effekt [W]	Årlig forbruk [kWh]	Solcelle [m ²]	Pris / produsert kWh [kr/kWh]
100	2 000	420	2,3	0,37
200	4 000	840	4,7	
500	10 000	2100	11,7	
1000	20 000	4200	23,4	

Solcelleteknologien er i stadig utvikling og dette påvirker installasjonspriser og virkningsgraden til panelene. Vi setter som krav at 1 000 seter skal driftes under større arrangement. Dersom man installerer solcellepanel som generere 3 600 W og går utifra antall soltimer i Trondheim per år er 1346,5 timer gir dette en årlig produksjon på 4 847 kWh (Meteorologisk institutt, 2009). «Du har rett til å få tilbake maksimalt 10 000 kr for et produksjonsanlegg, pluss 1 250 kr per kW installert effekt opp til 15 kW. Det vil si at dersom du installerer 15 kW effekt, kan du få opptil 28 750 kr totalt.» (ENOVA, 2015). Med en pakkepris på 60 000 kr for et anlegg på 3 600 W hentet fra sparelys.no kan vi anslå at investeringen havner på 44 500 kr. Solcelleanlegg er under 50 V og mesteparten kan installeres av driftspersonel (Forskrift om elektrisk lavspenningsanlegg, 1998). Med en innkjøpspris på 1 kr/kWh gir solcelle en besparelse på 0,63 kr/kWh. Dette gir en årlig besparelse på 3 053 kr.

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{44\,500 \text{ kr}}{3\,053 \text{ kr}} = 14,6 \text{ år}$$

Man kan se at konseptet har potensiale til å gå i pluss da levetiden til solceller antas til å være 25 år, og burde undersøkes i videre studier.

6 Feltforsøk

Under forsøket utført i Leangen ishall den 12. februar 2015 ble det benyttet et testpanel bestående av 6 personer. Ved oppstart ble panelet gjort kjent med hvordan testen ville bli utført, denne tiden ble også brukt til å akklimatisere testpersonene. Under akklimatiseringen fikk panelet erfare hvordan det er å sitte 15 minutter under de omstendighetene som er i hallen i dag. Middelstråletemperaturen i hallen ble målt til 11 °C med et globetermometer.



Figur 23: Fremgangsmetoden for testen. Testen ble utført over fire intervaller på 15 minutter.

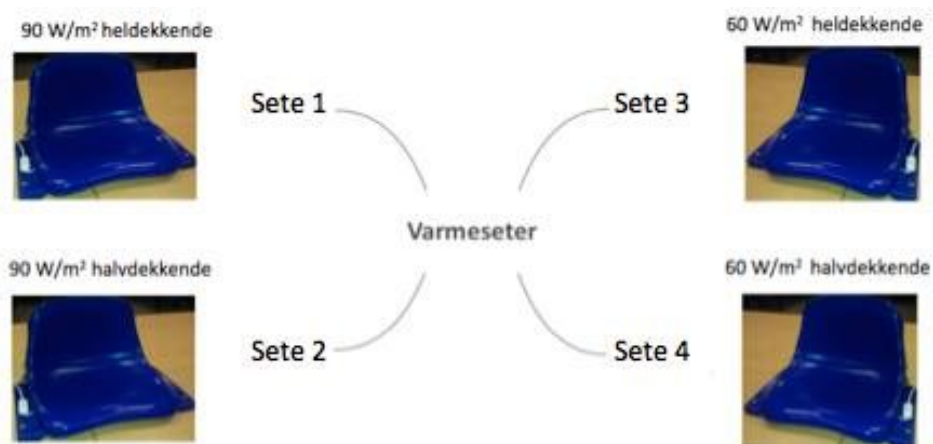
Etter endt akklimatisering ble testpersonene plassert på et sete med varmeelement i setebak og seterygg. Varmen ble satt på av testpersonen selv ved $t=0$ og ble skrudd av ved $t=15$ minutter. Dette ble gjort for å gi testpersonene et inntrykk av oppvarmingsprosessen i setet.

I neste intervall ble et annet sete testet, dette utstyrt med varmeelement kun i setebaken.

Siste intervall var testing av konseptet ribberør. Panelovnen var plassert under en seterad bestående av fire seter som var forhåndsoppvarmet til en overflatetemperatur på 45 °C. På denne måten ble materialet i setene og området rundt raden påvirket av konveksjonsvarmen produsert av ribberørsovnene. Ovnene var på rundt 300 W, og dekket to seter. Figur 24 viser bilde fra feltforsøket på Leangen ishall.

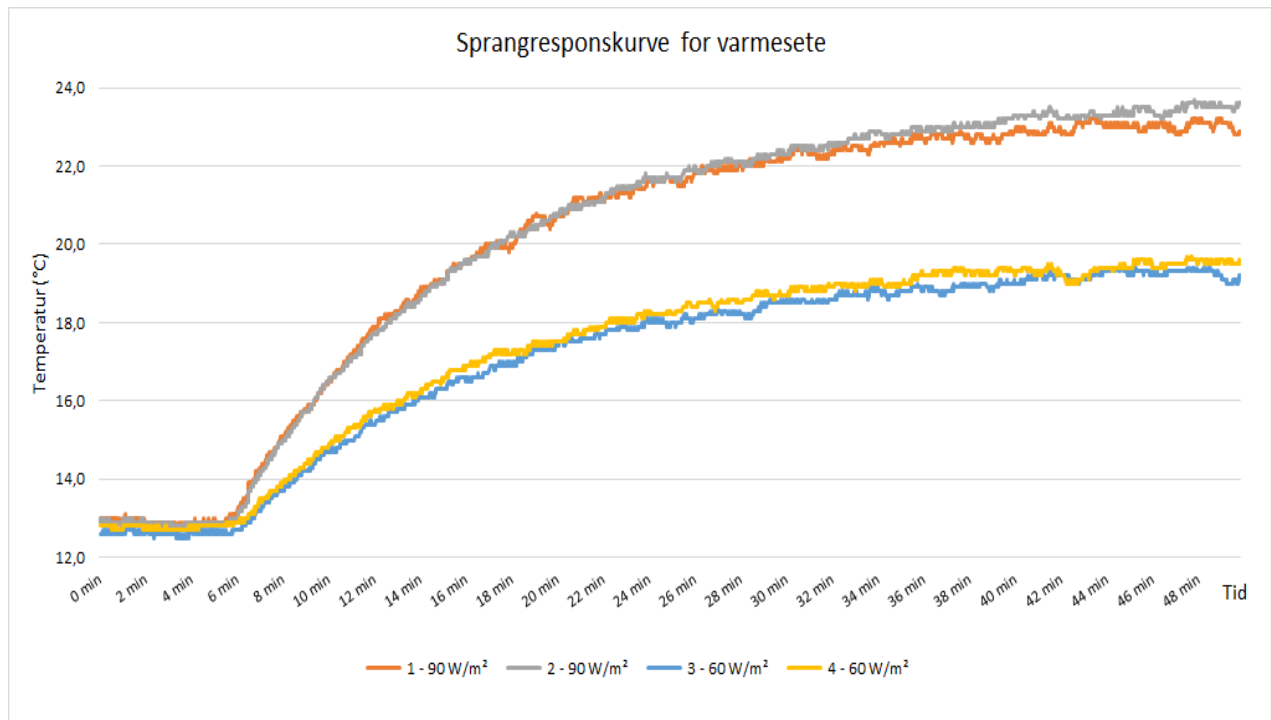


Figur 24: Bilde fra feltforsøket. Foto: Marius Normann



Figur 25: Figuren viser en forenklet fordeling av setene.

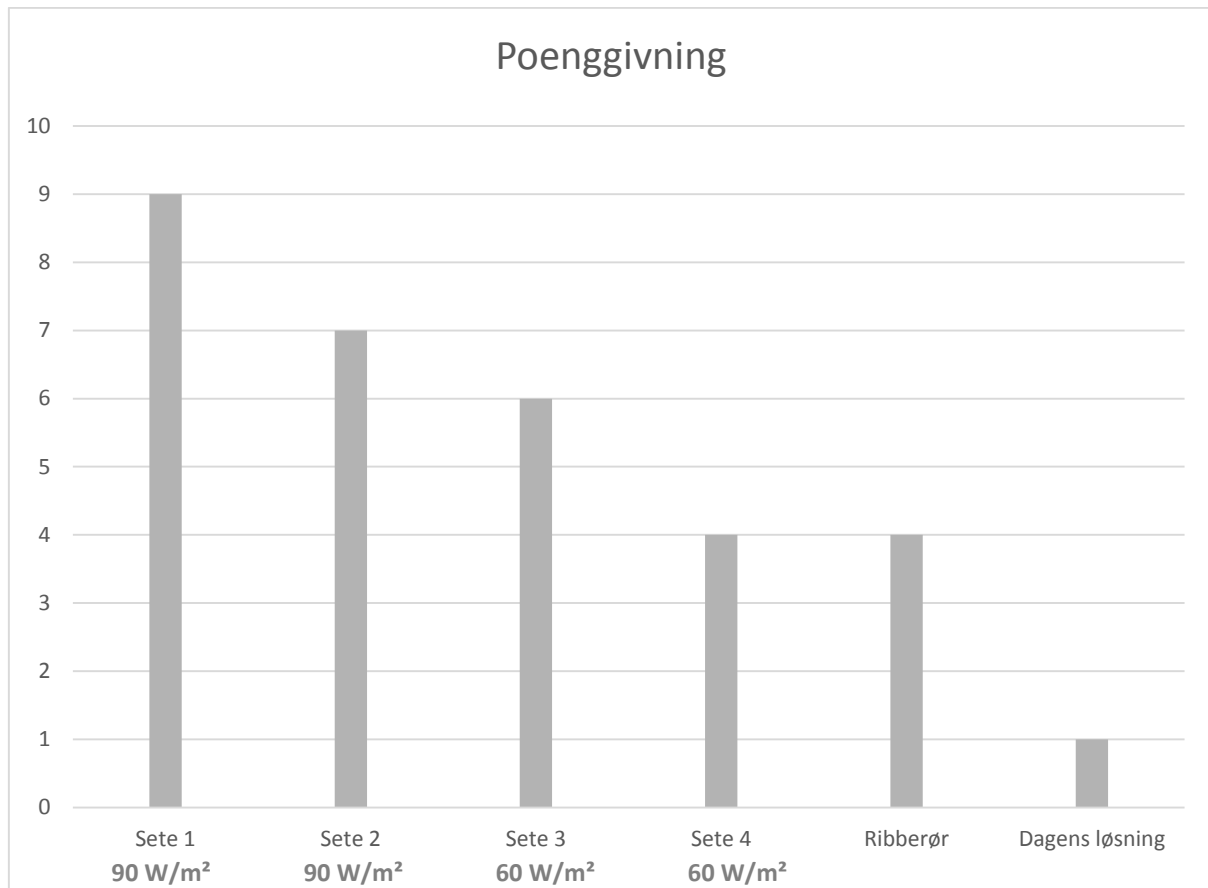
I figur 26 vises sprangresponskurven til tomme varmeseter. Setene ble skrudd på etter 6 minutter, dette for å sikre felles utgangspunkt. Vi fikk ikke muligheten til å gjøre en lik test med personer som sitter i setene under feltforsøket.



Figur 26: Sprangresponskurve som viser målt temperatur som funksjon av tiden $T(t)$. Setene ble påskrudd etter 6 minutter.

6.1 Resultat

Resultatet fra testen ble innhentet gjennom et evalueringsskjema testpersonene fylte ut etter hvert som de forskjellige konseptene var ferdig testet. Det viste seg at flertallet var mest fornøyd med andre intervall, altså sete med varmeelement i bak og rygg. Ribberørkonseptet slo ikke like godt an blant testpanelet, men havnet likevel over dagens løsning. Poenggingningen ble gitt fra 0 til 10 og gjennomsnittet er vist i figur 27.



Figur 27: Samlet poenggivning etter feltforsøket vi hadde på Leangen.

Akklimatiseringen av testpersonene kan ha påvirket testresultatet. Til tross for dette valgte vi å gjøre det for å gi deltakerne et inntrykk av hvordan dagens løsning fungerer. Som følge av ispreparering og det at lyset var avskrudd, var temperaturen i hallen noe lavere enn normalt. På testdagen målte vi 11 °C, mot normalt 14 °C. Denne temperaturdifferansen forteller oss noe om muligheten vi har til å redusere temperaturen i hallen, noe som er aktuelt ved installasjon av seter med varme. (Bergsagel, D. 2014)

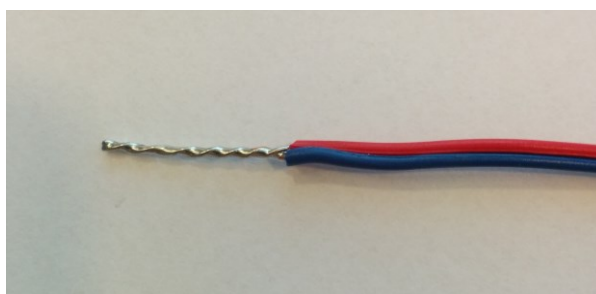
7 Instrumentering

Her blir det introdusert hvilket utstyr som ble brukt i forsøket og målingene.

7.1 Anvendt utstyr

Termoelement

Det ble benyttet termoelementer av typen «T» overflatetemperaturer på setene og «J» til måling av globetemperatur. Termoelement bruker to ledningstråder av forskjellige metaller til å lage en lukket krets. Elementene er produsert av Pyro Control. Nøyaktighet til «T» er $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, og «J» er $\pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ Se appendiks B for kalibrering.



Figur 28: Termoelement

HIOKI 8430-20 memory Hilogger

Dataloggeren logger temperaturinput ved hjelp av termoelement. Når termoelementet blir utsatt for en gitt temperatur vil de gi et spenningspotensiale som loggeren føler. Før bruk ble alle elementene kalibrert opp mot hverandre. Loggerintervallet er 1 sekund. Nøyaktigheten er $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ved «T» termoelementer.



Figur 29: HIOKI 8430

Ultralyd micronics portaflow 220

Måler flowen i et rør ved hjelp av ultralyd. Før måling må apparatet vite rørets diameter, tykkelse, materiale, væske egenskaper og temperatur. Nøyaktigheten er $\pm 0,2 \%$. Se appendiks B for kalibrering.



Figur 30: Micronics Portaflow 220. Hentet fra www.metesco.nl

HOBO thermocouple logger

Ble brukt til å logge tur- returtemperaturene på varmebatteriet. Loggerintervallet var 1 sekund. Den brukte termoelement type «J». Se appendiks B for kalibrering.



Figur 31: Temperaturlogger fra HOB0. Hentet fra www.onsetcomp.com

Fluke 51 II

Vi benyttet en Fluke 51 II til å lese av temperaturene globetermometeret ga oss. For et termoelement av typen «J» oppgir produsenten $\pm (0,05\% + 0,3\text{ }^{\circ}\text{C})$



Figur 32: Fluke 51 II

Globetermometer

Det ble brukt et globetermometer for målinger av middelstråletemperatur i hallen. Diameter 154,2 mm jamfør «Ventilasjonsteknikk 1, Steensaas, s.73». Det ble brukt et termoelement type «J» av klasse 1 koblet til en Fluke 51 II thermometer.



Figur 33: Globetermometer. Hentet fra www.swema.com

TA-CBI2

TA-CBI2 har en måleoppløsning på 0,001 l/s, og en feilmargin på $\pm 1\%$ på flowen, samt en feilmargin på $\pm 0,2$ kPa på differensialtrykket over ventilen.



Figur 34: TA-CBI2

8 Matematisk modulering av ishall

Om vi hadde hatt anledning og tid ville vi ha utført en Computational Fluid Dynamics analyse av ishallen. En CFD analyse er en numerisk metode for å bestemme hvordan væske oppfører seg i et volum. En ishall har et komplekst klima med ventilasjon som har tvungen konveksjon, isen stråler en lav temperatur og menneskelast påvirker volumet som er ishallen. Ved riktig valgte randbetingelser vil en CFD kunne gi et godt inntrykk av hvordan disse forskjellige lastene påvirker hverandre. (Omri M. & Galanis N. 2010)

En CFD analyse tar hensyn til alle detaljer som geometri, turbulens, temperatur, emisjoner, lufthastigheter og mye mer. Dermed kan et CFD verktøy produsere meget nøyaktige og visuelle representasjoner av volumet. CFD verktøyet løser typisk en slik differensialligning som vist under. Dette faller utenfor arbeidsomfang for oppgaven, men er tatt med som en illustrasjon.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + S_\phi$$

Ved endring av varmelaster i ishallen, som er hva oppgaven vår bunner ut i, kunne det vært nyttig og kjørt en CFD analyse. En slik analyse vil kunne forutse hvilke problemer vi må unngå, og hvilke fordeler installasjonen vil ha. Dessverre kan en ordentlig CFD analyse være tidkrevende og vi har ikke gjort det til en del av oppgaven. Det finnes en flere artikler om CFD analyser av forskjellige anlegg, hvor ishaller er en av dem. Vi ser at ingen ishaller er bygd likt og det er umulig å få full utnyttelse av denne informasjonen. (Omri M. & Galanis N. 2010)

Når det skal bygges nye ishaller bør det legges ned et grundig arbeid i analyser av væskestrømmer i hallen av den enkle grunn at en ishall er meget dyr i drift og en tabbe i prosjekteringen vil kunne få store konsekvenser for driften og økonomien. En komplett CFD av ishallen blir vanskelig å gjennomføre, det burde være mulig å få til en modell for tribuneseksjonen.

9 Økonomiske betraktninger på Leangen

I dette kapitlet kommer noen betraktninger for å visualisere hva en slik investering vil koste. De økonomiske betraktningene vi gjør på Leangen baserer seg i hovedsak på beregninger av nåverdi og tilbakebetalingstid. Ved å analysere investeringskostnaden og årlig inntjening kan vi finne et anslag for tilbakebetalingstid. Tilbakebetalingstiden bør være så lav som mulig for at investeringen skal være interessant. Det som er viktig å huske er at det ikke kun er den økonomiske betraktningen som spiller inn. En god termisk komfort kan trekke mer publikum til hallen.

Varmesete

Tabell 9 viser et overslag på investeringskostnader. De mest usikre elementene er montering og installasjon. Etter kontakt med godkjent installatør kom det frem at pris på installasjon vil variere med hensyn til bygningsutførelse og tilgang til strøm. En tommelfingerregel sier at pris på installasjon i hus koster kr 1000 per stikkontakt. Siden varmesetene har så lav effekt kan man regne med et eksempel på fem seter per stikkontakt. Dette gir da installasjonskostnad på 250 kroner per sete. På grunn av usikkerhet legger vi denne til 500 kroner per sete. Her kan det også bli snakk om kvantumsrabatter ved store volum, vi har antatt 10, 20 og 30 %.

Tabell 9: Investeringskostnad, varmesete

	Pris / sete	Pris / 100	Pris / 200	Pris / 500	Pris / 1 000
Plastsete [kr]	108	10 800	21 600	5 4000	108 000
Isolasjon [kr]	44	4 400	8 800	2 2000	44 000
Varmeelement inkl. bryter [kr]	103	10 300	20 600	5 1500	103 000
Trykkløser [kr]	5	500	1 000	2 500	5 000
Montering [kr]	300	30 000	60 000	150 000	300 000
Installasjon [kr]	500	50 000	100 000	250 000	500 000
Samlet pris [kr]	1 072	107 200	214 400	536 000	1 060 000
Kvantumsrabatt [%]	0	10	10	20	30
Endelig pris [kr]	1 072	96 480	192 960	428 800	742 000
Pris/effekt [kr/W]	53,60	48,24	48,24	42,88	37,10

Fra tabell 6 gitt 1 kr/kWh får vi en sesongkostnad på henholdsvis 420 -, 560 -, 2100 – og 4200 kr.

Ribberør

Ribberørradiatorer kommer i flere størrelser og priser. Lyngson leverer ribberørradiatorer og basert på beregninger er det blitt valgt ut et eksempel for å anslå en investeringskostnad, vist i tabell 10.

Tabell 10: Investeringskostnad, ribberørradiator

	Pris / sete	Pris / 100	Pris / 200	Pris / 500	Pris / 1 000
Ribberør [kr]	1 250	127 500	255 000	637 500	1 275 000
Installasjon [kr]	NA	50 000	60 000	100 000	300 000
Teknisk rom [kr]	NA	150 000	150 000	150 000	150 000
Sum [kr]	1 250	327 500	465 000	887 500	1 725 000
Kvantumsrabatt [%]	0	5	5	10	30
Endelig pris [kr]	1 250	311 125	441 750	798 750	1 207 500
Pris/effekt [kr/W]	8,33	20,74	14,73	10,65	8,05

Installasjonskostnader og teknisk rom er ren antagelser og har stor usikkerhet.

Innsparing:

Innsparingene som kan gjøres på Leangen er hentet fra bruken av fjernvarme. Prisen du betaler for fjernvarme er som følger:

$$Pris = (kWh \times Energi pris - 6 \left(\frac{\text{\pounds}}{kWh} \right) \times kWh) + kW_{maks} \times Effektpris + m^3 \times 3,13 \frac{kr}{m^3}$$

Trondheim kommune som drifter Leangen ishall betaler ikke for antall m³ sirkulert. Dermed blir besparelsen kun på energi- og effektleddet.

$$Pris = (kWh \times Energipris - 6 \left(\frac{\text{\textit{øre}}}{kWh} \right) \times kWh) + kW_{maks} \times Effektpris$$

Her er det muligheter for besparelser både i energileddet og effektleddet. Det er vanskelig å si hvor langt de har muligheten til å bevege seg nedover på temperaturskalaen inne i ishallen.

Økonomiske anbefalinger for konsept nummer 1

Ved å redusere forbruket på varmebatteriet med 30 % reduseres driftskostnadene med 75 600 kr (Se appendiks H). Dersom man setter diskonteringsrenten lik 7 % og forventet levetid lik 8 år vil installasjon av 200 seter gi en nåverdi og tilbakebetalingstid lik:

$$NV = -192\,960 + \sum_{i=1}^8 \frac{75\,600}{(1 + \frac{7}{100})^i} = 258\,470$$

$$Tilbakebetalingstid = \frac{192\,960\text{ kr}}{75\,600\text{ kr}} = 2,6\text{ år}$$

Med de samme forutsetningene gir en investering på 500 seter følgende nåverdi og tilbakebetalingstid:

$$NV = -428\,800 + \sum_{i=1}^8 \frac{75\,600}{(1 + \frac{7}{100})^i} = 22\,630$$

$$Tilbakebetalingstid = \frac{428\,800\text{ kr}}{75\,600\text{ kr}} = 5,7\text{ år}$$

Med de samme forutsetningene gir en investering på 1000 seter følgende nåverdi og tilbakebetalingstid:

$$NV = -742\,000 + \sum_{i=1}^8 \frac{75\,600}{(1 + \frac{7}{100})^i} = -290\,570$$

$$Tilbakebetalingstid = \frac{742\,000\text{ kr}}{75\,600\text{ kr}} = 9,8\text{ år}$$

Kravene som er satt ovenfor gir et klart bilde på lønnsomheten til konsept nummer 1. Basert på dette vil vi anbefale Leangen ishåll å installere 500 varmeseter.

Økonomske anbefalinger for konsept nummer 2

Ved å redusere forbruket på varmebatteriet med 30 % reduseres driftskostnadene med 75 600 kr (Se appendiks H). Dersom man setter diskonteringsrenten lik 7 % og forventet økonomisk levetid lik 30 år, dette er konservativt. Installasjon av 200 seter gir en nåverdi og tilbakebetalingstid lik:

$$NV = -441\,750 + \sum_{i=1}^{30} \frac{75\,600}{(1 + \frac{7}{100})^i} = 496\,373$$

$$Tilbakebetalingstid = \frac{192\,960\,kr}{75\,600\,kr} = 5,8\,år$$

Med de samme forutsetningene gir en investering for å dekke 500 seter følgende nåverdi og tilbakebetalingstid:

$$NV = -798\,750 + \sum_{i=1}^{30} \frac{75\,600}{(1 + \frac{7}{100})^i} = 139\,373$$

$$Tilbakebetalingstid = \frac{428\,800\,kr}{75\,600\,kr} = 10,6\,år$$

Til slutt ser vi på lønnsomheten ved installasjon ribberørstradiatorer som dekker 1 000 seter:

$$NV = -1\,207\,500 + \sum_{i=1}^{30} \frac{75\,600}{(1 + \frac{7}{100})^i} = -269\,376$$

$$Tilbakebetalingstid = \frac{742\,000\,kr}{75\,600\,kr} = 16\,år$$

Basert på disse svarene vil vi ikke anbefale installasjon av ribberørstradiatorer for så mange som 1 000 seter. Også her kommer det fram at dekning av 500 seter er mest aktuelt basert på økonomiske betraktninger.

10 Gruppeprosess

Den interne gruppeprosessen har vært bra. Vi har hatt en god arbeidsfordeling basert seg på hva den enkelte i gruppen besitter av kunnskap, kvaliteter og verktøy. For å få mest mulig læringsutbytte har vi tillatt hverandre å delta på tvers av fagene som inngår i oppgaven. Slik har vi kunnet lært av hverandre og fått bredere kompetanse enn vi satt med før vi startet dette prosjektet.

SIAT ved NTNU har hatt tett oppfølging på de gruppene som har skrevet oppgave for dem. Det har denne våren blitt skrevet flere parallelle oppgaver vedrørende idrettsbygg og ishaller, både på master- og bachelornivå. SIAT inviterte tidlig alle gruppene til workshop, omtalt som "iskaffe", for å opprette kontakter på tvers av gruppene. Slike møter har blitt arrangert ved flere anledninger i løpet av våren. Dette har fungert bra, erfaringer og nøkkeltall ble utvekslet. Denne erfaringen er med på å gi en ekstra dimensjon til gruppeprosessen nettopp fordi vi fikk anledning til å jobbe opp mot andre som holdt på med lignende tema.

Östersund

SIAT arrangerte tur til Östersund Arena i mars, denne ishallen stod ferdig i 2013. Vi fikk en full omvisning i hallen og tekniske rom. Det var av stor betydning for oss å høste av deres erfaringer og få se hvordan ishallen var bygd.

Lerkendal

28. april fikk vi en omvisning på Lerkendal stadion av Roar Munkvold, leder økonomi og eiendom. I et forsøk på å utvide konseptets markedspotensiale ville vi gjøre en inspeksjon av Lerkendal fotballstadion. Under omvisningen kom det fram at sesongen utvides for å tilpasse en internasjonal fotball, dermed vil mange av kampene spilles i et kaldt klima. Lerkendal har ikke oppvarming av tribuneområdet, det vil da ikke være noe energisparing, men det kan være et trekkplaster for å trekke publikum til kamp.

Siemens

Gjennomgang av flytskjema for varmeanlegget på Leangen Idrettspark. Erling Wold viste oss SD-anlegget som er plassert på Leangen.

Forelesning om ismekanikk

Professor Sveinung Løset hadde et foredrag om is i forbindelse med et besøk på NTNU fra forskjellige ishalls driftsteknikere.

11 Diskusjon og analyse

I dette kapittelet vil vi komme med forslag til endringer basert på erfaringene vi har gjort oss gjennom oppgaven. Det vil bli argumentert for og i mot de forskjellige løsningene, og resultatene vi har fått vil kommenteres.

11.1 Gjennomgang av konsept nummer 1

Ved bruk av konduksjon som varmeoverføring er varmetapet mindre da varmen overført til luft er minimal. Det eneste tapet som kan påregnes er varmen overført fra materialet som ikke er i direkte kontakt med personen.

Termisk komfort

Tilbakemeldingen fra feltforsøk og intervjuer viste tydelig at tilskuerne finner dette konseptet komfortabelt. Tilbakemeldingene gikk på at setene ga god varme kort tid etter at de ble skrudd på, men at armer og bein var kalde. Teorien støtter opp under dette.

Varmeelement

I våre prototyper har vi benyttet varmemfilm. Det er viktig å optimalisere kontaktflaten mellom varmeelement og setet for å få best mulig varmeledning. Dette viste seg å være problematisk da fleksibiliteten til varmemfilmen var lav. I overgangen mellom bak og rygg oppstod det problemer i form av at gap mellom filmen og setet. For å utbedre dette foreslås det bruk av spesialtilpasset varmematte. Vi har vært i kontakt med en kinesisk leverandør som tilbyr slike varmematter.

Materiale

Under produksjon av prototypene ble isolasjonstykkelsen vurdert til å være viktig. Basert på målinger som ble tatt under felttesten ble materialets rolle dokumentert. Resultatene fra felttesten viste noe annet, isolasjonstykkelsen påvirket setetemperaturen i liten grad. Årsaken til det er mest trolig den lave termiske konduktiviteten til reflektorplaten vi benyttet i prototypene. Til tross for dette viste det seg at materialet hadde begrensninger når det gjelder sprøhet, det var veldig sårbart for støt. Det alternative materialet ble Stratocell som som vi brukte på den siste prototypen. Den gode formbarheten og den høye slitestyrken til

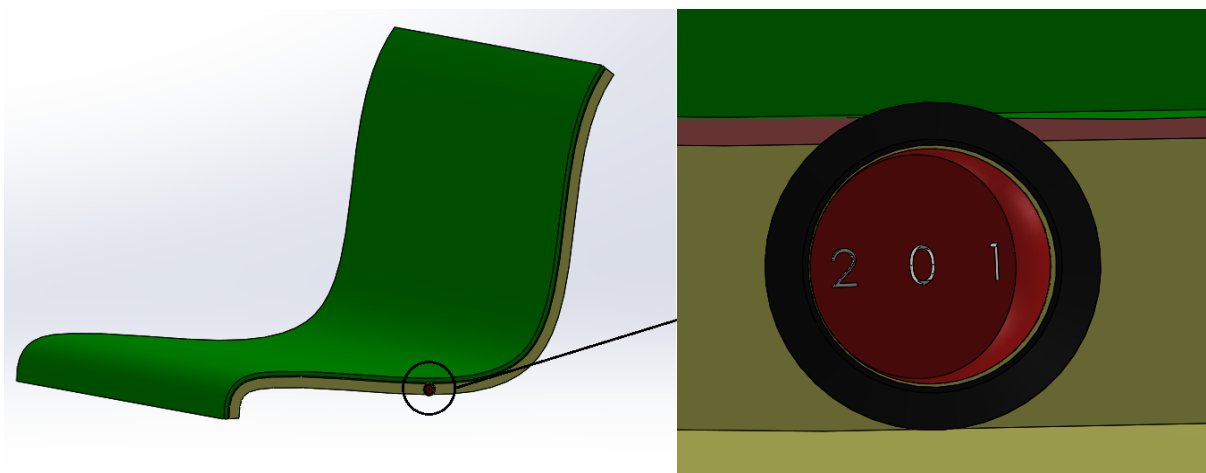
Stratocell var årsaken til dette valget.

Oppgaven har noen enkle beregninger på forskjell mellom plasttyper, men ingen forsøk. Det blir da en vurderingssak av hva som er viktigst av styrken og termisk ledeevne. Det er viktig å merke seg at setet også kan avlede varme fra kroppen hurtigere dersom den termiske konduksjonen er høy.

Bryter

Den tekniske løsningen av brukergrensesnittet defineres i stor grad av brytere på setet. Gjennom forsøket ble det også klart at en bryter på hvert sete er en enkel og brukervennlig løsning.

Forslag til endringer av produktet etter feltforsøket er å erstatte bryter med en to-trinns bryter, vist i figur 34, da tilbakemeldingene viste varierende preferanser på temperaturen. I tillegg viser figur 26 at høyere effekt gir en hurtigere temperaturstigning. En to-trinns effektregulator vil kunne påvirke sprangresponstiden og maksimaltemperaturen til setet.



Figur 35 To-trinns effektregulator

Både bryteren og trykkløleren er viktig for å oppnå konseptets individualisme, noe som påvirker økonomiske besparelser.

Energiforbruk

Forbruket per sete ligger lavt til tross for den høye varmen man får ut. Under test av sete med 90 W/m^2 varmeelement gav det $23,4 \text{ }^\circ\text{C}$ uten person og $33 \text{ }^\circ\text{C}$ med person. Ut fra funnene i oppgaven ser vi at temperaturen i hallen kan senkes. Det er vanskelig å anslå hvor

mye, våre beregninger viser at ved å senke temperaturen i hallen ned til 8 °C vil energiforbruket reduseres.

Økonomi og marked

Endringene som kreves for å installere dette konseptet vurderes som små, det vil altså være snakk om lave installasjonskostnader. Det forslås i oppgaven å redusere forbruket av fjernvarme med 30 % noe som vil redusere de årlige utgiftene brukt til oppvarming med 75 600 kroner. Dette gjør konseptet lønnsomt, til tross for en økonomisk levetid på kun 8 år.

Markedet for dette konseptet er stort. Vi har vært i kontakt med Lerkendal stadion som har vist interesse for et prøveprosjekt med 10 til 20 seter, se forslag til videre arbeid.

11.2 Gjennomgang av konsept nummer 2

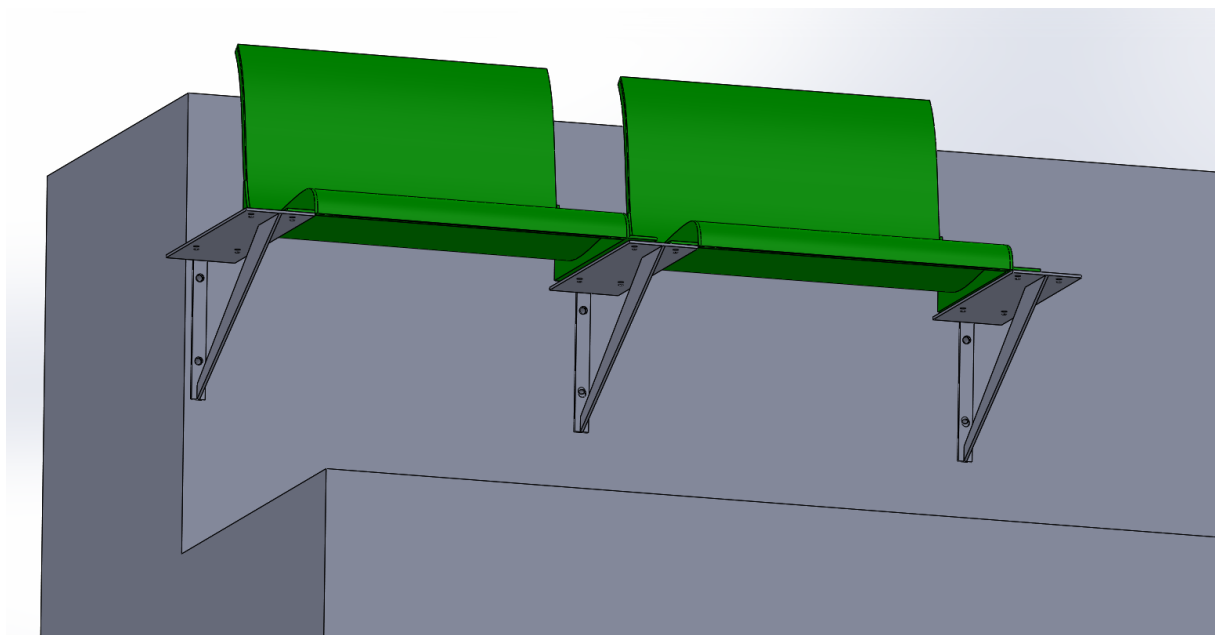
Minimalt av revisjon på dette produktet. Det som her ble gjort er å plassere et eksisterende produkt inn i nye omgivelser.

Termisk komfort

Termisk komfort for ribberørene gir en lav verdi. Dette kom fram gjennom feltforsøket. Det kreves at store deler av hallen blir varmet opp for å ha noen innvirkning på tilskuerne. Under feltforsøket ble gjort forsøk på å øke mengde overført varme ved å heve ribberørsovnene. Dette gav en liten økning og gjorde den termiske opplevelsen bedre.

Oppsett

Oppsettet av de eksisterende setene på Leangen er slik at de er montert på to tversgående planker av størrelsen 25 mm x 200 mm. Dette hindrer varmeoverføring direkte til setet, og ribberørradiatoren vil virke mindre effektivt. Et alternativ til dagens oppsett kunne vært og montert setene på enkle braketter, se figur 35. Dermed strømmes varmen direkte til setet og man unngår at plankene absorberer varmen.



Figur 36: Alternativ festemåte

Energi

Ribberørsradiatorene har en effekt på 150 W/tilskuer. Hvis vi studerer poengscoren ribberørene fikk på feltforsøket ser vi at W/tilskuer antagelig kunne vært høyere.

Når det kommer til energibruken gjennom en sesong havner ribberør på rundt 6 300 kWh for 200 seter. I utgangspunktet kan denne energien kuttes fra varmebatteriet på ventilasjonsaggregatet til ishallen (360.02) og tilføres til ribberørene, se appendiks E.

Økonomi

Det er foreslått et kutt i fjernvarme på 30 % også her. Dette vil gi den samme besparelsen per år, men våre antatte investeringskostnader ligger høyere for konsept nummer 2 sammenlignet med konsept nummer 1. Dersom ribbrørsradiatorer vurderes ser man at lønnsomheten er noe lavere enn ved varmeseter, samtidig vil den vurderte levetiden til radiatorene være vesentlig høyere enn varmesetene. Basert på dette framstår konsept nummer 2 som et forsvalig valg, også økonomisk.

11.3 Sammenligning

Vi har forsøkt og samle den mest vesentlige informasjonen i tabell 11 for å enkelt kunne sammenligne de to konseptene.

Tabell 11: Sammenligning av konseptene.

	varmesete	Ribberør
Effekt/tilskuer	20 W	150 W
Termisk komfort	9/10	4/10
Pris installasjon	200 000 kr	850 000 kr
Pris drift ved 200 seter / sesong	Ca. 560 kr	Ca. 6300 kr
Design / utseende	Farge og utforming	Synlig, og kan være sjennerdne
Ny temperatur i hall	8 – 12 °C	10 – 14 °C
Rydding / vasking	Minimum IPgard	Søppel bak ribberør

11.4 Evaluering

Evaluering er en systematisk gjennomgang og vurdering av måloppnåelse. Her vil vi evaluere det som har blitt utført i forbindelse med oppgaven og utfordringer vi har møtt på.

Feltarbeid

I ettertid ser man at små endringer kunne vært gjort for å bedre testresultatene. Det ville vært fordelaktig å øke antallet testdeltakere, noe som videre ville påvirket behovet for antall ribberør og varmeseter.

En økning i antallet ribberørsovnner som ble brukt ville også gitt en mer reel opplevelse av dette konseptet, da disse i større grad enn varmesetene påvirker hverandre. Ribberørsovnene måtte flyttes halvveis ut i testen da det viste seg at trekk og urolig luft virket ødeleggende for opplevelsen, dette kunne vært unngått ved bedre forberedelser.

Etter feltforsøket satt vi igjen med store mengder målinger, det viste seg vanskelig å skille disse fra hverandre og det resulterte i at noen av målingene ikke ble brukt. Dette kunne vært unngått ved bedre dokumentasjon, for eksempel bilder.

Manglende måldata

Etter besøk hos Siemens 24. april ble det klart at det er ikke mulig å hente ut all den informasjonen vi først tenkte. Det er hovedsakelig mangel på effektmålere i anlegget som gjør at dette ikke lar seg gjennomføre. SD-anlegget, slik det er satt opp på Leangen, har ingen mulighet til å måle effekt og vil derfor ikke hjelpe oss med en oversikt gjennom sesongen.

Det vi kunne gjort var å måle forbruket gjennom sesongen manuelt, og lagt værdata fra meteorologisk institutt over disse målingene. Dermed kunne vi sett hvordan anlegget reagerte på utetemperaturen. I og med at bygget er langt unna dagens isolasjonsstandarder vil det reagere fort på endring av utetemperatur.

Vårt økonomiske grunnlag blir på grunn av manglende effektmålere ikke så nøyaktig som vi gjerne ville. I og med at vårt måletidspunkt var sent på sesongen, er det rimelig å anta at effekten på varmebatteriet i snitt vil være høyere enn vi regner med.

12 Konklusjon

I denne oppgaven har vi sett på energibruk og termisk komfort i Leangen ishall. Den termiske komforten er i dag lav, og vi har sett at man med enkle grep kan løse dette.

Av de to konseptene vi har fokusert på er varmesete en klar vinner med tanke på både termisk komfort og økonomiske investeringer. Vi produserte prototyper som ble installert i Leangen ishall, og disse ble meget godt likt blant tilskuerne. Dette stemmer godt med hva vi har funnet fra forskningsartikler om temaet.

Vi har sett at W/tilskuer er en viktig måleparameter for oss. Her ser vi også at konsept nummer 1 kommer ut med lavest effekt på 20 W/tilskuer. Til sammenligning ligger det andre alternativet nærmere 150 W/tilskuer. Ved rehabilitering av et eksisterende anlegg vil varmesetet komme godt ut med tanke på investeringskostnader.

Konsept nummer 1 er et godt alternativ for økt termisk komfort på alle sportsarenaer hvor temperaturen tidvis ligger under 15 °C. Vi mener at dette konseptet også er godt egnet til bruk på utendørsarenaer, ved installasjon her er det dog lite å hente på energibesparelser. Det blir opp til hver arena å selv verdsette tilskuernes komfort.

Vi har sett at solceller kan gi et godt bidrag til energieffektiviteten ved å utnytte dødt takareal. Det skal lite areal med solceller til for å dekke energibehovet varmesetene krever.

Uavhengig av om det er snakk om rehabilitering av eksisterende arenaer eller nybygg er varmesetene å anbefale. Dette stiller færre krav til anlegget sammenlignet med ribberørradiator-konseptet.

På grunn av manglende instrumentering vil eksakt energibesparelse være vanskelig å fastslå, og vi anbefaler derfor at fremtidige anlegg blir utstyrt med energimålere for lettere å kunne dokumentere forbruk og potensielle besparelser.

13 Forslag til videre arbeid

Det kommer klart fram i denne oppgaven at varmeseter er det konseptet som gir best reduksjon av energiforbruk og høyest termisk komfort. Likevel gjenstår det arbeid som kan gjøres for å optimalisere varmesetet og dets funksjoner. Det som presenteres i dette kapittelet er anbefalinger for hva man bør se på.

Produktutvikling

Det anbefales å se på videre utvikling av konseptet, da med tanke på tekniske detaljer og masseproduksjon.

Det anbefales å se på hva som produseres av varmeelementer som kan tilpasses i både passform og effekt.

Økonomi

Videre arbeid på å fastslå investering og besparing. Dette bør gå over en hel sesong.

Prøveprosjekt

Forsøket som ble utført i forbindelse med denne oppgaven var i særdeles liten skal og et prøveprosjekt med en større mengde som går over lengre tid er å anbefale. Temperaturen bør også være nedsenket.

Marked

Se på muligheten for å anvende dette på andre tribuneområder hvor det er kaldt.

14 Kildehenvisning

Andersen, O. L. & Rangul, F. K (2015). *Analyse av energibruk i ishaller*. Bacheloroppgave, HiST, Trondheim.

Bergsagel, D. (2014). *Energieffektiv oppvarming av ishaller*. Mastergradsoppgave. NTNU, Trondheim.

Brooks, J. E. & Parsons, K. C. (1999). *An ergonomics investigation into human thermal comfort using an automobile seat heated with encapsulated carbonized fabric (ECF)*. *Ergonomics*, 42, 661-73.

Byggteknisk forskrift (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk* [Online]. Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489> [Hentet 11.05.15]

Enova (2015) *El-produksjon*. Tilgjengelig fra: <https://tilskudd.enova.no/Tiltak/12> [Hentet 19.05.15]

Entro (2015) *Energimerking, energioppfølging og energieffektivisering*. [Internett]. Hentet fra: <http://entro.no/no/hovedside.aspx>. [hentet 10.02.2015]

Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg (1998). *Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg, § 14, melding*. [Online]. Lovdata: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1998-11-06-1060> [hentet 12.5.2015]

Halvorsen, U., Bernhard, P., Salvesen, F., Bugge, L. (2011). *Mulighetssudie for solenergi*. SINTEF Byggeforsk, KanEnergi

Hansen, H. E., Kjerulf-Jensen, P. & Stampe, O. (2013). *Varme- og klimateknik*. (4.utg.) Danvak ApS.

Hågeryd, L., Björklund, S. & Lenner, M. (1997). *Moderne produksjonsteknikk, del 2*. (1. utg.) NKI forlaget, Bekkestua.

ISO.org.: ISO 7730:1994 *Termiske miljø Moderate omgivelser Bestemmelse av PMV- og PPD-indeks og betingelser for termisk komfort*. 2. utg. 1995. Norsk StandardJakobsen, M. (1997). *Produktutvikling*. (1.utg.) Fortuna forlag AS.

Lee, S. & Lu, Y. (2013). *Modeling of bioheat equation for skin and a preliminary study on a noninvasive diagnostic method for skin burn wounds*. Volume 41, Issue 4, Pages 649-880

Meteorologisk Institutt (2009) *Soltid*. Tilgjengelig fra: <https://metlex.met.no/wiki/Soltid> [Hentet: 19.05.15]

Mun, J. & Krarti, M. (2011). An ice rink floor thermal model suitable for whole-building energy simulation analysis. *Building and Environment*, 46, 1087-1093.

Norges vassdrags- og energidirektorat (2013). *Energibruk i kontorbygg, Trender og drivere*. NVE rapport nr.9, Oslo.

Norsk elektroteknisk norm (2010). *Elektriske lavspenningsinstallasjoner*. Norsk Elektroteknisk Komite (NEK: 400). Oslo

Oi, H., Tabata, K., Naka, Y., Takeda, A. & Tochihara, Y. (2012). *Effects of heated seats in vehicles on thermal comfort during the initial warm-up period*. *Appl Ergon*, 43, 360-7.

Oi, H., Yanagi, K., Tabata, K. & Tochihara, Y. (2011). *Effects of heated seat and foot heater on thermal comfort and heater energy consumption in vehicle*. *Ergonomics*, 54, 690-9.

Omri M., & Galanis N. (2010). *Prediction of 3D airflow and temperature field in an indoor ice rink with radiant heat sources*. Tsinghua University Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010

Profesional Plastics. (2015) *Materials by Properties* [Internett], Profesional Plastics. Tilgjengelig fra: <http://www.professionalplastics.com/PlasticMaterialsbyProperties> [15.03.15]

Rajagopalan, P. & Luthet, M. B. (2013). *Thermal and ventilation performance of a naturally ventilated sports hall within an aquatic centre*. Energy and Buildings, 58, 111-122.

Revel, G. M. & Aarnesano, M. (2014a). *Measuring overall thermal comfort to balance energy use in sports facilities*. Measurement, 55, 382-393.

Revel, G. M. & Arnesano, M. (2014b). *Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective approach*. Building and Environment, 77, 12-19.

Rolstadås, A., Olsson, N., Johansen, A. & Langlo, J.A. (2014). *Praktisk prosjektledelse*. (1. utg.) Fagbokforlaget.

Steensaas, L. (1999). *Ventilasjonsteknikk 1, Grunnlaget og systemer*. (4. utg.) Skarland Press AS

Stobiecka, A., Lipska, B. & Koper, P. (2013). *Comparison of Air Distribution Systems in Ice Rink Arena Ventilation*. Mokslas - Lietuvos ateitis, 5, 429-434.

Stoppsladd (2012). *Prosjekt Stoppsladd, Teknik- & Energiinventering av svenska ishallar 2009-2012*. Hentet fra <http://www.stoppsladd.se/dokument.php>. [Hentet 15.02.2015].

Stratocell (2012) Tilgjengelig fra: <http://www.sealedairprotects.com/NA/EN/pdf/stratocell.pdf> (Hentet: 05.05.15)

Ulrich, K. & Eppinger, S. (2008). *Product Design and Development*. (4. utg.) McGraw-Hill International Edition.

Varmecomfort AS. (2015) *Flexwatt varmefolie* [Internett], Varmecomfort AS. Tilgjengelig fra: www.varmecomfort.no [Lest: 15.03.15]

Young, H. & Freedman, R. (2012). *Sears and Zemansky's University Physics*. (13. utg.) Pearson.

Zijdemans, D. (2012). *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. (1. utg.) Skarlandpress.

Appendiks A – Artikkel

Oppvarming av tribuneseter i ishaller

«Øker komforten for tilskuerne, reduserer utgifter for kommunen»

Det finnes ikke noen standard for hvordan man skal bygge og drifte en ishockeyhall i Norge. Senter for Idrettsanlegg og Teknologi (SIAT) ved NTNU jobber i dag med å finne løsninger på utfordringer ved å drifte ishaller. Vi er en av flere grupper som jobber opp mot dette prosjektet.

I en ishockeyhall med lave temperaturer kan det fort bli kjølig å sitte gjennom en hel kamp, et problem som i dag ofte blir løst av at tilskuerne tar med seg egne sitteunderlag eller ender opp med å ikke reise på kamp. Kommunen bruker mye penger på å kjøle ned isen og varme opp publikum med ventilasjon.

Nye muligheter for kjent teknologi

Resultatet av bacheloroppgaven var et konsept som bygger på setevarmer i bil. De fleste har opplevd det å sitte på et kaldt bilsete for så å skru på varmen. Vårt konsept integrerer varmeelement i tribunesetet for å gi den samme følelsen som varmen i et bilsete.

Prototyper blant tilskuere

Vi bygde fire forskjellige prototyper som vi har plassert på Leangen ishall. I løpet av en periode på fire måneder fikk publikum prøve disse. Samtlige tilbakemeldingene var positive og publikum etterspurte flere seter. President i Norges Skøyteforbund Rune Gerhardsen var en av de som lot seg imponere av ideen.



Et av setene som ble montert på Leangen

Lave effekter gir lave kostnader

Varmebatteriet for oppvarming av ventilasjonsluft på Leangen ishall er i dag dimensjonert til 150 kW. Vårt konsept vil bruke en tredjedel av dette på å varme opp en fullsatt tribune. Man kan ikke kutte

ut varmen i ventilasjonsanlegget helt, men en reduksjon på 30 % er rimelig å anta. Dette tilsvarer en temperaturendring på 4 °C, små endringer gir merkbare besparelser.

Individuell styring

Hvert varmesete har en diskre, lettbetjent knapp lar brukeren kontrollere varmen. I tillegg har varmesetene en trykkføler som merker om noen sitter der eller ikke. Dette gjør at det ikke går unødvendig varme til spille.

Ikke bare for ishaller

Vi har til nå kun jobbet opp mot Leangen ishall, men konseptet viser et tydelig potensiale utover dette. Det er da snakk

om kalde tribuner i forbindelse med fotball, langrenn, hopp og lignende. Som følge av at Tippeligaen stadig starter tidligere om våren har vi vært i kontakt med Rosenborg Ballklub, og det var interesse for et prøveprosjekt på en av Lerkendals VIP-tribuner.

Ishockeyinteressen i Norge er økende og det gjøres store framskritt innen energieffektivisering av ishallene. Konseptet vårt er et viktig bidrag til denne utviklingen.

«Det handler om å sitte varmt, da kan det i grunn være så kaldt det bare vil»

- Rune Gerhardsen

Appendiks B – Kalibrering av anvendt utstyr

Kalibrering

For å dokumentere data og informasjon fra forsøk brukes det en hel rekke forskjellige instrumenter. Det er ikke en selvfølge at det som kommer ut av instrumentet man bruker er riktig. Derfor er det viktig å kalibrere og eventuelt justere instrumentet som skal brukes. Dette gjøres ved å bruke et apparat som er sertifisert og sammenligne dette opp mot måleinstrumentet man skal bruke. I tabell 12 viser at avvikene går i samme retning og vi anser dette som lite problematisk.

Temperaturlogger (HIOKI 8430)

I dette tilfelle ble det brukt en varmekilde som varmet opp vann og holdt vannet ved konstant temperatur. Instrumentet hadde fire stykk termoelementer som ble kalibrert. Gruppen har ikke mulighet til å justere instrumentet så det ble kun kalibrert og eventuelle avvik ble tatt høyde for. Romtemperatur under kalibrer ble målt av et globetermometer. Dette viste 27.8 °C. Globetermometeret ble plassert 1,5 m fra veggene i x-retning, 2 m fra den ene veggen i y-retning og 1,5 m fra gulv, z-retning. Dette gjorde også at det kom midt imellom lampene i taket, 30 cm til hver. Lyset var på, halogenlysrør 30 cm.

Termoelement	Referanseverdi [°C]	Avlest verdi [°C]	Avvik [°C]
1	25,0	24,7	- 0,3
1	30,0	29,8	- 0,2
1	35,0	34,8	- 0,2
2	25,0	24,7	- 0,3
2	30,0	34,8	- 0,2
2	35,0	34,8	- 0,2
3	25,0	24,8	- 0,2
3	30,0	29,8	- 0,2
3	35,0	34,8	- 0,2
4	25,0	24,8	- 0,2
4	30,0	29,8	- 0,2
4	35,0	34,9	- 0,1

Tabell 12: Kalibreringstabell.

Vannmengdemåler (TA CBI2-logger)

Dette instrumentet ble kalibrert opp mot et annet instrument som var fra før sertifisert (GE Portaflow 220). Disse instrumentene viste like verdier når vi monterte de på Leangen og vi kan dermed si at TA-loggeren er kalibrert.

Temperaturlogger (Onset ux120-014m)

Kalibrert opp mot analog føler på varmebatteri, samt HIOKI 8430. De analoge følerene og temperaturloggeren viste det samme ved 25-35 °C

Micronics portaflow 220

Med dette instrumentet fulgte det med et gyldig sertifiseringsbevis fra Micronics. Instrumentet er sertifisert i henhold til ISO 9001 underskrevet 14.2.2014. Se figur 36 og 37.



Certificate of Calibration

Micronics Ltd certifies that, at the time of manufacture/service, the instrument detailed below was calibrated and verified using an Electromagnetic Flow Meter of known accuracy, which is traceable to National and International Standards in accordance with Micronics Ltd calibration procedures (TP-011). These procedures are in compliance with the relevant clauses of ISO 9001.

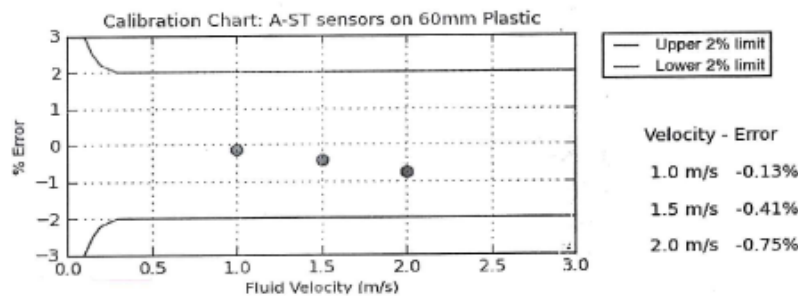
Description of Instrument Calibrated

These are portable ultrasonic 'clamp-on' flowmeters, designed for measuring flow in 'clean' liquids.

Uncertainty in Reference Measurement Equipment: Flowmeter: $\pm 0.2\%$

Model:	PF220A
Serial No:	11709
Condition:	New
Software Version:	03.07.007

Air Temperature:		16.69
Fluid Temperature:		13.88
A Sensor Serial:	37997	37993
B Sensor Serial:		



4-20mA Current Output Calibration

Load (Ohm)	Set I (mA)	DAC Value	Measured	Deviation (%)
120	4.000	8208	4.007	0.1747
120	20.000	40848	20.004	0.02

Pulse Output Check

Vol/Pulse (litres)	Measured Vol (litres)	Expected No Pulses	Measured No Pulses	Result
10.00	255	26	28	Pass

Certified:

Dated:

14/02/2014

Registered Office: Micronics Limited, Knaves Beech Business Centre, Davies Way, Loudwater, Buckinghamshire, HP10 9QR

Web site: www.micronicsflowmeters.com Tel: +44 (1628) 810456 Fax: +44 (1628) 531540

Directors: E.J. Farnon, M.A. Farnon, D.B. Leigh

Registration No. 1289680

V.A.T. Registration No. 303 6190 91

Figur 37: Del 1 av sertifiseringen av kalibrering på Micronics flowmeter. Unøyaktigheten er $\pm 0,2\%$

Portaflow 220A Packing List	Customer: GEORG FISCHER	
770-1001GF*	Customer Order No: L12/48580083/1062	(4 OF 5)
Serial No: <u>11709</u>	Internal Order: 12520	
Software Version: <u>03-07-007</u>	Shipment Date: 24/02/2014	

	Product	Stock Code	Required	Supplied
Electronics	Electronics Unit	770-0001GF1	■	☒
	Sensor Cable Red	194-0049	■	☒
	Sensor Cable Blue	194-0050	■	☒
	Pulse/4-20mA Cable Assembly	194-0001	■	☒
	2MHz sensors – Serial No. <u>37997</u>	230-0008 (x2)	■	☒
	Serial No. <u>37993</u>		☐	☒
	Transducer Test Block	230-0007	■	☒
Guide Rail	Guide rail (1 pair)	230-0013/A (x2)	■	☒
	Imperial/Metric Ruler (2 parts)	221-0119	■	☒
	Chain (2 x 0.5m)	221-0120	■	☒
Standard Items	All items below			
	Universal Battery Charger (inc. adaptors)	780-0004	■	☒
	Carrying Case Complete	200-0023	■	☒
	Georg Fischer CD		■	☒
	Georg Fischer Manual		■	☒
		OTHER	☐	☒
	Tape Measure	228-5001	■	☒
	Grease	292-0008	■	☒
	Syringe	290-0004	■	☒

Calibration

Standard Calibration ☒

Special Calibration ☐

Final Check List

Clean Unit & Carrying Case ☒

Serial No. on Housing & Software ☒

Housing Screws Tight ☒

Warranty Sticker ☒

Software Zapped ☒

Check Date & Time ☒

Calibration Certificate ☒

■

□

□

□

□

□

□

□

□

□

Completed By: Linda

Checked By: km

Packed By: PT

Date Shipped: 14 FEB 2014

*Stock codes to be included on sales order

CLAIM FOR INCORRECT, SHORT OR NON-DELIVERY OF GOODS MUST BE MADE IN WRITING WITHIN 10 DAYS OF RECEIPT OF GOODS.

V:\Packing Lists\PF220A (Georg Fischer) Packing List Issue A.doc

Figur 38: Del 2 av sertifisering av kalibreringen av Micronics flowmeter datert til 14. februar 2014

Appendiks C – Fjernvarmepris

I denne appendiksen presenteres et prisoverslag for fjernvarme i Leangen ishall. Tallene er hentet fra Statkraft og EOS-loggen til Trondheim Kommune (Entro.no). Formelen Trondheim kommune betaler for fjernvarmepris er som følger:

$$Pris = (kWh \times \text{Energipris} - 6 \left(\frac{\text{\pounds}}{kWh} \right) \times kWh) + kW_{maks} \times \text{Effektpris}$$

I tabell 13 og 14 har vi lekt oss med et kutt på henholdsvis 30, 50 og 70 % på varmebatteriet for Leangen ishall.

Dagens situasjon				Redusert med 30 % på varmebatteri		
Forbruk				Forbruk		
Antall kWh	5569000	kWh		Antall kWh	5496425	kWh
Energipris	0,5	kr/kWh		Energipris	0,5	kr/kWh
Korrigerings	-334140	0,06 kr/kWh		Korrigerings	-329786	0,06 kr/kWh
Sum	2450360	kr		Sum	2418427	kr
Effekten				Effekten		
Maks effekt	369,2	KW		Maks effekt	348,2	KW
Effektpris	480	kr/kW		Effektpris	480	kr/kW
Sum	177216	kr		Sum	167136	kr
Effektiviteten				Effektiviteten		
Mengde vann m³	-	m³		Mengde van	-	m³
Volum pris	-	kr/m³		Volum pris	-	kr/m³
Sum	-	kr		Sum	-	kr
Total pris	2627576	kr		Total pris	2585563	kr
				Differanse	42013	kr

Tabell 13: Dagens situasjon og 30 % redusert varmebatteri forbruk.

Redusert med 50 % på varmebatteri			Redusert med 70 % på varmebatteri		
Forbruk			Forbruk		
Antall kWh	5448041	kWh	Antall kWh	5399656	kWh
Energipris	0,5	kr/kWh	Energipris	0,5	kr/kWh
Korrigerings	-326882	0,06 kr/kWh	Korrigerings	-323979	0,06 kr/kWh
Sum	2397138	kr	Sum	2375849	kr
Effekten			Effekten		
Maks effekt	334,2	KW	Maks effekt	320,2	KW
Effektpris	480	kr/kW	Effektpris	480	kr/kW
Sum	160416	kr	Sum	153696	kr
Effektiviteten			Effektiviteten		
Mengde van	-	m ³	Mengde van	-	m ³
Volum pris	-	kr/m ³	Volum pris	-	kr/m ³
Sum	-	kr	Sum	-	kr
Total pris	2557554	kr	Total pris	2529545	kr
Differanse	70022	kr	Differanse	98031	kr

Tabell 14: 50 og 70 % redusert varmebatteri forbruk.

Appendisk D – Kvalitetshus

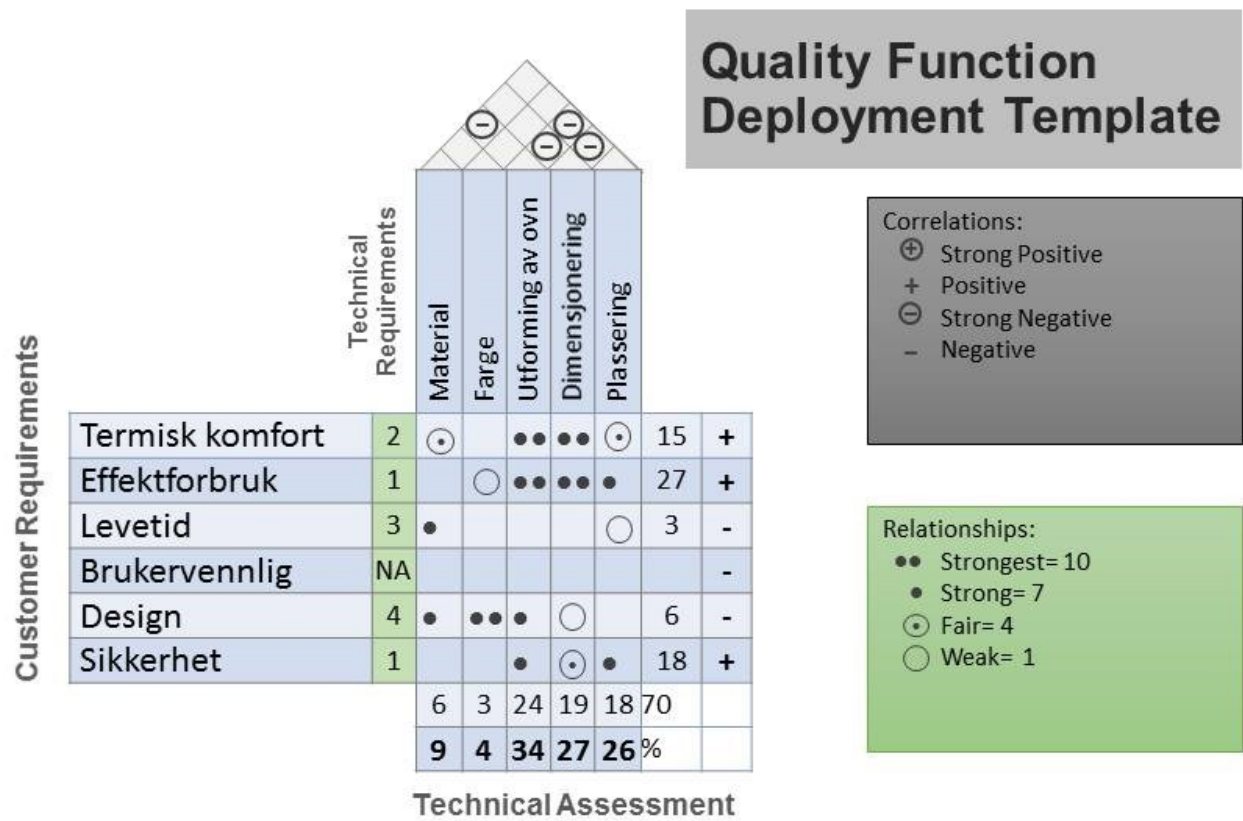
I figur 38 og 39 presenteres det kvalitetshus for de to konseptene, henholdsvis varmesete og ribberør. Disse skal vise sammenhengen mellom kravspesifikasjonene og de tekniske løsningene. De graderes og settes en score på slik at man kan vurdere hva som er viktigst å ta hensyn til under produktutvikling.

Kvalitetshus til varmerse



Figur 39: Kvalitetshus for varmesete.

Kvalitetshus for ribberørsradiator



Figur 40: Kvalitetshus for ribberørsradiator.

Appendiks E – Produktspesifikasjon

Produktspesifikasjon	Utarbeidet av: LMS	Godkjent av: LMS	Dato: 20.03.15
Produkt: Ribberørradiator	Versjon nr.: 1	Side: 1 av: 1	

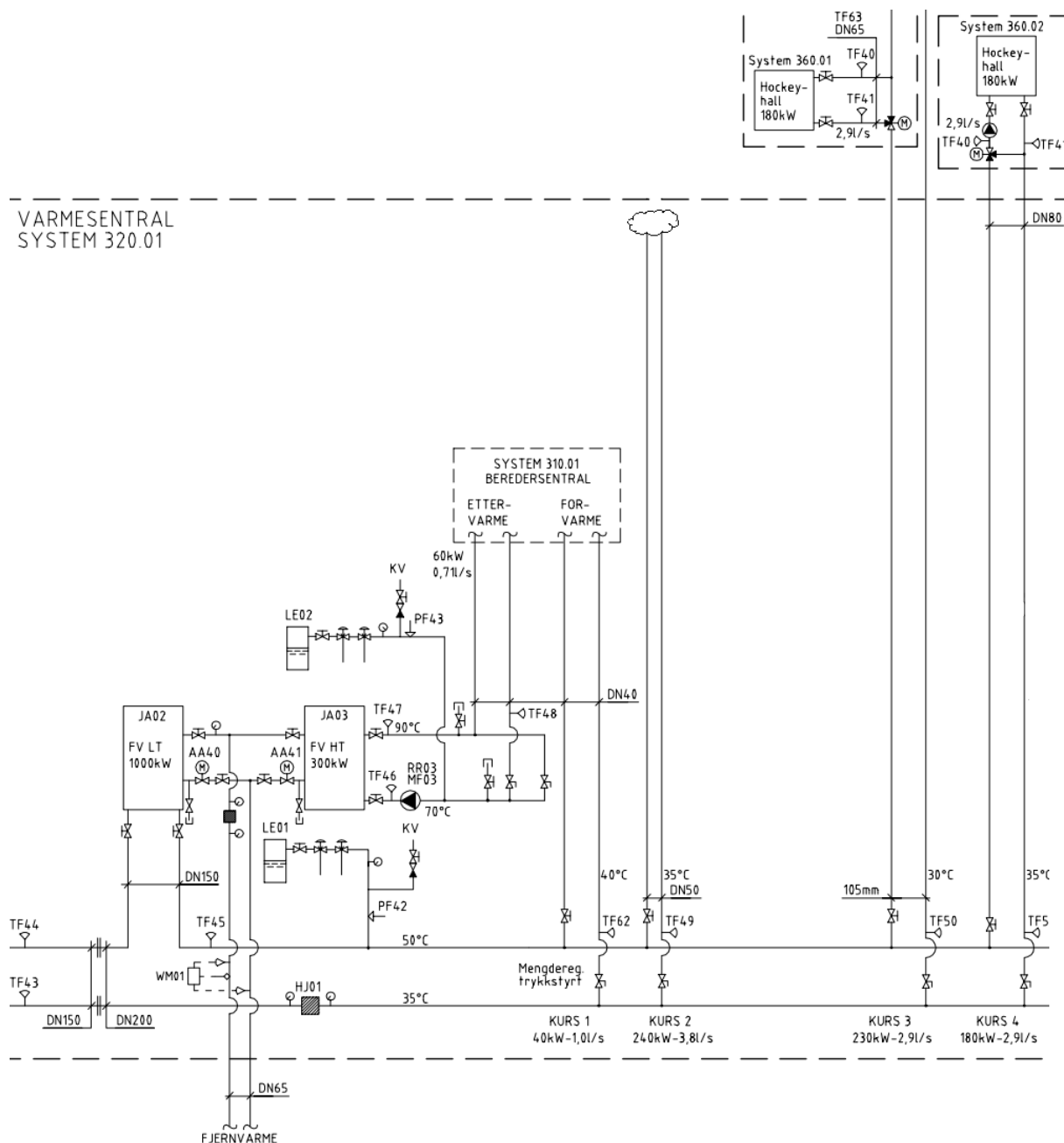
Områder:	Krav/skal:	Ønske/bør:	Salgsargumenter:
Funksjonsdimensjonen - Teknisk krav til produktet, f.eks. funksjonskrav, ytelseskrav, pålitelighetskrav.	Varme tilskue ved konveksjonsvarme.	-	Benytter overskuddsvarme fra isflaten.
Markedsdimensjonen - Markedsrelatert krav til produktet	-	-	-
Produksjonsdimensjonen - Produksjons- og montasje prosess, og egenskaper ved produktet som er nødvendig for en mest mulig effektiv produksjon.	Benytter konvensjonelle ribberørradiatorer beregnet på vannbåren varme.	-	-
Design dimensjonen - Estetiske krav, og krav til produktet for å signalisere, beskrive og uttrykke egenskaper	Ribberørradiatorer har et alminnelig utseende, men det er viktig at de er diskrete.	-	Ikke sjenerende.
Bruksdimensjonen - Krav for å oppnå brukervennlighet i alle aktuelle brukssituasjoner.	Regulering av varmesystem sentralt.	-	Styres av driftspersonell, publikum trenger ikke å interferere med produktet.
Sikkerhetsdimensjonen - Krav til produktets sikkerhet. Alle faser av produktets liv skal vurderes.	Robust design. Tåle urolig publikumsmasse i nærheten. Beskytte ribber mot spark og støt.	-	Mye brukt, finnes mange standarder å følge.
Miljødimensjonen - Krav til produktets miljømessige egenskaper	Direkte bruk av overskuddsvarme fra vedlikehold av isen.	-	Benytter overskuddsvarme.
Tilleggsdimensjonen - Alle tillegg utover det fysiske produktet	Redusere varme fra ventilasjonsanlegg.	-	-
Produktdimensjonen - Krav fra situasjoner produktet møter gjennom hele produktlivet.	-	-	-

Produktspesifikasjon	Utarbeidet av: LMS	Godkjent av: LMS	Dato: 19.03.15
Produkt: Setevarmer	Versjon nr.: 1	Side: 1	av: 1

Områder:	Krav/skal:	Ønske/bør:	Salgsargumenter:
Funksjonsdimensjonen - Teknisk krav til produktet, f.eks. funksjonskrav, Ytelseskrav, pålitelighetskrav.	Øke termisk komfort hos tilskuer. Robust. Ikke mulig for setet å være påskrudd når tilskueren ikke sitter på det.	Redusere kostnader på oppvarming av tribuneområdet.	Øke tilskuerens termiske komfort og samtidig redusere kostnader brukt på oppvarming av tribune.
Markedsdimensjonen - Markedsrelatert krav til produktet	Implementeres i eksisterende system for å øke komforten hos tilskuere.		Tilby tilskuere høyere komfort.
Produksjonsdimensjonen - Produksjons- og montasje prosess, og egenskaper ved produktet som er nødvendig for en mest mulig effektiv produksjon.	Tilpasse varmekilde og isolasjonsmaterialet. For modulbasert montering og vedlikehold.	Mulighet for å bytte ut varmeelement uten å måtte bytte hele stolen.	Enkel løsning som gjør det lett for driftspersonalet å problemsøke/skifte seter.
Designdimensjonen - Estetiske krav, og krav til produktet for å signalisere, beskrive og uttrykke egenskaper	Diskre bryter som viser tydelig når setet er avskrudd eller påskrudd.	Kunne tilpasses de estetiske kravene satt fra hjemmelaget.	Et tilpasset sete som går i stil med de respektive fargene til hjemmelaget og resten arenaen.
Bruksdimensjonen - Krav for å oppnå brukervennlighet i alle aktuelle brukssituasjoner.	Enkelt å bruke. Det skal ikke være tvil om eller hvordan setet settes på.		ALLE kan bruke det.
Sikkerhetsdimensjonen - Krav til produktets sikkerhet. Alle faser av produktets liv skal vurderes.	Tåle fukt og støt. Slåes av når tilskuer forlater setet.		
Miljødimensjonen - Krav til produktets miljømessige egenskaper			
Tilleggsdimensjonen - Alle tillegg utover det fysiske produktet	Etter installasjon er det et krav at energibruket målbart går ned.	Bedre dagens miljøutslipp gjennom mindre energibruk.	-
Produktdimensjonen - Krav fra situasjoner produktet møter gjennom hele produktlivet.	Setet skal tåle røff bruk. Det har vært tilfeller hvor publikum har stått og hoppet på setet. Det skal ikke være fare for elektriske støt.	Minimum levetid på 8 år.	

Appendiks F – Systemtegninger av VVS-anlegget

Et utsnitt av systemtegningen for VVS-anlegget på Leangen. Utsnittet viser varmestokken for beredersentralen og ventilasjonsanlegget for garderober og hockeyhallen. Om det skulle foreligge en installasjon av et radiatorsystem i hockeyhallen ville dette kobles inn på denne stokken.



Figur 41: Systemskjema for varmesentral på Leangen Idrettspark

Appendiks G – Reflector produktblad

Flexwatt typer og dimensjoner:

	Typer	El.nr:	Modulbredder Brutto/netto	Watt/m ²
	Varmefolie for tak			
	C60-150W-230V	54 106 15	64cm/51cm	150W/m ²
	CD30-120W-230V	54 106 16	2x32cm/2x21cm	120W/m ²
	Varmefolie for gulv			
	F40-60W-230V	54 106 20	44cm/31cm	60W/m ²
	F60-60W-230V	54 105 21	64cm/51cm	60W/m ²
	F120-60-230V	54 020 10	120cm/116	60W/m ²
	F120-90-230V	54 020 11	120cm/116	90W/m ²
	Varmefolie for gulv og tak			
	CF60-120W-230V	54 106 17	64cm/51cm	120W/m ²
	CF40-90W-230V	54 106 18	44cm/31cm	90W/m ²
	CF60-90W-230V	54 106 19	64cm/51cm	90W/m ²

Øvrig nødvendig materiell

Vi lagerfører alt nødvendig materiell for montering og installasjon, som klemmer, isolasjonshylser, tape, kopplingsledning, byggfolie og korrugerte lavtbyggende rør.

Reflector isolasjonsmatter for parkett-, laminat- og tregulv

Reflector er et universalt isolasjonsmateriale for parkett-, laminat- og tregulv. Reflector isolerer effektivt mot kulde og trinnlyd og gir god varmerefleksjon. Isolasjonen gir også gulvet lenger levetid gjennom jevnere belastning og mindre slitasje, ettersom ujevnheter i undergulvet tas opp og utlignes av isolasjonsmattene. Mattene har glatt overflate som gir det flytende gulvet mulighet til å bevege seg.

Reflector/Depron gir optimal beskyttelse mot fukt, og eliminerer ytterligere behov for damp/fuktsperre under gulvet, dersom den hellimes til gulvet. Gir maksimal varmerefleksjon.

Alle Reflector isolasjonsmatter kommer i formatet 120x50cm.

Type og tykkelse	Lengde/bredde	Termisk isolasjonsevne	Fuktabsorpsjon	Trinnlyd –dB	Trykkstyrke
Reflector 3 mm	120cm x 50cm	$g=0.0231\text{W/mK}$ $r=0.1105\text{m}^2\text{ K/W}$	0,08%	5.3dB-20dB	5t/m ²
Reflector 6 mm	120cm x 50cm	$g=0.0228\text{W/mK}$ $r=0.2398\text{m}^2\text{ K/W}$	0,06 %	5.6dB-21dB	6t/m ²

Figur 42: Utdrag av reflector produktblad

Appendiks H – Sikker jobbanalyse

SJA tittel: Feltforsøk på Leangen ishall		
Dato: 12.02.2015		Sted: Leangen ishall
Kryss av for utfylt sjekkliste:	☒	

Deltakere: Marius Normann, Lars Marius Strande, Kristian Rønning		
SJA-ansvarlig: Kristian Rønning		

Arbeidsbeskrivelse: (Hva og hvordan?) Oppvarming av tribuneseter, både med panelovn og varmemølle. Måle temperaturer og trekk.
Risiko forbundet med arbeidet: Kortslutning av elektrisk utstyr, brann. Fare for støt. Klatring i stige.
Beskyttelse/sikring: (tiltaksplan, se neste side) Pulverapparat Assistanse i stige
Konklusjon/kommentar: Viktig å kartlegge det elektriske arbeidet. Sikring av stige.

Anbefaling/godkjenning:	Dato/Signatur:	Anbefaling/godkjenning:	Dato/Signatur:
SJA-ansvarlig:		Områdeansvarlig:	
Ansvarlig for utføring:		Annen (stilling):	

HMS aspekt	Ja	Nei	Ikke aktuelt	Kommentar / tiltak	Ansv.
Dokumentasjon, erfaring, kompetanse					
Kjent arbeidsoperasjon?		X			
Kjennskap til erfaringer/uønskede hendelser fra tilsvarende operasjoner?	X				
Nødvendig personell?	X				
Kommunikasjon og koordinering					
Mulig konflikt med andre operasjoner?		X			
Håndtering av en evt. hendelse (alarm, evakuering)?			X		
Behov for ekstra vakt?		X			
Arbeidsstedet					
Uvante arbeidsstillinger?		X			
Arbeid i tanker, kummer el.lignende?		X			
Arbeid i grøfter eller sjakter?		X			
Rent og ryddig?	X				
Verneutstyr ut over det personlige?	X			Pulverapparat	
Vær, vind, sikt, belysning, ventilasjon?	X				
Bruk av stillaser/lift/seler/stropper?		X			
Arbeid i høyden?	X				
Ioniserende stråling?		X			
Rømningsveier OK?	X				
Kjemiske farer					

Bruk av helseskadelige/giftige/etsende kjemikalier?			X		
Bruk av brannfarlige eller eksplosjonsfarlige kjemikalier?			X		
Må kjemikaliene godkjennes?			X		
Biologisk materiale?			X		
Støv/asbest?			X		
Mekaniske farer					
Stabilitet/styrke/spenning?		X			
Klem/kutt/slag?		X			
Støy/trykk/temperatur?		X			
Behandling av avfall?		X			
Behov for spesialverktøy?		X			
Elektriske farer					
Strøm/spenning/over 1000V?		X			
Støt/krypstrøm?	X				
Tap av strømtilførsel?		X			
Området					
Behov for befarings?	X				
Merking/skilting/avsperring?	X				
Miljømessige konsekvenser?		X			
Sentrale fysiske sikkerhetssystemer					
Arbeid på sikkerhetssystemer?		X			
Frakobling av sikkerhetssystemer?		X			
Annet		X			

Appendiks I – Utregning av ny temperatur i Leangen ishall

Grunnlaget for disse beregningene er gjort på målingene vi gjorde i mars, og de er kun veiledene. Det ligger usikkerhet i både antall m^2 og ΔT .

$$\Phi = U A \Delta T \text{ [W]}$$

$$U = \frac{\Phi}{A \Delta T} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U = \frac{50 \text{ kW}}{5000 \text{ m}^2 \cdot (14 - 2) K} = 0,833$$

Scenario 1: $\Phi_1 = 35 \text{ kW}$ som tilsvarer 30 % kutt

$$\Delta T = \frac{\Phi_1}{U A}$$

$$T_{inne} = \frac{\Phi_1}{U A} - T_{ute}$$

$$T_{inne} = \frac{35\,000 \text{ W}}{0,833 \frac{W}{m^2 K} \cdot 5000 \text{ m}^2} + 2 \text{ }^\circ\text{C} = 10,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Scenario 2: $\Phi_2 = 25 \text{ kW}$ som tilsvarer 50 % kutt

$$\Delta T = \frac{\Phi_2}{U A}$$

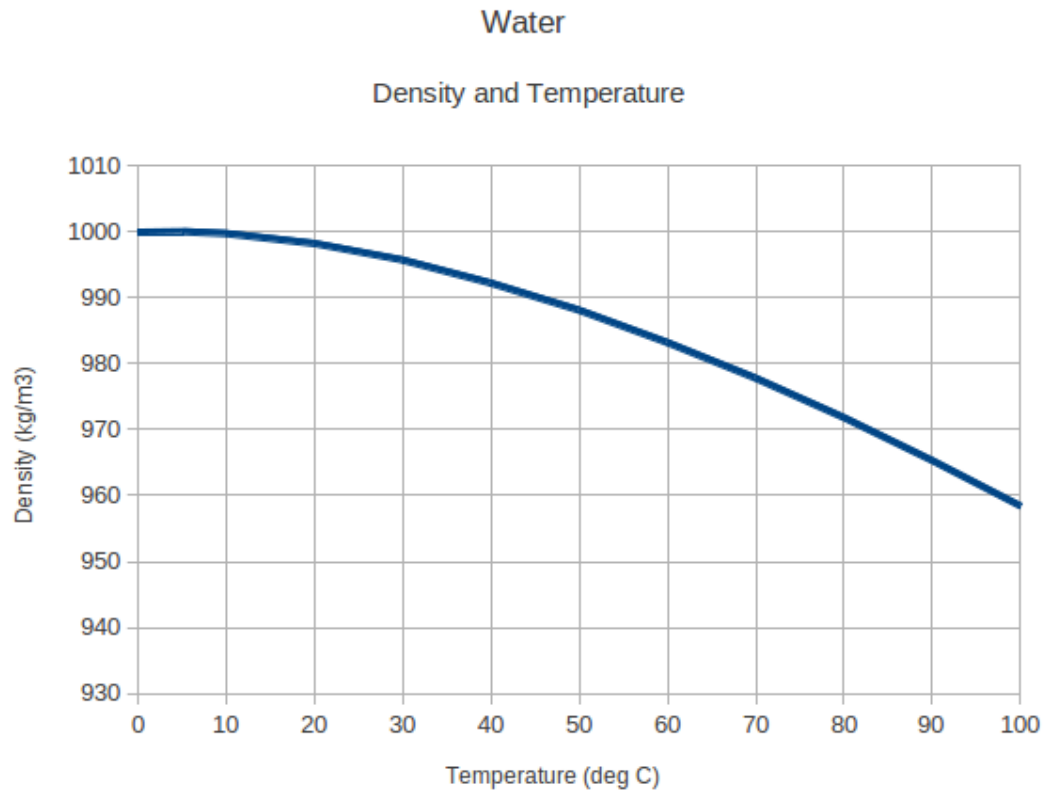
$\vdots$

$$T_{inne} = 8,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Om vi enkelthets skyld setter prisen for 1 kWh fjernvarme lik 1 krone kan vi ved 50 % kutt si at vi kan spare:

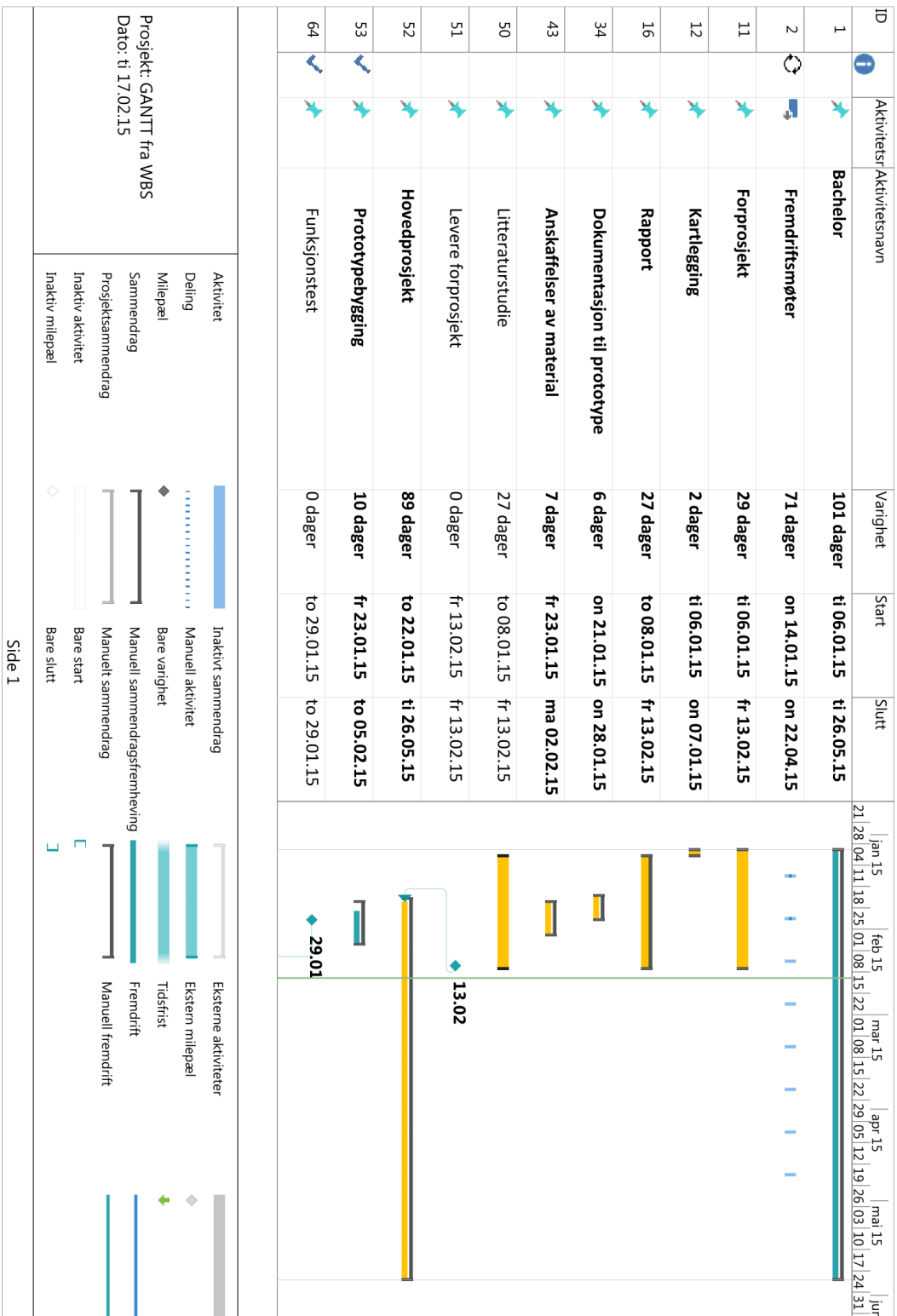
$$25 \text{ kWh} * 24h * 30d * 7\text{måneder} = 126\,000 \text{ kroner}$$

Appendiks J – Vanns densitet som funksjon av temperatur

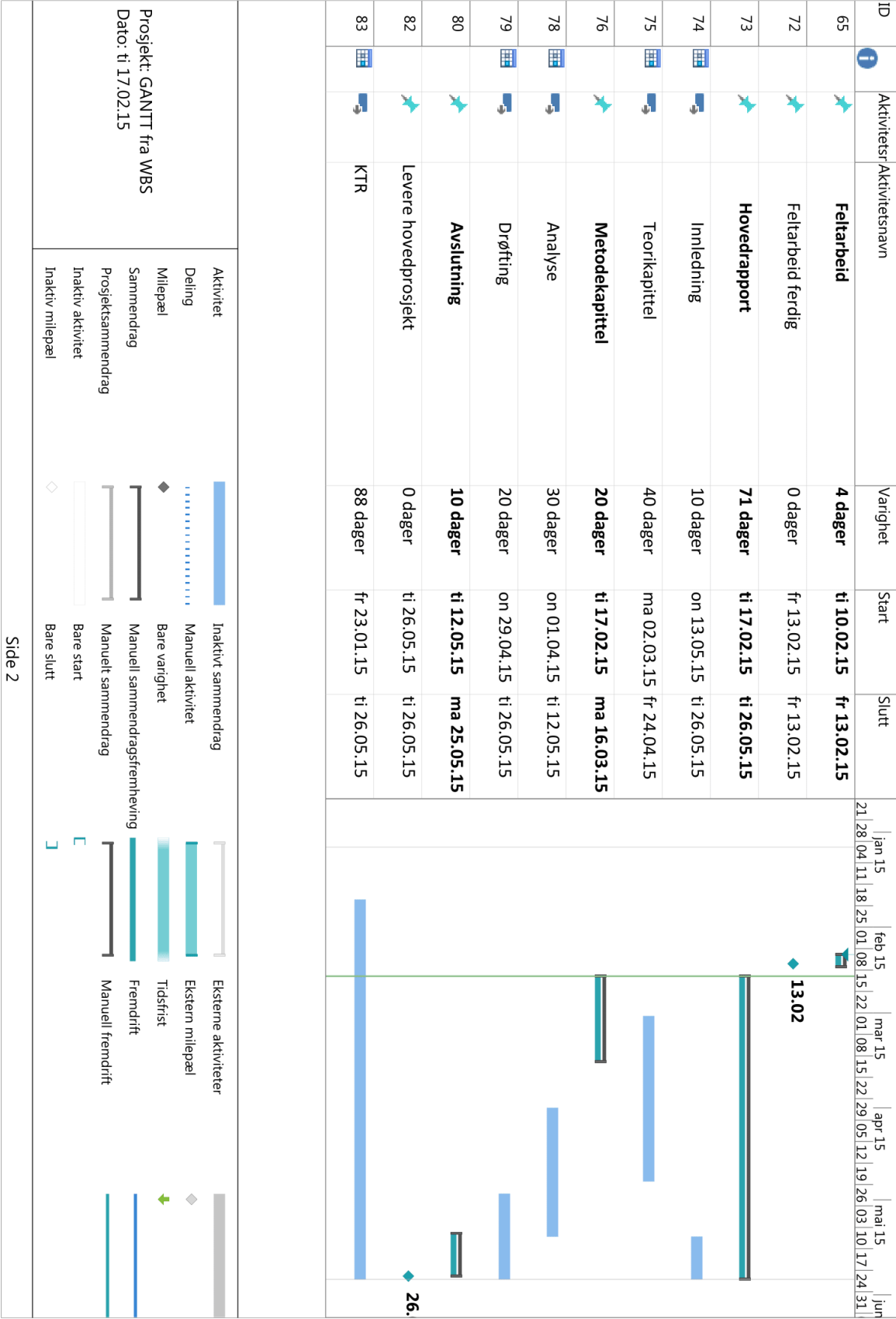


Figur 43: Densiteten til vann gitt av temperatur.

Appendiks K – Gantt diagram



Figur 44: Gantt-skjema, ID 1-64



Figur 45: Gantt-skjema, ID 65-83

Appendiks L – Avvik

Avviksskjema for gruppe MAL-K-2015-16

Dato:	Melder:	Avviksskjema nr.
05.02.15	Marius Normann	1
Avvik: Prototyper For bygging av varmeseter med 12 V, trykkfølsom bryter og lim, kom det fram i diskusjon at det ville være vanskelig å gjennomføre.		
Strakstiltak: Vi gikk for en varmemefolie på 220 V, vanlig bryter og tape. Dette gjorde det mye enklere å lage prototyper som hadde som funksjon å teste ut konseptet.		
Tiltak: 		
Hele gruppen er informert? ☒		Behandler: Lars Marius Strande

Avviksskjema for gruppe MAL-K-2015-16

Dato: 16.02.14	Melder: Kristian Rønning	Avviksskjema nr. 2
Avvik: - Evalueringsmøte etter målinger utført Torsdag 12.02.15 ble det oppdaget at dette ikke var tilstrekkelig og at flere målinger måtte foretas.		
Strakstiltak: - NA		
Tiltak: - Planlegge ny dag for målinger i Leangen ishall.		
Hele gruppen er informert? ☒		Behandler: Lars Marius Strande

Avviksskjema for gruppe MAL-K-2015-16

Dato: 16.02.15	Melder: Marius Normann	Avviksskjema nr. 3
Avvik: - Få antall brukerundersøkelser - Evalueringsmøte den 16.02.15 etter testing Torsdag 12.02.15 ble det oppdaget at dette ikke var tilstrekkelig og at flere kvantitative brukerundersøkelser måtte foretas.		
Strakstiltak: - Planlegge ny dag for kvantitative brukerundersøkelser i Leangen ishall.		
Tiltak: - Utfører disse testene i helgene, dette for å redusere påvirkningen på prosjektets framdrift videre.		
Hele gruppen er informert? ☒		Behandler: Lars Marius Strande

Avviksskjema for gruppe MAL-K-2015-16

Dato: 09.04.15	Melder: Marius Normann	Avviksskjema nr. 3
Avvik: - Etter å ha undersøkt og snakket med fagfolk ble det oppdaget at bruk av solenergi blir et eget uavhengig prosjekt. - Planlagt bruk av solenergi viste seg å være uegnet for formålet.		
Strakstiltak: - Videre arbeid med solenergi nedprioriteres.		
Tiltak: - Vi vil ta for oss solenergi som et tilleggskonsept		
Hele gruppen er informert? ☒		Behandler: Kristian Rønning

Avviksskjema for gruppe MAL-K-2015-16

Dato: 06.02.15	Melder: Lars Marius Strande	Avviksskjema nr. 5
Avvik: - For mange planlagte framdriftsmøter med oppdragsgiver.		
Strakstiltak: - NA		
Tiltak: - I samsvar med oppdragsgiver ble disse planlagt å gjennomføres ved nødvendighet, f.eks ved nådd milepæl.		
Hele gruppen er informert? ☒		Behandler: Marius Normann

Avviksskjema for gruppe MAL-K-2015-16

Dato: 15.05.15	Melder: Marius Normann	Avviksskjema nr. 5
Avvik: - Ifølge Gantt-skjema skulle litteraturstudiet avsluttes 13.02.15		
Strakstiltak: - Litteraturstudiet fortsatte etter avsluttende dato		
Tiltak: - Ingen tiltak nødvendig, da litteraturstudiet utviklet seg i takt med prosjektet		
Hele gruppen er informert? ☒		Behandler: Marius Normann